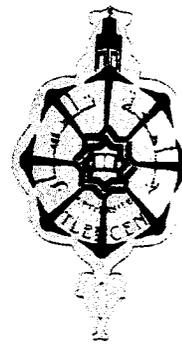


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la
Recherche Scientifique



Université Abou Bekr Belkaid

Faculté des sciences
Département de physique

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLOME DE MASTER

OPTION : ENERGETIQUE ET MATERIAUX

Présenté par :

Melle. Fatima Zahra ZAIRI

THEME

**Contribution à l'étude
d'un système d'injection de
l'énergie photovoltaïque éolien avec réseau
local**

Soutenu le 24/06/2012

Devant le jury composé de :

PRESIDENT	Dr. R.BENMOUNA	Maitre de conférences, Université de Tlemcen
ENCADREUR	Dr. A.KHERROUS	Maitre de conférences, Université de Tlemcen
EXAMINATEUR	Dr. L.MERAD	Maitre de conférences, Université de Tlemcen
EXAMINATEUR	Dr S.MERZOUK	Maitre de conférences, Université de Tlemcen

Sommaire

Introduction générale

Chapitre I : Généralité sur les systèmes photovoltaïques

I.1. Introduction	1
I.2. Le soleil.....	1
I.3. Rayonnement solaire	2
I.3.1. Rayonnement en Algérie.....	4
I.4. L'effet photovoltaïque	4
I.4.1 Formation de la jonction PN.....	4
I.5. Cellule solaire.....	6
I.5.1 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque.....	6
I.6. Modélisation de la cellule solaire.....	7
I.6.1. Modèle de la cellule photovoltaïque.....	7
I.6.2. La caractéristique I-V de la cellule solaire	9
I.6.3. Paramètres de la cellule solaire.....	10
I.6.4. Les différents types des cellules solaires.....	11
I.7. Les paramètres qui influent sur la caractéristique $I = f(V)$	12
I.7.1. Influence de l'éclairement	12
I.7.2. Influence de la température.....	13
I.8. Les modules photovoltaïques.....	14
I.8.1. Association série.....	15
I.8.2. Association Parallèle	16
I.8.3. Association mixte (Série + Parallèle)	17
I.7. Conclusion.....	17

Chapitre II : Généralités sur les systèmes éoliens

II.1. Introduction.....	18
-------------------------	----

II.2. Définition de l'énergie éolienne	18
II.3. Potentiel éolien en Algérie.....	18
II.4 Descriptif d'une éolienne.....	19
II.5 Principaux composants d'une éolienne.....	19
II.6 le principe de fonctionnement d'une éolienne.....	22
II.7 Les différents types d'éoliennes.....	22
II.7.1 Les éoliennes à axe horizontal.....	22
II.7.2 Les éoliennes à axe vertical.....	23
II.8.Machine asynchrone a double alimentation	23
II .8.1.Modélisation de la Machine Asynchrone à Double Alimentation	24
II.8 Modélisation de la turbine éolienne	26
II.10Modèle du multiplicateur de vitesse	27
II.9.applications des éoliennes	27
II.9 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne.....	28
II.9.1 Les avantage.....	28
II.9.2 Les inconvénients.....	28
II.10 Conclusion.....	29

Chapitre III : Les convertisseurs statiques

III.1. Introduction.....	30
III .2.Convertisseur DC-DC (hacheur)	30
III.2.1. Hacheurs survolteurs (Boost).....	30
III.2.1.1 Principe de fonctionnement du convertisseur « boost ».....	30
III.2.1.2 Etude théorique en conduction continue.....	31
III.2.1.2.1 Phase 1 ($0 < t < \alpha T$).....	31
III.2.1.2.2 Phase 2 ($\alpha T < t < T$).....	31
III.2.1.3 Formes d'onde.. ..	32
III.1.1.4 Tension moyenne et ondulation.....	33
III.1.1.5. Avantages et inconvénients du convertisseur « Boost ».....	34

III.1.1.6. Simulation du convertisseur « Boost ».....	34
III.3. le convertisseur AC/DC	36
III.3.1.Définition d' un convertisseur AC/DC_	36
III.3.2.Redresseur à commande MLI	37
III.3.2.1.Définition	37
III.3.2. 2.Structure générale du redresseur MLI	37
III.3.2. 3. Principe de fonctionnement en redresseur	37
III.3.2.4. Redresseur MLI de courants	39
III.3.2. 5.Redresseur MLI de tensions	40
III.2. Le convertisseur DC/AC	41
III.2.1 Définition de l'onduleur	41
III.3.2 Les onduleurs de tension.....	43
III.3.3 Les onduleurs de courant.....	43
III.2.5.Paramètres de performances de l'onduleur triphasé.....	44
III.2.6 Commande de l'onduleur par un signal MLI.....	45
III.3 Conclusion.....	46
 Chapitre IV : simulation de la connexion d'un système hybride photovoltaïque-éolien connecté au réseau	
IV.1. Introduction.....	47
IV..2. système hybride proposé	47
IV.. 3. Simulation d'un générateur photovoltaïque	48
IV..3.1modèles du hacheur boost	50
IV.. 3.2Fonctionnement avec MPPT.....	51
IV..3.3.1.Techniques de recherche de point de puissance maximale.....	51
IV.3.3.2. Technique de perturbation et d'observation (P&O).....	52

IV. 3.3.2.1. Le fonctionnement de l'algorithme P&O.....53

IV..4. le modèle matlab- similink du GPV et MPPT et hacheur boost 54

IV.. 5. Simulation d'une machine asynchrone à double alimentation (MADA)56

IV..3.2. le modèle de similink d'une machine asynchrone double alimentation (MADA) ..56

VI.4. Connexion du générateur hybride sur le réseau60

Conclusion60

Conclusion générale

Liste des figures

La liste des figures

Fig. I.1 Types de rayonnement solaire reçus au sol.....	3
Figure. I.2 : a) : Rayonnement solaire capté par un plan horizontal et incliné.....	3
:b) : Intensité de l'enseillement reçu sur un plan horizontal et incliné	
Figure I.3 : Zones énergétiques en Algérie.....	4
Fig. I.4 Génération de la paire électron-trou.....	5
Fig. I.5 La jonction <i>PN</i>	5
Fig. I.6 Structure d'une cellule photovoltaïque.....	7
Figure. I.7 Schéma équivalent électrique d'une cellule photovoltaïque.....	7
Figure I.8 Caractéristique courant-tension (I-V) d'une cellule solaire.....	9
Figure. I.9 a Caractéristique courant-tension sur influence de l'éclairement sur le module.....	12
Figure. I.9 b Caractéristique puissance-tension Influence de l'éclairement sur le module.....	13
Figure. I.10 a: Caractéristique courant-tension sur influence de la température sur le module.....	13
Figure. I.10 b:caractéristique puissance-tension sur influence de la température sur le module.....	14
Figure 1.11 : Modules photovoltaïques.....	14
Figure. I.12 Association de n modules solaires en série.....	15
Figure. I.13 Caractéristique de nombre des modules en série.....	15
Figure. I.14 Association de N_p modules solaires en parallèle.....	16
Figure. I.15 Caractéristique de nombre des modules en parallèles.....	16
Figure .I.16 Association mixte N_s N_p modules solaires.....	17
Figure II.1. Carte préliminaire des vents en Algérie.....	18
Figure II.2 : Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur.....	19
Figure II.3 : Tour de l'éolienne.....	20
Figure II.4: Rotor d'une éolienne.....	20

Liste des figures

Figure II.5 : Constitution d'une nacelle.....	21
Figure II.6 : Les éoliennes à axe horizontal.....	22
Figure II.7 : Les éoliennes à axe vertical.....	23
Figure II.8 : Système éolien basé sur la machine asynchrone double alimentation- régulation de la vitesse de rotation par chaîne rotor alimentation.....	24
Figure.(III.1) Convertisseur Boost	30
Figure. (III.2) : Convertisseur Boost où l'interrupteur commandé k est fermé.....	31
Figure (III.3) : Convertisseur Boost où l'interrupteur commandé k est ouvert.....	31
Figure. (III.5) : Formes d'ondes.....	33
Figure. (III.6) : tension en fonction du temps.....	34
Figure. (III.7): Courant en fonction du temps.....	34
Figure. (III.8): la structure de base d'un redresseur de tension triphasé.....	36
Figure. III.9:le schéma de principe d'un redresseur MLI	37
Figure III. 10 Redresseur MLI de courant triphasé à deux niveaux.....	39
Figure III. 11 Redresseur MLI de tension triphasé à deux niveaux.....	40
Figure. III.12 : Schéma de principe de l'onduleur.....	41
Figure. III.13 : Schéma d'un onduleur.....	42
Figure. III.14 : Onduleur de tension.....	43
Figure. III.15 : Onduleur de courant.....	43
Figure. III.16 : Tension de sortie de l'onduleur filtré	45
Figure. III.17 : Schéma de positionnement de l'étage MLI.....	46
Figure IV.1. Modèle d'un système hybride photovoltaïque –éolien connecté au réseau	47
Figure IV.2. Schéma de générateur photovoltaïque sous matlab- simulink.....	48

Liste des figures

Figure IV.3: Caractéristiques I-V du générateur photovoltaïque.....	49
Figure IV.4: Caractéristiques P-V du générateur photovoltaïque.....	50
Figure IV.5: Schéma SIMULINK d'hacheur.....	50
Figure.IV.6 : Conversion PV a base d'un convertisseur DC contrôlé par une commande MPPT.....	51
Figure. IV.7 Organigramme de l'algorithme Perturbation et Observation	53
Figure IV.8 schéma GPV et MPPT et hacheur boost.....	54
Figure IV.10 caractéristique de courant pour différents éclairagements.....	55
Figure IV.9 caractéristique de la puissance pour différents éclairagements.....	55
Figure IV.10 modèle d'une machine asynchrone à double alimentation	56
Figure IV.11 schéma d'une machine asynchrone double alimentation (MADA).....	57
Figure IV.12 La courbe de la vitesse rotorique (mécanique).....	57
Figure IV.13 la courbe des tensions.....	58
Figure IV.14 la courbe des courants I_{sa} , I_{sb} , I_{sc}	58
Figure IV.15 la courbe de la puissance active	58
Figure IV.16 la courbe de la puissance réactive	59
Figure IV.17 : Modèle d'un générateur hybride (éolien-photovoltaïque) connecté au réseau à travers un onduleur de tension.....	60

Liste des symboles

Liste des symboles

I_{ph} : Photo-courant, ou courant photo-généré par l'éclairement (A).

I_s : Courant de saturation de la diode (A).

R_s : Résistance série (Ω).

R_{sh} : Résistance shunt (Ω).

k : Constante de Boltzmann ($k=1.38 \cdot 10^{-23} J K^{-1}$).

Liste des symboles

- J : moment d'inertie de l'ensemble machine et turbine éolienne ;
- f_r : coefficient de frottement.
- p : nombre de paires de pôles.
- C_p : Coefficient de puissance
- V_{ds} : tension directe statorique
- V_{qs} : tension en quadrature statorique
- V_{dr} : tension directe rotorique
- V_{qr} : tension en quadrature rotorique
- r_s : Résistance d'un enroulement statorique
- r_r : Résistance d'un enroulement rotorique
- I_{ds} : Courant direct statorique
- φ_{ds} : Flux direct statorique
- ω_s : vitesse synchrone
- ω_r : vitesse rotorique
- Γ_{mec} : Couple mécanique
- P_{vent} : puissance du vent
- $S_{eolienne}$: surface d'éolienne
- ρ : la densité de l'air
- $\Omega_{turbine}$: vitesse de la turbine
- G : glissement
- C_g : couple de glissement

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction :

L'énergie électrique est un élément crucial pour tout développement socio-économique. Elle est devenue dans la vie quotidienne des populations, notamment dans les pays développés, une forme d'énergie dont on ne peut se passer. Vu l'ampleur de l'industrialisation de ces dernières décennies, la multiplication des appareils domestiques de plus en plus gourmands en consommation d'énergie électrique, la demande en énergie électrique est devenue très importante. Face à cela et avec la diminution du stock mondial en hydrocarbure et surtout la crainte d'une pollution de plus en plus envahissante et destructive pour l'environnement, les pays industrialisés ont massivement fait recours aux centrales nucléaires. Cette source d'énergie présente l'avantage indéniable de ne pas engendrer de pollution atmosphérique contrairement aux centrales thermiques traditionnelles, mais le risque d'accident, le traitement et l'enfouissement des déchets sont des problèmes bien réels qui rendent cette énergie peu attractive pour les générations futures. Face à ce dilemme, il s'avère nécessaire de faire appel à des sources d'énergie nouvelles qui seront sans conséquence pour l'homme et l'environnement.

Les chercheurs ont développé une forme d'énergie dite « *énergie renouvelable* ».

Les énergies renouvelables constituent donc une alternative aux énergies fossiles à plusieurs titres : elles perturbent généralement moins l'environnement, n'émettent pas de gaz à effet de serre et ne produisent pas de déchets ; elles sont inépuisables ; elles autorisent une production décentralisée adaptée à la fois aux ressources et aux besoins locaux ; elles offrent une importante indépendance énergétique. [28]

Une grande partie de l'énergie consommée par l'humanité est sous la forme de chaleur (chauffage, procédés industriels...). Cette énergie est majoritairement obtenue par la transformation de l'électricité en provenance du nucléaire, gaz ou du pétrole [2]. Il existe des moyens de remplacer ces sources conventionnelles par des sources renouvelables:

Introduction générale

• **Thermo solaire** : Le solaire thermique utilise le soleil tout comme le photovoltaïque mais de façon différente, puisqu'il récupère de la chaleur qu'il transmet ensuite à un circuit d'eau qui peut alimenter une habitation en eau sanitaire ou en chauffage [30]. Ils se comportent comme une serre où les rayons du soleil cèdent leur énergie à des absorbeurs qui à leur tour réchauffent le fluide circulant dans l'installation de chauffage. La température du fluide peut atteindre jusqu'à 60 à 80°C [29]. Cette énergie représente un rendement élevé et permet de chauffer de l'eau "gratuitement" après retour sur investissement.

• **Géothermie** : est la seule source d'énergie dont l'énergie ne provient pas du soleil, mais des processus de désintégration à l'intérieur de la croûte terrestre.

Elle est exploitée en pompant en utilisant des puits de forage de l'eau chaude provenant d'une zone du sous-sol poreuse imprégnée d'eau très chaude. La chaleur produite sert dans la plupart des cas à la production d'eau chaude sanitaire et au chauffage de bâtiments. Au cas de températures au-dessus de 150°C la production d'électricité est possible .

• **Biomasse** : ce terme désigne toute la matière vivante d'origine végétale ou animale de la surface terrestre. Généralement, les dérivés ou déchets sont également classés dans la biomasse, différents types sont à considérer : le bois-énergie, les biocarburants, le biogaz. Le bois-énergie est une ressource très abondante, c'est la ressource la plus utilisée au monde. Elle se concentre sur l'utilisation destinée au chauffage.

• **Thermique** : La centrale thermique produit l'énergie électrique à partir de l'énergie calorifique obtenue en brûlant un combustible tel que charbon, gaz ou fuel .

Une autre famille d'énergies renouvelables est celle où l'énergie produite est directement sous la forme électrique. A l'aide des panneaux solaires ou de génératrices hydrauliques et éoliennes, la puissance électrique peut être récupérée et immédiatement utilisée par un récepteur ou bien transportée vers les réseaux de distribution.

• **Hydraulique** : L'eau, comme l'air est en perpétuelle circulation. Sa masse importante est un excellent vecteur d'énergie. L'énergie hydraulique est produite soit au fil de l'eau soit par le biais du stockage de l'eau (lac de barrage, retenues d'eau) qui permet la constitution d'un stock d'énergie électrique mobilisable à tout moment [30].

Introduction générale

Le troisième chapitre présente les différents types de convertisseurs DC/AC, DC/DC

Le quatrième chapitre renferme des simulations et les résultats obtenus.

Chapitre I

Généralités sur les systèmes

Photovoltaïques

I.1 Introduction

Le soleil est une source énergétique quasiment illimitée, il pourrait couvrir plusieurs milliers de fois notre consommation globale d'énergie. C'est pourquoi, l'Homme cherche depuis long temps à mettre à profit cette énergie importante et diffusée sur l'ensemble de la planète, il est arrivé à réaliser ce but par le moyen dit cellule photovoltaïque.

Ce phénomène fut découvert au 19^{ème} siècle par le physicien Alexandre Edmond Becquerel. La première cellule photovoltaïque fut développée début 1954 pour l'alimentation en énergie des satellites. Depuis 1958, les cellules photovoltaïques alimentent seulement le système énergétique des satellites jusqu'à ses premières applications terrestres fut apparaître au début des années 70. Le photovoltaïque fut utilisé pour l'alimentation en énergie de petites maisons isolées et d'équipements de télécommunications. [1]

Aujourd'hui, grâce à sa fiabilité et à son concept respectueux de l'environnement, le photovoltaïque prend une place prépondérante. [6]

Pour comprendre ce phénomène, nous allons développer dans ce chapitre quelques notions de base sur le rayonnement solaire en premier lieu, la deuxième partie sera consacrée aux propriétés des semi-conducteurs, matériaux de base des cellules photovoltaïques. Une fois ces rappels théoriques sont faits, il nous sera facile d'expliquer le principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque en passant au système photovoltaïque complet.

I.2. Le soleil

Le soleil produit une énorme quantité d'énergie, qui quitte sa surface sous forme de rayonnement électromagnétique d'un spectre allant de $0,45\mu\text{m}$ (ultra-violet) à $0,75\mu\text{m}$ (infrarouge).

Cette énergie représente une source majeure d'énergie dans le futur. Malgré la distance considérable de la terre du soleil (150 million Km), la couche terrestre reçoit une quantité d'énergie de $128,10 \cdot 10^2$ Gw /s.

L'énergie solaire se présente bien comme une alternative aux autres sources d'énergie. Elle représente un potentiel considérable; en effet, le pays reçoit plus de 3000 h de lumière solaire par année avec un haut niveau d'éclairement. Avec une optimisation des angles de réception, la moyenne annuelle journalière est de 5 à 7 kWh /m²/jour. [2]

I.3 Rayonnement solaire

Afin de quantifier l'énergie développée par le générateur photovoltaïque dans une application donnée, il est nécessaire de connaître le spectre du rayonnement solaire reçu sur sol. En effet, quatre types de rayonnement ont été répertoriés dans la littérature:

- Le rayonnement direct : c'est le rayonnement reçu directement du Soleil au sol.
- Le rayonnement diffus : c'est dû à l'absorption et à la diffusion d'une partie du rayonnement solaire global par l'atmosphère et à sa réflexion par les nuages et les aérosols.
- Le rayonnement réfléchi ou l'albédo du sol : c'est le rayonnement qui est réfléchi par le sol ou par des objets se trouvant à sa surface. Cet albédo peut être important lorsque le sol est particulièrement réfléchissant (eau, neige, etc....).
- Le rayonnement global : c'est la somme de tous les rayonnements reçus à la surface terrestre.

Dans la figure ci-dessous (Fig. I.1) est schématisé l'ensemble des rayonnements solaires reçus sur une surface terrestre.

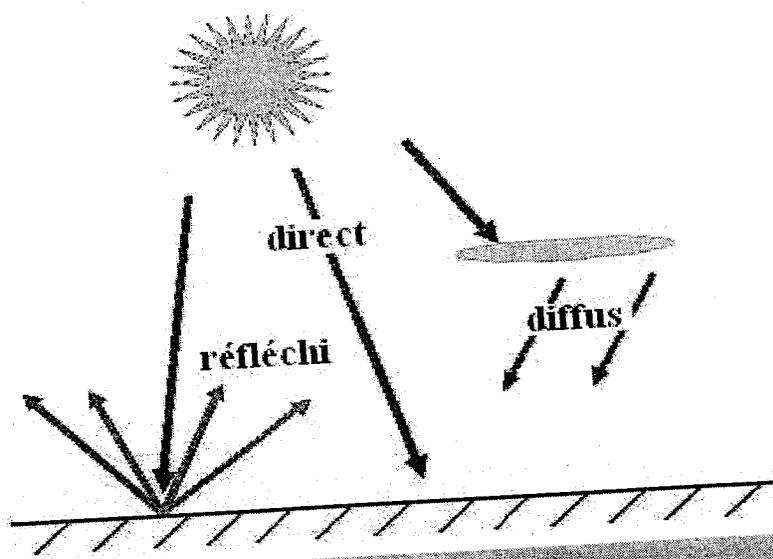


Figure. I.1 Types de rayonnement solaire reçus au sol.

L'intensité du rayonnement solaire reçu sur un plan quelconque à un moment donné est appelée irradiation ou éclairement (noté généralement par la lettre G), il s'exprime en watts par mètre carré (W/m^2). [3]

La valeur du rayonnement reçu par la surface du module photovoltaïque varie selon la position de ce dernier. Le rayonnement solaire atteint son intensité maximale lorsque le plan du module photovoltaïque est perpendiculaire aux rayons du Soleil. [4]

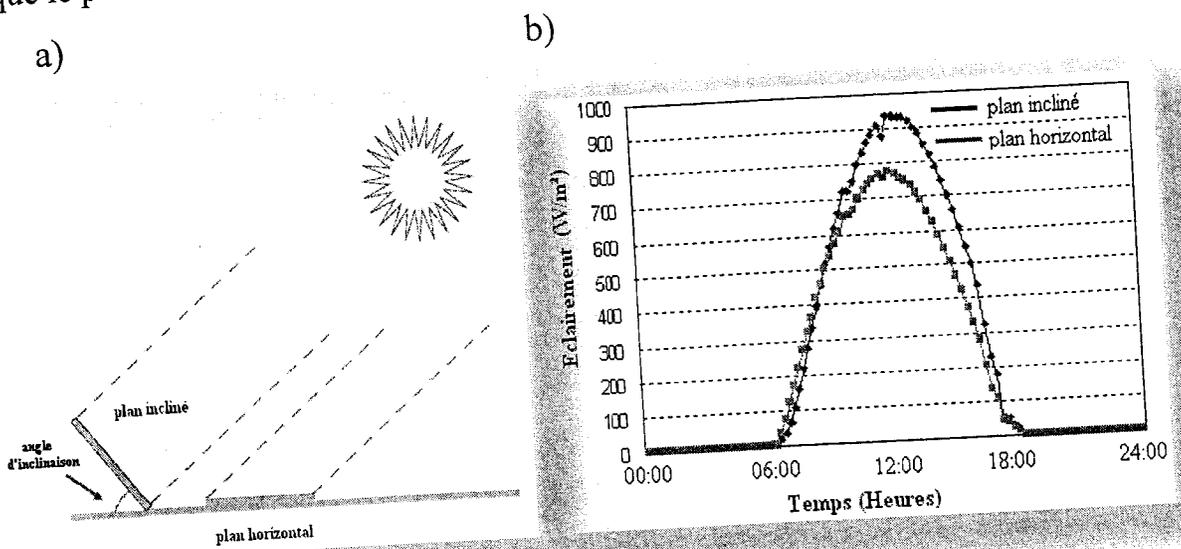


Figure. I.2 : a) : Rayonnement solaire capté par un plan horizontal et incliné,
:b) : Intensité de l'ensoleillement reçu sur un plan horizontal et incliné.

I.3.1 Rayonnement en Algérie

L'Algérie possédant un gisement solaire important, de part son climat, la puissance solaire maximale en tout point de notre pays est d'environ $1\text{KW}/\text{m}^2$.

L'énergie journalière maximale moyenne (ciel clair, mois de juillet) dépasse les $6\text{KW}/\text{m}^2$ et l'énergie annuelle maximale en Algérie est de l'ordre de $2500\text{KW}/\text{m}^2$.

La carte ci-dessous représente les différentes zones énergétiques de l'Algérie. [18]

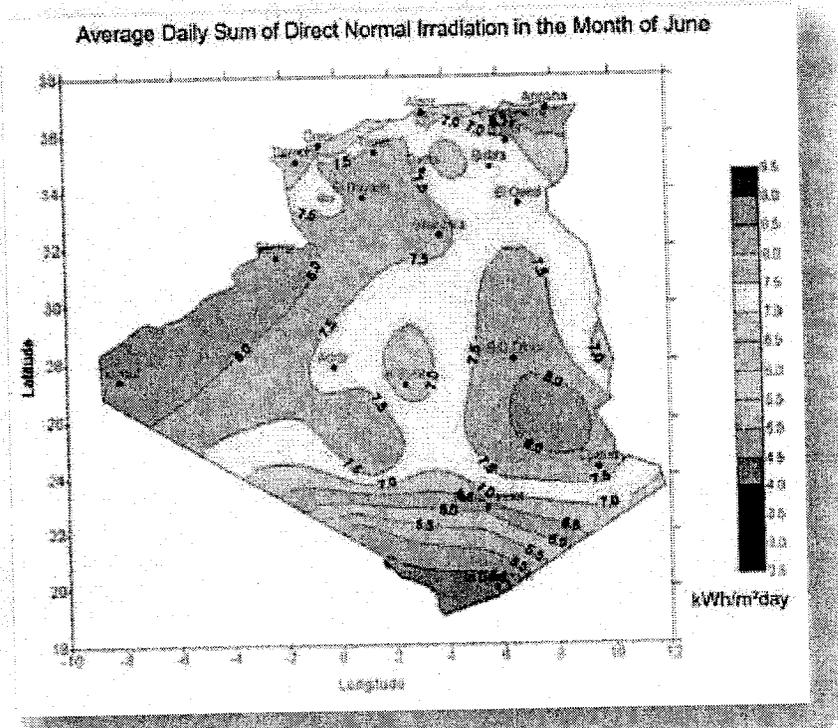


Figure I.3 : Zones énergétiques en Algérie

I.4. L'effet photovoltaïque

L'effet photovoltaïque est la transformation directe de la lumière en électricité

I.4.1 Formation de la jonction PN

Le silicium, comme tous les semi-conducteurs, a une bande de valence pleine et une bande de conduction vide. Mais grâce à un apport énergétique suffisant, il est possible de faire passer des électrons de la bande de valence (BV) à la bande de conduction (BC), d'où la génération d'électrons libres (Fig. 1.4). [6]

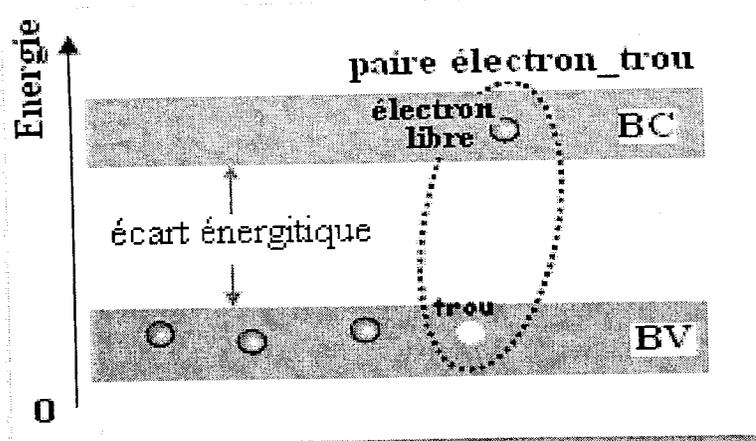


Figure. I.4 Génération de la paire électron-trou.

La présence d'électrons libres dans la bande de conduction d'un matériau n'est pas suffisante pour générer un courant : il est nécessaire de créer une différence de potentiel aux bornes du photo-générateur afin d'entraîner les charges positives d'un côté et les charges négatives de l'autre. Cette opération est possible par dopage du Silicium. Une jonction *PN* est créée par l'assemblage de deux barreaux de Silicium de type *N* et *P*. Le composant ainsi créé est appelé diode, (Fig 1.5). [6]

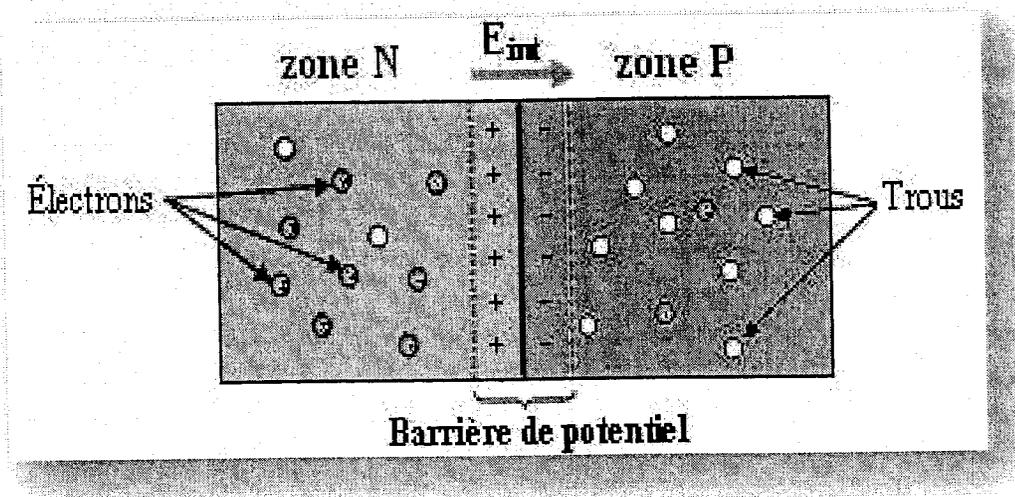


Figure. I.5 La jonction *PN*.

I.5 Cellule solaire

Les cellules photovoltaïques ou photopiles sont des composants électroniques à semi-conducteur qui transforment directement la lumière solaire en électricité. Elles sont réalisées à l'aide de matériaux semi-conducteurs utilisés en tranches fines ou en dépôts. [5] Les matériaux les plus connus sont:

- le silicium (Si)
- le sulfure de cadmium (Cds)
- l'arséniure de gallium (As Ga)
- le tellure de cadmium (Cd Te)
- le germanium (Ge)
- le phosphore d'indium (InP)

I.5.1 Principe de fonctionnement de la cellule photovoltaïque

Une cellule photovoltaïque est un dispositif semi-conducteur généralement à base silicium. Elle est réalisée à partir de deux couches, une dopée P et l'autre dopée N créant ainsi une jonction PN avec une barrière de potentiel. Lorsque les photons sont absorbés par le semi-conducteur, ils transmettent leur énergie aux atomes de la jonction PN de telle sorte que les électrons de ces atomes se libèrent et créent des électrons (charges N) et des trous (charges P). Ceci crée alors une différence de potentiel entre les deux couches. Cette différence de potentiel est mesurable entre les connexions des bornes positives et négatives de la cellule. [13]

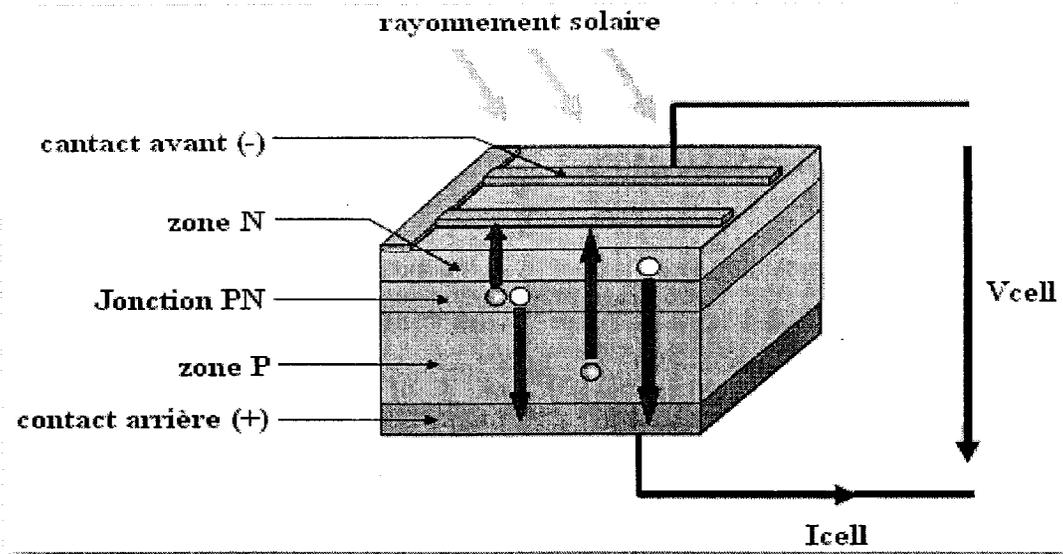


Figure. I.6 Structure d'une cellule photovoltaïque.

I.6 Modélisation de la cellule solaire

I.6.1 Modèle de la cellule photovoltaïque

Le fonctionnement de la cellule photovoltaïque est modélisé par le circuit équivalent de la figure (Fig. I.7). Ce modèle est composé d'un générateur de courant dont la valeur du courant est proportionnel à l'éclairement reçu à la surface de la cellule PV, une diode qui modélise la jonction PN présente dans une cellule PV, une résistance série qui modélise les pertes ohmique due aux contacts électriques et enfin une résistance shunt qui modélise les courants de fuite présents dans la cellule PV, Comme montre la figure ci_ dessous .

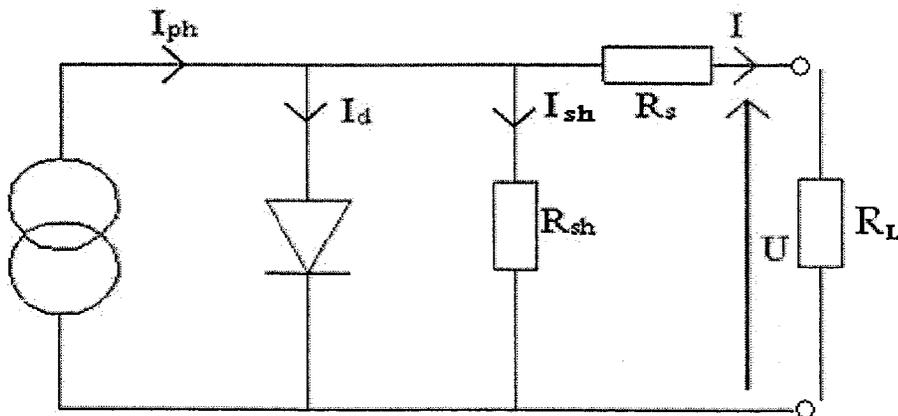


Figure. I.7 Schéma équivalent électrique d'une cellule photovoltaïque.

D'après la loi des nœuds, le courant délivré par une cellule PV est donné par l'expression ci-après:

$$I = I_{ph} - I_D - I_{sh} \dots\dots\dots (I.1)$$

D'où, le courant de la diode I_D est donné par l'équation suivante :

$$I_D = I_s [\exp((V + R_s I)q/kT) - 1] \dots\dots\dots (I.2)$$

Le courant aux bornes de la résistance shunt est exprimé par la relation suivante :

$$I_{sh} = (V + R_s I)/R_{sh} \dots\dots\dots (I.3)$$

En pratique $R_{sh} \gg R_s$ donc on peut négliger I_{sh} et conséquence :

$$I = I_{ph} - I_s [\exp((V + R_s I)q/kT) - 1] \dots\dots\dots (I.4)$$

En circuit ouvert le courant est nul donc :

$$I = 0, V_{co} \approx \left(\frac{kT}{q}\right) \log[(I_{cc} + I_s)/I_s] \approx (kT/q) \log(I_{cc}/I_s) \dots\dots\dots (I.5)$$

La puissance fournie par cette pile s'écrit sous la forme :

$$P = VI = V [I_{ph} - I_s [\exp((V + R_s I)q/kT) - 1]] \dots\dots\dots (I.6)$$

Avec:

I_{ph} : Photo-courant, ou courant photo-généré par l'éclairement (A).

I_s : Courant de saturation de la diode (A).

R_s : Résistance série (Ω).

R_{sh} : Résistance shunt (Ω).

k : Constante de Boltzmann ($k=1.38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$).

q : Charge de l'électron ($q=1.602 \cdot 10^{-19} \text{ C}$).

T : Température de la cellule ($^{\circ}\text{K}$).

I.6.2-La caractéristique I-V de la cellule solaire

La caractéristique courant-tension (I-V) de la cellule solaire qui présente la cellule photovoltaïque réagit à toutes les charges possibles sous des conditions particulières d'ensoleillement et de température, est montrée sur Figure I.8. En observant la caractéristique, on peut voir qu'il y a trois points importants:

- ✚ Point un (1) correspond au courant maximum que peut fournir la cellule solaire à la tension zéro (courant à court-circuit).
- ✚ Point trois (2) correspond à la tension maximale de la cellule solaire sans charge; conditions (circuit ouvert).
- ✚ Point deux (3) correspond à la puissance maximale que peut délivrer la cellule solaire.

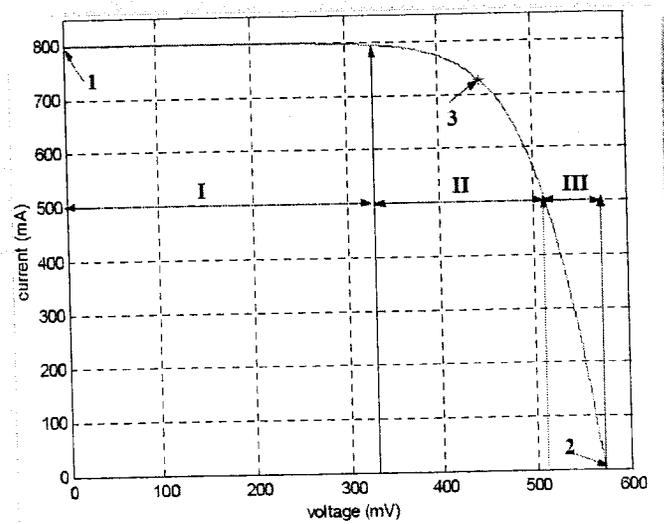
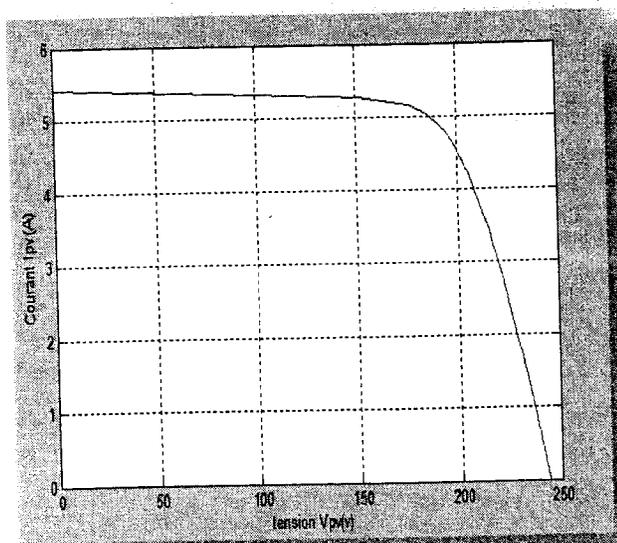


Figure I.8 Caractéristique courant-tension (I-V) d'une cellule solaire

La caractéristique courant-tension (I-V) peut être divisée en trois intervalles différents:

- L'intervalle où, dans une cellule solaire, est considéré en tant que source courant ; comme le courant est constant alors la tension est variable (Intervalle I).
- L'intervalle, où dans une cellule solaire, n'est ni considéré comme source de courant ni une source de tension (intervalle II).
- L'intervalle où dans une cellule solaire, est considéré comme une source tension, comme la tension est variable, le courant est constant (intervalle III).

Une fois qu'une cellule solaire est chargée avec une charge résistive constante, la charge est présentée avec un point quelque part sur la caractéristique de cellules d'I-V. Quand la charge augmente, le point de fonctionnement se déplace le long de la caractéristique vers la droite. Cependant, une diminution de la charge fait monter le point de fonctionnement de la caractéristique vers la gauche de la direction.

1.6.3-Paramètres de la cellule solaire

La cellule solaire est caractérisée par le rendement de conversion, une tension à circuit ouvert V_{oc} , un courant à court-circuit I_{cc} et un facteur de suffisance ff . Ces paramètres sont déterminés à partir des caractéristiques courant-tension. Leurs déterminations permettent les comparaisons de différentes cellules éclairées en conditions identiques. [9], [10]

❖ Courant de court-circuit, I_{cc}

Le courant de court-circuit est le courant obtenu quand les bornes de cellules sont peu circuitées. Il augmente linéairement avec l'intensité d'illumination de la cellule et est relié sur la surface éclairée, le spectre du rayonnement solaire et la température.

❖ Tension de circuit ouvert, V_{oc}

La tension de circuit ouvert est obtenue quand le courant de cellules est nul. Il est lié à la résistance de shunt et à la barrière d'énergie. Sa valeur diminue avec la température et change peu avec l'insolation.

❖ Facteur de suffisance, FF

Le facteur de suffisance d'une cellule solaire est défini comme le rapport d'une puissance maximale à la puissance calculée en multipliant la tension de circuit-ouvert par le courant de court-circuit. Cela reflète combien de résistances en série et peu de

résistances shunt dans la cellule solaire. Pendant que la cellule solaire se dégrade avec l'âge, sa résistance en série tend à augmenter le résultat en un facteur inférieur de suffisance.

$$FF = V_{op} I_{op} / I_{sc} V_{op} \quad (I.7)$$

❖ **Rendement de la cellule, η_s**

Le rendement d'une cellule solaire est défini comme le rapport de la puissance maximale fournie par la cellule à la puissance lumineuse d'incident.

$$\eta_s = V_{op} I_{op} / GA \quad (I.8)$$

A est la surface génératrice en m^2 et G l'ensoleillement en W/ m^2

I.6.4- Les différents types des cellules solaires

Il existe trois types principaux de cellules :

❖ **Les cellules mono- cristallines** : Les capteurs photovoltaïques sont à base de cristaux de silicium encapsulés dans une enveloppe plastique. Lors du refroidissement, le silicium fondu se solidifie en ne formant qu'un seul cristal de grande dimension. On découpe ensuite le cristal en fines tranches qui donneront les cellules. Ces cellules sont en général d'un bleu uniforme. Leur Rendement est de 15 à 22%.

❖ **Les cellules poly-cristallines Plusieurs cristaux** : Les capteurs photovoltaïques sont à base de poly cristaux de silicium, notablement moins coûteux à fabriquer que le silicium monocristallin, mais qui ont aussi un rendement un peu plus faible. Ces poly cristaux sont obtenus par fusion des rebuts du silicium de qualité électronique. Pendant le refroidissement du silicium, il se forme plusieurs cristaux. Ce genre de cellule est également bleu, mais pas uniforme, on distingue des motifs créés par les différents cristaux. [11]

Ce sont les cellules les plus utilisées pour la production électrique (meilleur rapport qualité-prix). Leur rendement est de 10 à 13% et un peu moins cher à fabriquer.

❖ **Les cellules amorphes :** Les panneaux « étalés » sont réalisés avec du silicium amorphe au fort pouvoir énergisant et présentés en bandes souples permettant une parfaite intégration architecturale. Empilement monolithique de deux cellules simples. En combinant deux cellules (couche mince de silicium amorphe sur silicium cristallin) absorbant dans des domaines spectraux se chevauchant, on améliore le rendement théorique par rapport à des cellules simples distinctes, qu'elles soient amorphes, cristallines ou microcristallines. 5 à 10% de rendement et prix très bas. [11]

I.7 Les paramètres qui influent sur la caractéristique $I = f(V)$

I.7.1 Influence de l'éclairement

La puissance délivrée par un générateur PV dépend de l'irradiation qu'il reçoit. La figure (I.9 a et b) représente la caractéristique courant-tension et puissance-tension d'un module (PV) solaire en fonction de l'éclairement, à une température et une vitesse de circulation de l'air ambiant constantes. [7]

On remarque que la tension V_{max} correspondant à la puissance maximale ne varie que très peu en fonction de l'éclairement, contrairement au courant I_{max} qui augmente fortement avec l'éclairement. [9], [12]

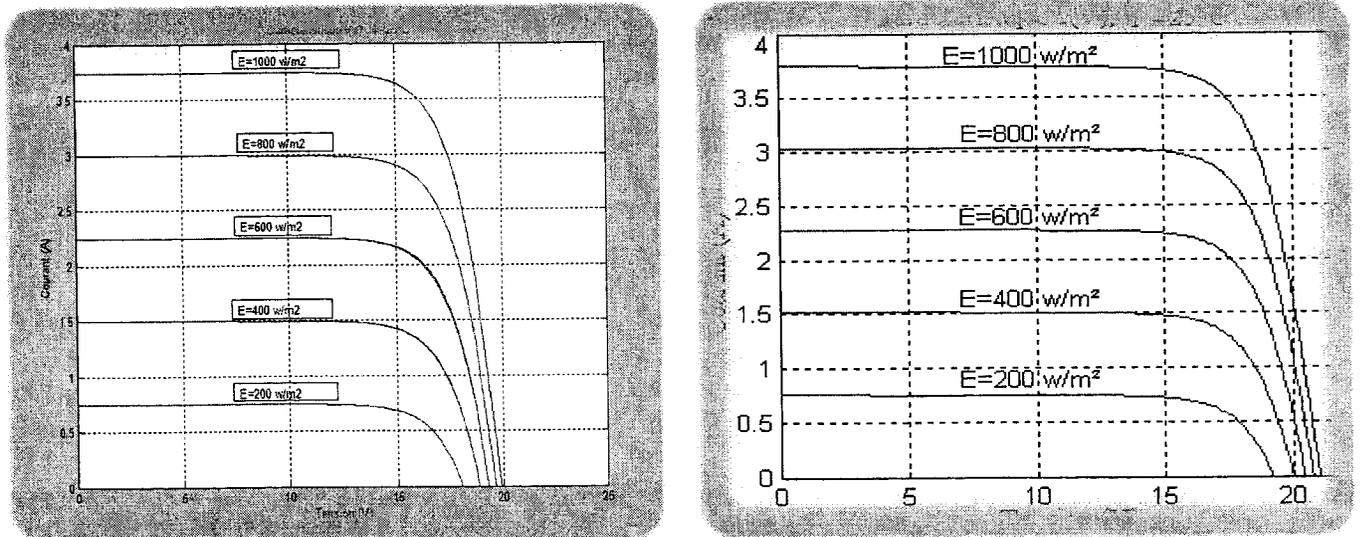


Figure. I.9 a Caractéristique courant-tension sur influence de l'éclairement sur le module

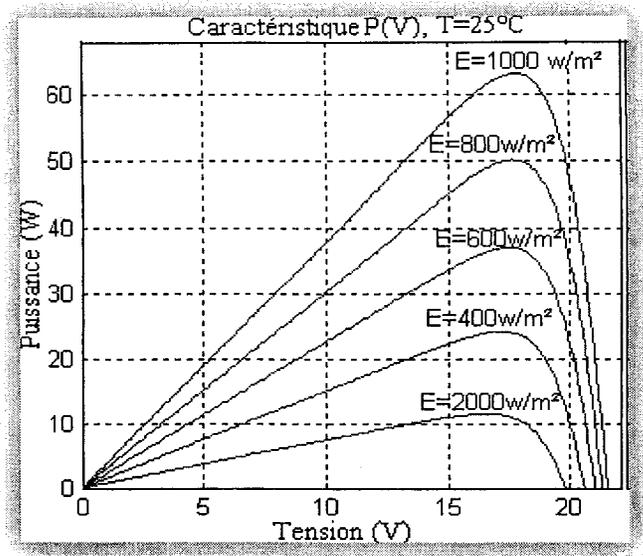
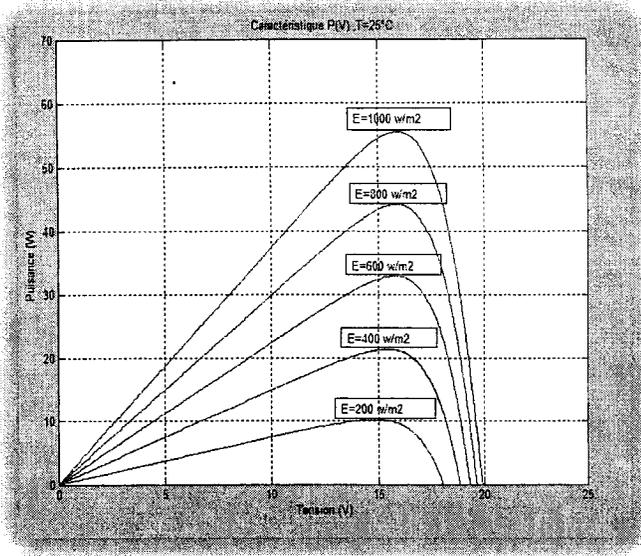


Figure. I.9 b Caractéristique puissance-tension Influence de l'éclairement sur le module
1.7.2 Influence de la température

La température est un paramètre très important dans le fonctionnement des cellules photovoltaïques parce que les propriétés électriques d'un semi conducteur sont très sensibles à la température. [7]

La figure (I.10 a et b) représente la caractéristique courant-tension et puissance-tension d'un module (PV) solaire en fonction de la température, à un éclairement et constante.

On remarque que L'augmentation de la température entraîne une diminution de la tension de circuit ouvert, ainsi qu'une diminution de la puissance maximale. [9],[12]

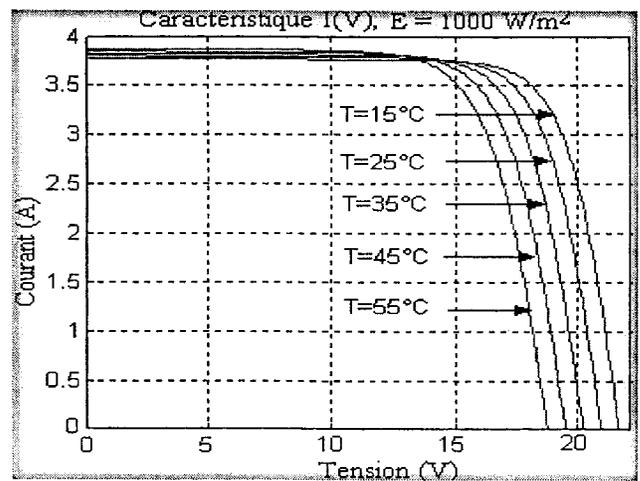
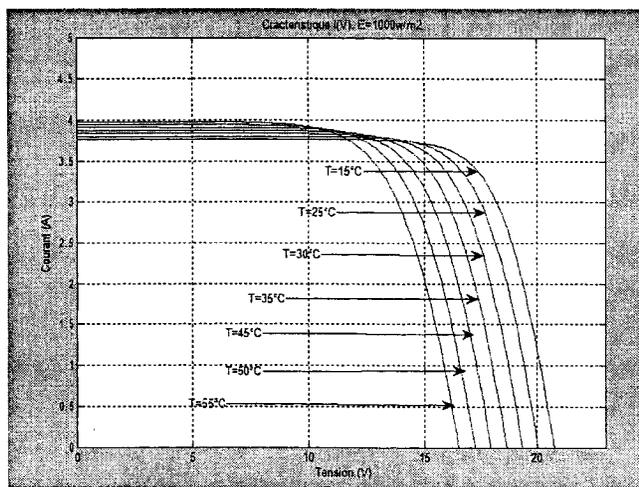


Figure. I.10 a: Caractéristique courant-tension sur influence de la température sur le module

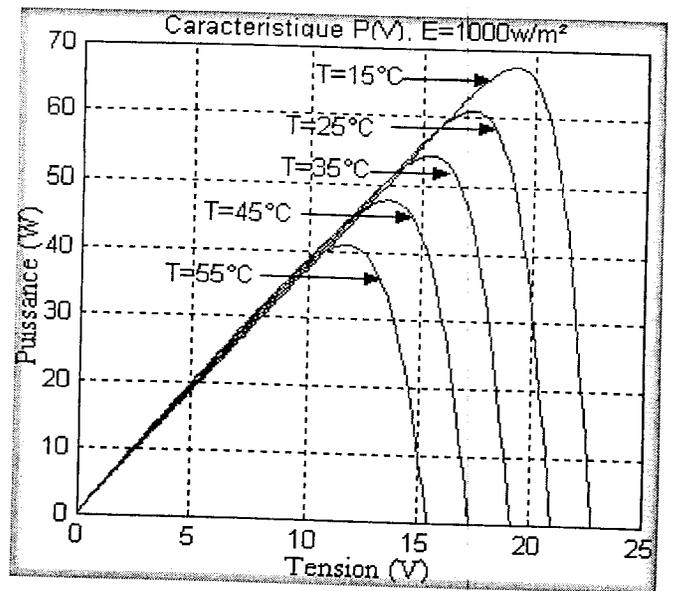
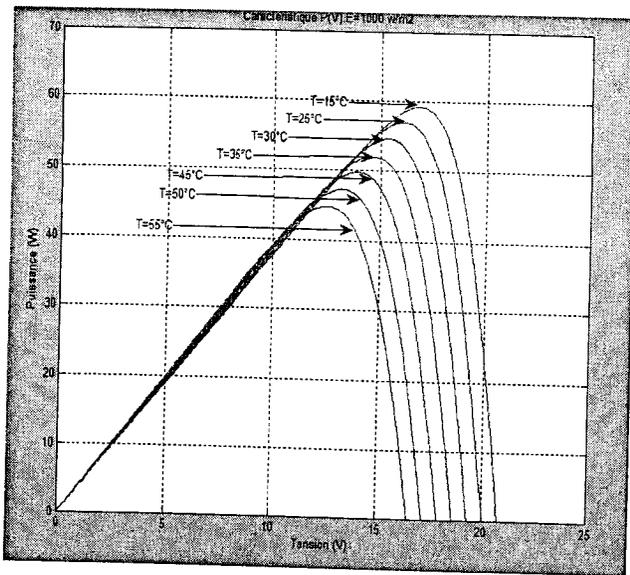


Figure. I.10 b: caractéristique puissance-tension sur influence de la température sur le module

I.8 Les modules photovoltaïques

Les modules photovoltaïques sont des convertisseurs d'énergie lumineuse en électricité, donc par définition le module photovoltaïque est un groupement de cellules connecté entre elles en série pour générer une puissance électrique exploitable lors de son exposition à la lumière.

Ce module est protégé en face avant par une plaque de verre et en face arrière par un autre matériau (verre ou résine) et installé sur un cadre en aluminium anodisé.[7]

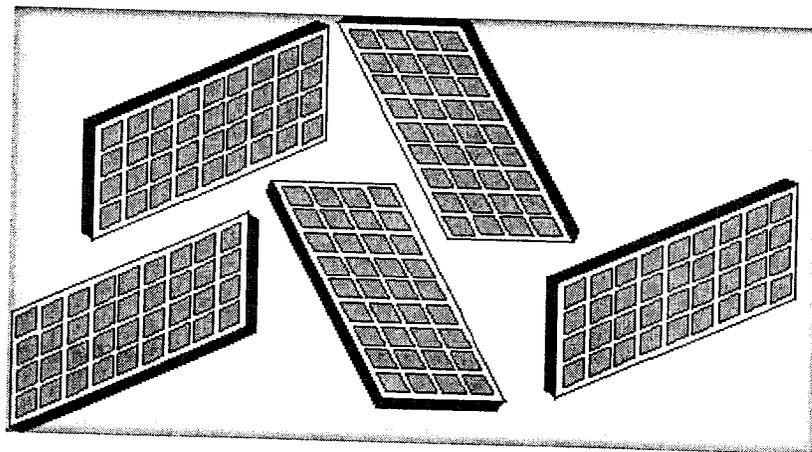


Figure 1.11 : Modules photovoltaïques

Les trois types d'association des modules solaires sont:

I.8.1 Association série

L'association en série des photopiles délivre une tension égale à la somme des tensions individuelles et un courant égal à celui d'une seule cellule. [13]

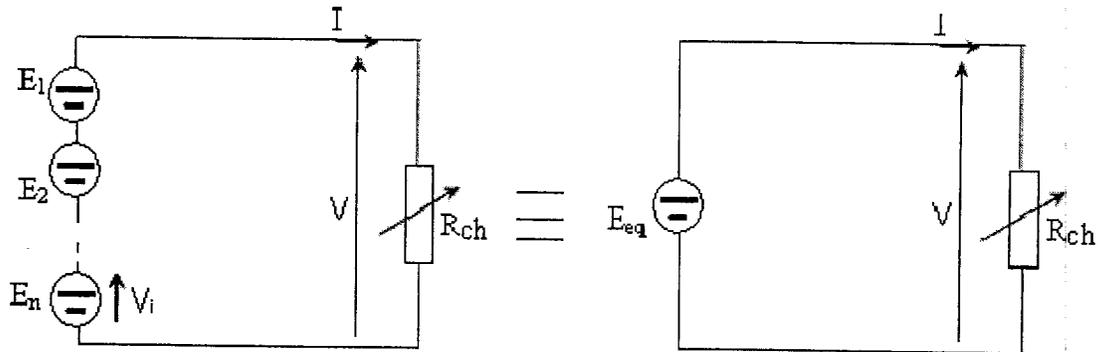


Figure. I.12 Association de n modules solaires en série

La caractéristique d'un groupement de ns modules solaires en série est représentée par la figure suivante :

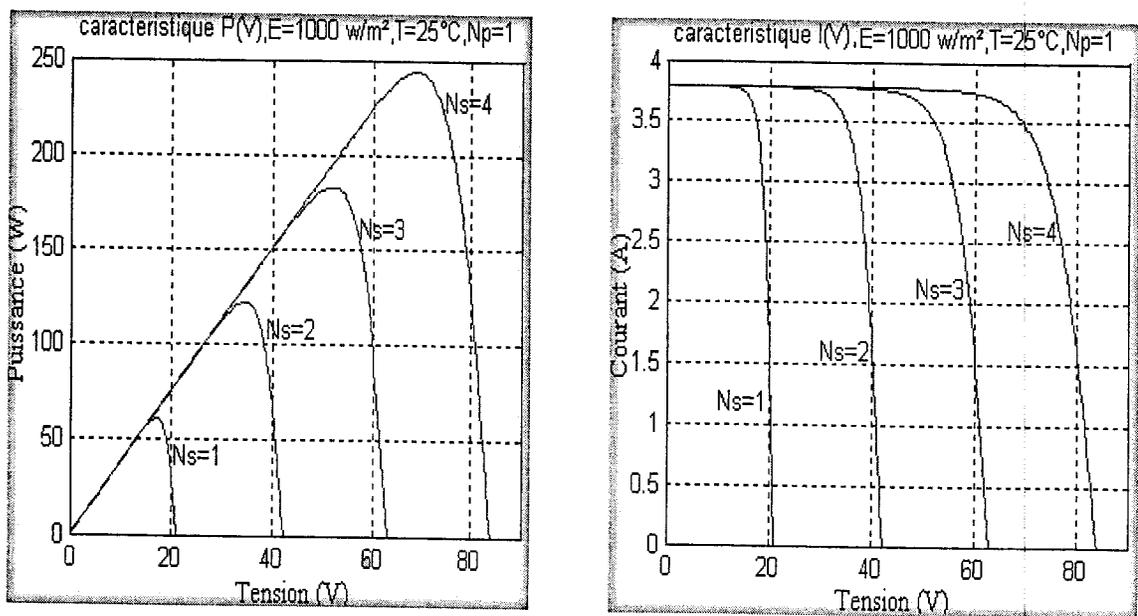


Figure. I.13 Caractéristique de nombre des modules en série

I.8.2 Association Parallèle

L'association en parallèle des photopiles délivre un courant égal à la somme des courants individuels et une tension égale à celui d'une seule cellule. [13]

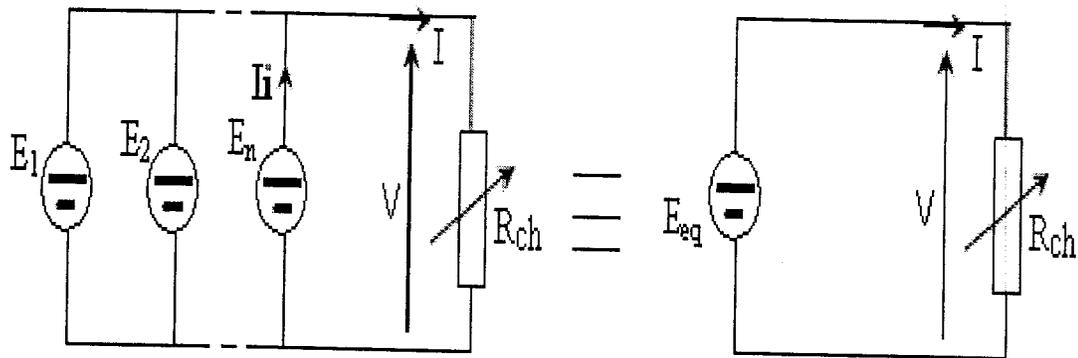


Figure. I.14 Association de N_p modules solaires en parallèle.

La caractéristique d'un groupement de N_p modules solaires en parallèle est représentée par la figure suivante :

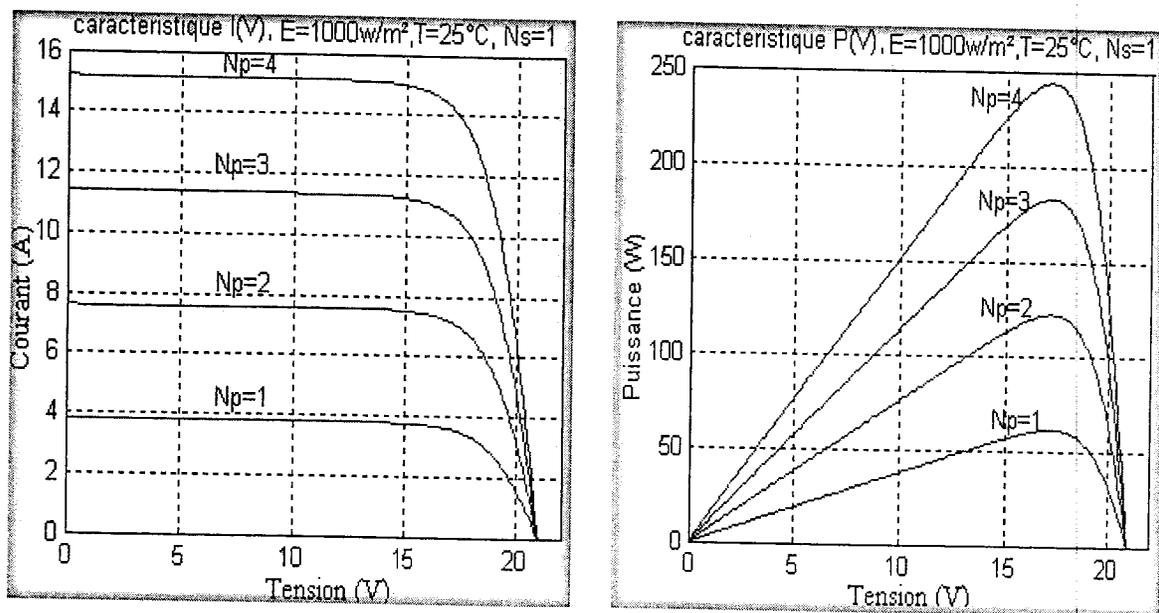


Figure. I.15 Caractéristique de nombre des modules en parallèles

1.8.3 Association mixte (Série + Parallèle)

Pour avoir une satisfaction en courant et en tension, on est obligé d'utiliser un groupement mixte, c'est à dire Série-Parallèle. [13]

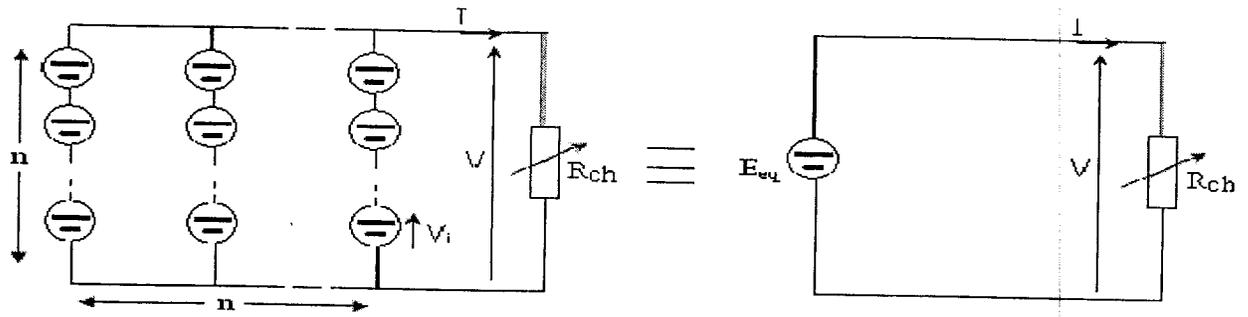


Figure .I.16 Association mixte $N_s N_p$ modules solaires.

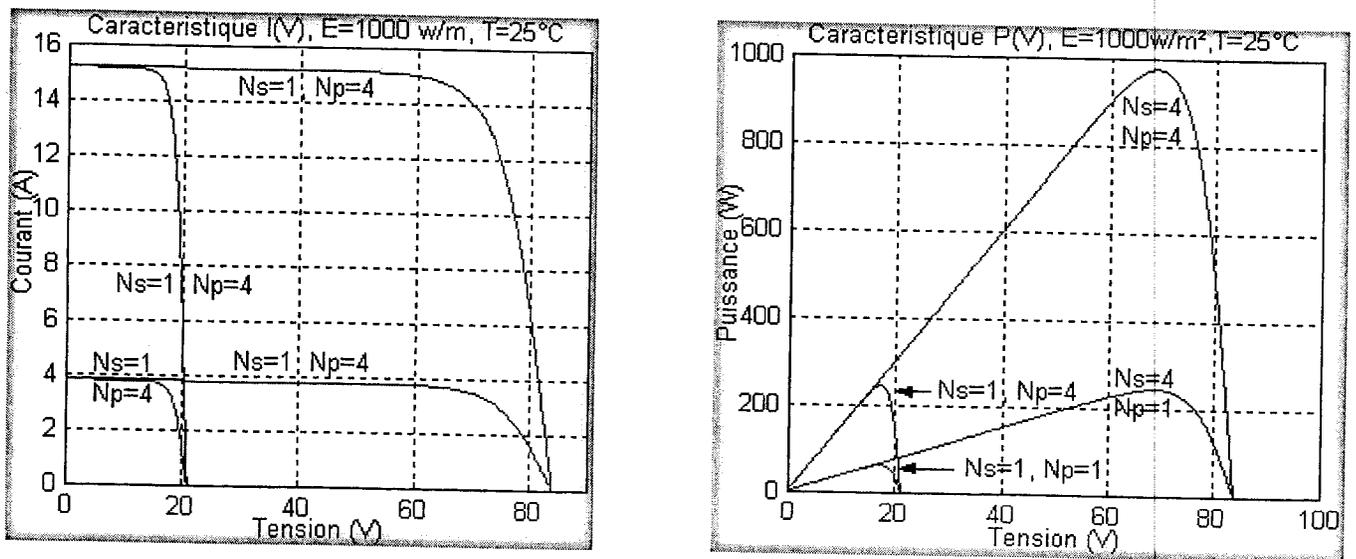


Figure .I.17 Caractéristique de nombre des modules en série et parallèle

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit la nécessité d'étudier la caractéristique du modèle de la cellule photovoltaïque. Nous avons présenté les différentes zones de fonctionnement, l'influence des différents paramètres climatiques et autres sur les caractéristiques $I(V)$, $P(V)$. Ainsi la synthèse d'assemblage des panneaux peut être soit en série, parallèle ou mixte.

Chapitre II

Généralités sur les systèmes éoliens

II.1 Introduction

L'humanité utilise le vent de puis la nuit des temps (bateau à voile, moulin à vents...). C'est certainement la forme d'énergie renouvelable qui connaît le plus fort développement les éoliennes ayant fait de gros progrès depuis une dizaine d'années (plus 55% en productivité, moins 50% en niveau de bruit).

II.2 Définition de l'énergie éolienne

Une éolienne est une machine qui transforme l'énergie cinétique du vent (déplacement d'une masse d'air) en énergie mécanique ou électrique.

Cette énergie offre deux grands avantages, puisqu'elle est totalement propre et renouvelable. Lors de son exploitation, elle n'entraîne aucun rejet (pas d'effet de serre ou de pluies acides) et aucun déchet. Mais le principal inconvénient de cette source d'énergie renouvelable est son manque de flexibilité et son inconstance.[16]

II.3 Potentiel éolien en Algérie

En ce qui concerne l'Algérie, la ressource éolienne varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement du à une topographie et climat très diversifié .En effet, notre vaste pays se subdivise en deux grands zones géographiques distinctes, le nord méditerranéen est caractérisé par un littoral de 1200Km et un relief montagneux, Le sud algérien est caractérisé par des vitesses plus élevées que le nord, plus particulièrement le sud ouest avec des vitesses supérieures à 4m/s.[18]

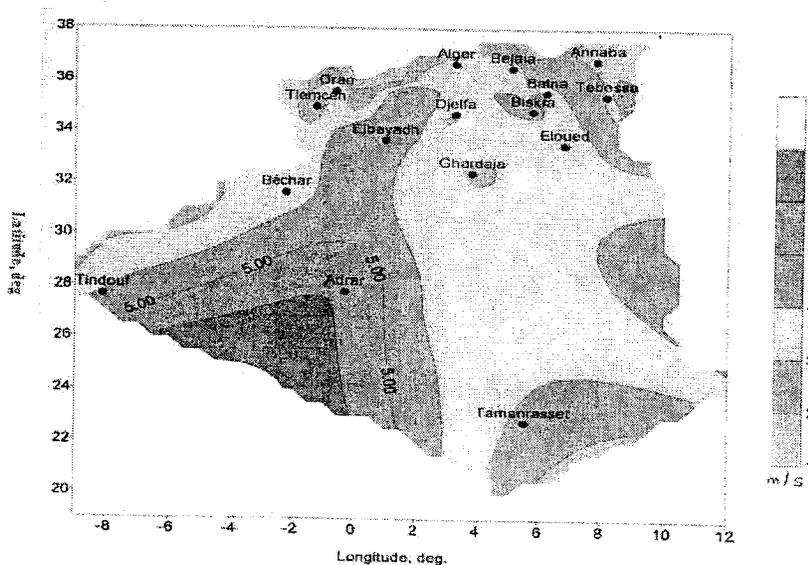


Figure II.1. Carte préliminaire des vents en Algérie.

II.4 Descriptif d'une éolienne

Une éolienne permet de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. L'hélice d'une éolienne entre en rotation par la force du vent et permet ainsi la production d'énergie mécanique ou électrique.

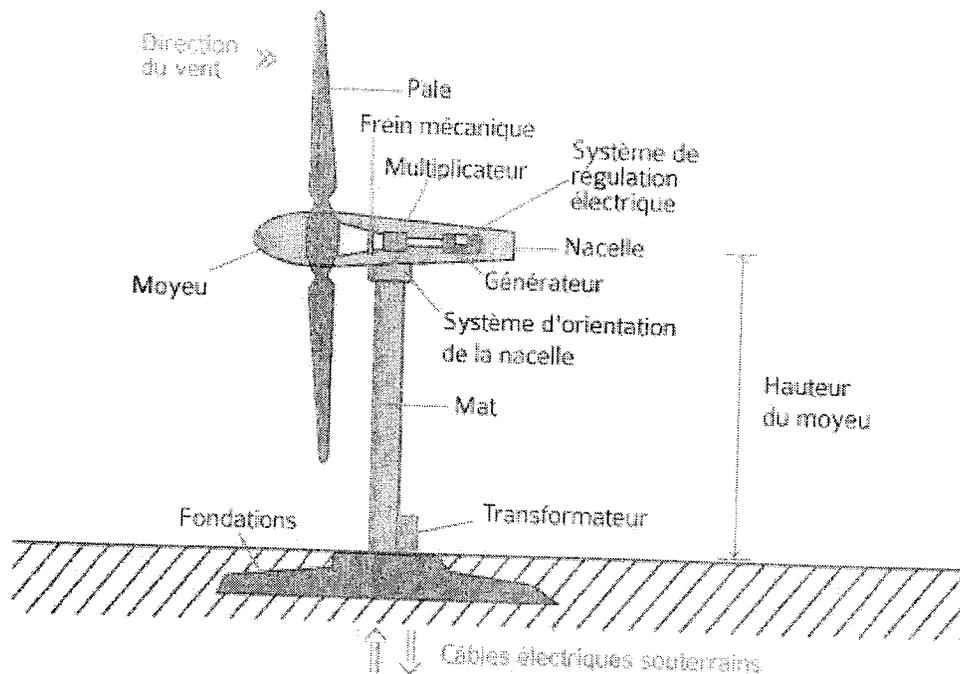


Figure II.2 : Schéma d'une éolienne de type aérogénérateur

Pour convertir l'énergie éolienne en énergie électrique le générateur va utiliser le phénomène d'induction. En effet ce dernier est composé de deux parties, une partie mobile le rotor et une partie fixe, le stator, permettant de créer un champ magnétique et de générer un courant électrique.[17]

II.5 Principaux composants d'une éolienne

Il existe plusieurs configurations possibles d'aérogénérateurs qui peuvent avoir des différences importantes. Néanmoins, une éolienne "classique" est généralement constituée de:

- **Le mât**, généralement en métal, supporte l'ensemble des équipements permettant de produire l'électricité (nacelle + rotor). Il est fixé sur une fondation implantée dans le sol, une lourde semelle en béton qui assure l'ancrage et la stabilité de l'éolienne.[19]

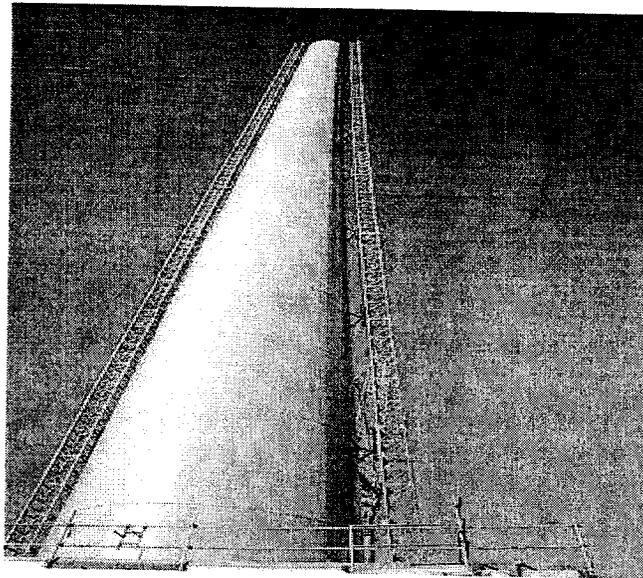


Figure II.3 : Tour de l'éolienne.

La tour doit être suffisamment solide pour supporter non seulement la nacelle et le rotor, mais aussi les charges puissantes provoquées par le vent : d'une part la puissance exercée par le vent directement sur la tour, d'autre part la puissance transmise par le rotor.

- **un rotor**, composé de plusieurs pales (en général 3) et du nez de l'éolienne. Les pales sont aujourd'hui faites de matériaux composites à la fois légers et assurant une rigidité et une résistance suffisantes : polyester renforcé de fibre de verre et/ou fibre de carbone. Leur longueur atteinte actuellement entre 30 et 55 mètres, soit un diamètre du rotor compris entre 60 et 110 mètres. La puissance d'une éolienne est proportionnelle à la surface balayée par ses pales (un cercle), donc au carré de son diamètre rotor.[19]

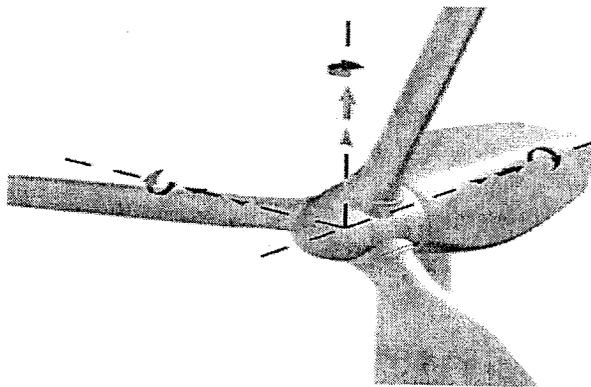


Figure II.4: Rotor d'une éolienne.

Le rotor est relié à la nacelle par le moyeu, Elle transforme l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

- **une nacelle** montée au sommet du mât et abritant les composants mécaniques et pneumatiques et certains composants électriques et électroniques nécessaire au fonctionnement de la machine. Le transport de l'électricité produite dans la nacelle jusqu'au sol est assuré par des câbles électriques descendant à l'intérieur du mât de l'éolienne.[19]

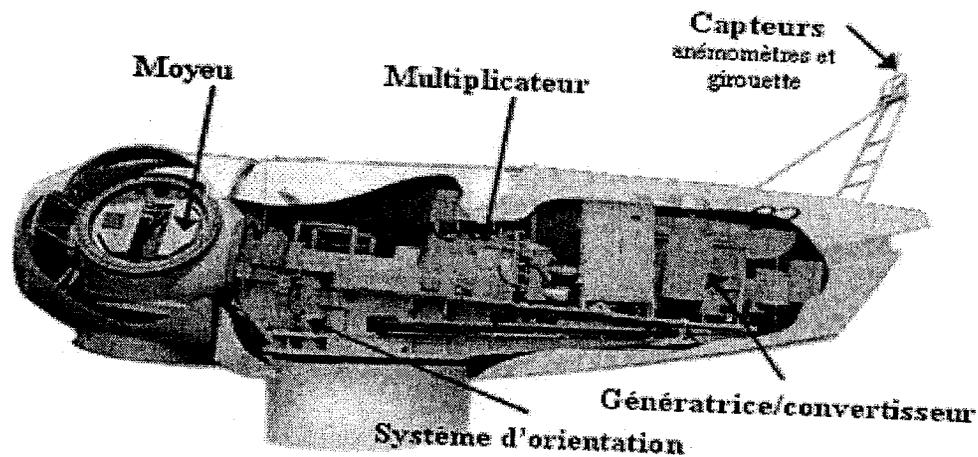


Figure II.5 : Constitution d'une nacelle

Les différents composants d'une nacelle :

- Le multiplicateur de vitesse : il sert à élever la vitesse de rotation entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire qui entraîne la génératrice électrique.
- L'arbre secondaire comporte généralement un frein mécanique qui permet d'immobiliser le rotor au cours des opérations de maintenance et d'éviter l'emballement de la machine.
- La génératrice : c'est elle qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique.
- Un contrôleur électronique chargé de surveiller le fonctionnement de l'éolienne. Il s'agit en fait d'un ordinateur qui peut gérer le démarrage de la machine.
- Divers dispositifs de refroidissement (génératrice, multiplicateur) par ventilateurs, radiateurs d'eau ou d'huile.[19]

II.6 le principe de fonctionnement d'une éolienne

Les éoliennes permettent de convertir l'énergie du vent en énergie électrique. Cette conversion se fait en deux étapes:

- ❖ Au niveau de la turbine (rotor), qui extrait une partie de l'énergie cinétique du vent disponible pour la convertir en énergie mécanique, en utilisant des profils aérodynamiques. Le flux d'air crée autour du profil une poussée qui entraîne le rotor et une traînée qui constitue une force parasite.
- ❖ Au niveau de la génératrice, qui reçoit l'énergie mécanique et la convertit en énergie électrique, transmise ensuite au réseau électrique.[20]

II.7 Les différents types d'éoliennes

Les éoliennes se divisent en deux grandes familles : celles à axe vertical et celles à axe horizontal.

II.7.1 Les éoliennes à axe horizontal

Ce sont les machines les plus répandues actuellement du fait de :

- Leur rendement est supérieur à celui de toutes les autres machines. Elles sont appelées éoliennes à axe horizontal car l'axe de rotation du rotor est horizontal, parallèle à la direction de vent. Elles comportent généralement des hélices à deux ou trois pales, ou des hélices multipales pour le pompage de l'eau.
- Elles ont un rendement élevé.
- Les éoliennes à axe horizontal (ou à hélice) sont de conception simple.[21]

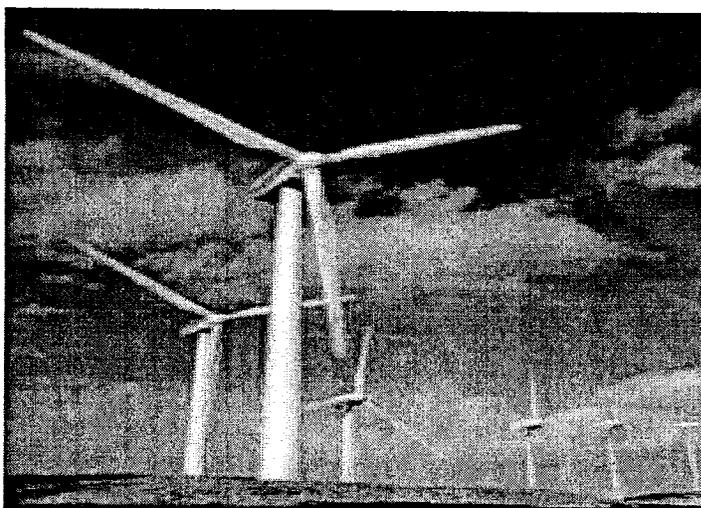


Figure II.6 : Les éoliennes à axe horizontal

II.7.2 Les éoliennes à axe vertical

Pour ces capteurs, l'axe de rotation est vertical et perpendiculaire à la direction du vent, et sont les premières structures développées pour produire de l'électricité. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol, donc elles sont facilement accessibles. Elles sont adaptées à tous les vents et ne nécessitent pas de dispositif d'orientation.[21]

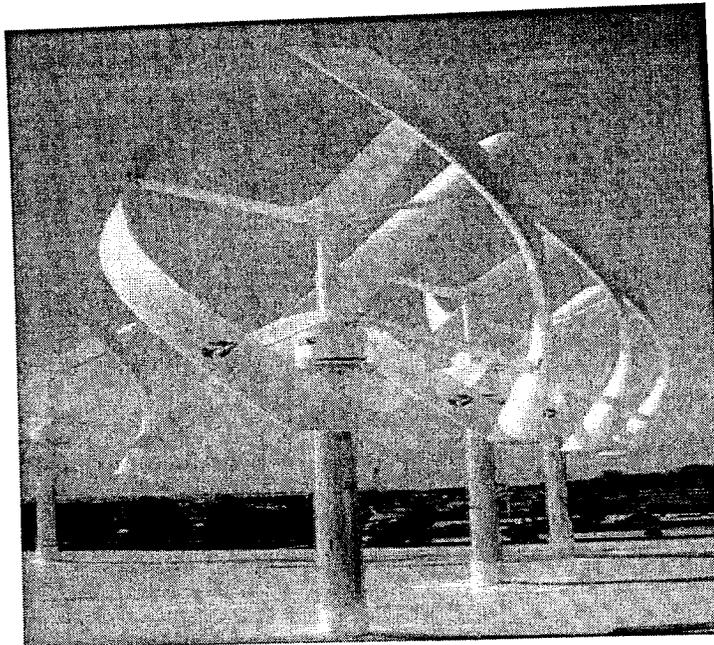


Figure II.7 : Les éoliennes à axe vertical

II.8.Machine asynchrone a double alimentation :

Il existe sur le marché plusieurs types de machines électriques qui peuvent jouer le rôle de génératrice dans un système aérogénérateur qui demande des caractéristiques très spécifiques.

On décrit dans cette étude, les principales caractéristiques technologiques et concepts liés aux aérogénérateurs.

La machine asynchrone à rotor bobiné à double alimentation présente un atout considérable. Son principe est issu de celui de la cascade hyposynchrone : le stator (ou le rotor) est connecté à tension et fréquence fixes au réseau alors que le rotor (ou le stator) est relié au réseau à travers un convertisseur de fréquence (plus ou moins élaboré). Si la variation de vitesse requise reste réduite autour de la vitesse de

synchronisme, le dimensionnement du convertisseur de fréquence (électronique de puissance) peut être réduit.

Ces machines sont un peu plus complexes que des machines asynchrones à cage avec lesquelles elles ont en commun de nécessiter un multiplicateur de vitesse. Leur robustesse est légèrement diminuée par la présence de système à bagues et balais, mais le bénéfice du fonctionnement à vitesse variable est un avantage suffisant pour que l'

II .8.1.Modélisation de la Machine Asynchrone à Double Alimentation

Dans Le modèle de la MADA: les enroulements rotoriques ne sont plus en plus en court-circuit et sont accessibles via des collecteurs, par conséquent les tensions diphasées rotoriques du modèle ne sont plus nulles. Nous allons donc nous contenter de rappeler le modèle diphasé de la machine asynchrone dans le référentiel d - q lié au champ tournant que nous comptons utiliser par la suite pour la commande de la MADA :[20]

Equations électriques :

$$\begin{cases} V_{ds} = r_s I_{ds} + \frac{d}{dt} \varphi_{ds} - \omega_s \varphi_{qs} \\ V_{qs} = r_s I_{qs} + \frac{d}{dt} \varphi_{qs} + \omega_s \varphi_{ds} \\ V_{dr} = r_r I_{dr} + \frac{d}{dt} \varphi_{dr} - (\omega_s - \omega_r) \varphi_{qr} \\ V_{qr} = r_r I_{qr} + \frac{d}{dt} \varphi_{qr} + (\omega_s - \omega_r) \varphi_{dr} \end{cases} \dots\dots\dots II.1$$

Equations des flux :

$$\begin{cases} \varphi_{dq_s} = L_s I_{dq_s} + M_{sr} I_{dq_r} \\ \varphi_{dq_r} = L_r I_{dq_r} + M_{sr} I_{dq_s} \end{cases} \dots\dots\dots II.2$$

L_s : L'inductance au rotor

L_r : L'inductance au rotor

M_{sr} : l'inductance mutuelle entre phases statoriques et rotoriques

Le couple mécanique est donné par la relation suivante :

$$\Gamma_{mec} = \frac{3}{2} p (\varphi_{ds} I_{qs} - \varphi_{qs} I_{ds}) = \frac{3}{2} p (\varphi_{qr} I_{dr} - \varphi_{dr} I_{qr}) = \Gamma_r + J \frac{d\Omega}{dt} + f_r \Omega \dots\dots\dots II.3$$

Ω : Vitesse de rotation de la machine ;

J : moment d'inertie de l'ensemble machine et turbine éolienne ;

f_r : coefficient de frottement.

p : nombre de paires de pôles.

En explicitant les flux statoriques et rotoriques et en posant $M = \frac{3}{2} M_{sr}$: l'inductance magnétisante, on vérifie que :

$$\Gamma_{mec} = \Gamma_{em} = p \frac{M}{L_r} (\varphi_{dr} I_{qs} - \varphi_{qr} I_{ds}) = p \frac{M}{L_s} (\varphi_{ds} I_{qr} - \varphi_{qs} I_{dr}) \dots\dots\dots \text{II.4}$$

II.8 Modélisation de la turbine éolienne

Les grandeurs mécaniques qui relient la turbine éolienne et le générateur électrique sont le couple développé par la turbine et la vitesse sur l'arbre. Il faut noter que ce couple est dépendant de la vitesse de rotation. La modélisation de la turbine consiste donc à modéliser le couple développé par les pales de la turbine.

La puissance maximale disponible d'un site pour une vitesse du vent donnée est proportionnelle au produit de la surface balayée par les pales et le cube de la vitesse du vent. [23]

Elle est donnée par la relation suivante:[23]

$$P_{vent} = \frac{1}{2} S_{eolienne} \cdot \rho \cdot v^3 \dots\dots\dots \text{II.5}$$

L'éolienne ne peut récupérer qu'une partie de la puissance du vent (Pvent). La puissance du vent et la puissance extraite par l'éolienne $P_{éolienne}$ peuvent s'exprimer en fonction du coefficient de puissance C_p :[23]

$$P_{eolienne} = C_p \cdot P_{vent} \dots\dots\dots \text{II.6}$$

Le coefficient de puissance C_p représente le rendement aérodynamique de la turbine éolienne. Il dépend de la caractéristique de la turbine. Connaissant la vitesse de la turbine, le couple aérodynamique est donc directement déterminé par :[23]

$$C_{aer} = C_p \cdot \frac{\rho \cdot s \cdot v^3}{2} \cdot \frac{1}{\Omega_{turbine}} \dots\dots\dots \text{II.7}$$

Modèle du multiplicateur de vitesse

Le multiplicateur adapte la vitesse (lente) de la turbine à la vitesse de la génératrice .
Ce multiplicateur est modélisé mathématiquement par les équations suivantes :[24]

$$C_g = \frac{C_{aer}}{G} \dots\dots\dots II.8$$

$$\Omega_{turbune} = \frac{\Omega_{mec}}{G} \dots\dots\dots II.9$$

II.9.Applications des éoliennes :

Une éolienne est une machine capable de récupérer cinétique présente dans le vent. Cette énergie sera transformée en énergie mécanique de rotation en tenant compte du rendement de la machine. Cette dernière sera exploitée de deux manières :

- ❖ Directement pour entrainer une pompe.
- ❖ Pour entrainer une génératrice électrique.

Dans le cas de production d'énergie électrique deux cas d'énergie se présentent :

- ❖ stockée dans des accumulateurs.
- ❖ Utilisé directe sur réseau de distribution.

L'énergie éolienne sert d'un coté de complément aux moyens traditionnels de production, d'un autre coté à la production pour alimenter les sites non raccordés. [19]

II.10. Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne

La croissance de l'énergie éolienne est évidemment liée aux avantages de l'utilisation de ce type d'énergie. Cette source d'énergie a également des désavantages qu'il faut étudier, afin que ceux-ci ne deviennent pas un frein à son développement.

II.10.1 Les avantage[27]

➤ L'énergie éolienne

- Les éoliennes peuvent nuire à la migration des oiseaux en étant un obstacle mortel. En effet, les pales en rotation sont difficilement visibles par mauvais temps ou la nuit. Les oiseaux peuvent alors entrer en collision avec celles-ci. Plus le parc éolien est dense plus ce risque est grand. Des lumières sur les pales peuvent réduire ce danger. Cependant, aucune étude sérieuse ne semble actuellement avoir démontré la réalité du danger pour les oiseaux.
- Les systèmes éoliens coûtent généralement plus cher à l'achat que les systèmes utilisant des sources d'énergie classiques, comme les groupes électrogènes à essence, mais à long terme, ils constituent une source d'énergie économique et ils demandent peu d'entretien.

II.11. Conclusion

Une brève description sur les systèmes éoliennes a été présentée dans ce chapitre. Quelles que soient les notions principales au sujet de la technologie éolienne ont été données comme : les différents éléments constitutifs d'une éolienne le principe de fonctionnement ; les avantages et les inconvénients aussi nous avons présenté un modèle de turbine, son principe de fonctionnement et les équations de base de la machine asynchrone à double alimentation .

Chapitre III

Les convertisseurs statiques

III.1.Introduction

L'avènement de l'électronique de puissance a eu un impact majeur sur le monde industriel au cours des dernières décennies. Cet événement s'est produit par l'arrivée sur le marché des composants d'électronique de puissance tels les thyristors, les triacs, les GTO, les IGBT ou les transistors de forte puissance. Ces composantes ont permis le développement de convertisseurs statiques de grande puissance qui permettent la conversion de la puissance électrique d'une forme quelconque à une autre forme. Ces convertisseurs apportent un progrès considérable au niveau des procédés industriels.

L'utilisation de ces convertisseurs statiques dans les installations de conversion d'énergie électrique participe à détériorer la "qualité" du courant et de la tension des réseaux de distribution.

L'objectif principal de ce travail est d'étudier le comportement des convertisseurs DC/DC et les onduleurs DC/AC pour un Système hybride photovoltaïque –éolien.

III .2.Convertisseur DC-DC (hacheur)

III.2.1. Hacheurs survolteurs (Boost)

III.2.1.1 Principe de fonctionnement du convertisseur « boost »

Dans ce hacheur la tension moyenne de sortie est supérieure à la tension d'entrée, d'ou son nom. Cette structure demande un interrupteur commandé à l'amorçage et au blocage (bipolaire, MOSFET, IGBT...) et une diode (amorçage et blocage spontanés).

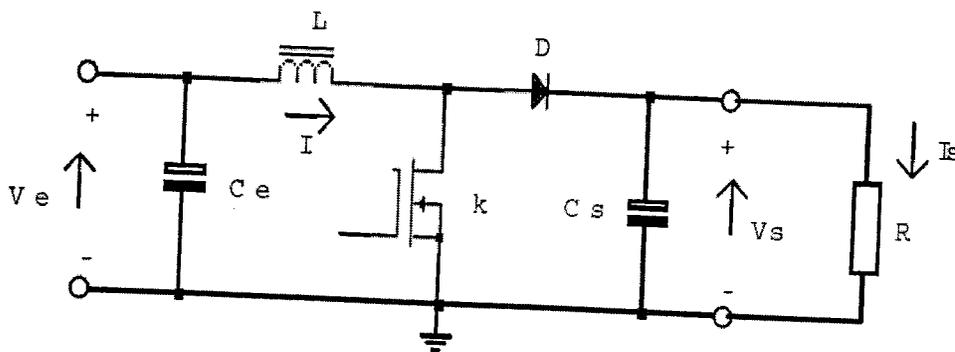


Figure.III.1 Convertisseur Boost

L'inductance se charge d'une énergie magnétique qui se transforme en énergie électrique. La capacité C_s permet de limiter l'ondulation de tension en sortie.

III.2.1.2 Etude théorique en conduction continue

III.2.1.2.1 Phase 1 ($0 < t < \alpha T$)

Durant l'intervalle $[0, \alpha T]$ l'interrupteur commandé k est fermé. Seule l'inductance L se trouve connectée à la source; elle emmagasine alors une certaine énergie sous forme de courant. La diode D est bloquée.

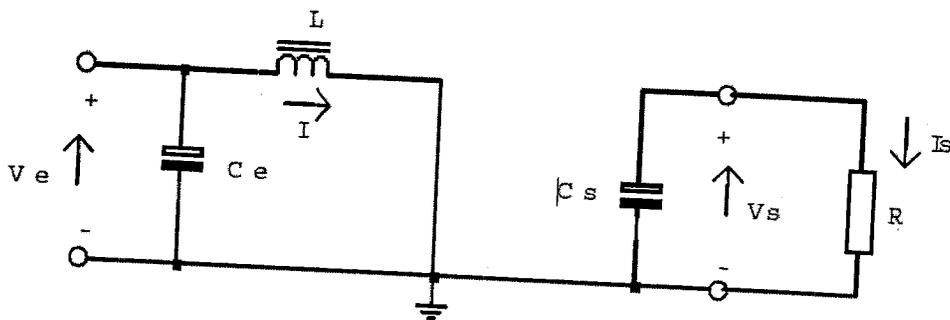


Fig. III.2 : Convertisseur Boost où l'interrupteur commandé k est fermé

On a:

$$V_e = L \frac{di}{dt} \quad \text{d'où} \quad i(t) = I_m + \frac{V_e}{L} t$$

A l'instant $t = \alpha T$ le courant dans l'inductance atteint la valeur crête :

$$I_M = I_m + \frac{V_e}{L} \alpha T \quad \dots \dots \dots (III.1)$$

I_M : Courant maximal

I_m : courant minimal

III.2.1.2.2 Phase 2 ($\alpha T < t < T$)

Pendant l'intervalle $[\alpha T, T]$, l'interrupteur est bloqué. L'énergie emmagasinée sera rendue à la charge via la diode D . La tension visible en sortie sera $V_s = V_e - V_L$ dépassant de loin la valeur V_e .

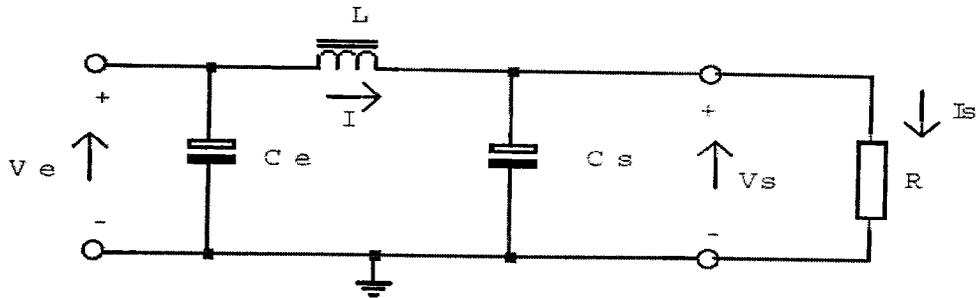


Figure III.3 : Convertisseur Boost où l'interrupteur commandé k est ouvert

$$V_e - V_s = L \frac{di}{dt} \quad \text{ou} \quad V_s - V_e = -L \frac{di}{dt}$$

$$i(t) = I_M - \frac{V_s - V_e}{L} (t - \alpha T)$$

A l'instant $t = T$ le courant dans l'inductance atteint sa valeur minimale :

$$I_m = I_M - \frac{V_s - V_e}{L} (1 - \alpha)T \quad \dots\dots\dots (III.2)$$

Soit ΔI l'ondulation du courant dans l'inductance : $\Delta I = I_M - I_m$

De l'équation (1) on tire:

$$\Delta I = I_M - I_m = \frac{V_e}{L} \alpha T \quad \dots\dots\dots (III.3)$$

Et de l'équation (2):

$$\Delta I = I_M - I_m = \frac{V_s - V_e}{L} (1 - \alpha)T \quad \dots\dots\dots (III.4)$$

En combinant ces deux relations, on peut établir l'expression de la tension de sortie:

$$V_s = \frac{V_e}{(1-\alpha)} \quad \dots\dots\dots (III.5)$$

α le rapport cyclique

III.2.1.3 Formes d'ondes

Pour ces tracés, les grandeurs E, Vs et Is sont supposées constantes. En conduction continue, le courant dans la bobine ne s'annule jamais

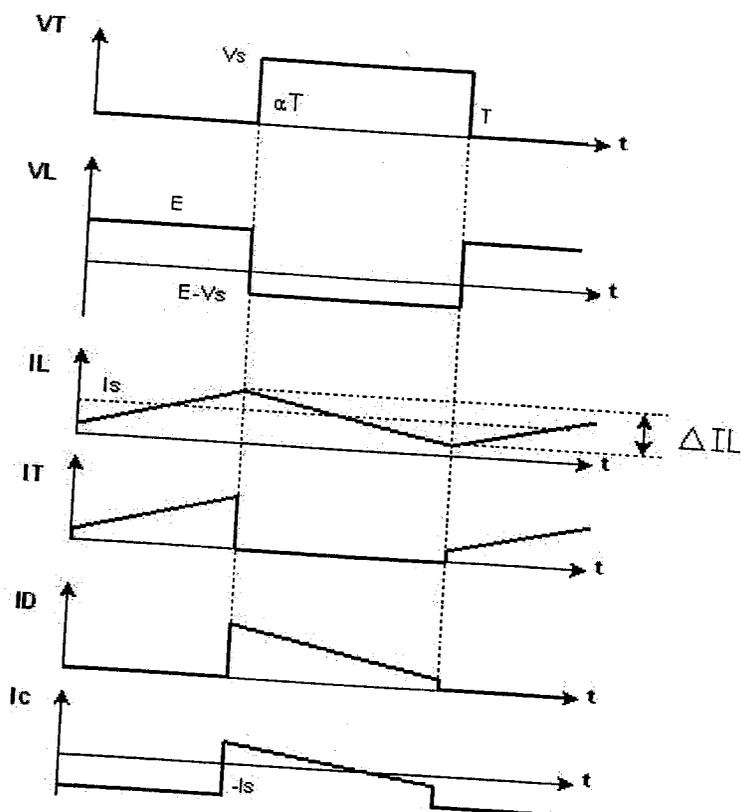


Figure. III.5 : Formes d'ondes

III.2.1.4 Tension moyenne et ondulation

❖ valeur moyenne de la tension de sortie

On sait que la tension moyenne aux bornes de l'inductance est nulle donc on a, en conduction continue

$$V_e \cdot \alpha \cdot T = (-V_e + V_s) \cdot (1 - \alpha) \cdot T$$

Soit :

$$V_s = \frac{V_e}{1 - \alpha} \dots \dots \dots (III.6)$$

Or comme α est inférieur à 1, la tension moyenne de sortie est bien supérieure à la tension d'entrée.

❖ Relation entre le courant moyen de sortie est le courant moyen dans la diode.

$I_s = I_d$ car le courant moyen dans la capacité est nul.

Donc $I_s = (1-\alpha) \cdot I_L$ de plus connaissant la tension moyenne de sortie et la résistance de charge, on en déduit facilement I_s ce qui permet de connaître I_L .

❖ On Calcule de l'ondulation de courant crête à crête dans l'inductance L .

$$\Delta i_L = \frac{\alpha \cdot V_e}{L \cdot f} \dots \dots \dots (III.7)$$

❖ La tension de sortie prise aux bornes du condensateur varie linéairement selon une pente de I_s/C . On en déduit la valeur de l'ondulation de tension de sortie

$$\Delta V_s = \frac{\alpha \cdot T \cdot I_s}{C} = \frac{\alpha \cdot I_s}{f \cdot C} \dots \dots \dots (III.8)$$

III.2.1.5. Avantages et inconvénients du convertisseur « Boost »

Ce convertisseur a l'avantage d'une ondulation du courant d'entrée limitée par l'inductance L . il peut fonctionner même avec une tension d'entrée fiable, ce qui dans le cas d'une installation PV permet récupérer le peu d'énergie disponible lors des périodes à faible éclaircissement. Si la tension à vide du générateur PV devient supérieur à la tension de la charge, il n'est plus possible d'annuler le courant en bloquant le transistor, mais il reste la possibilité d'annuler le courant de sortie en rendant le transistor conducteur en permanence ($\alpha=1$), ce qui revient à court-circuiter le générateur PV[14].

Un court-circuit du transistor n'a pour effet que de court-circuiter le générateur PV, ce qui ne conduit pas à une situation dangereuse. Il faut par contre prévoir un circuit de protection contre le cas de court-circuit de la diode [14].

III.2.1.6. Simulation du convertisseur « Boost »

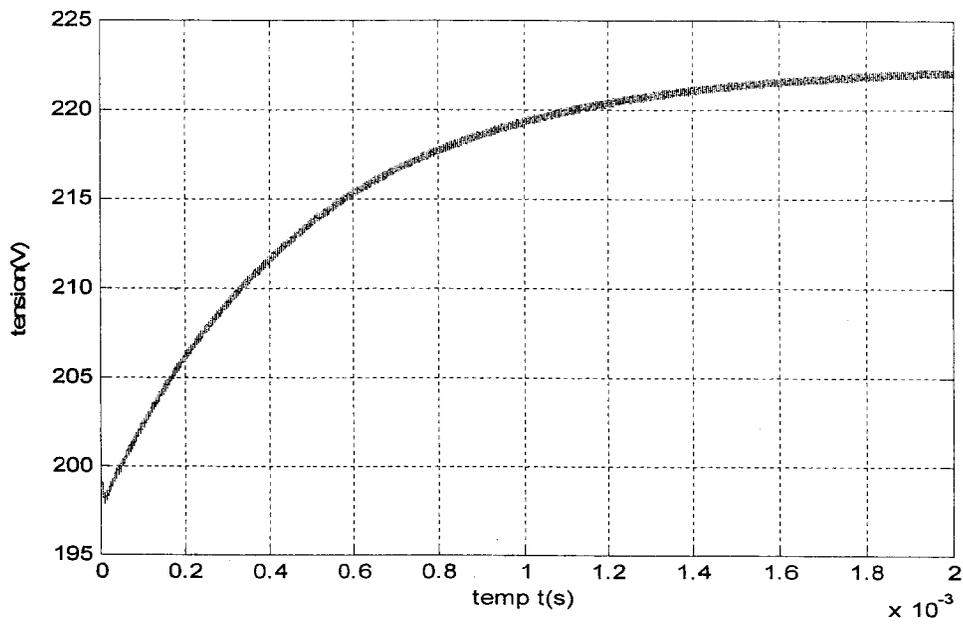


Figure. III.6 : tension en fonction du temps

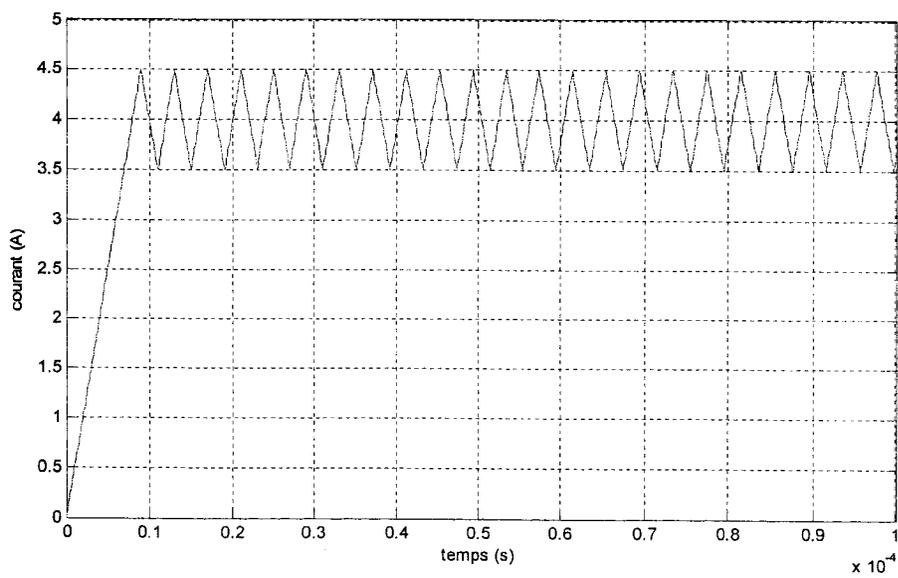


Figure. III.7: Courant en fonction du temps

III.3. Le convertisseur AC/DC (redresseur)

III.3.1 Définition d'un convertisseur AC/DC

Un redresseur (ou convertisseur alternatif - continu (AC-DC), en anglais rectifier) est un dispositif de l'électronique de puissance à commutation forcée destiné à produire des tensions ou des courants continus à partir d'une source alternative de tension ou de courant. Les redresseurs MLI dit redresseurs commandés à absorption sinusoïdale de courant sont finalement des onduleurs utilisés "à l'envers" (comme un redresseur à diode muni d'un filtre) mais en absorbant sur le dit réseau des courants sinusoïdaux, à facteur de puissance unitaire. Ils sont, comme nous l'avons déjà souligné, entièrement réversibles. La contrainte de commande sera donc d'imposer que Q (puissance réactive) et les harmoniques de courants absorbés par l'onduleur soient nuls].

L'objectif principal de ces convertisseurs c'est de corriger le facteur de puissance du côté alternatif.[31]

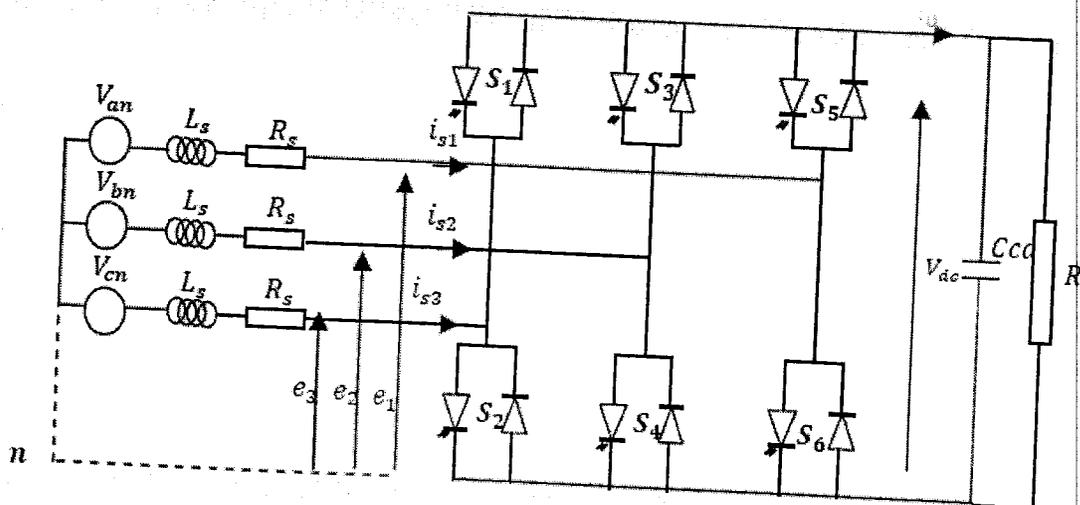


Figure.III. 8 : la structure de base d'un redresseur de tension triphasé

III.3.2.Redresseur à commande MLI

III.3.2.1.Définition

Dans le souci de fournir aux consommateurs une bonne qualité de l'énergie électrique, même dans les conditions de fonctionnement les plus perturbées, les redresseurs à à commande MLI sont proposés comme solution avancée de dépollution des réseaux électriques. En effet, les redresseurs à MLI peuvent s'adapter aux évolutions de la charge et du réseau électrique et ceci sans toucher aux installations du fournisseur d'énergie et du consommateur.[32]

III.3.2. 2.Structure générale du redresseur MLI

La technologie employée consiste à modifier la structure interne du redresseur en remplaçant les thyristors par des interrupteurs entièrement command ables à l'ouverture et à la fermeture : transistor MOSFET pour les moyennes et petites puissances, transistors IGBT ou thyristor GTO pour les fortes puissances, en anti parallèle avec des diodes. [32]

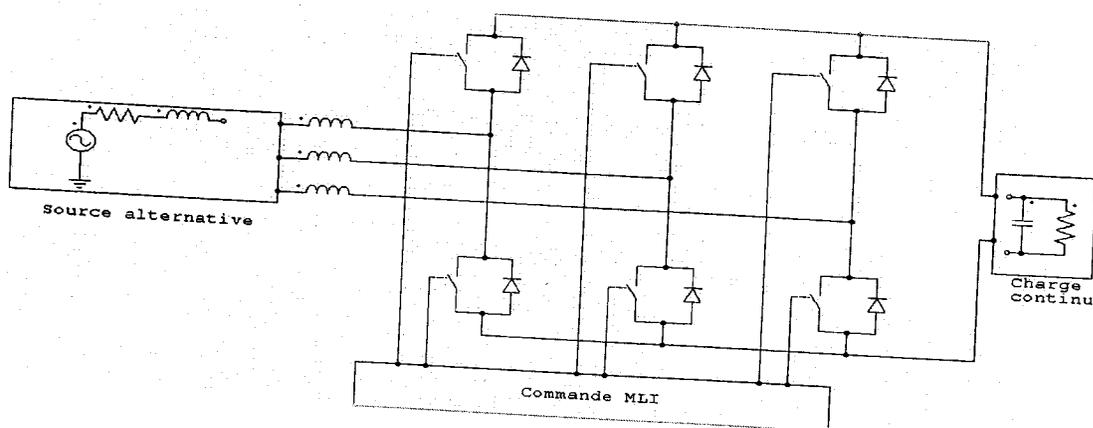


Figure III.9 :Le schéma de principe d'un redresseur MLI

III.3.2. 3. Principe de fonctionnement de redresseur

La réversibilité en courant de l'onduleur MLI autorise son fonctionnement en redresseur MLI. Il s'agit alors d'alimenter une charge (passive ou active) en continu à partir d'un réseau alternatif, le courant prélevé sur ce réseau étant sinusoïdal et, éventuellement, en phase avec la tension. On peut donc, avec un redresseur MLI,

obtenir un facteur de puissance très proche de l'unité. On peut aussi régler, par le contrôle, l'énergie réactive absorbée ou fournie. Dans la plupart des applications, la charge du redresseur est de type source de tension (exemples : charge résistive + condensateur de filtrage en parallèle, moteur à courant continu). La structure du convertisseur devra être de type onduleur de tension. Le transfert d'énergie entre le réseau alternatif et le convertisseur nécessite l'insertion d'une inductance, en série, pour transformer l'ensemble onduleur + charge en source de courant.

Dans le fonctionnement en redresseur MLI, le réseau alternatif impose la valeur de la tension à l'entrée du convertisseur (côté alternatif). La tension sur le bus continu est liée à la tension alternative et au coefficient de réglage de la MLI :[32]

$$V_{01_{ef}} = r \cdot \frac{U_c}{2\sqrt{2}} \dots\dots\dots III.9$$

$$U_c = \frac{2\sqrt{2}}{r} V_{01_{ef}} \dots\dots\dots III.9$$

V_{01} : fondamental de la tension alternative, à l'entrée de l'onduleur

U_c : tension sur le bus continu de l'onduleur

r : coefficient de réglage de la MLI ($0 < r < 1$).

Dans tous les cas, $U_c > V_{0ef}$: un redresseur MLI fonctionne en élévateur de tension.

$U_{créf}$: référence tension continue

I_{0a} : référence courant actif

La commande comporte 2 régulateurs en cascade.

- La boucle interne permet le contrôle du courant alternatif, en valeur instantanée. Pour imposer un courant sinusoïdal, en phase avec la tension, la phase de la référence courant (I_{0a}) est générée à partir de l'image de la tension alternative (V_{sin}), l'amplitude étant réglée par la sortie de la boucle externe.

- La boucle externe réalise la régulation de la tension du bus continu (U_c). Elle est nécessaire pour limiter U_c , à cause du caractère élévateur du montage. En outre, réguler U_c revient à régler la puissance fournie à la charge. Si l'on veut un réglage linéaire, il faut réguler U_c puisque la puissance moyenne côté continu est :

$$P_c = \frac{U_c^2}{R} \dots\dots\dots III.10$$

La référence courant (I_{oa}), fournie par un multiplieur, s'exprime par :

- ✦ L'amplitude est réglée par la sortie du régulateur tension pour adapter la puissance absorbée par l'onduleur à la puissance dissipée dans la charge.
- La limitation de V_{cu} fixe la valeur max du courant alternatif.

III.3.2.4. Redresseur MLI de courants

Un redresseur MLI de courants :

- ✦ Est alimenté par une source de courants sinusoïdaux.
- ✦ Débite sur un récepteur de tension continue.

Il a donc la structure d'un onduleur de tension comme le montre la figure. Pour que l'entrée du redresseur soit alimentée par une source de courant, on y ajoute une inductance supplémentaire (c'est souvent l'inductance de fuite volontaire accrue du transformateur d'ordinaire placé entre le réseau et le redresseur). Dans le fonctionnement en redresseur MLI de courants, le réseau alternatif impose la valeur de la tension à l'entrée du convertisseur : [32]

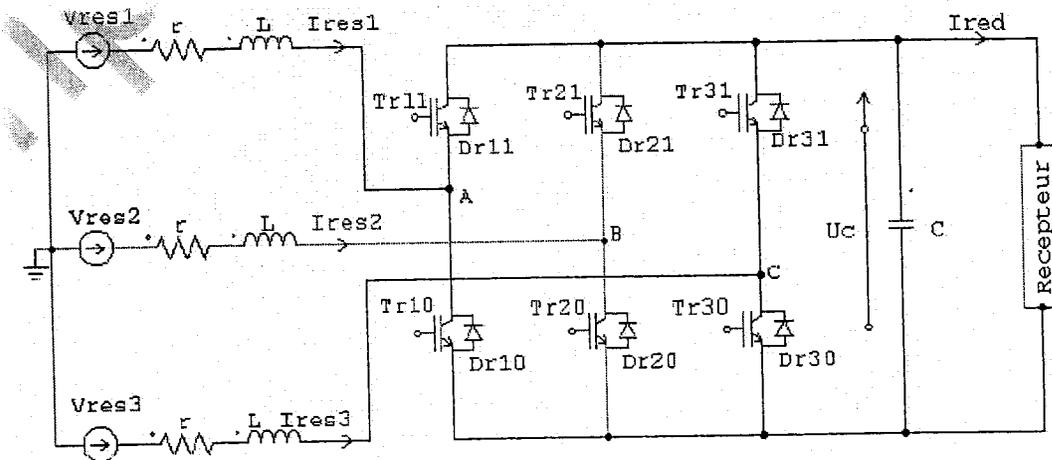


Figure.III. 10 : Redresseur MLI de courant triphasé à deux niveaux.

III.3.2. 5.Redresseur MLI de tensions

Un redresseur MLI de tensions :

- ✦ Est alimenté par une source de tensions sinusoïdales,

- ◆ Débite sur un récepteur de courant continu.

On doit dériver des condensateurs entre les bornes d'entrée du convertisseur pour que celui-ci soit alimenté par une source de tensions. On désigne par C les capacités en triangle équivalentes. A la sortie on ajoute une inductance de lissage à l'inductance du récepteur pour diminuer l'ondulation du courant de charge. Dans le fonctionnement en redresseur de tension, la tension sur le bus continu est liée à la tension alternative et au coefficient de réglage r par la relation suivante :

$$U_c = \frac{3}{\sqrt{2}} \frac{1}{1-Lc\omega^2} V_1 r \cos\delta \dots\dots\dots \text{III.11}$$

δ : est le déphasage entre le courant absorbé par le redresseur I et la tension du réseau Vres. Par action sur r et δ on ne peut que réduire U_c par rapport à son maximum. On peut conclure que le redresseur MLI de tensions fonctionne en abaisseur de tension.[33]

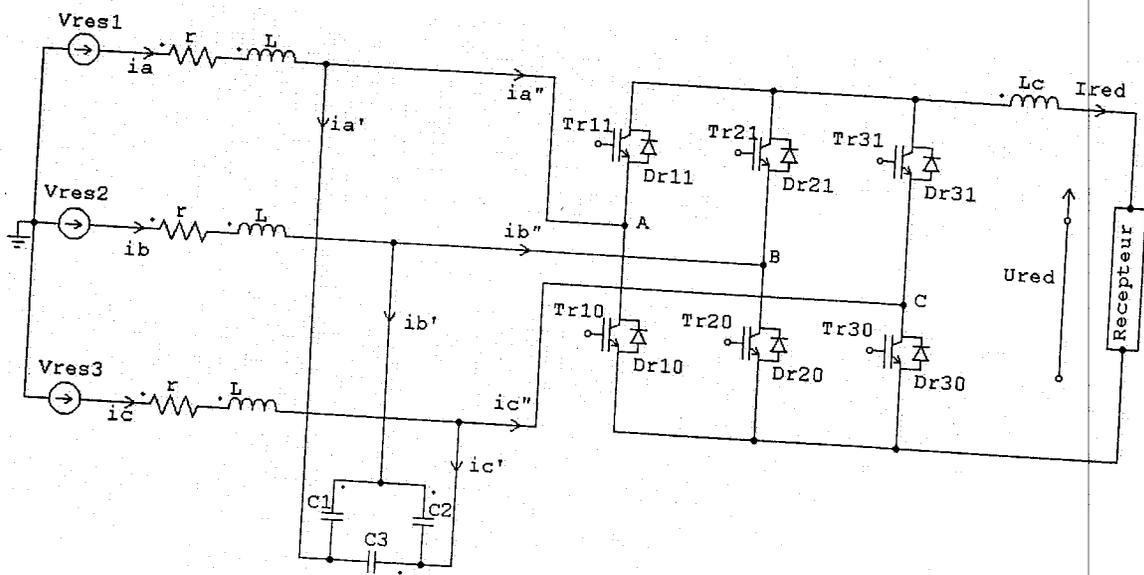


Figure .III. 11 : Redresseur MLI de tension triphasé à deux niveaux.

III.2. Le convertisseur DC/AC

III.2.1 Définition de l'onduleur

Un onduleur est un convertisseur statique continu-alternatif qui permet d'obtenir une tension alternative de la valeur efficace fixe ou réglable à partir d'une source de tension continue.



Figure.III.12 : Schéma de principe de l'onduleur

On distingue deux types d'onduleurs :

- Les onduleurs autonomes.
- Les onduleurs non autonomes.

Le principe des onduleurs en pont, qui sont de loin les plus utilisés, est décrit sur la figure., On obtient une tension alternative aux bornes de la charge en inversant périodiquement le branchement de la source sur la charge à l'aide des interrupteurs électroniques[15].

Les onduleurs non autonomes, qui fonctionnent forcément à la fréquence de réseau, soit 50 Hz, les onduleurs autonomes peuvent fonctionner à des fréquences bien plus élevées. La limitation en termes de fréquence est fixée par la vitesse de commutation des interrupteurs électroniques utilisés [15].

Les applications des onduleurs autonomes sont nombreuses :

- Production de fréquences moyennes (de quelque KHz à quelque centaine de KHz) : soudage, chauffage par induction ;
- Alimentations alternatives de sources fonctionnant sur batteries d'accumulateur ;
- Filtrage des coupures brèves du réseau pour l'alimentation de matériels informatiques (en association avec un redresseur) ;

- Alimentation des moteurs à courant alternatif à fréquence variable (on peut particulier réaliser un moteur asynchrone monophasé : la commande de l'interrupteurs statiques de l'onduleur est pilotée par un capteur de position de la roue polaire).
- Contrôle de tension.
- Contrôle des harmoniques.

III.3.2 Les onduleurs de tension

On appelle onduleur de tension un onduleur qui est alimenté par une source de tension continu, c'est-à-dire par une source d'impédance interne négligeable sa tension n'est pas affectée les variations du courant $I(A)$ qui traverse. La source continue impose la tension à l'entrée de l'onduleur et donc sa sortie.

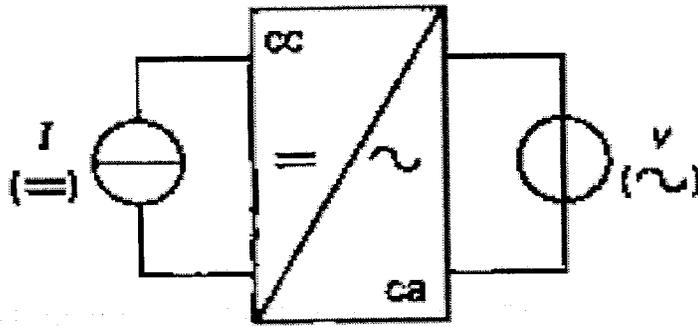


Figure. III.14 : Onduleur de tension

III.3.3 Les onduleurs de courant

Un onduleur de courant (souvent appelé commutateur de courant) est alimenté par une source de courant continu, c'est-à-dire par une source d'inductance interne si grande que le courant i qui la traverse ne peut être affecté par les variations de la tension à ses bornes, notamment par les brusques variations de $U(V)$ correspondant aux commutations. La source continue impose le courant à l'entrée du convertisseur et donc à sa sortie.

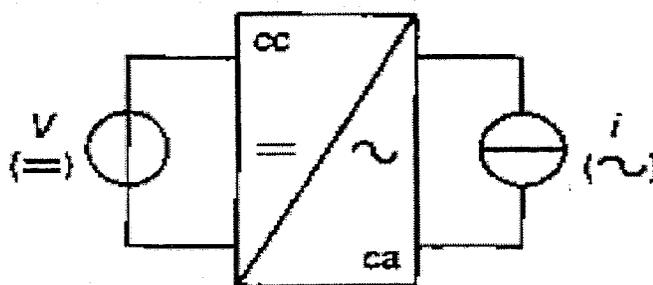


Figure.III.15: Onduleur de courant

III.2.4. Simulation

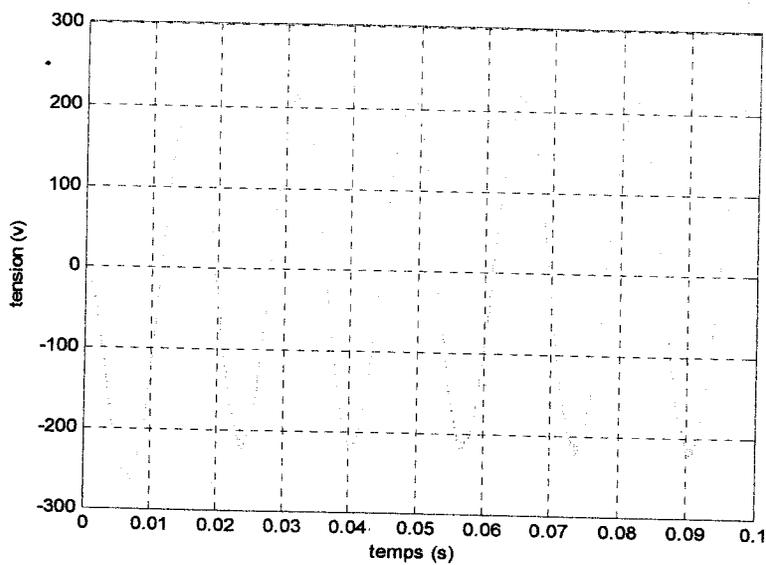


Figure.III.16: Tension de sortie de l'onduleur filtré

III.2.5. Paramètres de performances de l'onduleur triphasé

Les paramètres de l'onduleur suivants sont très favorables pour déterminer la qualité du signal et de ses performances.

III.2.5.1. Facteur de distorsion harmonique (THD)

Ce facteur nous donne une idée qualitative sur la similitude de forme d'onde réelle avec sa composante fondamentale ; il est donné comme suit :[3]

$$THD = \frac{\sqrt{V_L^2 - V_{L1}^2}}{V_{L1}} \dots \dots \dots III.14$$

Avec :

V_L : Valeur efficace de la tension de sortie (V_{an}).

V_{L1} : Valeur efficace de la première harmonique de la tension de sortie.

III.2.5.2. Facteur courant harmonique

Ce facteur est principalement consacré aux commandes de moteur où la charge est fortement inductive et filtrera dehors les harmoniques de tension.[3]

$$HCF(\%) = \frac{100}{V_1} \sqrt{\sum_{n=5}^{\infty} \frac{V_n^2}{n^2}} \dots\dots\dots(III.15)$$

Où V_n est la valeur efficace du $n^{\text{ième}}$ harmonique.

III.2.5.3. Facteur de distorsion

Il est défini par l'équation suivante :

$$DF^2 = \frac{100}{V_1} \sqrt{\sum_{n=5}^{\infty} \left[\frac{V_n^2}{n^2} \right]} \dots\dots\dots (III.16)$$

III.2.5.4. Contenu de la fondamentale

Représente le rapport de la valeur efficace de la fondamentale de la tension de phase sur la valeur efficace de la tension de phase. [3]

$$Z = \frac{V_{L1}}{V_L} \dots\dots\dots(III.17)$$

Où V_L : Valeur efficace de la tension de sortie (V_{an}).

Et V_{L1} : Valeur efficace de la première harmonique de la tension de sortie.

III.2.6 Commande de l'onduleur par un signal MLI

La Modulation en Largeur d'Impulsions (MLI) est une technique de pilotage pour les convertisseurs statiques servant d'interface entre une charge (machine électrique, ...) et son dispositif d'alimentation (onduleur triphasé, ...). Elle est donc une technique utilisée pour la conversion de l'énergie, ayant ses bases dans le domaine des télécommunications (traitement du signal). Elle porte en anglais le nom de Pulse Width Modulation (PWM) ou Pulse-Duration Modulation (PDM), en utilisant une dénomination plus ancienne. Loin d'être un élément accessoire dans la chaîne de variation de vitesse (variateur électrique associé à une machine électrique). L'étage MLI joue un rôle essentiel avec des conséquences sur toutes les performances du système : les performances d'entraînement, les pertes dans l'onduleur ou dans la machine, le bruit acoustique, le bruit électromagnétique, la destruction même du



système, due par exemple aux surtensions qui apparaissent lors de l'utilisation des longs câbles.

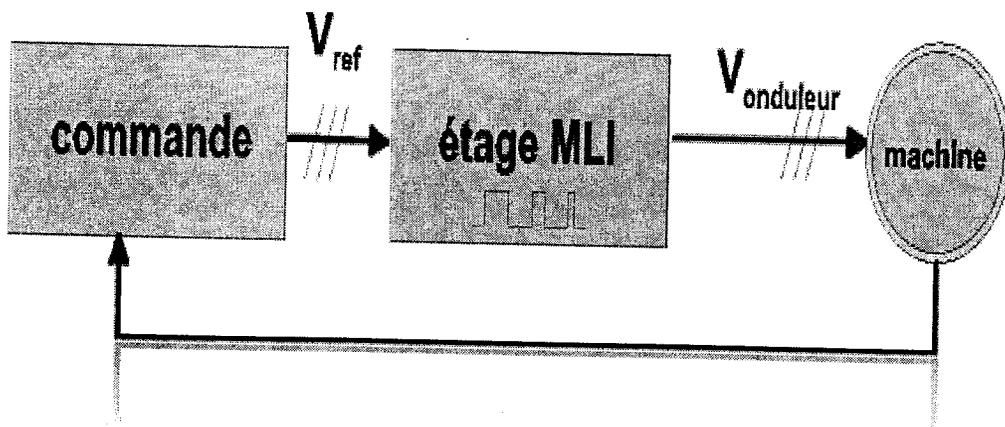


Figure. III.17 : Schéma de positionnement de l'étage MLI

III.3 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié les convertisseurs statiques et leurs principes de fonctionnements avec ses équations ainsi nous avons défini la synthèse de la modulation de largeur d'impulsion (MLI).

Chapitre IV

Simulation de la connexion d'un système hybride photovoltaïque-éolien connecté au réseau

IV.1 Introduction

Devants les craintes environnementales d'une part ,et l'augmentation du coût de production de l'électricité d'autre part , la tendance actuelle est orientée vers l'exploitation des sources d'énergies renouvelables.

Les installations hybrides photovoltaïques- éoliennes peuvent se dispenser d'un système de stockage par batterie et injecter dans le réseau tout le surplus d'énergie produit . toute injection dans le réseau se traduit par compensation de la demande sur les centrales hydro-électriques et thermiques.

Ce chapitre présente un modèle de simulation de l'ensemble des éléments électriques constituant une centrale photovoltaïque –éolienne raccordée au réseau. Le modèle contient une représentation détaillée des composants principaux du système, le générateur photovoltaïque , l'éolienne , le convertisseur DC/DC (boost) , le redresseur AC/DC (connecté à l'éolienne) , l'onduleur de tension DC/AC commandé par la MLI (sinus triangle) ; un filtre LC, et le réseau électrique .

IV.2. Système hybride proposé

Le système que nous proposons pour l'étude et la simulation est schématisé par la figure VI.1.

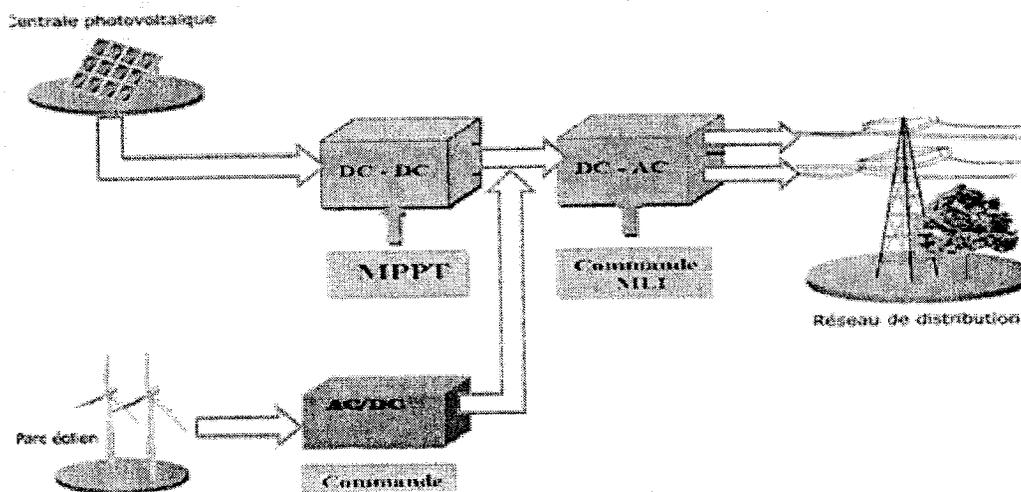


Figure IV.1 : Modèle d'un système hybride photovoltaïque –éolien connecté au réseau

IV. 3. Simulation d'un générateur photovoltaïque

Le module photovoltaïque, est choisi pour la simulation. il contient 48 cellules solaires de silicium multi cristallin, et fournir une puissance maximale de 1850 W

Les caractéristiques physiques et électriques de ce panneau photovoltaïque sont fournies en annexe.

Sur la base du modèle mathématique du générateur photovoltaïque développé dans le sous paragraphe 2.2.1 du chapitre1, le bloc schématique Simulink est montré sur la figure VI.2 pour une insolation et une température données. Le même bloc schématique simulink peut être employé pour plusieurs insolation et températures.

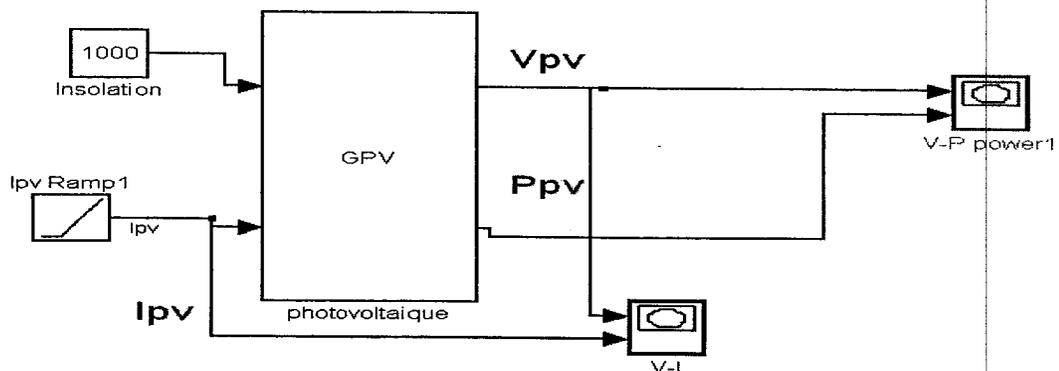


Figure IV.2 : Schéma de générateur photovoltaïque sous matlab-simulink

❖ Simulation

Dans la littérature, il existe plusieurs modèles mathématiques qui décrivent le fonctionnement et le comportement du générateur photovoltaïque. Ces modèles se différencient par la procédure de calcul, la précision et le nombre de paramètres intervenants dans le calcul de la caractéristique courant tension.

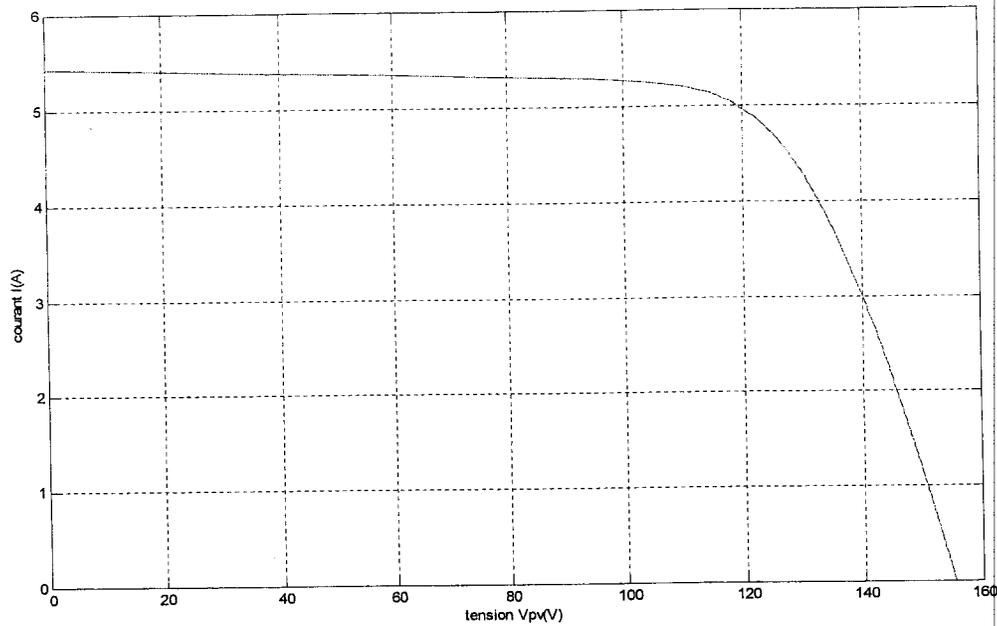


Figure IV.3: Caractéristiques I-V du générateur photovoltaïque

❖ La puissance

Dans des conditions ambiantes de fonctionnement fixes (éclairage, température, vitesse de circulation de l'air ambiant), la puissance électrique P (W) disponible aux bornes d'une cellule PV est égale au produit du courant continu fourni (I) par la tension continue par la cellule donnée (V). $P = V \cdot I$

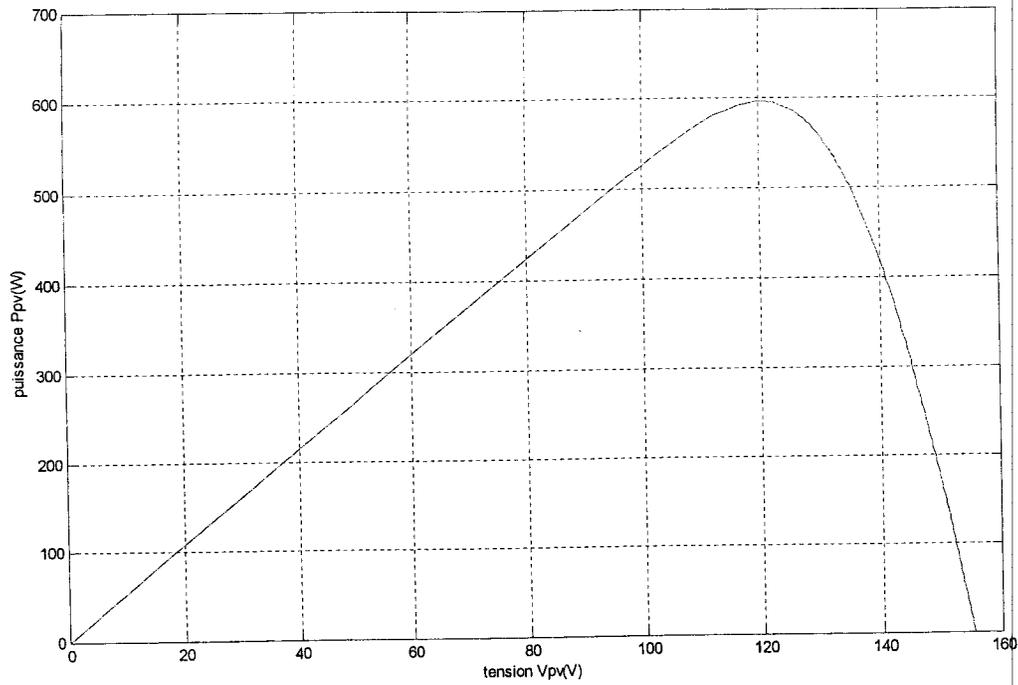


Figure IV.4: Caractéristiques P-V du générateur photovoltaïque

IV.3.1 Modèle du hacheur boost :

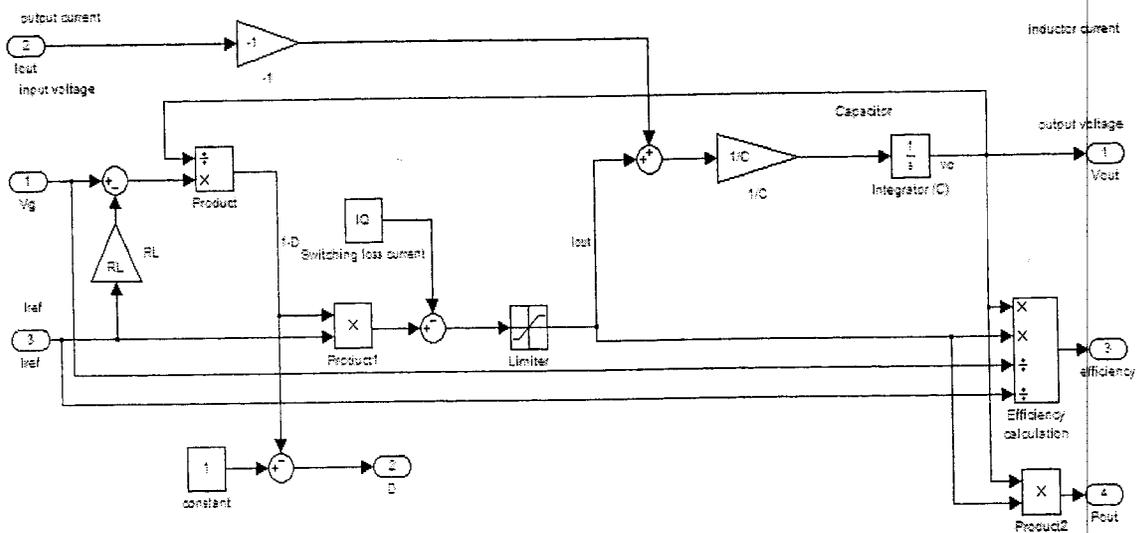


Figure IV.5: Schéma SIMULINK d'hacheur

IV.3.2 Fonctionnement avec MPPT

Pour que le système photovoltaïque soit optimisé et fonctionne toujours au point maximal de la puissance, il faut intégrer un MPPT qui a pour rôle de détecter ce point et oblige le système d'opérer précisément sur ce dernier dont le fonctionnement est optimal.

Le MPPT peut être définie comme étant une commande qui fait varier le rapport cyclique d'un convertisseur statique de telle sorte que la puissance fournie par le générateur photovoltaïque soit le P_{max} disponible à ses bornes.

$$P_{ma} = V_{opt} \cdot I_{opt} \quad \dots \dots \dots (IV.1)$$

Où V_{opt} et I_{opt} représentent respectivement la tension et le courant optimaux du générateur photovoltaïque pour une courbe $I-V$ donnée.

L'algorithme MPPT peut être plus ou moins compliqué pour rechercher la puissance maximale, mais en général il est basé sur la variation du rapport cyclique du convertisseur statique jusqu'à se placer sur le point de puissance max en fonction des évolutions des paramètres d'entrée du convertisseur statique (I et V).

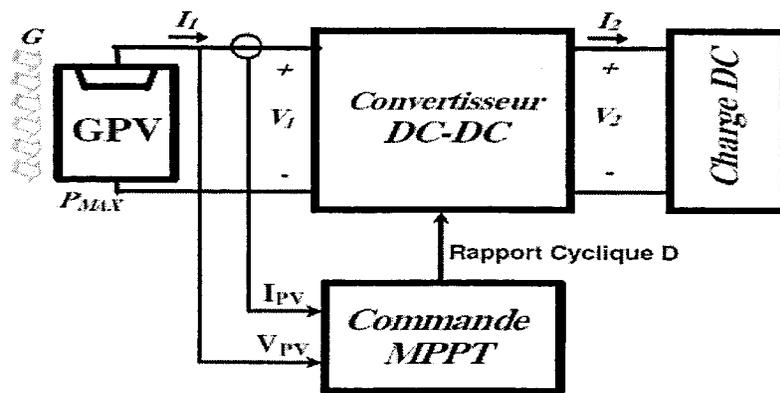


Figure.IV.6 : Conversion PV a base d'un convertisseur DC contrôlé par une commande MPPT

IV.3.3.1. Techniques de recherche de point de puissance maximale

En général le point de fonctionnement n'est pas au MPP du panneau photovoltaïque.

Alors dans les couplages directs des charges, les panneaux photovoltaïques sont souvent surdimensionnés pour assurer une puissance suffisante à fournir à la charge ; ceci conduit à un système excessivement cher. Pour surmonter ce problème, le « tracking » de la puissance maximale peut être utilisé pour maintenir le fonctionnement du panneau photovoltaïque à sa puissance maximale. Pour ce là on utilise des techniques de recherche du MPPT ; parmi ces techniques on peut citer la (p&0)

IV.3.3.2. Technique de perturbation et d'observation (P&O)

C'est l'algorithme de poursuite du PPM le plus utilisé, et comme son nom l'indique il est basé sur la perturbation du système par l'augmentation ou la diminution de V_{ref} ou en agissant directement sur le rapport cyclique du convertisseur DC-DC, puis l'observation de l'effet sur la puissance de sortie du panneau.

Le point maximum est atteint quand $dP_{pv}/dV_{pv}=0$. Si la valeur de la puissance actuelle $P(k)$ du panneau est supérieure à la valeur précédente $P(k-1)$ alors on garde la même direction de perturbation précédente sinon on inverse la perturbation du cycle précédent. La figure IV.7 donne l'organigramme de cet algorithme

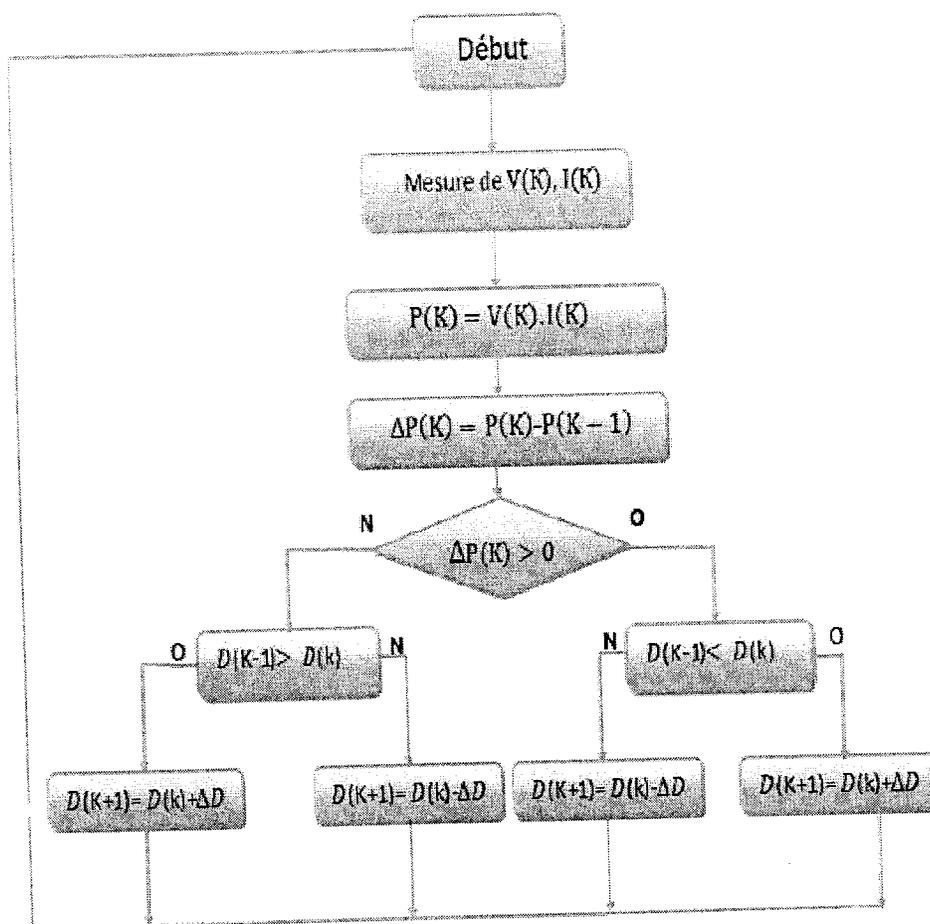


Figure. IV.7 Organigramme de l'algorithme Perturbation et Observation (P and O).

IV. 3.3.3. Le fonctionnement de l'algorithme P&O

D'abord la tension V et le courant I sont mesurés pour calculer la puissance $P(k)$. Cette valeur $P(k)$ est comparée à la valeur de la puissance obtenue durant la dernière mesure $P(k-1)$. Si la puissance fournie par le panneau a augmenté depuis la dernière mesure, l'incrément ou des incréments du rapport cyclique α continueront dans le même sens que lors du dernier cycle et ceci est fait par le test sur dV . Si $dV > 0$ cela veut dire qu'on a incrémenté V durant le dernier cycle c'est-à-dire

$$V_{(k+1)} = V_{(k)} + \Delta V$$

Si $dP < 0$ cela veut dire que la valeur maximale est égale à P_k .

IV.4. Le modèle Matlab- Simulink du GPV et MPPT et hacheur boost :

La figure VI.8 illustre le bloc schématique de Simulink du générateur photovoltaïque et avec le cheminement maximum de point de puissance. L'utilisation de la fonction Matlab permet la détermination du point maximale de la puissance pour chaque insolation.

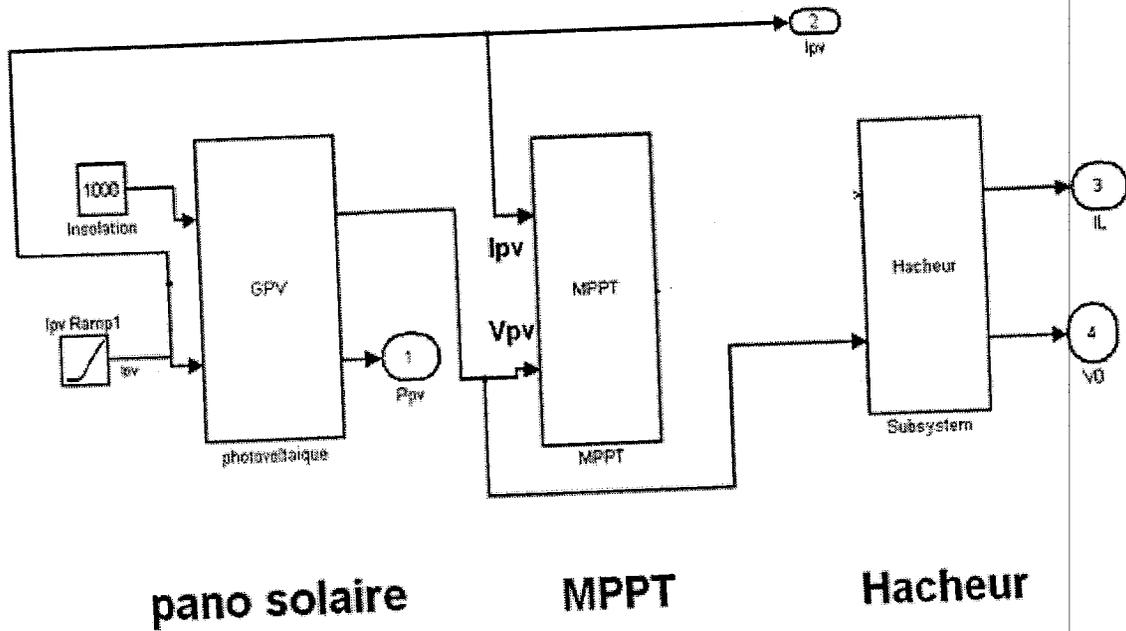


Figure IV.8 schéma GPV et MPPT et hacheur boost

❖ **Simulation :**

Les résultats de la simulation du générateur photovoltaïque avec MPPT sont montrés sur les figures IV.9 et IV.10. Les signes croix sur les figures marquent le point de puissance maximum. Pour les caractéristiques I(V) : Or le générateur n'impose ni le courant ni la tension de fonctionnement mais c'est la charge elle-même qui fixe le point de fonctionnement.

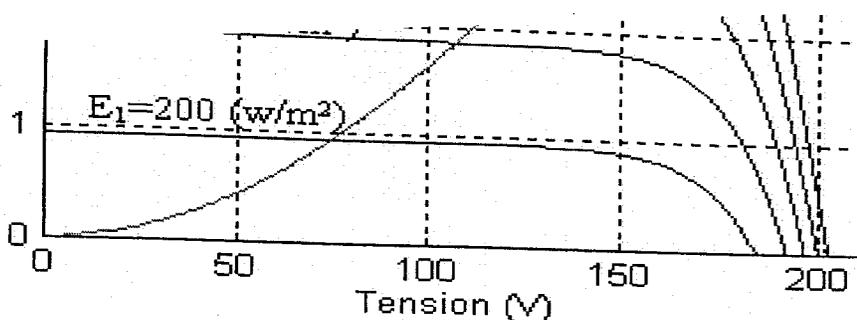


Figure IV.10 : caractéristique de courant pour différents éclaircements

IV.5. Simulation d'une machine asynchrone à double alimentation (MADA)

Dans cette partie, quelques résultats de simulation d'une éolienne à vitesse variable reposant sur la machine asynchrone à double alimentation obtenue sous matlab-simulink ont été présentés, (dont les paramètres sont fournis en annexe).

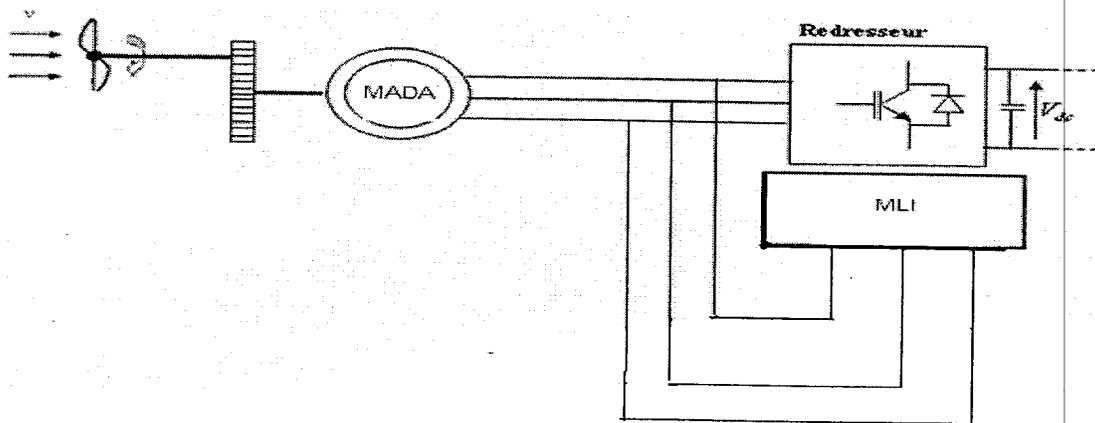


Figure IV.11 : modèle d'une machine asynchrone à double alimentation

IV.5.1. Le modèle de Simulink d'une machine asynchrone double alimentation (MADA)

La figure VI.12 illustre le bloc schématique d'une machine asynchrone à double alimentation de puissance 2 KW pour faire ce schéma en a utilisé plusieurs bloques est en fin en mais le scopes pour faire les calculs .

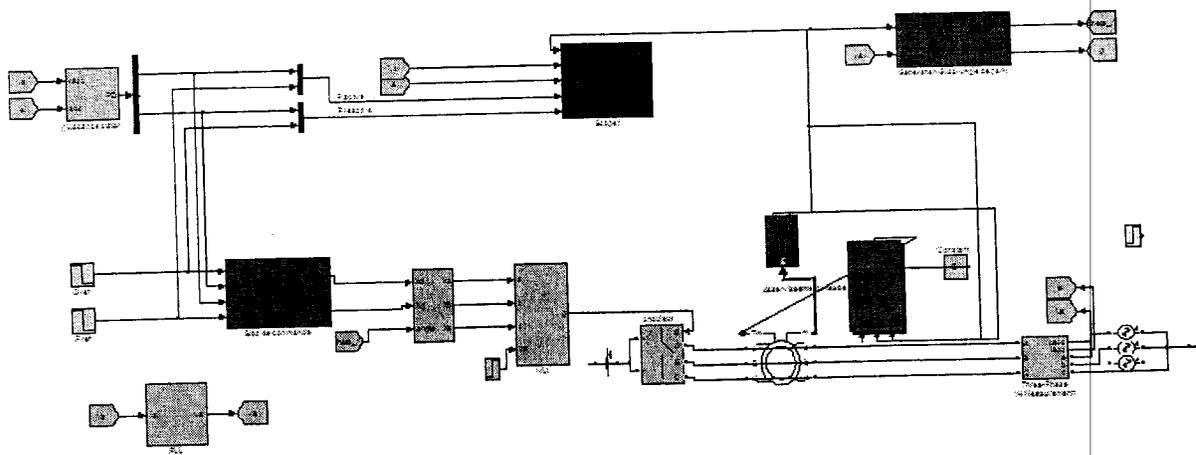


Figure IV.12 : schéma d'une machine asynchrone double alimentation (MADA)

❖ Simulation

Les résultats de la simulation d'une machine asynchrone double alimentation est montrés sur les figures VI.13 et VI.14 et VI.15 et VI.16 et VI.17.

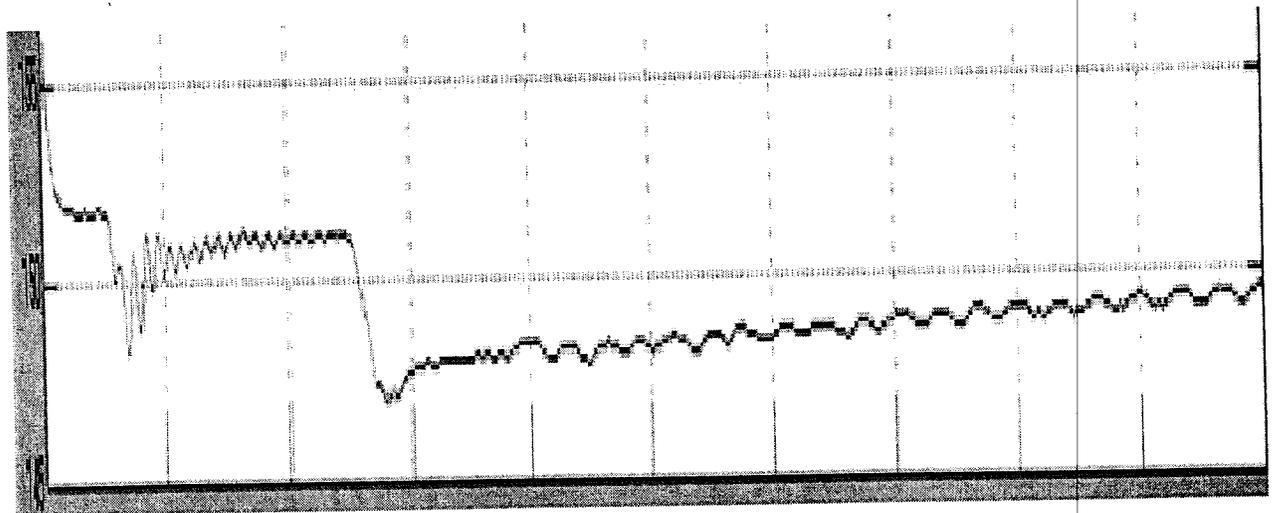


Figure IV.13 : La courbe de la vitesse rotorique (mécanique)

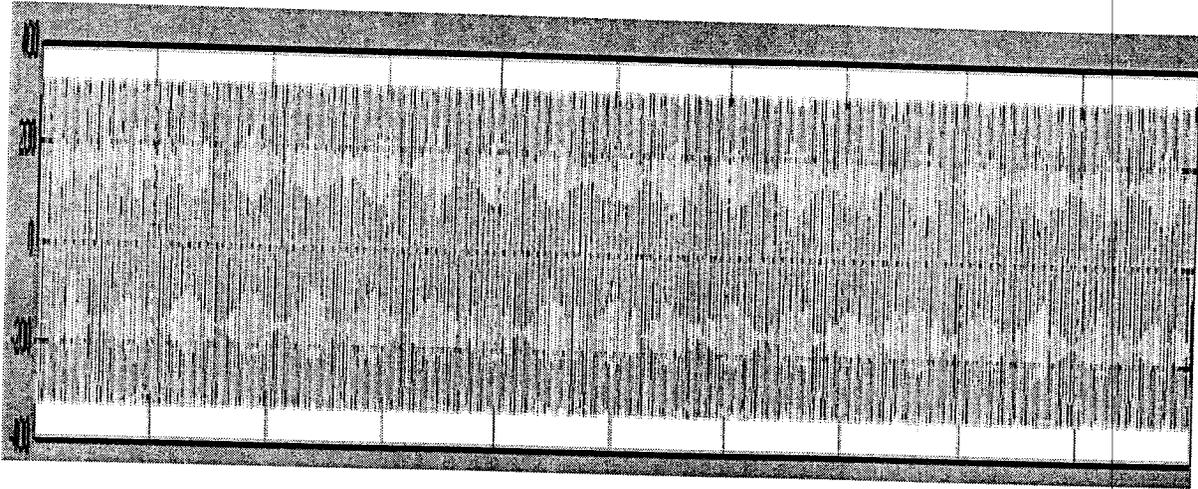


Figure IV.14 : la courbe des tensions

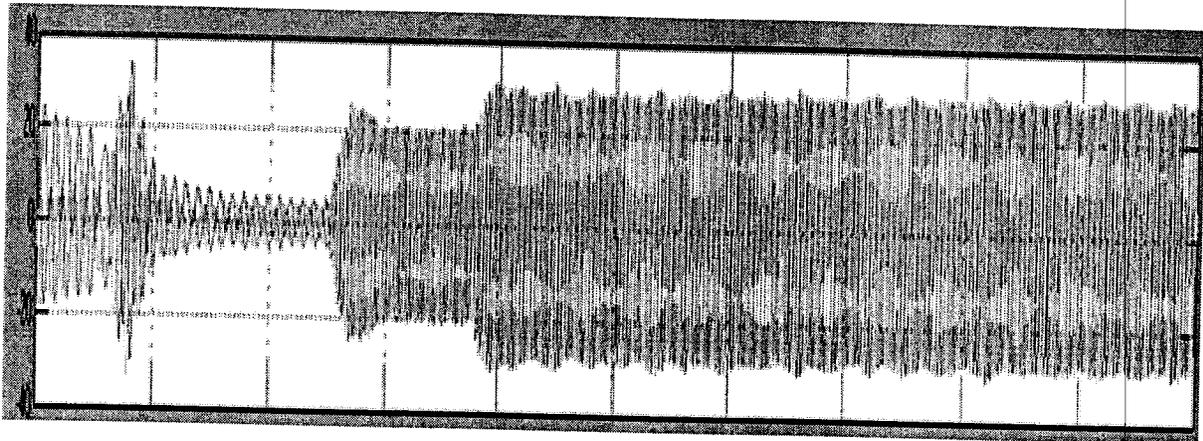


Figure IV.15 : la courbe des courants I_{sa} , I_{sb} , I_{sc}

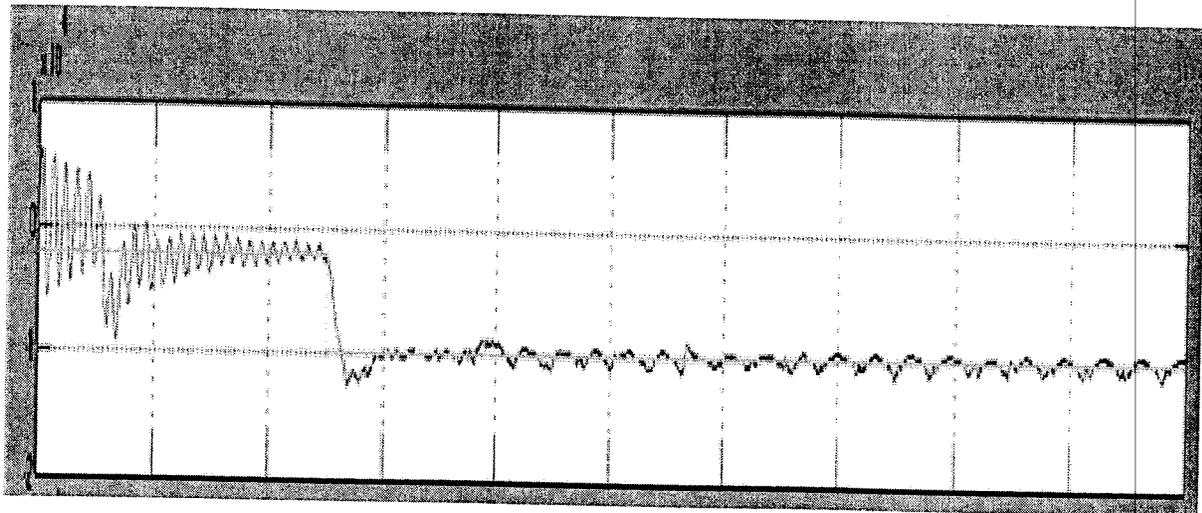


Figure IV.16 : la courbe de la puissance active

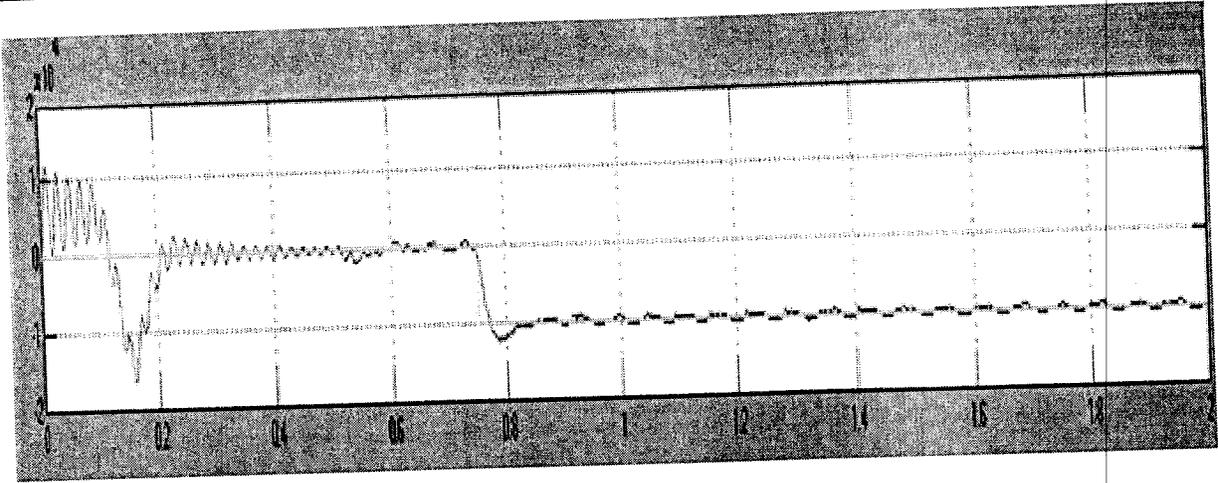


Figure IV.17 : la courbe de la puissance réactive

❖ Interprétation des courbes

1^{ère} courbe La courbe du vitesse rotorique (mécanique) : au début il ya une certaine instabilité autour de 150t /mn du au démarrage du l'éolienne cela se stabilise .A partir de 0.55 on connecte la MADA avec l'onduleur qui est connecté au réseau on voit la vitesse se stabilise à partir de 0.6 vers les 148 t /min .

2^{ème} courbe la courbe des tensions : en voit que les tensions sont constants V_a, V_b, V_c .

3^{ème} courbe la courbe des I_{sa}, I_{sb}, I_{sc} :les courants sont dans le régime transitoire de 0 à 0.2 se stabilise jusqu'à 0.5 à une valeur maximale (marche à vide) à partir de 0.5 les courants augmentent pour atteindre 25A vers les 0.8 les valeurs maximales .

4^{ème} courbe la courbe des puissances actives (nous indique que la MADA fournit de la puissance)

4^{ème} courbe la courbe des puissances réactive en remarque qu'il a trois régime transitoire au début c'est le régime transitoire à vide ensuite il se stabilise en la connectent au redresseur machine fournie de la puissance réactive

VI.6. Connexion du générateur hybride au le réseau

Comme possible structure d'intégration des ressources renouvelables, un réseau hybride de type local. L'idée consiste à installer des petits systèmes de génération d'origine renouvelable (systèmes éoliens et photovoltaïques) sur les toits, les jardins et les zones vertes de la zone résidentielle. Le modèle général d'un générateur basé sur un onduleur de tension considéré dans cette étude est représenté dans la figure (VI.). Il contient trois éléments principaux : la source *DC*, l'onduleur triphasé et le filtre de connexion au réseau. La source *DC* intègre la source primaire (générateur éolien, système photovoltaïque). L'onduleur qui assure la conversion *DC/AC* est un onduleur de tension triphasé commandé en Modulation de Largeur d'Impulsion (*MLI*).

Le filtre de connexion au réseau est un filtre *LC* qui sert à minimiser les harmoniques de commutation. Le types de réseaux électriques peuvent être considérés:

- ✓ un réseau comportant au moins une source parfaite de tension triphasé, que l'on appellera réseau local.

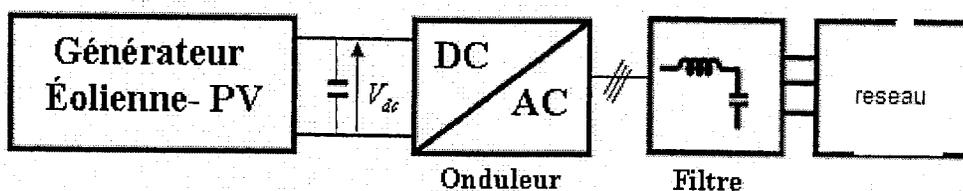


Figure IV.18 : Modèle d'un générateur hybride (éolien-photovoltaïque) connecté au réseau à travers un onduleur de tension

IV.7.Conclusion

Notre étude a porté sur la simulation d'un système hybride combinant deux sources d'énergies renouvelables qui sont l'éolienne et le solaire ; Nous avons étudié les deux chaînes de conversion éolienne et photovoltaïque. Nous avons décrit les différentes chaînes de conversion d'énergie éolienne et photovoltaïque avec la présentation des résultats de simulation.

***CONCLUSION
GENERALE***

Conclusion générale

Conclusion générale

Dans ce mémoire, nous avons présenté une approche de connexion photovoltaïque –aérogénérateur.

Dans le premier chapitre nous avons décrit le modèle de la cellule photovoltaïque, l'influence des différents paramètres ainsi que l'assemblage des panneaux de connexion série-parallèle.

Dans le chapitre II nous avons procédé à une brève description des systèmes éoliens et nous avons cité quelques notions au sujet de la technologie éolienne et le modèle mathématique d'une machine asynchrone à double alimentation (MADA) et sa modélisation.

Dans le chapitre III nous avons présenté une étude sur les convertisseurs statiques, leur principe de fonctionnement et la synthèse de la modulation de largeur d'impulsion (MLI).

Dans le chapitre IV nous avons simulé le système hybride combinant deux sources d'énergie renouvelable qui sont l'éolienne et panneau photovoltaïque les résultats sont satisfaisants.

Le couplage photovoltaïque-éolienne s'est avéré beaucoup plus compliqué en matlab. Ce qui nous a beaucoup retardés.

En perspective nous pensons à une solution de pilotage de l'ensemble par microprocesseur, ou ordinateur pour un ensemble d'aérogénérateur et panneaux photovoltaïques.

SPECIFICATIONS

Cellules	Cellules en silicium polycristallin (155,5 mm) ²
Nombre de cellules	48 montées en série
Tension maximale du système	1000 V CC
Puissance nominale	170 Wc
Dimensions	1 318 x 994 x 46 mm
Poids	16,0 Kg
Type de sortie	Câble avec connecteur

ce résultat de simulation pour caractéristique

- V en fonction du temp
- IL en fonction du temp

Caractéristiques	Les valeurs
Inductance	200 e-3
inductor current ripple	1
capacitor	10 e-6
initial capacitor voltage	200

Figure VI.7 les caractéristiques d'un

Les paramètres de la machine asynchrone à double alimentation

$P_n = 3 \cdot 746$ (VA)

$V_n = 220$ V

$F_n = 50$ HZ

Bibliographie

- [14]:**Ameziane Sadek**, "*Implantation expérimentale de l'MPPT pour un système de génération hybride solaire-éolien*", Thèse de magister en électrotechnique, Université de Batna ,2009.
- [15]:**M.Hatti**, "*Contrôleur Flou pour la Poursuite du Point de Puissance Maximum d'un Système Photovoltaïque*" Centre de Recherche Nucléaire de Birnie, Djelfa Algérie ,2008.
- [16]:**Cabal Cédric** "*Optimisation énergétique de l'étage d'adaptation électronique dédié à la conversion photovoltaïque*" Thèse de Doctorat en Génie électrique, Université de Toulouse 2008.
- [17]:**Antoine Labonne** "*Alimentation d'une pompe à eau au Burkina Faso*" Ingénieur d'études (Laboratoire Electrotechnique Grenoble), 2007.
- [18]:Atlas d'ALGERIE, 2010.
- [19]:**L.Zarour** :"*Etude et simulation d'un système de pompage photovoltaïque, optimisation de la conversion d'énergie*", Mmoire de magister en électrotechnique, université mentouri de Constantine, 2005.
- [20]: **M.Bellier, A.Gallichon** :« *Machines électrique* » Edition Delagrave 1972.
- [21]:**F. Bernot** : Machine a courant continu « *constitution et fonctionnement* ». Technique de l'ingénieur, D3556 ; D3555.
- [22]:**Guy Séguier** : « *l'électronique de puissance- les fonctions de base leurs principales application* ».5^{ème} édition.
- [23]:**R.Chauprade** « *électronique de puissance commande des moteurs à courant continu* » DUNOD.
- [24]:**R. Abdessemed** "*Modélisation des machines électriques*". Université de Batna, 1997.
- [25]:**L. Zarour** "*Etude et simulation d'un système de pompage photovoltaïque, optimisation de la conversion d'énergie*», Mémoire de magister en électrotechnique, Université Mentouri de Constantine, 2005.
- [26]:**NEB Nooma, SONG Taaba** "*Groupe moto-pompe*" mémoire d'ingénieur d'état en électrotechnique, 2004.
- [27]:**DAOUDI ALI**" *étude et simulation d'un traqueur de puissance maximale d'un système photovoltaïque*», Thèse magister en électrotechnique, université de Constantine, 2010.

[28] **L.Miguel** « *contribution a l'optimisation d'un systeme de conversion éolien* »
thèse de doctorat spécialité

[29] **A. Mirecki**, « *Etude comparative de chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance* », thèse de doctorat, de l'institut national polytechnique de Toulouse, 5 avril 2005.

[30] **O. Carlson, A. Grauers, J. Svensson, A. Larsson**, « *A comparison of electrical systems for variable speed operation of wind turbines* », European wind energy conf.,

Résumé

Les sources renouvelables d'énergie, permettant une production décentralisée de l'électricité, peuvent contribuer à résoudre le problème de l'électrification des sites isolés où un grand nombre d'individus est dépourvu de tout apport énergétique, ne pouvant ainsi satisfaire aucun besoin même minime et améliorer ses conditions de vie.

Nous avons étudié deux modèles le premier c'est un système photovoltaïque et l'autre système éolien et procédé à une approche de connexion parallèle des deux systèmes.

Mots clés : Photovoltaïque, éolienne

Abstract

Renewable sources of energy, allowing decentralized production of electricity, can help solve the problem of electrification of isolated sites where large numbers of individuals is deprived of all energy intake, thus catering does not even need minimal and improve their living conditions. We studied two models is a photovoltaic system and wind system and the other proceeded to approach a parallel connection of two systems.

Keyword : photovoltaic, wind system

ملخص

إن مصادر الطاقة المتجددة، مما يتيح إنتاج اللامركزية من الكهرباء، تساعد على حل مشكلة الكهرباء في المواقع المعزولة حيث حرم عدد كبير من الأفراد من استهلاك الطاقة لذلك يسعون إلى تحسين ظروفهم المعيشية. درسنا في عملنا نموذجين الأول هو نظام الطاقة الشمسية و الثاني نظام طاقة الرياح و قمنا بالربط بينهما مع الشبكة الكهربائية.

المصطلحات : الطاقة الشمسية، الطاقة الشمسية