UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
Faculté des Sciences Appliquées
Département de Génie Electrique

Mémoire
MASTER ACADEMIQUE
Domaine : Sciences et technologies
Filière : Génie électrique
Spécialité : Electrotechnique Industrielle
Présenté par :

RAMDANI Khadidja RAMDANI Oum elhana

Thème:

Etude des différents types de convertisseurs utilisés dans la production des énergies renouvelables. Application dans l'éolienne à base de GSAP

Soutenu publiquement
Le :07/06/2015
Devant le jury :

Mr KHATTACHE Laid	MA (A)	Président	UKM Ouargla
Mr RACHEDI Med Yacine	MA (A)	Encadreur/rapporteur	UKM Ouargla
Mr BOUAKAZ Ouahid	MA (A)	Examinateur	UKM Ouargla

Année universitaire 2014/2015

Remerciements

Louange à الله seigneur de l'univers

Nous remercions respectueusement notre promoteur, ***M^r^. RACHEDI M^ed^ Yacine***, pour tous les conseils et encouragements dont nous avons bénéficiés tout au long de ce travail.

Nos respects et notre gratitude vont également aux membres du jury : ***Mr BAUAKAZ Ouahid*** et ***Mr KHETTACHE Laid*** qui nous ont fait l'honneur de juger ce travail.

Nous n'oublions pas non plus nos enseignants et nous n'oublions pas aussi monsieur ***BELAKEHAL Soltane*** , ***RAMDANI Mohamed lakhdar*** et ***KEFFOUS Mohammed*** qui tout au long du cycle d'études à l'Université d'Ouargla, nous ont transmis leur savoir.

Nous adressons une pensée particulièrement affective à nos amis de l'Université d'Ouargla qui ont rendu agréables nos longues années d'études.

Un grand merci également à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail.

OUM ELHANA & KHADIDJA

Dédicaces

En signe d'amour, de gratitude et de respect, je dédie ce modeste travail.

A mes très chers parents, grands-parents, mes sœurs surtout ***Karima*** *et* ***Randa*** *et mes frères* ***med elBokhari*** *et* ***Abd el Allah****.*

A mes oncles, tantes, cousins et cousines, surtout ma sœur fille ***Roa.***

A tous mes amis, et spécialement ***Mounira*** *,* ***Asma*** *,* ***Fatima*** *,* ***Nadia*** *qui ont une place spéciale dans ma vie.*

A ma soeur et ma très chère binôme ***khadidja****, je tiens à te remercier pour ta confiance en moi.*

Je tiens enfin à dédier ce travail à des personnes qui j`ai transmis mon stress et anxiété, pour leur affection, patience, soutien et encouragements qui m`ont permis d'arriver au bout de ce travail Qu'ils acceptent nos humbles remerciements.

Merci : Mon oncle ***Med Amine****.*

Que dieu accepte notre travail.

Oum elhana

Dédicaces

En signe d'amour, de gratitude et de respect, je dédie ce modeste travail.

A mes très chers parents, grands-parents, mes soeurs et mes frères ***Idris*** *et* ***Moataz billeh***

A mes oncles, tantes, cousins et cousines, surtout ma chère ***Ayda.***

A tous mes amis, et spécialement ***Omar*** *,****Mohamed*** *,****Ahmed*** *et* ***Khadidja*** *qui ont une place spéciale dans ma vie.*

A ma soeur et ma très chère binôme ***Oum el-hana****, je tiens à te remercier pour ta confiance en moi.*

Je tiens enfin à dédier ce travail à des personnes qui j`ai transmis mon stress et anxiété, pour leur affection, patience, soutien et encouragements qui m`ont permis d'arriver au bout de ce travail Qu'ils acceptent nos humbles remerciements.

Merci : ***Mohamed****,* ***Ilyes****,* ***Khaled*** *,.****Karima***

Que dieu accepte notre travail.

Khadidja

SOMMAIRE :

Listes des figures IV

Liste des tableaux V

Nomenclature I

Introduction générale IV

Organisation du mémoire VI

CHAPITRE I : ETAT DE L'ART SUR L'ENERGIE RENOUVELABLE 1

I.1. Introduction : 1

I.2. Energies renouvelables : 2

I.2.1. Définition : 2

I.2.2. Production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde : 2

I.2.3. Les énergies renouvelables en Algérie : 3

I.3. Principales énergies renouvelables : 4

I.3.1. L'énergie solaire : 4

I.3.2.L'énergie géothermique 8

I.3.3. Energie de la biomasse : 11

I.3.4. Energie hydraulique : 13

I.3.5. Energie des vagues et marémotrice : 14

I.3.6. Energie éolienne : 15

I.4.Constitution d'une éolienne moderne: 18

I.4.1.L'énergie éolienne en Algérie : 20

I.5. Conclusion : 22

CHAPITRE II : CONVERSION ELECTROMECANIQUE DANS SYSTEME EOLIEN 23

II.1.Introduction 23

II.2. Systèmes utilisant la machine asynchrone : 23

II.2.1. Machine asynchrone à cage d'écureuil 23

II.2.2. Machine asynchrone à double stator : 26

II.2.3.Machine Asynchrone à Double Alimentation type "rotor bobiné" 27
II.2.4. Machine Asynchrone à Double Alimentation Type "Brushless" 31

II.3.Systèmes utilisant la machine synchrone *32*

II.3.1.Générateur Synchrone à Rotor Bobiné 32
II.3.2.Générateur Synchrone à Aimants Permanents (GSAP) 34

II.4. Modèle de l'onduleur de tension *37*

II.5. La Commande M.L.I *38*

II.6.Commande par hystérésis *39*

II.7. Conclusion *40*

CHAPITRE III: MODELISATION D'UN SYSTEME EOLIEN. *40*

III.1. Introduction *40*

III.2. Modélisation de l'éolienne *40*

III.2.1. Schéma complet de tous les composants de l'éolienne 40
III.2.2. Modélisation du vent 42
III.2.3. Modélisation de la turbine 42
III.2.4. Modélisation de la génératrice 45

III.3. Equations de la machine électrique généralisée triphasée *47*

III.3.1. Equations des tensions statoriques et rotoriques 47
III.3.2.Equations des flux 47

III.4. Mise en équations *49*

III.4.1. Equations des tensions 49
III.4.2. Equations des flux 49
III.4.3. Equation de couple 49

III.5. Equation mécanique *51*

III.6. Modélisation du redresseur triphasé *51*

III.7. Modélisation d'onduleur triphasé *53*

III.8.Conclusion *54*

CHAPITRE IV: RESULTATS DE SIMULATION *56*

IV.1. Introduction *56*

IV.2. Présentation de Simulink *56*

IV.3.Résultats de simulations *57*

IV.3.1. Résultats en charge R: 58

IV.3.2. Résultats en variant la vitesse de la turbine : 61

IV.3.3. Association de l'onduleur MLI: 63

VI.4. Conclusion *64*

Conclusion générale ..... *VII*

BIBLIOGRAPHIE ..... *VIII*

Webographie : ..... *X*

ANNEXE ..... *XI*

TRAVAIL APPLIQUEE ..... *XII*

Listes des figures

Figure (I.1): Structure de la production électrique d'origine renouvelable dans le monde en 2012. [3]..... 3
Figure (I. 2):Chauffage d'une maison par l'énergie solaire. [8]..... 5
Figure (I.3): Schéma de principe d'une centrale solaire photovoltaïque. [9] 6
Figure (I.4):Irradiation globale journalière reçues sur plan horizontal et normal aux mois de Juillet et Décembre. [B. Aissa.2011] 7
Figure(I.5): Mode d'exploitation des ressources géothermique. [10] 9
Figure (I.6): Carte de température des sources thermales. [B. Aissa.2011] 10
Figure (I.7): Schéma de principe d'une centrale hydraulique. [11]..... 13
Figure (I.8):Schéma de principe de l'énergie marémotrice. . [B. Aissa.2011]..... 15
Figure (I.9): Technologies d'éoliennes. (A) axe horizontal, (B) axe vertical [K. Fairouz, 2012]..... 16
Figure(I.10): éolienne de Darrieus. [K. Fairouz, 2012] 17
Figure(I.11):Eolienne à axe horizontal à Adrare..... 18
Figure (I.12): Différentes parties de l'éolienne-NORDEX N60-1.3MW. 19
Figure(I.13): Schéma d'une éolienne Enercon à entraînement direct..... 20
Figure (I.14): Carte de la vitesse annuelle moyenne de l'Algérie à 30 m du sol. 21
Figure (II.15): Caractéristique couple/vitesse d'une machine asynchrone à 2 paires de pôles. 24
Figure (II.16): Connexion directe d'une machine asynchrone sur le réseau. 24
Figure (II.17): Eolienne connectée au réseau par l'intermédiaire de convertisseurs de Puissance. 25
Figure (II.18): Schéma de la connexion au réseau de l'éolienne avec la MAS à double stator..... 26
Figure (II.19): schéma de principe d'une machine asynchrone pilotée par le rotor..... 28
Figure(II .20): MADA - structure Kramer..... 29
Figure(II.21): MADA avec contrôle du glissement par l'énergie dissipée. 29
Figure (II.22): Effet de la variation de la résistance rotorique sur le couple électromagnétique..... 30
Figure(II.23): Structure de Scherbius avec cycloconvertisseur. 31
Figure(II.24):Machine asynchrone brushless connectée sur le réseau..... 32
Figure(II.25):Système éolien basé sur la machine synchrone à rotor bobiné. (a) avec redresseur à diodes, (b) avec convertisseur commande..... 34
Figure(II.26): systèmes éoliens basés sur la Machine Synchrone à Aimants Permanents (a) GSAP avec convertisseurs MLI. (b) GSAP avec redresseur, hacheur et convertisseur..... 35
Figure (II.27): Système éolien à coût minimum basé sur GSAP. 36
Figure(II.28): Schéma d'un onduleur de tension triphasé alimentant le stator de la machine. 37
Figure (II.29): Détermination des instants d'échantillonnage. 39
Figure(II.30): Bande d'hystérésis et signal de commande d'un interrupteur..... 40
Figure (II.31): Principe de la commande du courant par hystérésis. 40
Figure(III.32): Schéma d'un système éolien avec multiplicateur..... 41
Figure (III.33): Schéma d'un système éolien sans multiplicateur. 42
Figure (III.34) : Schéma d'un système éolien sans multiplicateur. 43
Figure (III.35): Représentation de Cp sous Simulink..... 44
Figure (III.36):Coefficient aérodynamique..... 44
Figure (III.37):Schéma bloc de la turbine..... 45
Figure(III.38): Exemple de la MSAP..... 46
Figure (III.39): Représentation de la génératrice à aimants permanents sur l'axe (d, q)..... 48

II.6.Figure(III.40) : Schéma bloc de la GSAP. 51
Figure (III.41): Redresseur à diode. 52
Figure(III.42): Schéma d'un filtre C. 53
Figure (III.43): Schéma bloc d'onduleur 53
Figure (IV.44): Schéma d'un système éolien. 56
Figure (IV.45): Schéma bloc global du modèle du système éolien horizontal étudié. 58
Figure(IV.46): La tension du bus continu. 59
Figure (IV.47): Les courants statoriques de la génératrice. 59
Figure (IV.48): Les tensions statoriques de la génératrice. 60
Figure(IV .49): Profil de la vitesse électrique de la génératrice. 61
Figure(IV.50): La tension du bus continu. 62
Figure(IV.51): Les courants statoriques de la génératrice. 62
Figure(IV.52): Les tensions statoriques de la génératrice. 63
Figure (IV.53): tension coté réseau. 63
Figure (IV.54):courant coté réseau. 64

Liste des tableaux

Tableau(III.1): Vitesse moyenne mensuelle du vent (en m/s) à ouargla pendant l'année 2013.[7]..... 42

Nomenclature

MADA : Machine Asynchrone Double Alimentation

P_{mg} : La puissance transmise par la génératrice.

Ω_s : La vitesse de synchronisme

Cem : Le couple électromagnétique.

ω : La pulsation du réseau.

P : Nombre de paires de pôles.

MAS : Machine Asynchrone.

GSAP : Générateur Synchrone à Aimants Permanents.

Vréf max : Amplitude de la tension de référence.

fm : Fréquence des modulatrices.

ρ : est la densité de l'air.

S : est la surface circulaire balayée par la turbine [m^2], $S = \Pi . R^2$, le rayon du cercle est déterminé par la longueur de la pale.

V : est la vitesse du vent.

Cp : Le coefficient aérodynamique de puissance de la turbine.

R: Rayon de la pale.

$\Omega_{méc}$: La vitesse mécanique.

Ωturbine : Vitesse angulaire de la turbine.

λ : Ratio de vitesse.

β : Angle d'orientation des pales.

C aer : Le couple aérodynamique

$[P(\Theta)]^{-1}$: La matrice inverse de Park.

Θ: L'angle entre l'axe d et l'axe de référence dans le système triphasé.

Paer : La puissance aérodynamique de la turbine.

V_A, V_B, V_C : Tension aux phases A, B et C

I_A, I_B, I_C : Courant aux phases A, B et C

Ψ_A, Ψ_B, Ψ_C : flux aux phases A, B et C

Rs : Résistance de chaque enroulement du stator

Ψf : Flux des aimants permanents

Vd : Tension selon l'axe d

Vq : Tension selon l'axe q

Id : Courant selon l'axe d

Iq : Courant selon l'axe q

Ψd : Flux selon l'axe d

Ψq : Flux selon l'axe q

ω : Vitesse de rotation électrique (ω =p.Ω)

Ld : Inductance statorique selon l'axe d

Lq : Inductance statorique selon l'axe q

We: Energie emmagasinée dans le circuit magnétique.

θgeo: Ecart angulaire de la partie mobile (rotor par rapport au stator).

Cm: Le couple moteur appliqué sur la génératrice

J: Moment d'inertie total de la machine

*f:*Coefficient de frottement visqueux

Rch: Résistance de charge

S:Opérateur dérive de Laplace

Isd, Isq: Composant direct du stator dans le repère Park

MLI: Modulation de largeur d'Impulsion.

AC : Courant alternatif

DC : Courant continue

Vdc : Tension redresse et filtré.

Pe : puissance électromagnétique.

GTO: Gate turn-off thyristor.

IGBT: transistor bipolaire à grille isolée.

Introduction générale

Introduction générale

L'énergie est l'un des moteurs du développement des sociétés. La civilisation industrielle s'est bâtie autour de l'exploitation du charbon à la fin du 18e siècle, puis du pétrole au milieu du 20e siècle. Les chocs pétroliers successifs observés depuis les années 70 ont démontré les risques de la production d'énergie reposant sur l'exploitation des ressources fossiles, dont les réserves sont mal réparties et épuisables. La pollution atmosphérique, le réchauffement climatique, les limites des ressources ont fait prendre conscience qu'un développement économique respecte de l'environnement, dans lequel nous vivons, est nécessaire. Les centrales nucléaires procurent l'avantage de ne pas engendrer de pollution atmosphérique contrairement aux centrales thermiques (à vapeur ou à gaz), mais le risque d'accident nucléaire, le traitement et l'enfouissement des déchets ont rendu cette énergie peu attractive pour les générations futures.

Face à ces problèmes, le monde est massivement tourné vers de nouvelles formes d'énergie dites "renouvelables". Beaucoup plus accessibles et très adaptées à la production décentralisée. Les énergies renouvelables offrent la possibilité de produire de l'électricité proprement et surtout dans une moindre dépendance des ressources, à condition d'accepter leurs fluctuations naturelles et parfois aléatoires.

Parmi ces énergies, on retrouve l'énergie dite « éolienne » avec un taux de croissance européen et mondial très élevé, même si l'Algérie reste en retard dans ce secteur par rapport à ses voisins.

La première éolienne « industrielle » génératrice d'électricité est développée par le Danois Poul La Cour en 1890, pour fabriquer de l'hydrogène par électrolyse. Dans les années suivantes, il crée l'éolienne Lykkegard, dont il aura vendu 72 exemplaires en 1908.

En raison de la nature fluctuante du vent, l'éolien ne peut être considéré que comme une source d'énergie complémentaire et non pas pour remplacer les solutions classiques.

Actuellement, plusieurs pays sont déjà résolument tournés vers l'énergie éolienne. L'Allemagne est le premier producteur mondial avec une production de 14.6 GW, l'Espagne est au deuxième rang avec 6.4 GW, les USA au troisième rang avec 6.3 GW et le Danemark au quatrième rang avec 3.1 GW. La France est au dixième rang européen avec 0.253 GW. L'Union Européenne avec 4.15 GW.

Le potentiel techniquement exploitable en énergies renouvelables en Algérie est considérable et la qualité des gisements est telle que des investissements rentables peuvent être envisagés pour leur développement.

Trois raisons principales plaident en faveur d'un développement des énergies renouvelables en Algérie :

- Elles constituent une solution économiquement viable pour fournir des services énergétiques aux populations rurales isolées notamment dans les régions du Grand Sud.
- Elles permettent un développement durable du fait de leur caractère inépuisable, et de leur impact limité sur l'environnement et contribuent à la préservation de nos ressources fossiles.
- La valorisation de ces ressources énergétiques ne peut qu'avoir des retombées positives en matière d'équilibre régional et de création d'emplois.

La première expérience du pompage d'eau avec une éolienne en Afrique a été effectuée à Adrar en 1957 à ksar Sidi Aissa pour l'irrigation de 50 Hec. L'Algérie a un régime de vent modéré (2 à 6 m/s). Ce potentiel énergétique convient parfaitement pour le pompage de l'eau particulièrement sur les Hauts Plateaux.

Le potentiel énergétique est énorme sachant que la région d'Adrar se trouve dans un couloir de vent de 6 m/s. Les turbines éoliennes qu'on peut utiliser pour le développement du sud algérien sont de petite échelle. Plusieurs éoliennes sont installées actuellement à Adrar pour le pompage d'eau. Pour le site de Tamanrasset, le potentiel éolien étant très faible alors que le potentiel solaire semble plus satisfaisant.

La multiplication des éoliennes a conduit les chercheurs en Génie Electrique à mener des investigations de façon à améliorer l'efficacité de la conversion électromécanique et la qualité de l'énergie fournie.

Le but de ce travail est de présenter un modèle globale d'un aérogénérateur synchrone à aimants permanents avec des convertisseurs statiques de puissance dans un système de conversion d'énergie éolienne.

Organisation du mémoire

Notre mémoire, qui a été l'objectif de notre stage pratique effectué au sein du SKTM (Shariket Kahraba oua Takat Moutadjadida) à Ghardaia, est organisé en quatre chapitres, On a commencé par une introduction générale où on a montré la nécessité d'utiliser l'énergie renouvelable et présenter un modèle globale d'un aérogénérateur synchrone à aimants permanents avec des convertisseurs statiques de puissance dans un système de conversion d'énergie éolienne.

Chapitre I : Nous allons aborder dans ce chapitre les différents types d'énergies renouvelables.

Chapitre II : Le deuxième chapitre sera un balayage des types de convertisseur électromécanique utilisés dans la production des énergies renouvelables.

Chapitre III : Consacré à la modélisation du système d'énergie éolienne sous Matlab/Simulink.

Chapitre IV : Les résultats de simulation seront présentés et discutés dans ce chapitre.

En finalisant notre travail par une conclusion générale et perspectives au future.

CHAPITRE I

ETAT DE L'ART SUR L'ENERGIE RENOUVELABLE

CHAPITRE I : ETAT DE L'ART SUR L'ENERGIE RENOUVELABLE

I.1. Introduction :

La production d'énergie électrique utilise principalement des combustibles fossiles et fissiles (nucléaire). Un recours systématique aux carburants fossiles, tels que le pétrole, le charbon ou le gaz naturel, permet d'avoir de faibles coûts de production mais conduit à un dégagement massif de gaz polluant et de gaz à effet de serre. Selon, la production électrique à partir de combustibles fossiles est à l'origine de 40% des émissions mondiales de CO_2. L'énergie d'origine nucléaire qui ne rejette pas directement de gaz carbonique, souffre généralement d'une mauvaise image médiatique à cause des risques importants encourus. Certes, les risques d'accident liés à leur exploitation sont très faibles mais les conséquences d'un accident seraient désastreuses. Par ailleurs, le traitement des déchets issus de ce mode de production est très coûteux : la radioactivité des produits traités reste élevée durant de nombreuses années. Enfin, les réserves d'uranium sont comme celles du pétrole limitées (moins de 100 ans au rythme actuel de consommation). **[F. Omar, 2013]**

Bien que notre pays soit excédentaire en production électrique aujourd'hui, l'avenir n'est donc pas prometteur sur les ressources en énergies fossiles dont les réserves ne cessent de diminuer et dont les prix fluctuent énormément en fonction de la conjoncture. La préparation de l'avenir dans les domaines de production énergétique doit se prévoir dès aujourd'hui, pour pouvoir faire face progressivement aux changements énergétiques inévitables. Chaque innovation et chaque avancée en matière de recherche n'aura de retombées que dans une dizaine d'année au mieux, le temps d'effectuer les tests nécessaires et d'envisager la mise en production sans risque pour l'utilisateur autant pour sa propre santé que pour ses installations électriques. **[B.Soltane, 2010][M. Issam, 2009]**

I.2. Energies renouvelables :

I.2.1. Définition :

D'une façon générale, les énergies renouvelables sont des modes de production d'énergie utilisant des forces ou des ressources dont les stocks sont illimités. On peut dire alors qu'une source d'énergie est renouvelable si le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. En plus de leur caractère illimité, ces sources d'énergie sont inépuisables et peu ou pas polluantes. **[M. Farida, 2013]**

I.2.2. Production d'électricité d'origine renouvelable dans le monde :

La production d'électricité renouvelable (incluant la production des centrales de pompage-turbinage) à atteint 4699.2 TWh en 2012 dans le monde, franchissant nettement le seul des 20% de la production d'électricité mondiale (20.8%). Les combustibles fossiles demeurent le noyau dur de la production d'électricité mondiale avec plus de deux tiers du total (68.1%) en 2012), et un peu plus d'un électron sur dix (10.9%) est d'origine nucléaire. Les (0.2%) restants sont apportés par la combustion des déchets de non renouvelables.

L'électricité renouvelable provient de six sources distinctes .l'hydroélectricité (incluant les centrales de pompage-turbinage) est la première d'entre elles avec une contribution en 2012 de (78%). L'énergie éolienne, qui depuis 2009 est devenue la deuxième source d'énergie renouvelable, représente désormais 11.4% du total renouvelable, elle devance la filière biomasse, qui rassemble la biomasse solide, la biomasse liquide, le biogaz et les déchets ménagers renouvelable (6.9%). Suivent le solaire (2.2%) qui rassemble les centrales photovoltaïques et les centrales solaires thermiques (hélio thermodynamiques), la géothermie (1.5%) et les énergies marines (0 .01%) qui restent une filière en phase de démonstration. **[3]**

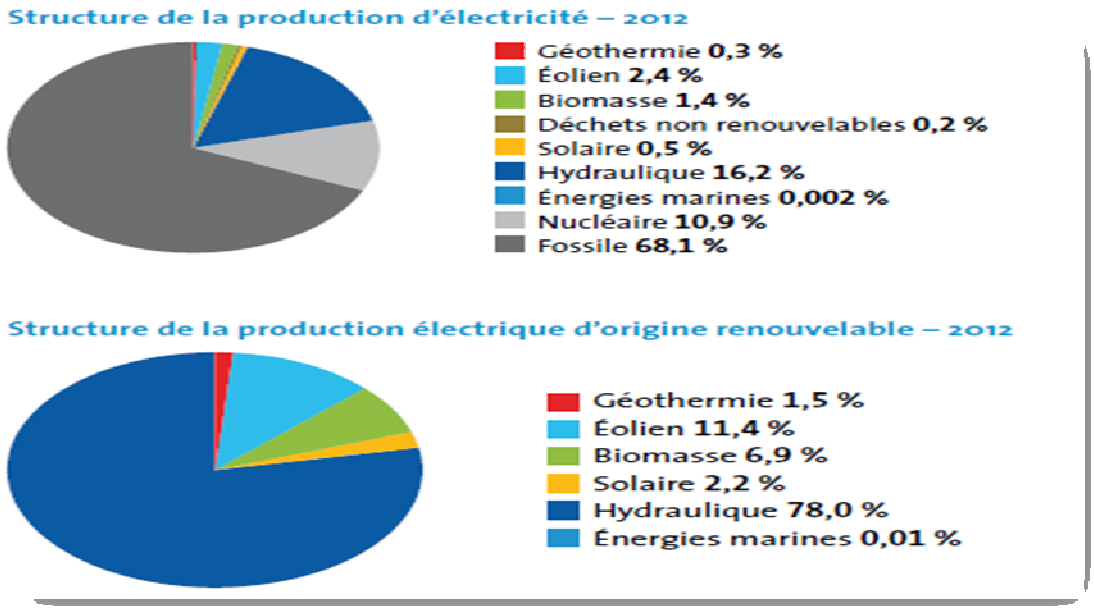


Figure (I.1): Structure de la production électrique d'origine renouvelable dans le monde en 2012. [3]

I.2.3. Les énergies renouvelables en Algérie :

L'Algérie étant un pays producteur de gaz et de pétrole, l'augmentation du prix du baril de pétrole à l'échelle mondiale n'encourage pas nécessairement l'utilisation des énergies renouvelables. Toutefois, la signature des accords de "Kyoto" par l'Algérie et l'apparition des problèmes environnementaux ont fait qu'un programme gouvernemental a été mis en place pour investir dans le domaine de la production électrique à partir des énergies renouvelables. Le gouvernement Algérien lance un plan de développement des énergies renouvelables très ambitieux, d'ici vingt ans, l'Algérie espère produire autant d'électricité à partir des énergies renouvelables qu'elle en produit actuellement à partir de ses centrales alimentées au gaz naturel.

I.3. Principales énergies renouvelables :

I.3.1. L'énergie solaire :

I.3.1.1. Définition :

Le soleil est une sphère gazeuse composée presque totalement d'hydrogène. Son diamètre est de 1391000 km (100 fois celui de la terre), sa masse est de l'ordre de 2.10^{27}. L'énergie solaire permet de fabriquer de l'électricité à partir des panneaux photovoltaïques ou des centrales solaires thermiques, grâce à la lumière du soleil captée par des panneaux solaires qui permet de récupérer l'énergie du soleil et de produire de l'électricité, sans pièces tournantes et sans bruit et elle n'émet aucun gaz à effet de serre. L'électricité produite peut être soit stockée dans des batteries pour les installations autonomes, soit injecté dans le réseau. Par sa souplesse et sa facilité d'installation et de maintenance, l'énergie solaire est une solution technique et économique pour l'électrification des sites isolés .Selon l'utilisation de l'énergie solaire on peut la classifier en trois catégories : le solaire passif, le solaire actif et le solaire photovoltaïque. **[B.Soltane, 2010]**

- *Energie solaire passif :*

Des maisons et des bâtiments sont conçus avec de grandes fenêtres pour les murs qui font face au sud et de petites fenêtres pour les murs qui font face au nord, ainsi pour réduire le besoin en électricité et permettre à la lumière et à la chaleur du soleil d'être utilisées à leur pleine capacité.

- *Energie solaire actif :*

Elle utilise des capteurs plans pour concentrer la chaleur de la lumière pour chauffer un liquide. L'essentiel est de piéger cette chaleur en créant un petit effet de serre. Les installations les plus simples de ce type chauffent l'eau pour les besoins en eau chaude des ménages. Cette technique permet aussi de chauffer une maison en faisant circuler l'eau chaude dans les murs sous le plafond comme le montre la figure (I.2).

Figure (I. 2):Chauffage d'une maison par l'énergie solaire. [8]

- *Energie solaire photovoltaïque :*

L'effet photovoltaïque est obtenu par absorption des photons dans un matériau semi conducteur qui génère alors une tension électrique. Les cellules photovoltaïques produisent de courant continu à partir de rayonnement solaire, qui peut être utilisé pour alimenté un appareil ou recharger une batterie. Quand l'énergie nécessaire dépasse la quantité fournie par une seule cellule, les cellules sont regroupées pour former un module photovoltaïque, parfois désigné de manière ambigüe sous le terme de panneau solaire. De tels modules ont été dans un premier temps utilisés pour alimenter des satellites en orbite, puis des équipements électriques dans des sites isolés. Enfin, la baisse des coûts de production élargit le champ d'application de l'énergie photovoltaïque à la production de l'électricité sur les réseaux électriques. La figure (I.3) illustre un exemple de centrale solaire photovoltaïque. **[B.Soltane, 2010]**

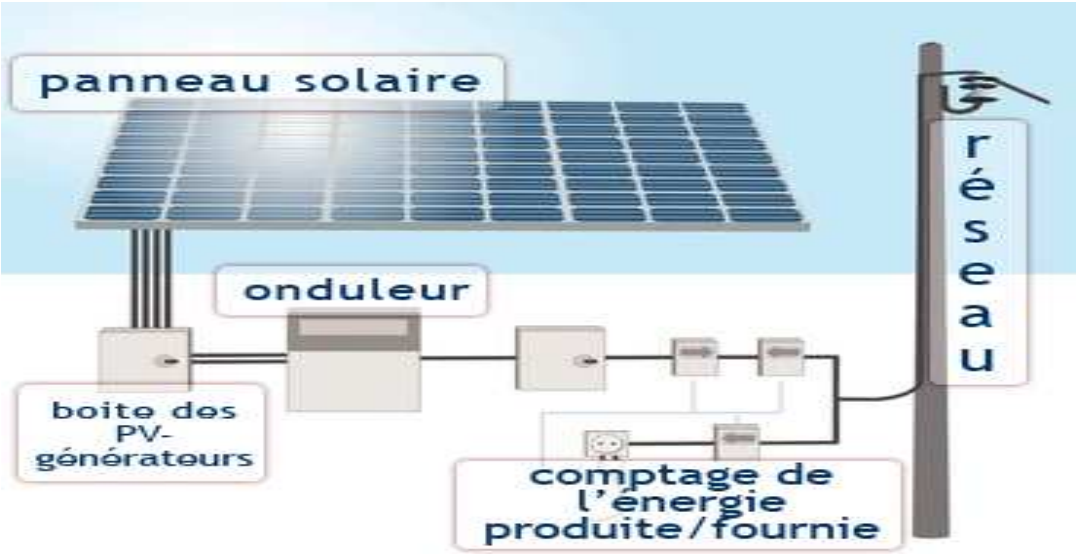
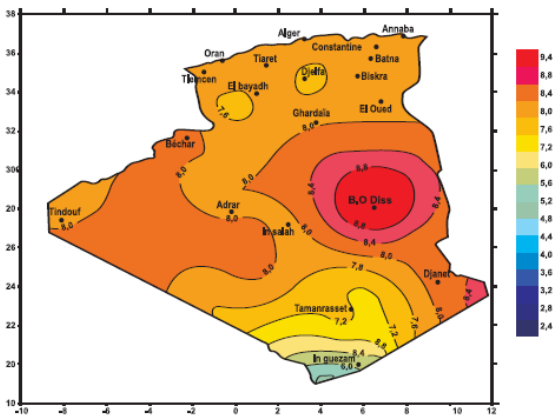


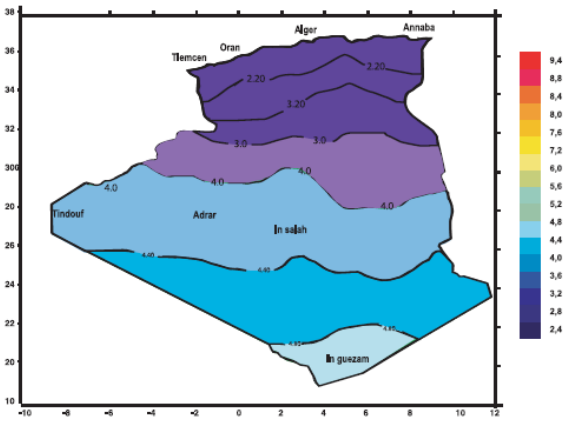
Figure (I.3): Schéma de principe d'une centrale solaire photovoltaïque. [9]

I.3.1.2. L'énergie solaire en Algérie :

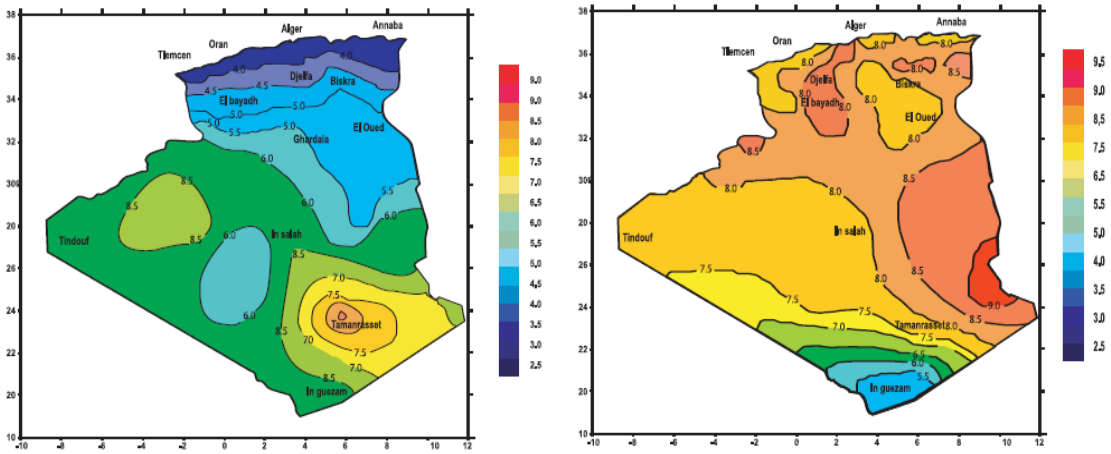
L'Algérie dispose d'un des gisements solaires les plus importants dans le monde, la durée d'insolation sur la quasi-totalité du territoire nationale dépasse les 2000 heures annuellement et atteint les 3900 heures (hauts plateaux et Sahara). L'énergie reçue annuellement soit 1700KWh/m^2/an au nord et 2263 KWh/m^2/an au sud. La figure 1.4 montre l'irradiation globale journalière reçus sur plan horizontal et normal au mois de Juillet, Décembre



Irradiation globale journalière reçue sur plan horizontale au mois de Juillet



Irradiation globale journalière reçue sur plan horizontale au mois de Décembre



Irradiation globale journalière reçue sur plan normal au mois de Décembre

Irradiation globale journalière reçue sur plan normal au mois de Juillet

Figure (I.4):Irradiation globale journalière reçues sur plan horizontal et normal aux mois de Juillet et Décembre. [B. Aissa.2011]

Et voici quelques projets :

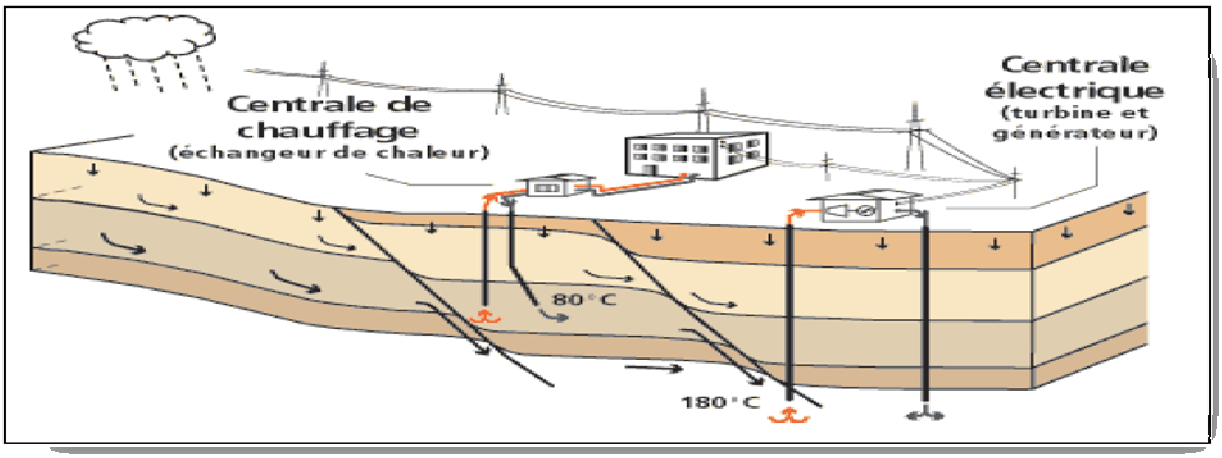
- Un projet hybride solaire gaz d'une capacité de 150 MW. Il est constitué d'un champ solaire de 25 MW avec la technologie des CSP (concentrating solaire power) et d'un cycle combiné turbine à gaz turbine à vapeur. Il est implanté sur un terrain d'une superficie de 130 hectares à "Hassi R'mel ", cette technologie hybride avec utilisation des CSP permet d'éviter l'installation d'un système de stockage de l'électricité.
- Electrification à l'Assekrem (refuge à la wilaya de Tamanrasset) par l'énergie photovoltaïque d'une capacité installée de (2.250kW), ce système photovoltaïque est composé d'un générateur photovoltaïque (15 modules photovoltaïques orientés vers le Sud), des batteries, un système de régulation et de conversion et enfin un groupe électrogène comme source d'appoint.
- Le groupement allemand Centrotherm a remporté lundi 7 février 2011 à Alger le contrat de réalisation d'une usine de fabrication de modules photovoltaïques à Rouiba (Alger). L'usine réalisée à Rouiba sur une superficie de 43.000 m^2, dont 30.000 bâtie et produire en 2013 entre 116 et 120 MW.

- Réalisation du pompage solaire de 04 puits du parcours au parc "Tassili." Le projet a été réalisé au mois de février 2008.
- Electrification d'un village composé de 20 huttes dans le parc national du Tassili par l'énergie solaire photovoltaïque, la puissance totale installée est de 8kWh. (Le projet a été réalisé au mois d'Août 2007).

I.3.2.L'énergie géothermique

I.3.2.1. Définition

Le principe de la géothermie consiste à extraire l'énergie contenue dans le sol pour l'utiliser sous forme de chauffage ou d'électricité. Partout, la température croît depuis la surface vers l'intérieur de la Terre. Selon les régions, l'augmentation de la température avec la profondeur est plus ou moins forte, et varie de 3 °C par 100 m en moyenne jusqu'à15 °C ou même 30 °C. Cette chaleur est produite pour l'essentiel par la radioactivité naturelle des roches constitutives de la croûte terrestre. Elle provient également, pour une faible part, des échanges thermiques avec les zones internes de la terre dont les températures s'étagent de 1000°C à 4300°C. Cependant, l'extraction de cette chaleur n'est possible que lorsque les formations géologiques constituant le sous sol sont poreuse ou perméables et contiennent des aquifères. L'énergie géothermique contenue dans le sol peut être utilisé soit pour le chauffage (usage direct) ou pour la transformer en électricité (usage indirecte), comme l'indique la figure (I.5).**[B.Soltane, 2010][4]**



Figure(I.5): Mode d'exploitation des ressources géothermique. [10]

On distingue quatre types de géothermie : la haute, la moyenne, la basse et la très basse énergie.

- *Géothermie à haute énergie (>150°c)*

La géothermie haute énergie, ou géothermie profonde, appelée plus rarement géothermie haute enthalpie, est une source d'énergie contenue dans des réservoirs localisée généralement à plus de 1500m de profondeur et dont la température est supérieure à 150°C. Grâce aux températures élevées, il est possible de produire de l'électricité et de faire de la cogénération (production conjointe d'électricité grâce à des turbines à vapeur et de chaleur avec la récupération des condensats de la vapeur).

- *Géothermie à moyenne énergie (100-150°C)*

La géothermie moyenne énergie correspond à l'exploitation de la chaleur des nappes profondes dans des régions géologiques présente un gradient de température non particulier. Après forage, on injecte dans le sol un fluide calorifique, tel que le fréon ou l'ammoniac, qui est chauffé et ramené à la surface où on l'utilise pour produire de l'électricité et pour chauffer des bâtiments, produire de l'eau chaude sanitaire.

- *Géothermie à basse énergie (30-100°C)*

On parle de géothermie basse énergie lorsque le forage permet d'atteindre une température de l'eau entre 30°C et 100°C, cette technologie est utilisée principalement pour le chauffage urbain collectif par réseau de chaleur, et certaines applications industrielles.

- *Géothermie à très basse énergie (<30° C)*

La géothermie très basse énergie exploite des réservoirs situés à moins de 100 mètres et dont les eaux ont une température inférieure à 30°C, cette technologie est appliquée à la climatisation passive, le chauffage et la climatisation avec la pompe à chaleur géothermique « prélevant la chaleur contenue dans le sol ».**[B.Soltane, 2010]**

I.3.2.2. L'énergie géothermique en Algérie :

En Algérie, les ressources géothermiques sont non négligeables. Les réservoirs géothermiques de basse température, débitent, à travers les sources thermales et les forages artésiens, plus de 12 m3/s d'eau chaude dont la température varie de 22°C à 98°C. Ces eaux chaudes ne sont, malheureusement utilisées que pour les soins thermaux (Hammams). La figure (I.6) montre la distribution des sources thermales en Algérie.

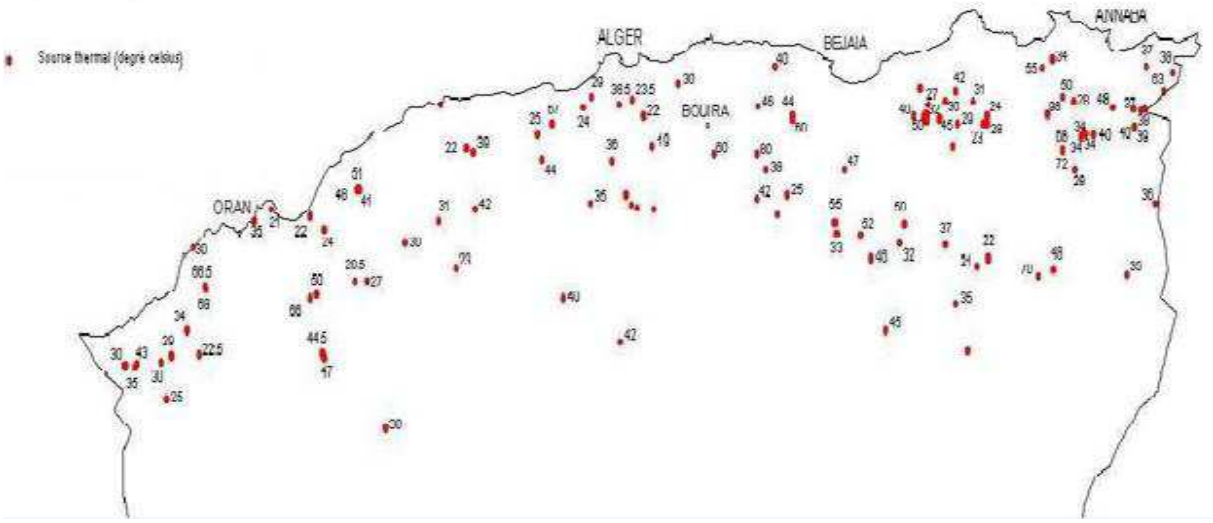


Figure (I.6): Carte de température des sources thermales. [B. Aissa.2011]

I.3.3. Energie de la biomasse :

I.3. 3.1. Définition :

L'énergie de la biomasse, ou bioénergie, est l'énergie qui est extraite des matières organiques non fossiles comme le bois, la paille, les huiles et les déchets végétaux des secteurs forestier, agricole et industriel. Tout comme l'énergie des combustibles fossiles, la bioénergie provient de l'énergie solaire emmagasinée dans les plantes par la photosynthèse. La principale différence entre les deux formes d'énergie tient au fait que les combustibles fossiles ne sont transformables en énergie utilisable qu'après des milliers d'années, alors que l'énergie de la biomasse bien gérée est renouvelable et peut être utilisée de façon continue. La biomasse se présente sous forme solide, liquide ou gazeuse et peut servir à de nombreuses applications. À l'heure actuelle, l'énergie de la biomasse provient en très grande partie des solides (copeaux, sciure, granulats, charbon, ordures ménagères) et des liquides (lessives de cuisson) provenant de la cuisson du bois dans l'industrie papetière.

Il existe trois principales catégories d'énergie relatives à la biomasse

- *Bois :*

L'homme a de tout temps utilisé le bois comme source d'énergie. Un ménage sur deux possède une cheminée et les performances des appareils de chauffage s'améliorant, c'est une ressource d'avenir en alternative aux énergies fossiles. Le bois-énergie est une solution pour chauffer les bâtiments collectifs et les habitations, en appoint à des énergies fossiles (fioul, gaz…), et pour produire de l'électricité (cogénération).

- *Biogaz :*

Le biogaz est le gaz produit par la fermentation de matières organiques animales ou végétales en l'absence d'oxygène. Cette fermentation appelée aussi méthanisation se produit naturellement (dans les marais) ou spontanément dans les décharges contenant des déchets organiques, mais on peut aussi la provoquer artificiellement dans des digesteurs (pour traiter des boues d'épuration, des déchets organiques industriels ou agricoles, etc.). Le biogaz est un mélange composé essentiellement de méthane (typiquement 50 à 70%) et de dioxyde de carbone, avec des quantités variables de vapeur d'eau, et de sulfure d'hydrogène (H_2S). Le

biogaz peut être employé à l'état brut sur des chaudières, groupes électrogènes, générateurs d'air chaud. Il est aussi utilisable comme carburant automobile, après épuration aux normes du gaz naturel.

- *Biocarburant :*

L'autre atout de la biomasse est la possibilité de fabriquer des biocarburants. Il en existe deux types : les éthanols et les biodiesels. Les éthanols, destinés aux moteurs à essence, sont issus de différentes plantes comme le blé, le maïs, la betterave et la canne à sucre. Le procédé consiste à extraire le sucre de la plante pour obtenir de l'éthanol après fermentation.

Quant aux biodiesels, ils sont extraits des oléagineux (colza, tournesol, soja etc ....). Les esters d'huile obtenus peuvent alors être mélangés au gazole. En règle générale, ces biocarburants sont mélangés aux carburants classiques, essence et gazole. Ils entraînent alors une petite diminution des rejets de monoxyde de carbone et de dioxyde de carbone, gaz responsable de l'effet de serre. Mais ces biocarburants ont un énorme inconvénient, ils occupent des surfaces agricoles au détriment des cultures vivrières.**[B.Soltane, 2010]**

I.3.3.2. L'énergie de la biomasse en Algérie :

L'Algérie se subdivise en deux parties

- Les régions selvatiques qui occupent 25.000.000 hectares environ, soit un peu plus de 10% de la superficie totale du pays.
- Les régions sahariennes arides couvrant presque 90% du territoire.

Dans le nord de l'Algérie qui représente 10% de la surface du pays, soit 2500 000 hectares, la forêt couvre 1 800 000 hectares et les formations forestières dégradées en maquis 1 900 000 hectares.

Le pin maritime et l'eucalyptus sont des plantes particulièrement intéressantes pour l'usage énergétique actuellement elles n'occupent que 5% de la forêt algérienne.

Actuellement, le développement de la bioénergie est encore à l'échelle expérimentale dans les laboratoires de recherche.

I.3.4. Energie hydraulique :

I.3.4.1. Définition :

L'énergie hydroélectrique, ou hydroélectricité, est une énergie électrique obtenue par conversion de l'énergie hydraulique des différents flux d'eau (fleuves, rivières, chutes d'eau, courants marins ...). L'énergie cinétique du courant d'eau est transformée en énergie mécanique par une turbine, puis en énergie électrique par un alternateur. Pour que la force motrice de l'eau soit suffisante pour faire tourner la turbine d'une centrale hydroélectrique, il faut que le débit du cours d'eau soit assez important et que sa hauteur de chute soit assez élevée. La figure (I.7) montre le principe de fonctionnement d'une centrale hydraulique.

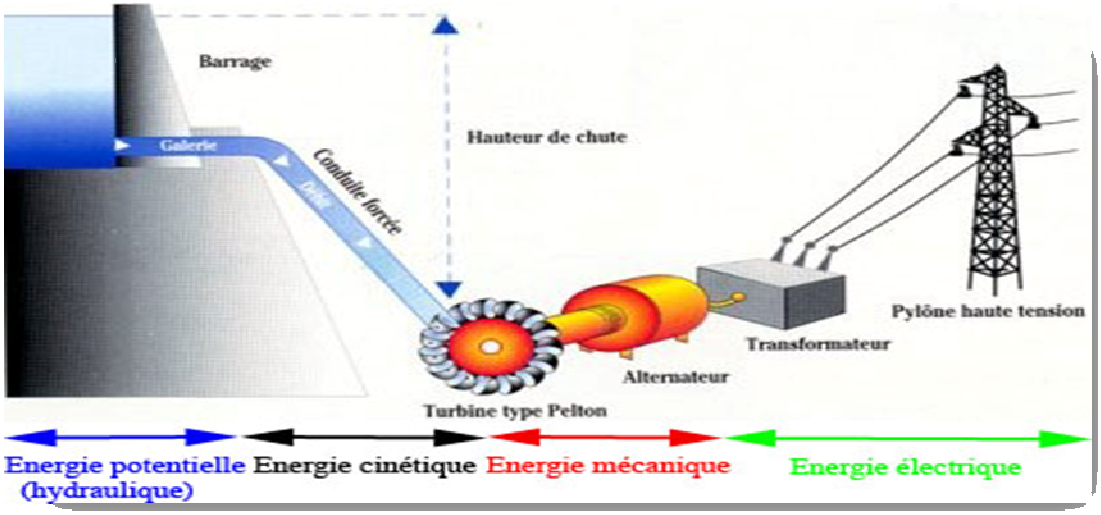


Figure (I.7): Schéma de principe d'une centrale hydraulique. [11]

Suivant la hauteur de chute on distingue :

- *Les centrales de haute chute :*

Les centrales de haute chute ont des hauteurs de chutes supérieures à 300m, elles utilisent des turbines Pelton. Ces centrales se trouvent dans les Alpes et dans d'autres régions très montagneuses. La capacité du réservoir est relativement faible.

- *Les centrales de moyenne chute :*

Les centrales de moyenne chute ont des hauteurs comprises entre 30m et 300m ; elles utilisent des turbines Francis. Ces centrales sont alimentées par l'eau retenue derrière un barrage construit dans le lit d'une rivière de région montagneuse. Elles comportent un réservoir de grande capacité.

- *Les centrales de basse chute :*

Les centrales à basse chute, ou centrales au fil de l'eau, ont des hauteurs de chute inférieures à 30m, elles utilisent des turbines Kaplan ou Francis. Ces centrales sont établies sur les fleuves ou les rivières à fort débit. **[B.Soltane, 2010]**

I.3.4.2 L'énergie hydraulique en Algérie :

La part de capacité hydraulique dans le parc de production électrique total est de 5%, soit 286 MW. Cette faible puissance est due au nombre insuffisant des sites hydrauliques et à la non-exploitation des existants.

I.3.5. Energie des vagues et marémotrice :

L'énergie marémotrice produite de l'électricité d'une manière similaire à l'énergie hydraulique. Une structure comme un barrage est construite à travers un estuaire pour emprisonner une marée haute et pour ensuite la laisser passer à travers des turbines pour produire de l'électricité. L'écoulement de l'eau peut seulement produire de l'électricité sur la marée descendante ou sur la marée descendante et montante, cette énergie dépend des variations journalières de la marée.

Les centrales énergétiques marémotrices ont besoin pour produire de l'électricité de turbines spéciales tournant dans les deux sens utilisent les marées montantes et descendantes. La figure (I.8) montre le principe de l'énergie marémotrice.

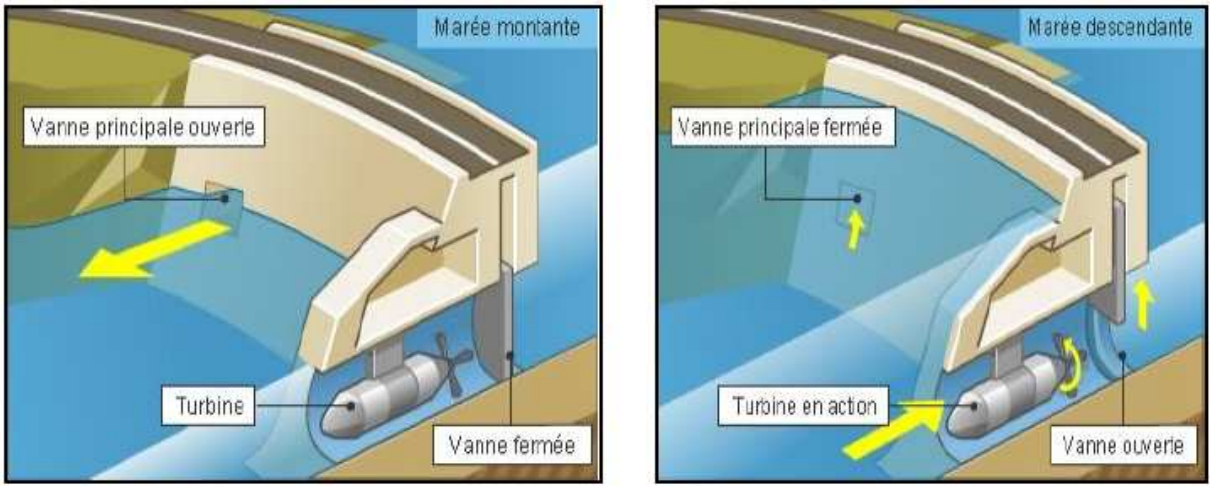


Figure (I.8):Schéma de principe de l'énergie marémotrice. . [B. Aissa.2011]

L'énergie des vagues est créé par le vent et l'eau, donc comme ces deux énergies sont renouvelables, leur association permet de disposer d'une nouvelle forme d'énergie propre. Bien que l'énergie des vagues soit considérée comme une énergie de haute qualité, elle est encore très peu développée. Un frottement se développe entre l'air et l'eau pendant que le vent souffle à travers l'eau.

I.3.6. Energie éolienne :

I.3.6.1 Définition :

C'est une énergie cinétique du vent, utilisée après conversion en énergie mécanique ou électrique. Cette énergie résulte de la force exercée par le vent sur les pales d'une hélice montée sur un arbre rotatif, lui-même relié soit à des systèmes mécaniques qui servent à moudre des grains ou à pomper l'eau, soit à un aérogénérateur qui transforme l'énergie de vent en énergie mécanique. Lorsque l'arbre est connecté à une charge, par exemple à une pompe ; le système machine est appelée roue éolienne, lorsque celle-ci est utilisée pour produire de l'électricité, généralement. Les éoliennes se divisent en deux grandes familles celles à axe vertical et celles à axe horizontal. La figure (I.9) montre les différents types d'éoliennes. **[C. Naïm, 2010]**

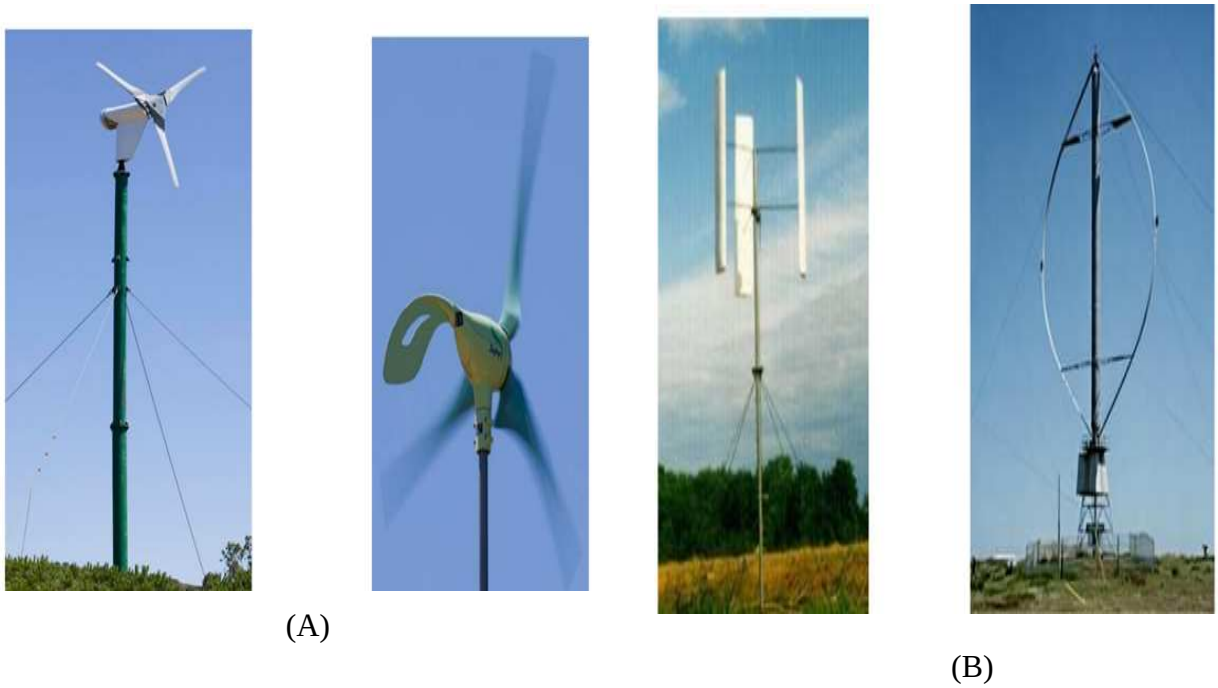


Figure (I.9): Technologies d'éoliennes. (A) axe horizontal, (B) axe vertical [K. Fairouz, 2012]

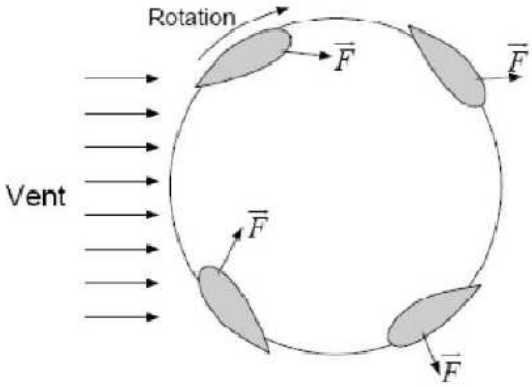
- *Eolienne à axe vertical*

Les éoliennes à axe vertical ont été les premières structures développées pour produire de l'électricité paradoxalement en contradiction avec le traditionnel moulin à vent à axe horizontal. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol donc facilement accessibles. **[C. Naïm, 2010]**

Les principaux capteurs à axe vertical sont le rotor de Savonius et le rotor de Darrieus.

- Le rotor de Savonius : (du nom de son inventeur, breveté en 1925) : Le rotor de Savonius dont le fonctionnement est basé sur le principe de "traînée différentielle" utilisé dans les anémomètres : les efforts exercés par le vent sur chacune des faces d'un corps creux sont d'intensité différente, il en résulte alors un couple moteur entraînant la rotation de l'ensemble. L'effet est ici renforcé par la circulation d'air entre deux demi-cylindres qui augmente le couple moteur.
- Le rotor de Darrieus : inventé par l'académicien français Darrieus au cours des années 1925 – 1935 repose sur l'effet de la portance d'un profil soumis à l'action d'un vent relatif, il

existe quatre types de rotors de Darrieus : le rotor cylindrique, le rotor tronconique, le rotor à variation cyclique et le rotor parabolique.



Figure(I.10): éolienne de Darrieus. [K. Fairouz, 2012]

- *Eolienne à axe horizontal*

Les turbines à axe horizontal sont de loin les plus utilisées. Les différentes constructions des aérogénérateurs utilisent des voilures à deux, trois ou plusieurs pales**.** Toutefois, les structures les plus courantes sont à trois pales. Une éolienne à axe horizontal est constituée donc d'une hélice perpendiculaire au vent montée sur un mat dont les pales sont profilées aérodynamiquement à la manière d'une aile d'avion. Par conséquent, ce type de turbines doit toujours être orienté face au vent**.** Par comparaison à la turbine à axe vertical, pour la même vitesse de vent, les éoliennes à axe horizontal sont capables de produire plus d'énergie grâce à un meilleur coefficient de puissance. Par ailleurs, elles ont un coût moindre et une efficacité accrue due à leur position à plusieurs dizaines de mètres du sol**. [C. Naïm, 2010]**

Figure(I.11):Eolienne à axe horizontal à Adrare.

A- Avantages :

- Coût limité.
- Peu de contraintes mécaniques.
- Grande efficacité. **[L.M^{ed}Tahar, 2012]**

B- Inconvénients :

- Bruit conséquent,
- Vibrations non négligeables,
- Grande sensibilité au flux éolien et sa variation. **[L.M^{ed}Tahar, 2012]**

I.4.Constitution d'une éolienne moderne:

La figure(I.12) représente une chaîne électromécanique à multiplicateur de vitesse d'une éolienne moderne tripale à axe horizontal de type Nordex N60 (1.3MW).

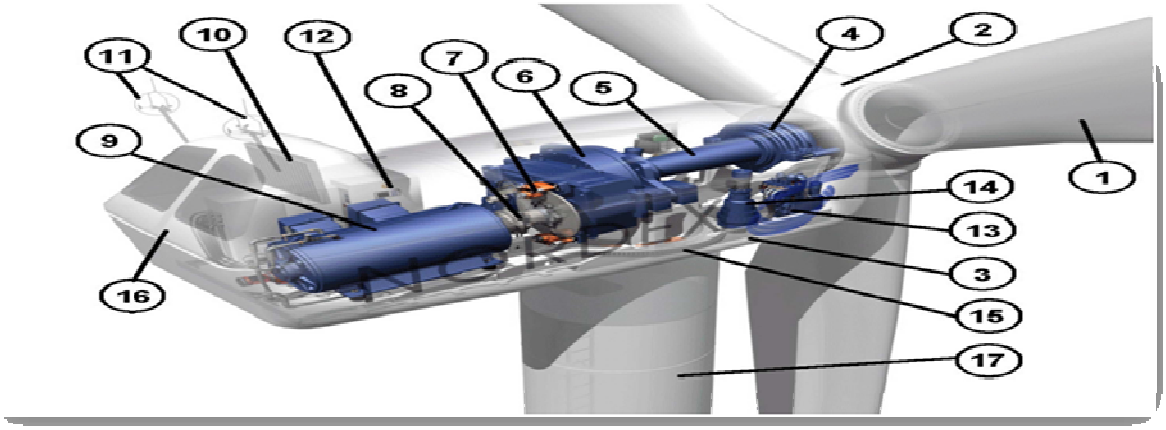


Figure (I.12): Différentes parties de l'éolienne-NORDEX N60-1.3MW.

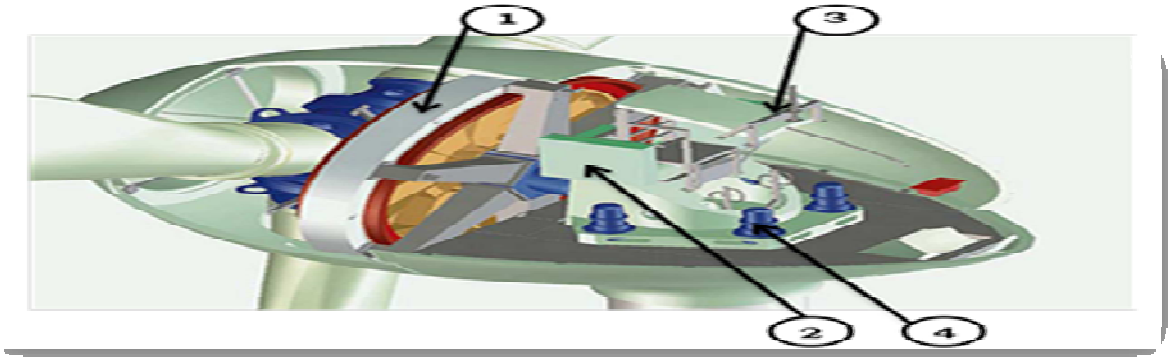
Elle est constituée d'une tour (17), supporte la nacelle (3) et le moyeu de la turbine (2) sur lequel sont fixées les pales (1). Il est important qu'il soit haut du fait de l'augmentation de la vitesse du vent avec la hauteur et aussi du diamètre des pales.

La nacelle (3) partiellement accueille la génératrice (9) et son système de refroidissement (10), le multiplicateur de vitesse (6) et différents équipements électroniques de contrôle (12) qui permettent de commander les différents mécanismes d'orientation (13), (14), (15) ainsi que le fonctionnement global de l'éolienne. Le multiplicateur de vitesse comporte un arbre lent (5) muni d'un palier à billes, et un arbre à grande vitesse. Il est équipé d'un frein mécanique à disque (7) et un accouplement flexible (8) avec le générateur (9). Le tout est protégé par un capot en acier (16).

Un anémomètre et une girouette (11) situés sur le toit de la nacelle fournissent les données nécessaires au système de contrôle pour orienter l'éolienne et la déclencher ou l'arrêter selon la vitesse du vent.

Mais les multiplicateurs mécaniques ont leurs inconvénients, ils nécessitent une maintenance accrue et nuisent à la fiabilité surtout dans les grandes puissances. C'est la raison pour laquelle latendance est à l'entraînement direct. La génératrice est alors une machine synchrone (rotor bobiné ou aimants) à très grand nombre de pôles et donc à fort couple

massique .Le fabricant allemand Enercon propose ainsi toute une gamme de telles machines de 200 kW à 4,5MW (phase de pré-industrialisation). La figure(I.13) montre le schéma de la nacelle d'une telle machine. Le diamètre de la nacelle est plus élevé mais sa longueur est plus courte. Ces génératrices, dont la vitesse de rotation et le nombre de pôles rendent impossible une connexion directe au 50 Hz, sont nécessairement alimentées par un convertisseur statique qui offre la possibilité d'un fonctionnement à vitesse variable.**[C. Naïm, 2010]**



Figure(I.13): Schéma d'une éolienne Enercon à entraînement direct.

1: Alternateur discoïde.

2: Convertisseurs électronique.

3: Système de refroidissement.

4: Système d'orientation.**[C. Naïm, 2010]**

I.4.1.L'énergie éolienne en Algérie :

L'Algérie est un très vaste pays caractérisé par une bande côtière peuplée, limité par la méditerranée au nord et l'atlas saharien au sud. Le grand sud, qui représente plus de 90% du territoire, est caractérisé par un climat aride et des populations éparses. Vu le coût élevé du transport de l'énergie vers les régions isolées, les installations éoliennes autonomes sont mieux adaptées et plus viables pour couvrir les besoins énergétiques des régions du sud de

l'Algérie. Toute fois, Cette ultime étape qu'est l'application éolienne, ne peut se faire sans l'étude préalable de la source d'énergie qui est le vent. La carte de la vitesse annuelle moyenne du vent de l'Algérie présentée en figure (I.14) a permis une première identification des sites ventés. Le gisement éolien est plus important au Sud qu'au Nord plus particulièrement dans la région du Sud-ouest limité par "Timimoun", "In Salah" et" Tamanrasset" où la vitesse dépasse 6m/s à la hauteur de 30 m au dessus du sol. Par ailleurs, on a constaté que le Nord de l'Algérie est caractérisé globalement par des vitesses peu élevées avec l'existence de microclimats dans la région de " l'Oran, Tiaret, El Bayadh" pour l'Ouest et toute la région qui s'étend de "Béjaia" jusqu'à "Biskra" ainsi que la région de "Annaba".

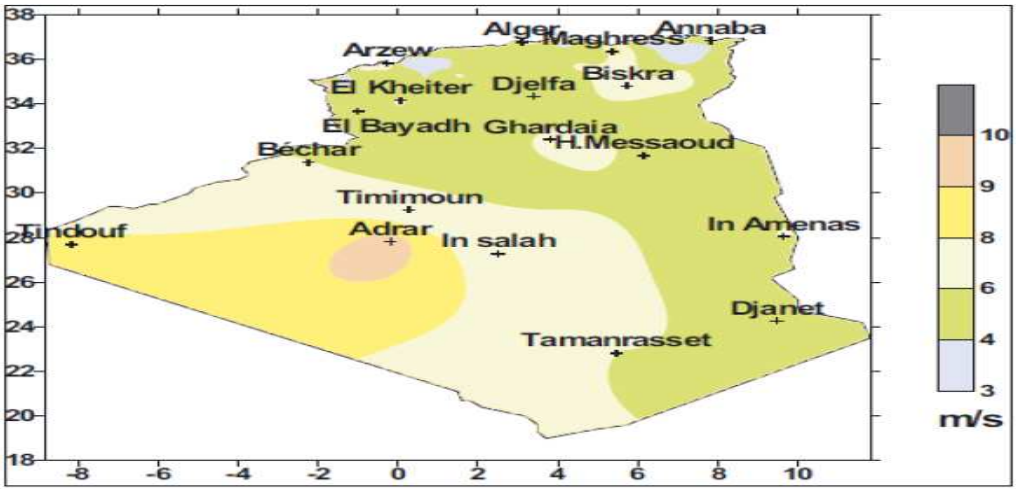


Figure (I.14): Carte de la vitesse annuelle moyenne de l'Algérie à 30 m du sol.

Et parmis les projets :

- le peu de projets réalisés concernaient l'installation de pompes éoliennes.
- L'Algérie qui vient de faire ses premiers pas dans le domaine de l'éolien vient d'investir 30 millions d'euros pour la construction de la première ferme éolienne.

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons donné un aperçu des possibilités des énergies renouvelables et des différentes éoliennes utilisées dans l'industrie moderne pour la production d'énergie électrique. Après un rappel des notions élémentaires nécessaires à la compréhension de la chaîne de conversion de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique, les différents types d'éoliennes et leur mode de fonctionnement ont été décrits.

Dans le chapitre suivant, on va étudier conversion électromécanique dans système éolien.

CHAPITRE II

LA CONVERSION ÉLECTROMÉCANIQUE DE SYSTEME EOLIENNE

CHAPITRE II : CONVERSION ELECTROMECANIQUE DANS SYSTEME EOLIEN

II.1.Introduction

La conversion électromécanique est basé sur le principe de fonctionnement des génératrices qui transfère l'énergie mécanique on énergie électrique et les convertisseurs (machines + convertisseurs). Pour le cas de l'énergie éolienne, la plus par des machines utilisées sont des machines synchrones.

Dans ce chapitre on va étudier les machines utilisées dans le système éolien et les différant type des convertisseurs ainsi que leur développement.

II.2. Systèmes utilisant la machine asynchrone :

Le générateur à induction est largement utilisé dans les turbines éoliennes de moyenne et grande puissance en raison de sa robustesse, sa simplicité mécanique et son coût réduit. Son inconvénient majeur est la consommation d'un courant réactif de magnétisation au stator.**[T. Abderrahim, 2012]**

II.2.1. Machine asynchrone à cage d'écureuil

La génératrice asynchrone à cage d'écureuil qui équipe actuellement une grande partie des éoliennes installées dans le monde. La plupart des applications utilisant la machine asynchrone sont destinées à un fonctionnement en moteur (cela représente d'ailleurs un tiers de la consommation mondiale d'électricité), mais cette machine est tout à fait réversible et ses qualités de robustesse et de faible coût ainsi que l'absence de balais-collecteurs ou de contacts glissants sur des bagues la rendent tout à fait appropriée pour l'utilisation dans les conditions parfois extrêmes que présente l'énergie

éolienne. La caractéristique couple/vitesse d'une machine asynchrone à deux paires de pôles est donnée sur la figure (II. 15).

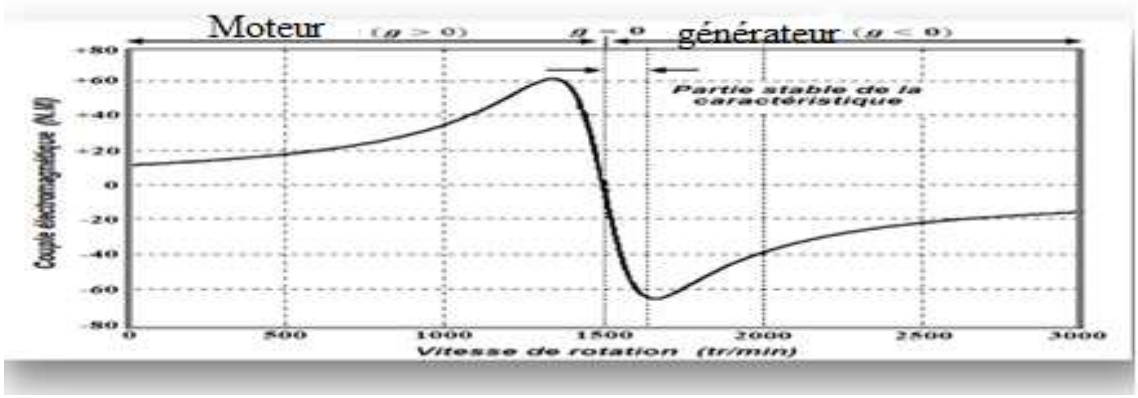


Figure (II.15): Caractéristique couple/vitesse d'une machine asynchrone à 2 paires de pôles.

Pour assurer un fonctionnement stable du dispositif, la génératrice doit conserver une vitesse de rotation proche du synchronisme (point g=0), dans le cas de la caractéristique ci-dessus, la génératrice devra garder une vitesse comprise entre 1500 et 1600 tr/min .

Le dispositif le plus simple et le plus couramment utilisé consiste à coupler mécaniquement le rotor de la machine asynchrone à l'arbre de transmission de l'aérogénérateur par l'intermédiaire du multiplicateur de vitesse et à connecter directement le stator de la machine au réseau figure(II.16). **[L.M^{ed}Tahar, 2012][H. Wafa, 2013]**

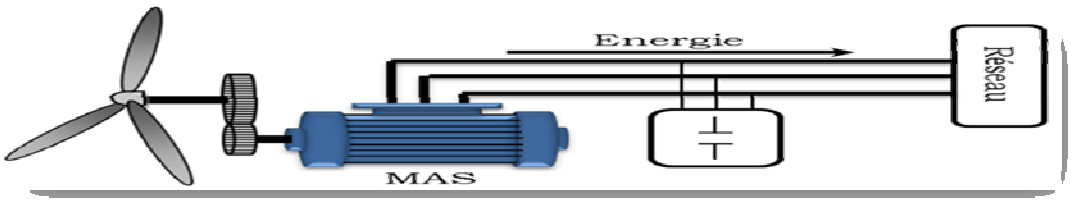


Figure (II.16): Connexion directe d'une machine asynchrone sur le réseau.

La machine à un nombre de pair de pôles fixe et doit donc fonctionner sur une plage de vitesse très limitée (glissement inférieur à 2%). La fréquence étant imposée par le réseau, si le glissement devient trop important, les courants statoriques de la machine augmentent et peuvent devenir destructeurs.

La simplicité de la configuration de ce système (aucune interface entre le stator et le réseau et pas de contacts glissants) permet de limiter la maintenance sur la machine.

Ce type de convertisseur électromécanique est toutefois consommateur d'énergie réactive nécessaire à la magnétisation du rotor de la machine, ce qui détériore le facteur de puissance global du réseau, celui–ci peut être toutefois amélioré par l'adjonction de capacités représentées sur la figure(II.16) qui deviennent la seule source de puissance réactive dans le cas d'un fonctionnement autonome de l'éolienne.

Par contre, cette configuration représente quelques inconvénients :

- Il n'y a pas d'accès pour récupérer l'énergie induit dans le rotor ;
- Elle ne permet pas une vitesse variable ;
- Le courant débité au réseau est perturbé à cause la variation brusque du couple;
- Elle ne fonctionne en régime autonome qu'en présence des condensateurs ;

Une autre solution consiste à utiliser la génératrice asynchrone triphasée car la connexion de l'éolienne au réseau se fait par l'intermédiaire d'un dispositif électronique de puissance figure (II. 17). **[T. Abderrahim, 2012][H. Wafa, 2013]**

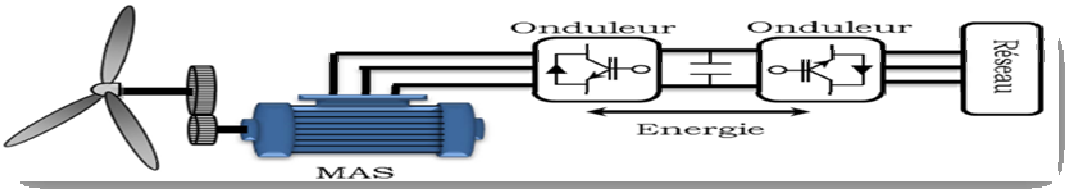


Figure (II.17): Eolienne connectée au réseau par l'intermédiaire de convertisseurs de Puissance.

II.2.2. Machine asynchrone à double stator :

Cette configuration d'éolienne, permet un point de fonctionnement à deux vitesses. On réalise un double bobinage au stator figure(II.18) qui induit un nombre de paires de pôles variable et donc des plages de vitesses différentes. On peut imposer 2 vitesses de synchronisme par changement du nombre de pôles. D'une part, on a un stator de faible puissance à grand nombre de paires de pôles pour les petites vitesses de vent. En effet, la puissance est donnée par :

$$P_{mg} = C_{em} . \Omega_{s} \qquad \textbf{(II.1)}$$

A une faible puissance correspond une faible vitesse, la vitesse étant liée au nombre de paires de pôles par:

$$\Omega_{s} = \frac{\omega}{P} \qquad \textbf{(II.2)}$$

A une faible vitesse correspond un nombre de paires de pôles élevé. D'autre part, on a un stator de forte puissance correspondant à une vitesse élevée et donc à faible nombre de paires de pôles pour les vitesses de vent élevées pour la connexion au réseau ont utilisé des commutateurs.**[T. Abderrahim, 2012]**

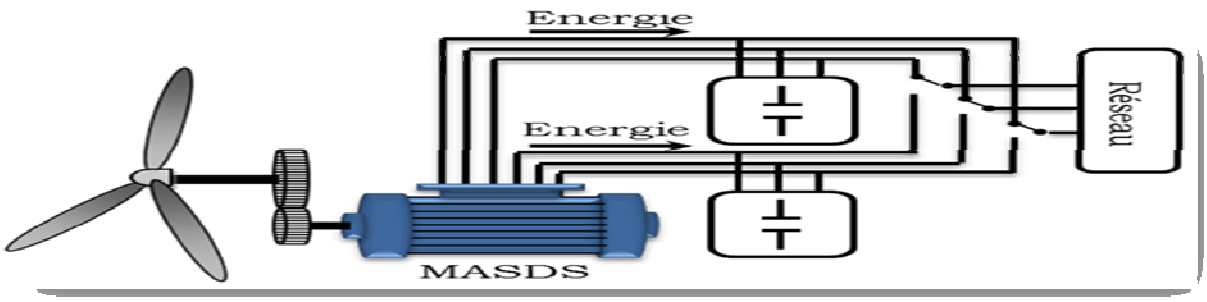


Figure (II.18): Schéma de la connexion au réseau de l'éolienne avec la MAS à double stator.

Malgré sa simplicité et ses qualités de robustesse et son coût, la machine asynchrone à cage reste uniquement pour l'utilisation dans un système éolien, lorsqu'elle est

directement connectée au réseau, la vitesse de rotation doit rester pratiquement constante de façon à ce que la machine reste proche de la vitesse de synchronisme. Cette restriction entraîne une efficacité réduite de l'éolienne aux vitesses de vent élevées.

II.2.3.Machine Asynchrone à Double Alimentation type "rotor bobiné"

Ce type d'aérogénérateur s'est développé récemment car la double alimentation de machine asynchrone permet une meilleure exploitation du potentiel de l'éolienne. Le stator est directement relié au réseau tandis que les grandeurs rotoriques sont commandées par un convertisseur statique figure(II.19). La maîtrise de l'état électromagnétique de la machine par le rotor permet de fonctionner à la fréquence et l'amplitude nominales du réseau même si le rotor s'éloigne de la vitesse de synchronisme. Le dimensionnement du convertisseur est proportionnel au glissement maximal du rotor, autrement dit, il dépend de l'écart maximal entre la vitesse de synchronisme et la vitesse réelle du rotor.

La diminution de puissance du convertisseur statique permet la minimisation des composants de filtrage et de conversion, l'accroissement de la fiabilité de l'électronique, la diminution du coût de l'ensemble et l'amélioration de la qualité d'onde générée (grâce à la diminution de l'amplitude des courants commutés par le convertisseur et l'augmentation de la fréquence de hachage).

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.**[L.M^{ed}Tahar, 2012]**

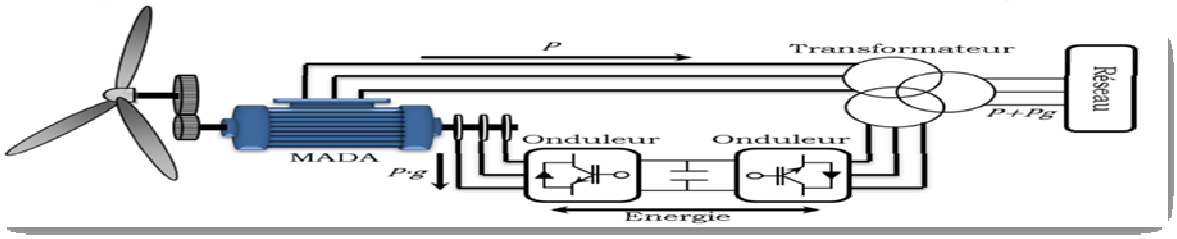


Figure (II.19): schéma de principe d'une machine asynchrone pilotée par le rotor.

Le résumé des points forts de la MADA sont:

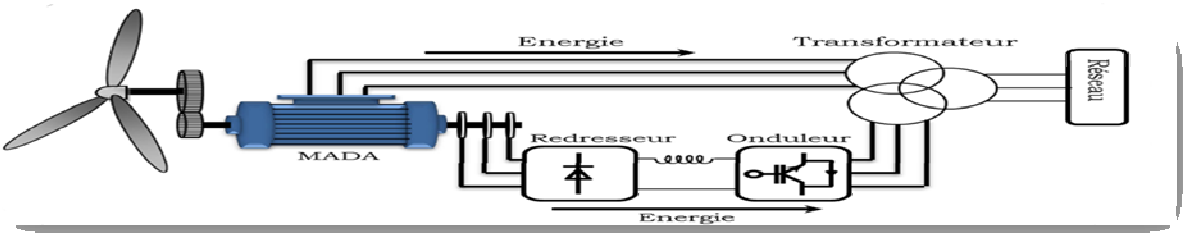
- Sa capacité de commander la puissance réactive et, de cette façon, de découpler la commande des puissances active et réactive.
- Il peut se magnétiser à partir du rotor sans prélever au réseau la puissance réactive nécessaire.
- Il est capable d'échanger de la puissance réactive avec le réseau pour faire la commande de tension.
- La taille du convertisseur n'est pas simplement en rapport avec la puissance totale du générateur, mais aussi avec la gamme de vitesse choisie. En fait, le coût du convertisseur augmente avec la gamme de vitesse autour de la vitesse de synchronisme. Son inconvénient réside dans la présence obligatoire de bagues et balais.

Il existe plusieurs technologies de la machine asynchrone à double alimentation et plusieurs avantages.

(a) MADA – structure de Kramer

Cette configuration à vitesse variable est représentée sur la figure(II.20), le stator est connecté directement au réseau et le rotor est connecté à un redresseur et un onduleur est placé en sortie du redresseur.

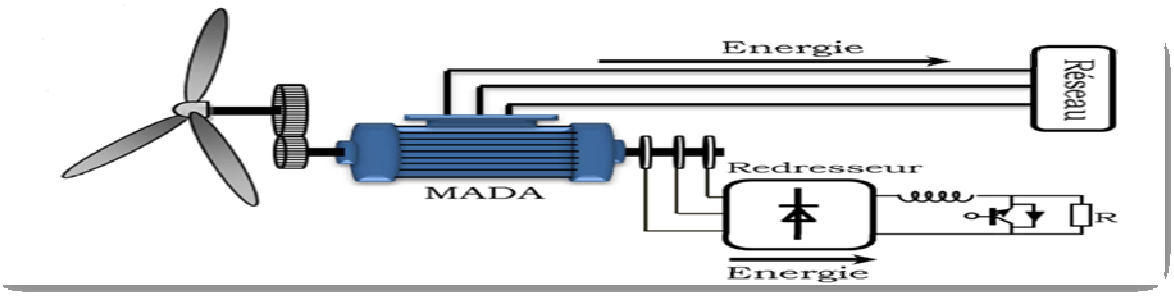
L'ensemble redresseur-onduleur est alors dimensionné pour une fraction de la puissance nominale de la machine.



Figure(II .20): MADA - structure Kramer.

(b) MADA à énergie rotorique dissipée

La figure(II.21) représente cette configuration avec le stator connecté directement au réseau et le rotor connecté à un redresseur. Une charge résistive est alors placée en sortie du redresseur par l'intermédiaire d'un hacheur à IGBT ou GTO. Le contrôle de l'IGBT permet de faire varier l'énergie dissipée par le bobinage rotorique et de fonctionner à vitesse variable en restant dans la partie stable de la caractéristique couple/vitesse de la machine asynchrone.**[R. Radia, 2009]**



Figure(II.21): MADA avec contrôle du glissement par l'énergie dissipée.

Si le glissement devient important, la puissance extraite du rotor est élevée et elle est entièrement dissipée dans la résistance R, ce qui nuit au rendement du système. De plus cela augmente la puissance transitant dans le convertisseur ainsi que la taille de la résistance. Le fabriquant "VESTAS" dans son dispositif "OPTI-SLIP" a mis en œuvre ce système en utilisant des composants qui tournent avec le rotor et une transmission optique des signaux de commande. **[R. Radia, 2009]**

Les contacts glissants sont ainsi évités. La variation maximale du glissement obtenue dans ce procédé est de 10%.

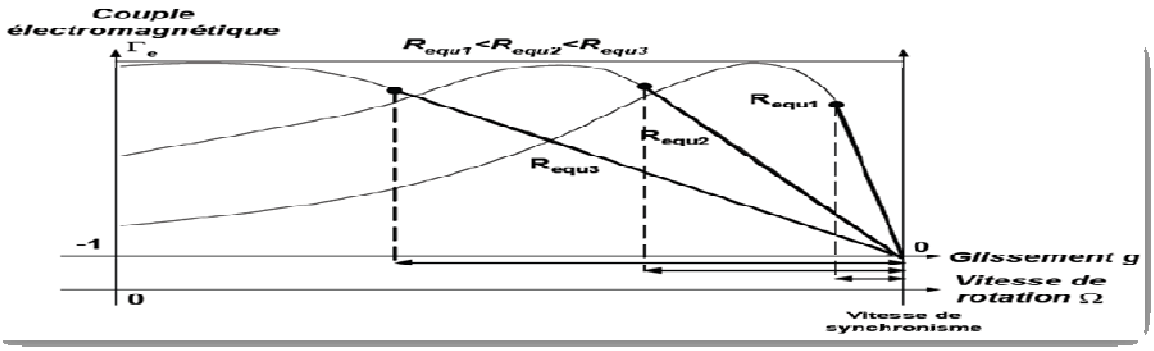
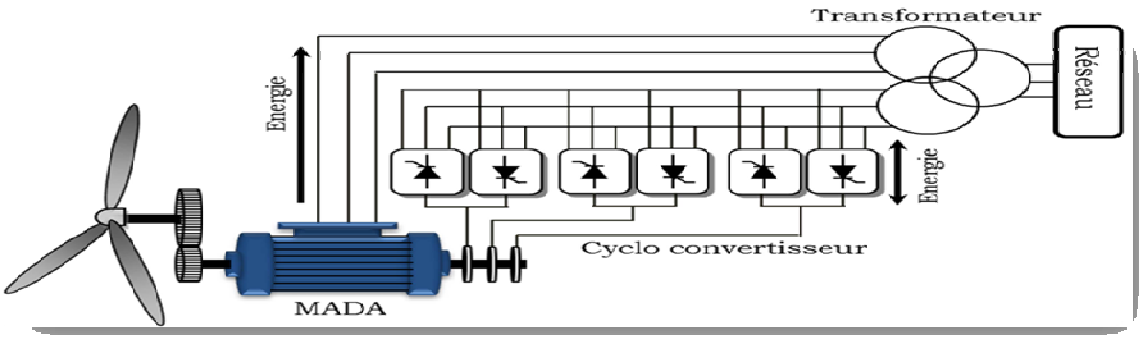


Figure (II.22): Effet de la variation de la résistance rotorique sur le couple électromagnétique.

(c) MADA – structure de « Scherbius» avec cycloconvertisseur

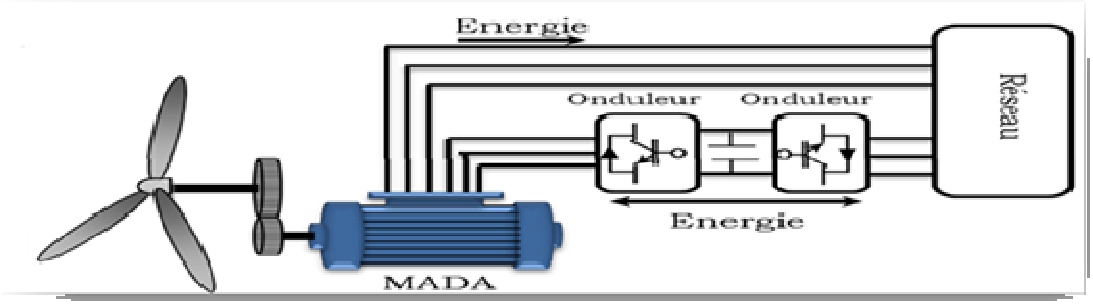
Quand on remplace l'association redresseur - onduleur par un cycloconvertisseur figure (II.23) pour autoriser un flux d'énergie bidirectionnel entre le rotor et le réseau, l'ensemble est alors appelé « *structure de Scherbius*». La plage de variation de vitesse est doublée par rapport à la structure de la figure(II.21)



Figure(II.23): Structure de Scherbius avec cycloconvertisseur.

II.2.4. Machine Asynchrone à Double Alimentation Type "Brushless"

Cette machine est constituée de deux bobinages triphasés au stator. Un des bobinages est directement connecté au réseau et est destiné au transfert de puissance. Le second bobinage, dont la section des conducteurs est moins élevée, permet de faire varier les courants d'excitation de la machine. Le stator de forte puissance est connecté directement sur le réseau et le convertisseur est placé entre le stator de faible puissance et le réseau figure(II.24).



Figure(II.24):Machine asynchrone brushless connectée sur le réseau.

II.3.Systèmes utilisant la machine synchrone

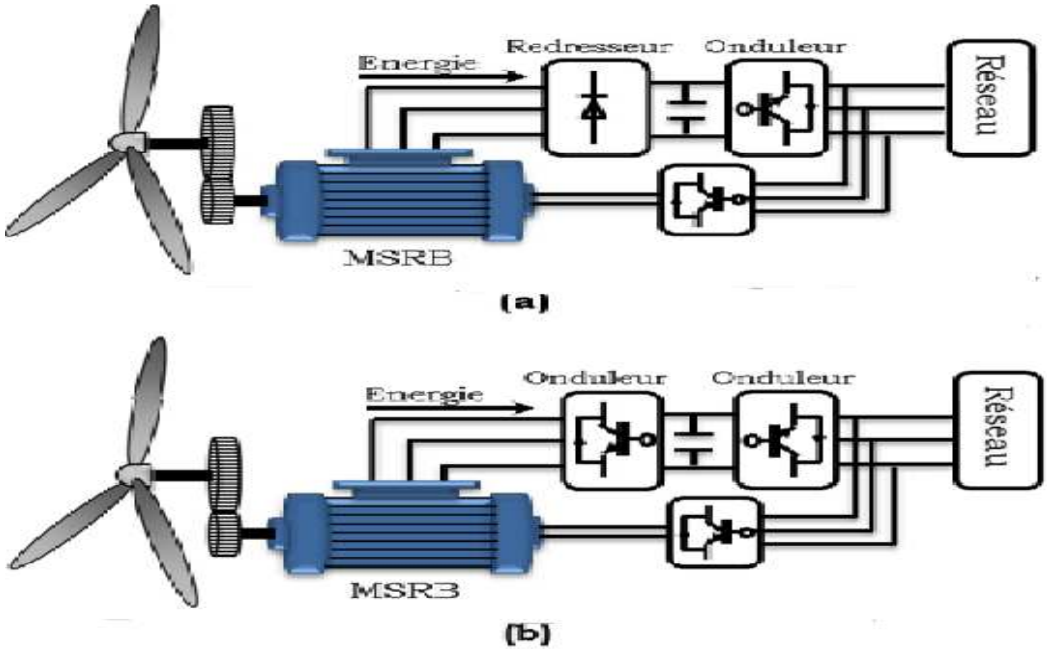
L'avantage du générateur synchrone sur le générateur asynchrone est l'absence de courant réactif de magnétisation. Le champ magnétique du générateur synchrone peut être obtenu par des aimants ou par un bobinage d'excitation conventionnel. Si le générateur possède un nombre suffisant de pôles, il peut être utilisé pour les applications d'entraînement direct qui ne nécessitent pas de boite de vitesses. Le générateur synchrone est toutefois mieux adapté à la connexion indirecte au réseau de puissance à travers un convertisseur statique, lequel permet un fonctionnement à vitesse variable. Pour des unités de petites tailles, le générateur à aimants permanents est plus simple est moins coûteux. Au-delà de 20 kW (environ), le générateur synchrone est plus coûteux et complexe qu'un générateur asynchrone de taille équivalente.**[R. Radia, 2009][T. Abderrahim, 2012]**

II.3.1.Générateur Synchrone à Rotor Bobiné

Ce type de machine est utilisé dans la plupart des procédés traditionnels de production d'électricité. Le champ créé par la rotation du rotor doit tourner à la même vitesse que le champ statorique. Ainsi, si la génératrice est directement connectée au réseau, sa vitesse de rotation doit être rigoureusement proportionnelle à la fréquence du

réseau. Ces machines présentent aussi le défaut d'imposer la présence d'un multiplicateur de vitesse. Elles sont en effet bien adaptées à des vitesses de rotation relativement importantes et un couple insuffisant pour un couplage mécanique direct sur la turbine. Par contre, les machines synchrones sont connues pour offrir des couples très importants à dimensions géométriques convenables. Elles peuvent donc être utilisées avec un entraînement direct sur les turbines éoliennes. Ceci pose le problème d'adaptation de ce type de machines avec le système éolien pour maintenir la vitesse de rotation de l'éolienne strictement fixe et pour synchroniser la machine avec le réseau. En conséquence de cette grande rigidité de la connexion génératrice - réseau, les fluctuations du couple capté par l'aérogénérateur se propagent sur tout le train de puissance, jusqu'à la puissance électrique. C'est pourquoi les machines synchrones ne sont pas utilisées dans les aérogénérateurs directement connectés au réseau, et nécessitent une interface d'électronique de puissance entre le stator de la machine et le réseau (figure(II.25)) ce qui permet d'autoriser un fonctionnement à vitesse variable dans une large plage de variation.

Les machines synchrones à rotor bobiné demandent un entretien régulier du système de contacts glissants au rotor. Le circuit d'excitation est assuré par l'intermédiaire d'un redresseur connecté au réseau.**[H. Wafa, 2013]**



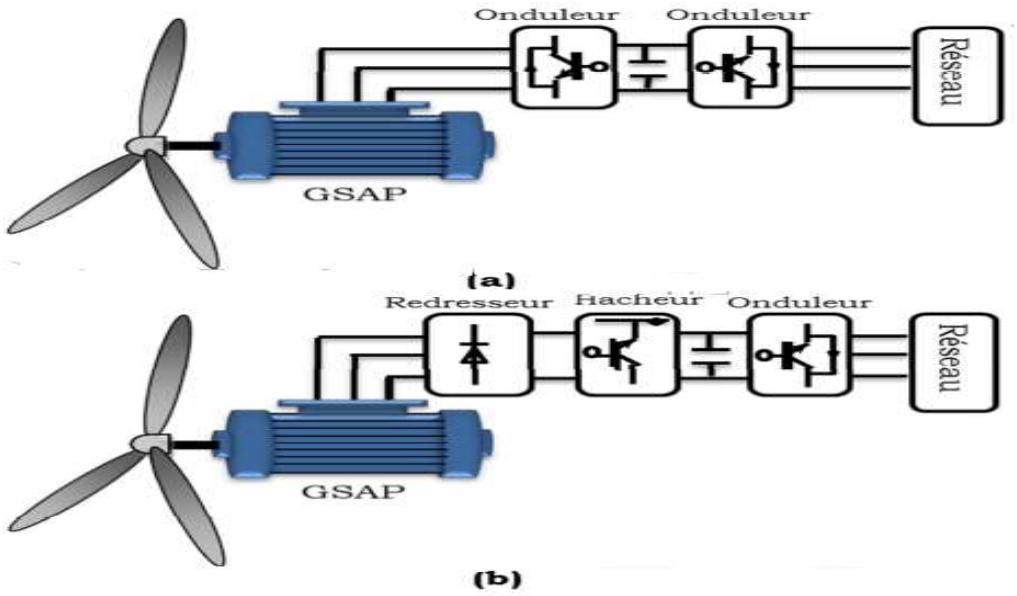
Figure(II.25):Système éolien basé sur la machine synchrone à rotor bobiné. (a) avec redresseur à diodes, (b) avec convertisseur commande.

II.3.2.Générateur Synchrone à Aimants Permanents (GSAP)

Le développement des matériaux magnétiques a permis la construction des machines synchrones à aimants permanents à des coûts qui deviennent compétitifs. Les machines de ce type sont à grand nombre de pôles et permettent de développer des couples mécaniques considérables. Il existe plusieurs concepts de machines synchrones à aimants permanents dédiées aux applications éoliennes, des machines de construction standard (aimantation radiale) ou génératrices discoïdes (champs axial), ou encore à rotor extérieur.

Le couplage de ces machines avec l'électronique de puissance devient de plus en plus viable économiquement, ce qui en fait un concurrent sérieux des génératrices asynchrones à double alimentation. Les systèmes de ce type ont un taux de défaillance

jugé faible grâce à la suppression de certaines sources de défauts : suppression du multiplicateur de vitesse et du système de bague et balais (figure(II.26)). Les frais d'entretien sont alors minimisés ce qui est très intéressent dans les applications éoliennes, en particulier dans les sites difficilement accessibles(offshore par exemple). La présence obligatoire de l'électronique de puissance permet enfin une régulation simple de la vitesse de rotation et donc une optimisation énergétique efficace. **[P .Frédéric ,2003]**



Figure(II.26): systèmes éoliens basés sur la Machine Synchrone à Aimants Permanents (a) GSAP avec convertisseurs MLI. (b) GSAP avec redresseur, hacheur et convertisseur.

L'inconvénient majeur de l'utilisation de la GSAP est le coût des aimants utilisés. Toutefois certains d'entre eux sont réalisés à l'aide de terres rares et sont par conséquent très coûteux, bien que leur utilisation de plus en plus fréquente tende à faire baisser leur prix. De plus, les variations importantes de couples électromagnétiques qui peuvent avoir lieu dans un système éolien risquent d'entraîner une démagnétisation des aimants lorsqu'ils sont constitués de matériaux classiques. Ceci contribue largement à la diminution de leur durée de vie.

Dans la configuration de la GSAP de la figure (II.26-b), la génératrice est connectée à un redresseur triphasé suivi d'un hacheur, qui a pour rôle de contrôler le couple électromagnétique.

La liaison au réseau est assurée par un onduleur MLI qui assure la régulation de la tension du bus continu aussi bien qu'il contrôle le facteur de puissance.

L'inconvénient de cette configuration est l'utilisation du redresseur, ce qui augmente l'amplitude du courant et la déformation de la tension. En conséquence, cette configuration a été considérée pour les petites puissances (inférieures à 50KW).

Dans la configuration de la figure (II.26-a), un redresseur MLI est placé entre la génératrice et le bus continu, et la liaison au réseau est assurée par un onduleur MLI. L'avantage de cette configuration par rapport à la configuration précédente est l'utilisation de la commande vectorielle ce qui permet à la génératrice de fonctionner au voisinage du point optimal.

Cependant, ces performances dépendent de la bonne connaissance des paramètres de la génératrice qui dépendent de la température et la fréquence. En choisissant judicieusement les paramètres du système représenté sur la figure (II.27), un système à vitesse « Non constante », à coût minimum et énergétiquement assez performant peut être obtenu.**[P .Frédéric ,2003]**

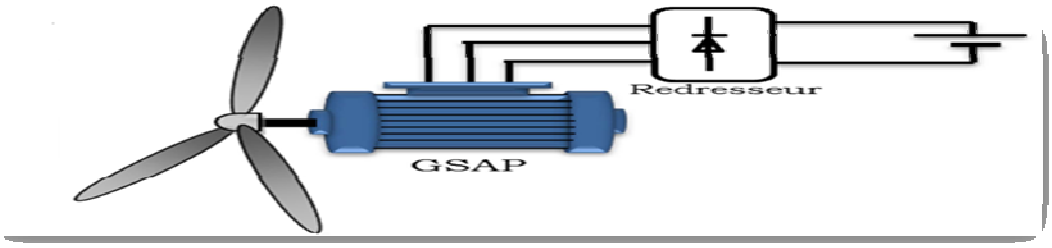
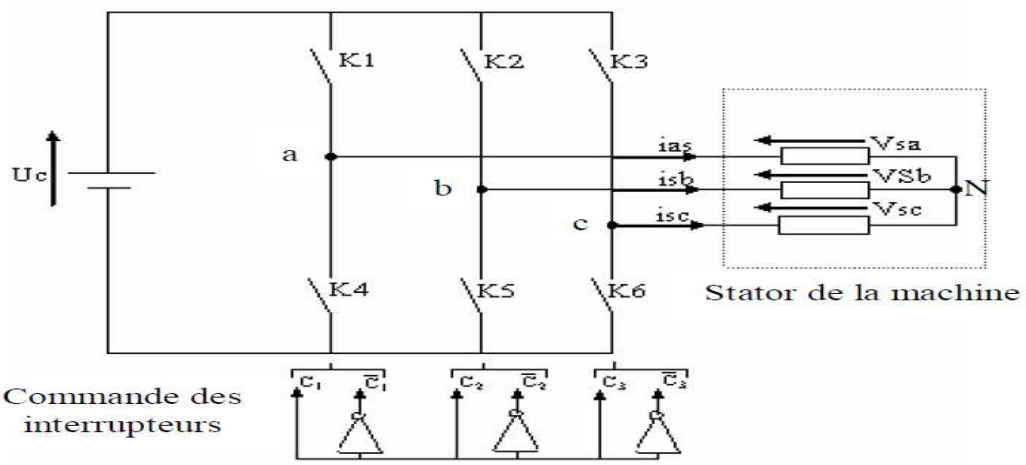


Figure (II.27): Système éolien à coût minimum basé sur GSAP.

II.4. Modèle de l'onduleur de tension

L'onduleur de tension est un convertisseur statique constitué de cellules de commutation généralement à transistors ou des thyristors GTO pour les grandes puissances. Il est constitué de trois bras, de deux interrupteurs pour chacun. Pour assurer la continuité en courants chaque interrupteur est monté en antiparallèle avec une diode de récupération. Les interrupteurs (K1, K4), (K2, K5), (K3, K6) sont contrôlés de manière complémentaire pour éviter le court-circuit de la source. Le schéma structurel d'un tel convertisseur statique est illustré par la figure (II.28).**[N. Khalil, 2006]**



Figure(II.28): Schéma d'un onduleur de tension triphasé alimentant le stator de la machine.

Pour simplifier la modélisation de l'onduleur on supposera que les interrupteurs sont idéaux (temps de commutation nul, pertes négligeables), la charge triphasée est équilibrée, couplée en étoile avec un neutre isolé.

L'objectif de la commande est de trouver la bonne combinaison de contrôle des interrupteurs, de façon à reconstituer la forme de 3 signaux sinusoïdaux. Soit C_K ,les signaux de commande des bras K de l'onduleur ; avec $K \in \{1,2,3\}$.

$C_K = 1$ Si l'interrupteur en haut d'un bras est fermé et celui en bas est ouvert ;

$C_K = 0$ Si l'interrupteur en haut est ouvert et celui en bas est fermé.**[N. Khalil, 2006]**

Si la charge connectée à l'onduleur est équilibrée,*($V_{sa}+V_{sb}+V_{sc}= 0$)* alors

$$V_{aN}=V_{sa}=\frac{U_c}{3}(2C_1-C_2-C_3)$$
$$V_{bN}=V_{sb}=\frac{U_c}{3}(2C_2-C_1-C_3) \qquad \textbf{(II.3)}$$
$$V_{cN}=V_{sc}=\frac{U_c}{3}(2C_3-C_2-C_1)$$

Sous formes matricielle :

$$[C_K] = [C_1\ C_2\ C_3]^t\ ;\ [V_{sabc}] = [V_{sa}\ V_{sb}\ V_{sc}]^t \qquad \textbf{(II.4)}$$

Où V_{sabc} est le vecteur des tensions simples à la sortie de l'onduleur, donné par:

$$[V_{sabc}] = \begin{bmatrix} V_{sa} \\ V_{sb} \\ V_{sc} \end{bmatrix} = \frac{1}{3}.U_c.\begin{bmatrix} 2 & -1 & -1 \\ -1 & 2 & -1 \\ -1 & -1 & 2 \end{bmatrix}.\begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \end{bmatrix} = U_c.[T_s].[C_k] \qquad \textbf{(II.5)}$$

II.5. La Commande M.L.I

Cette méthode consiste à comparer trois tensions de références sinusoïdales (modulatrices) propres à chaque phase à un signal triangulaire (porteuse) commun pour les trois phases.

On a:

$$V_{réf} = V_{réf\ \max}.\sin\left(2\pi.f_m.t-(i-1).\frac{2\pi}{3}\right) \qquad \textbf{(II.6)}$$

Cette largeur d'impulsion dépend uniquement de la valeur de la tension de référence au début de l'échantillonnage, ce qui facilite la réalisation pratique de cette méthode de modulation par des algorithmes numériques.**[R. Radia, 2009]**

Les instants de commutation t_1 et t_2 sont déterminé comme suit:

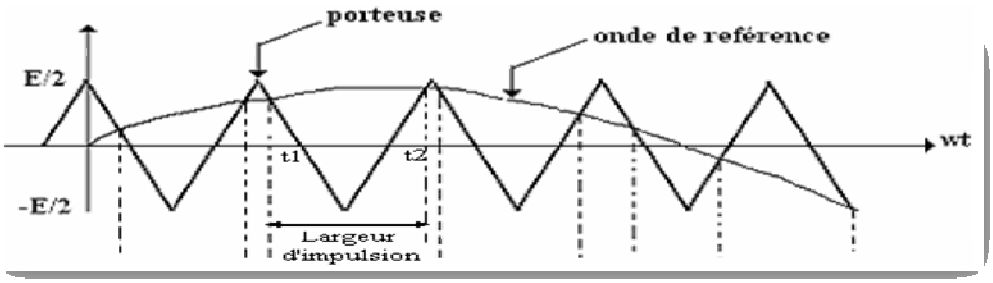


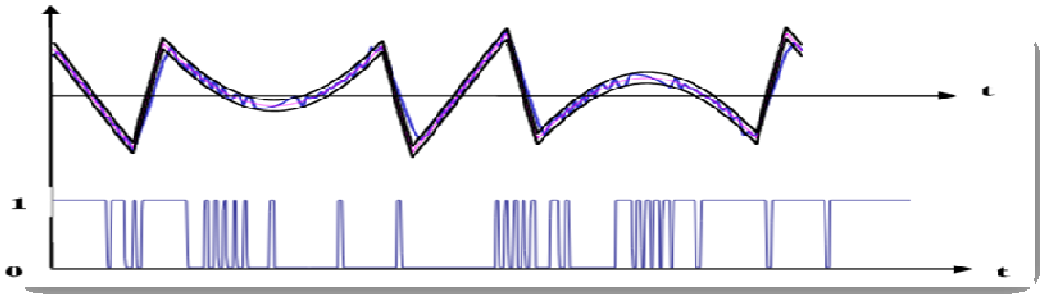
Figure (II.29): Détermination des instants d'échantillonnage.

II.6.Commande par hystérésis

La commande par hystérésis appelée tout ou rien, utilise l'erreur existante entre le signal de référence et la mesure du signal de sortie. L'erreur est comparée à un gabarit appelé bande d'hystérésis, une règle pratique consiste à la prendre à 5% du courant nominal. Chaque sortie de ce gabarit entraîne un changement de configuration des interrupteurs (figure (II.30)).Ce système de contrôle est caractérisé par une fréquence de commutation variable .La mise en œuvre de cette stratégie de contrôle est relativement simple.

Le choix de la bande d'hystérésis doit tenir compte d'un certain nombre de condition liées au fonctionnement de l'onduleur, parmi lesquelles la fréquence de commutation admissible pour les composants semi-conducteurs.

Dans notre mémoire on va utiliser ce type de commande car les performances de compensation par la commande hystérésis sont meilleures, en dynamique et en statique.**[5]**



Figure(II.30): Bande d'hystérésis et signal de commande d'un interrupteur.

Le schéma synoptique de la commande des courants du filtre actif par des régulateurs à hystérésis est donné par la figure (II.31) :

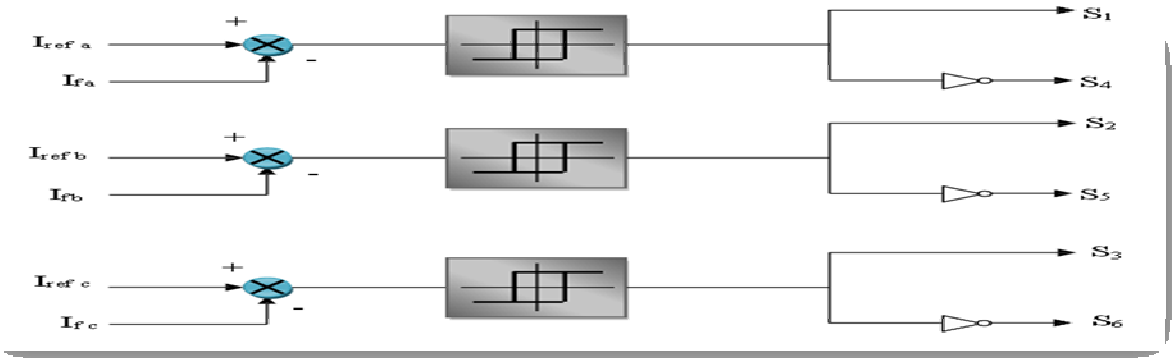


Figure (II.31): Principe de la commande du courant par hystérésis.

II.7. Conclusion

Dans ce chapitre, on a passé en revue différents blocs de la chaîne de conversion, tels que les machine électriques; les convertisseurs statiques onduleur, la commande M.L.I et commande hystérésis.

Le chapitre suivant est consacré à la modélisation du système éolien.

CHAPITRE III

MODILISATION D'UN SYSTEME EOLIEN

CHAPITRE III: MODELISATION D'UN SYSTEME EOLIEN.

III.1. Introduction

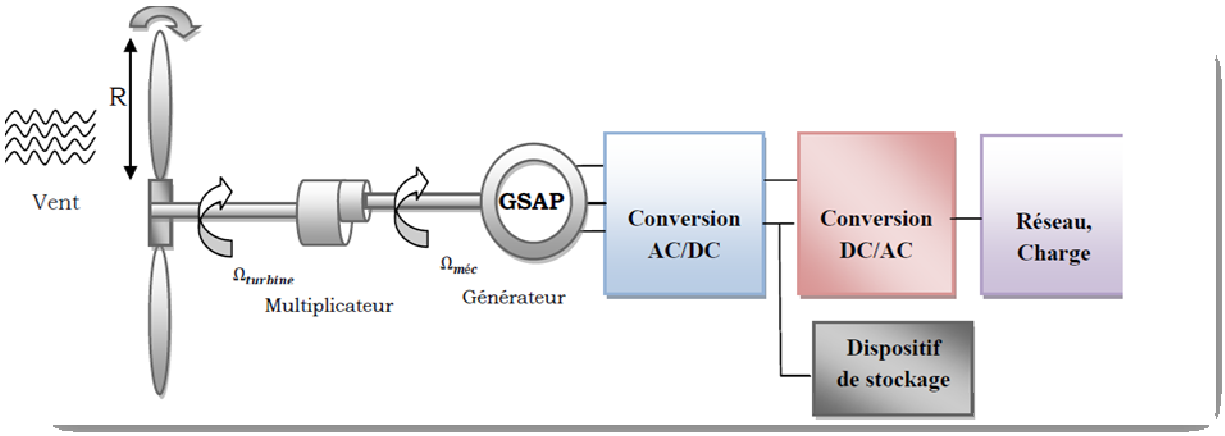
Une éolienne a pour rôle de convertir l'énergie du vent en énergie électrique.
Ses différents éléments sont conçus pour maximiser cette conversion énergétique et d'une manière générale, une bonne adéquation entre les caractéristiques couple/vitesse de la turbine et de la génératrice électrique est indispensable.

Dans ce chapitre, on s'intéressera essentiellement à la modélisation de chaque élément de la chaîne éolienne.

III.2. Modélisation de l'éolienne

III.2.1. Schéma complet de tous les composants de l'éolienne

Un système éolien est composé d'une turbine qui transforme l'énergie du vent en énergie mécanique, d'un multiplicateur de vitesse qui permet d'augmenter la vitesse de rotation et de diminuer le couple, d'un générateur électrique qui convertit l'énergie mécanique en énergie électrique et d'un convertisseur de puissance. La figure(III.32) illustré ce dispositif.**[B. Ali, 2011][B. Aissa.2011]**



Figure(III.32): Schéma d'un système éolien avec multiplicateur.

La tendance actuelle consiste à supprimer la boite de vitesse qui est un organe mécanique dont les défauts sont : pollution sonore, maintenance, pertes mécaniques, un poids supplémentaire dans la nacelle et enfin une probabilité de panne importance devant les autres organes. La vitesse de rotation d'une éolienne étant de l'ordre de 100 tr/min (pour une éolienne de 20kW), l'omission du multiplicateur de vitesse ne permet plus d'utiliser des machines classiques (deux ou quatre paires de pôles). Il faut noter que ce dispositif nécessite une génératrice multi pôles et un convertisseur de fréquence composé d'un redresseur et d'un onduleur en cascade. Le schéma (III.33) représente un système éolien sans multiplicateur de vitesse.**[B. Aissa.2011]**

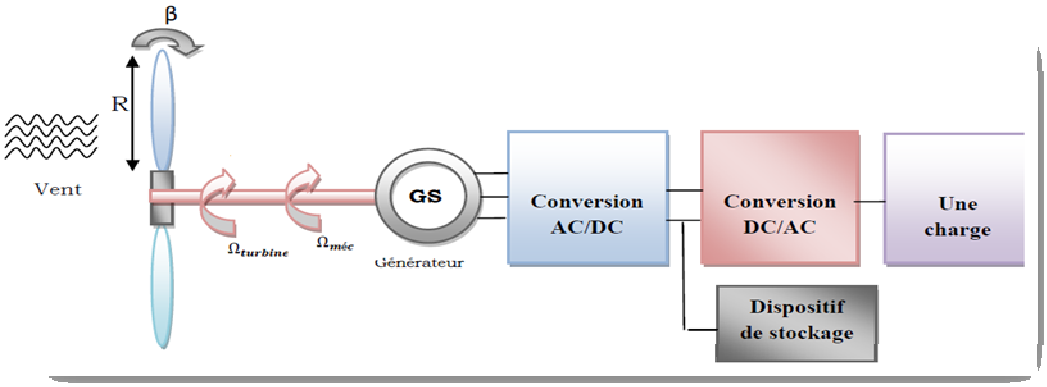


Figure (III.33): Schéma d'un système éolien sans multiplicateur.

III.2.2. Modélisation du vent

La vitesse du vent est généralement représentée par une fonction scalaire qui évolue dans le temps, V = f(t).

Les valeurs de la vitesse du vent à Ouargla pour chaque mois et pendant l'année sont données sur le tableau (III.1)

Tableau (III.1): Vitesse moyenne mensuelle du vent (en m/s) à Ouargla pendant l'année 2013. [7]

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai.	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc
V (m/s)	8.8	9.2	8.7	7.8	8.5	8.3	9.2	8.5	9	9.6	9.5	8.7

La vitesse du vent au cours de l'année 2013 à Ouargla sont faible (Tab.III.1). Leur vitesse moyenne fluctue entre 8,3 m/s en mois de Juin et 9,6 m/s en mois Octobre.

Donc la valeur moyenne de la vitesse du vent égale : 8.92m/s.

III.2.3. Modélisation de la turbine

La turbine qui sera modélisé est à axe horizontal comporte trois pales de longueur R, fixées sur un arbre d'entraînement tournant à une vitesse Ω turbine, qui entraînera une

génératrice GSAP. La figure (III.34) montre le schéma d'une turbine éolienne sans multiplicateur.**[B. Aissa.2011]**

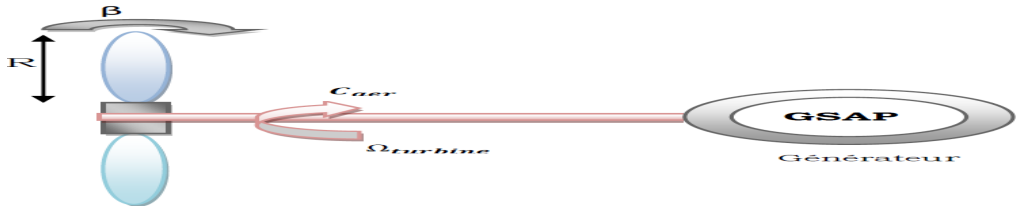


Figure (III.34) : Schéma d'un système éolien sans multiplicateur.

La puissance du vent ou la puissance éolienne est définie de la manière suivante :

$$P_V = \frac{\rho . S . V^3}{2} \qquad \textbf{(III.1)}$$

La puissance aérodynamique apparaissant au niveau du rotor de la turbine s'écrit alors:

$$P_{aer} = C_p . P_V = C_p(\lambda , \beta) . \frac{\rho . S . V^3}{2} \qquad \textbf{(III.2)}$$

Le coefficient de puissance Cp représente le rendement aérodynamique de la turbine éolienne, il dépend de la caractéristique de la turbine.

Le ratio de vitesse est défini comme le rapport entre la vitesse linéaire des pales et la vitesse du vent:

$$\lambda = \frac{\Omega_{turbine} . R}{V} \qquad \textbf{(III.3)}$$

La valeur maximal de Cp (Cp max=0.48) est atteinte pour β=0 et λ=8.1**[L.M^ed^Tahar, 2012]**. Cette valeur particulière de λ est définie comme la valeur nominale λ_{nom}.

- La représentation du schéma bloc du Cp sous **Simulink** est donnée par la figure(III.35)

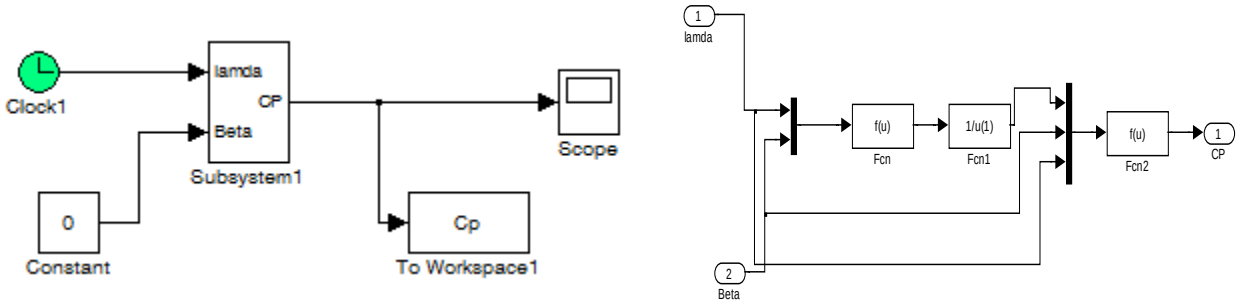


Figure (III.35): Représentation de Cp sous Simulink.

Après la simulation, on obtient :

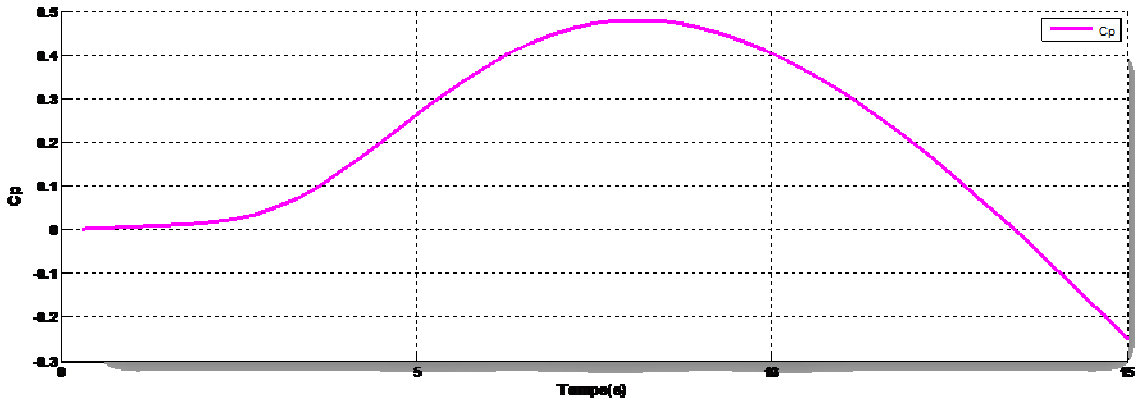


Figure (III.36):Coefficient aérodynamique.

Connaissant la vitesse de la turbine, le couple aérodynamique est donc directement déterminé par:

$$C_{aer} = \frac{P_{aer}}{\Omega_{turbine}} = C_p \cdot \frac{\rho \cdot S \cdot V^3}{2} \cdot \frac{1}{\Omega_{turbine}} \qquad \textbf{(III.4)}$$

Le schéma bloc du modèle de la turbine sous **Simulink** est donné sur la figure (III.37).

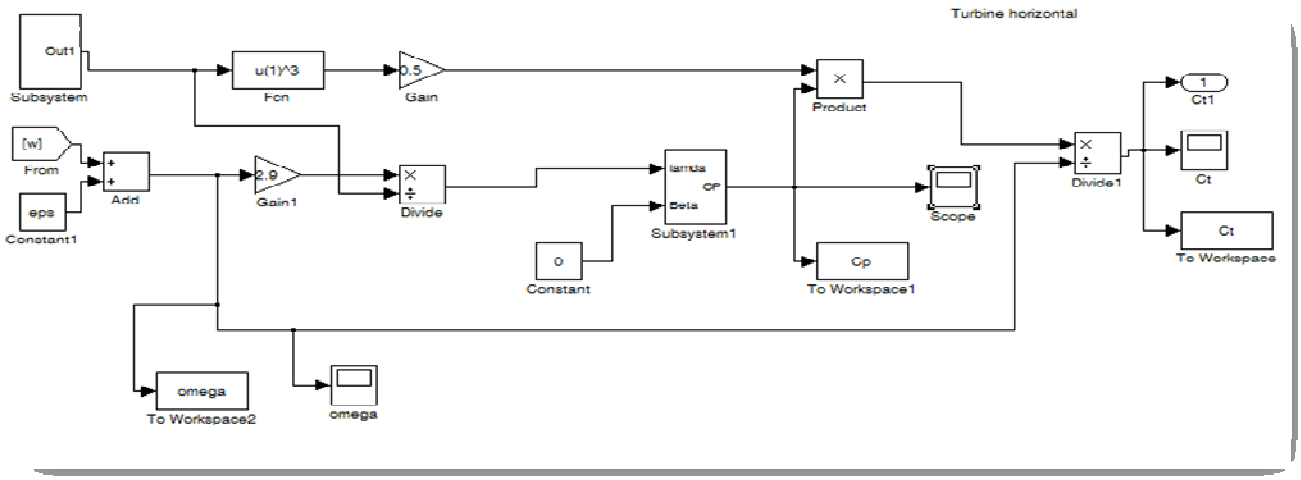


Figure (III.37):Schéma bloc de la turbine.

III.2.4. Modélisation de la génératrice

La machine synchrone triphasée comporte un stator fixe et un rotor mobile autour de l'axe de symétrie de la machine. Dans les encoches régulièrement réparties sur la face interne du stator sont logés trois enroulements identiques, à ***p*** pas polaires de pôles ; leurs axes sont distants entre eux d'un angle électrique égal à 2π/3. La structure électrique du rotor est réalisée par un enroulement monophasé excité en courant continu. La roue polaire est conçue soit à pôles lisses ou à pôles saillants. Il sera admis que pour cette dernière structure la machine pourrait être munie d'enroulements amortisseurs (l'enroulement amortisseur peut se représenter comme une cage construite sur les pôles de la machine et court-circuité par des anneaux conducteurs, son rôle est de minimiser les effets du régime transitoire en engendrant une force magnétomotrice transitoire qui agit dans le sens inverse.), lorsque la machine démarre en asynchrone les circuit amortisseurs se substituent à la cage d'écureuil.

Dans la machine à aimants permanents MSAP, l'inducteur est remplacé par des aimants, le champ d'excitation peut être également créé par des aimants permanents, ceci présente l'avantage d'éliminer les balais et les pertes rotoriques et le stator est constitué d'un empilage de tôle magnétique qui contient des encoches dans lesquelles sont logés trois enroulements identiques décalés entre eux de $2\pi/3$. La figure (III.38) montre un exemple de machine synchrone à aimant permanent.**[H.Samira, 2013][M. Farida, 2013]**

Figure(III.38): Exemple de la MSAP.

La machine synchrone à aimants permanents est utilisée largement dans plusieurs applications comme les machines-outils, la robotique, les générateurs aérospatiaux, la traction électrique,…etc.

Grâce aux nombreux avantages qu'elle a par rapport aux autres types de machines électriques (robustesse, maintenance, prix), la machine synchrone à aimants permanents est intéressante pour l'utilisation comme génératrice couplée à une turbine éolienne. Le modèle mathématique de la machine synchrone à aimants permanents obéit à certaines hypothèses essentielles simplificatrices:

- Entrefer constant.
- Effet d'encochage négligeable.
- Saturation négligeable ainsi que l'hystérésis et les courants de Foucault.
- La résistance des enroulements ne varie pas avec la température.
- Effet de peau négligeable.

Parmi les conséquences importantes de ces hypothèses, on peut citer :

- L'additivité des flux.
- La constance d'inductances propres.
- La loi de variation sinusoïdale des inductances mutuelles entre les enroulements du stator et du rotor en fonction de l'angle de leurs axes magnétiques.**[M. Farida, 2013]**

III.3. Equations de la machine électrique généralisée triphasée

III.3.1. Equations des tensions statoriques et rotoriques

$$\begin{cases} V_A = R_S I_A + \dfrac{d\psi_A}{dt} \\ V_B = R_S I_B + \dfrac{d\psi_B}{dt} \\ V_C = R_S I_C + \dfrac{d\psi_C}{dt} \\ V_f = R_f I_f + \dfrac{d\psi_f}{dt} \end{cases} \quad \textbf{(III.5)}$$

III.3.2.Equations des flux

$$\begin{cases} \Psi_A = L_s I_A + M_{AB} I_B + M_{AC} I_C + M_{Af} I_f \\ \Psi_B = L_s I_B + M_{BA} I_A + M_{BC} I_C + M_{Bf} I_f \\ \Psi_C = L_s I_C + M_{CA} I_A + M_{CB} I_B + M_{Cf} I_f \\ \Psi_f = L_f I_f + M_{fA} I_A + M_{fB} I_B + M_{fC} I_C \end{cases} \quad \textbf{(III.6)}$$

Les coefficients des équations différentielles sont variables (en fonction de Θ) et la résolution analytique du système se heurte à des difficultés pratiquement insurmontables.

Pour simplifier ce système on introduit la transformée de PARK qui fait correspondre aux variables réelles leurs composantes:

$$\begin{cases} V_d , V_q , V_0 \\ I_d , I_q , I_0 \end{cases}$$

Sachant que le passage triphasé-biphasé est donné comme suit :

$$\begin{bmatrix} V_d \\ V_q \\ V_0 \end{bmatrix} = [P(\theta)] . \begin{bmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \\ I_0 \end{bmatrix} = [P(\theta)] . \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} \qquad \textbf{(III.7)}$$

Où [P (θ)] est la matrice de PARK normalisée, elle est définie par :

$$[P] = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin(\theta) & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \qquad \textbf{(III.8)}$$

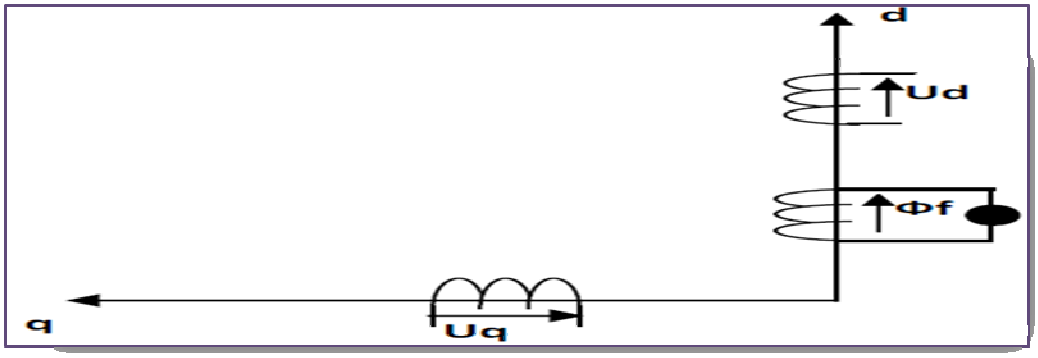


Figure (III.39): Représentation de la génératrice à aimants permanents sur l'axe (d, q).

III.4. Mise en équations

III.4.1. Equations des tensions

$$\begin{cases} U_d = -R_S I_d - \dfrac{d\Psi_d}{dt} + \omega.\Psi_q \\ U_q = -R_S I_q - \dfrac{d\Psi_q}{dt} - \omega.\Psi_d \end{cases} \quad \textbf{(III.9)}$$

III.4.2. Equations des flux

$$\begin{cases} \Psi_d = L_d I_d + \Psi_f \\ \Psi_q = L_q I_q \end{cases} \quad \textbf{(III.10)}$$

Si on remplace les équations des flux (III.10) dans le système (III.9) on obtient le système suivant:

$$\begin{cases} U_d = -R_s I_d - L_d \dfrac{dI_d}{dt} - +\omega L_q I_q \\ U_q = -R_s I_q - L_q \dfrac{dIq}{dt} - \omega\left(L_d I_q + \psi_f\right) \end{cases} \quad \textbf{(III.11)}$$

Mise sous forme matricielle :

$$\frac{d}{dt}\begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -L_d & 0 \\ 0 & -L_q \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} U_d \\ U_q \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} -L_d & 0 \\ 0 & -L_q \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} -R_S & -\omega L_q \\ \omega L_d & R_s \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_d \\ I_q \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega\psi_f \end{bmatrix} \quad \textbf{(III.12)}$$

III.4.3. Equation de couple

Le couple électromagnétique Cem est exprimé par la dérivée de stockage d'énergie électromagnétique par rapport à l'angle géométrique du rotation du rotor.**[M. Farida, 2013]**

$$\left\{ C_{em} = \frac{dW_e}{d\theta_{geo}} = P\frac{dWe}{d\theta_e} \right. \quad \textbf{(III.13)}$$

L'expression de la puissance transmise dans le repère de Park est donnée par.

$$P(t) = \frac{3}{2}\left(U_d I_d + U_q I_q\right) \qquad \textbf{(III.14)}$$

En replaçant Ud, Uq par leurs expressions, on aura :

$$P(t) = \frac{3}{2}\left[-R_S\left(I_d^{\,2} - I_q^{\,2}\right) - \left(I_d \frac{d\Psi_d}{dt} + I_q \frac{d\Psi_q}{dt}\right) + \frac{d\theta}{dt}\left(\Psi_d I_q - \Psi_q I_q\right)\right] \qquad \textbf{(III.15)}$$

Le terme $\frac{3}{2}\left[-R_S\left(I_d^{\,2} - I_q^{\,2}\right)\right]$: Représente la variation de l'énergie magnétique emmagasinée dans les enroulements du stator.

Le terme $\frac{3}{2}\left[\frac{d\theta}{dt}\left(\Psi_d I_q - \Psi_q I_q\right)\right]$: Représente la puissance électromagnétique.

Sachant que :

$$P\Omega = \omega$$
$$P_e = C_{em}.\Omega \qquad \textbf{(III.16)}$$

L'expression du couple électromagnétique peut être exprimé par :

$$C_{em} = \frac{3}{2} P \left[\left(\Psi_d I_q - \Psi_q I_q\right)\right] \qquad \textbf{(III.17)}$$

Après affectation des opérations nécessaire, on peut écrire.

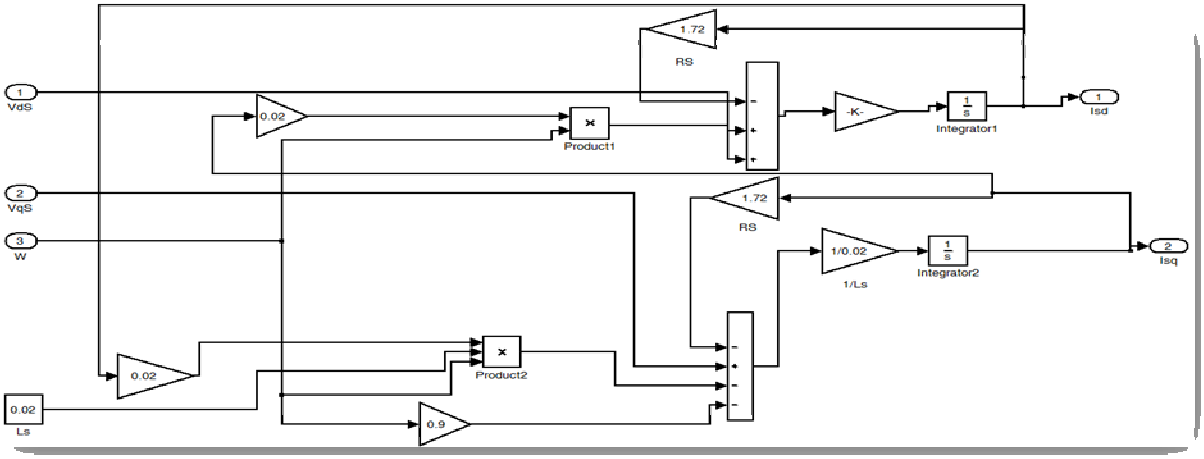
$$C_{em} = \frac{3}{2} P \left[(L_d - L_q) I_d I_q + \Psi_f I_q \right] \quad \textbf{(III.18)}$$

III.5. Equation mécanique

La dynamique de la machine est donnée par l'équation mécanique suivant :

$$C_m - C_{em} - f\Omega = J \frac{d\Omega}{dt} \quad \textbf{(III.19)}$$

- Le schéma bloc du modèle de la GSAP sous **Simulink** est illustré sur la figure (III.40).



Figure(III.40) : Schéma bloc de la GSAP.

III.6. Modélisation du redresseur triphasé

La figure (III.41) représente le montage d'un pont redresseur triphasé double alternance, les diodes D_i et $D_{i'}$ sont supposées parfaites. **[B. Nouri, 2011] [6]**

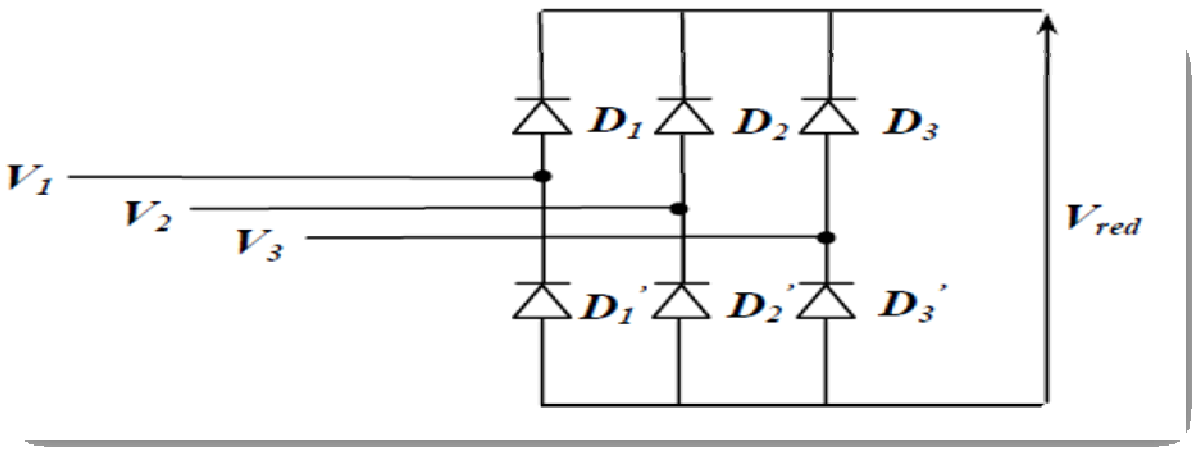


Figure (III.41): Redresseur à diode.

Les tensions issues de la génératrice sont représentées comme suit :

$$\begin{cases} V_1(t) = V_m \sin \omega t \\ V_2(t) = V_m \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right) \\ V_3(t) = V_m \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right) \end{cases} \quad \textbf{(III.20)}$$

La tension redressée répond aux conditions suivantes :

- Di conduit si Vi = max (Vj) tel que : j=a, b, c ; i=1, 2, 3.
- Dk' conduit si Vk= min (Vj) tel que : j=a, b, c ; k=4, 5, 6.

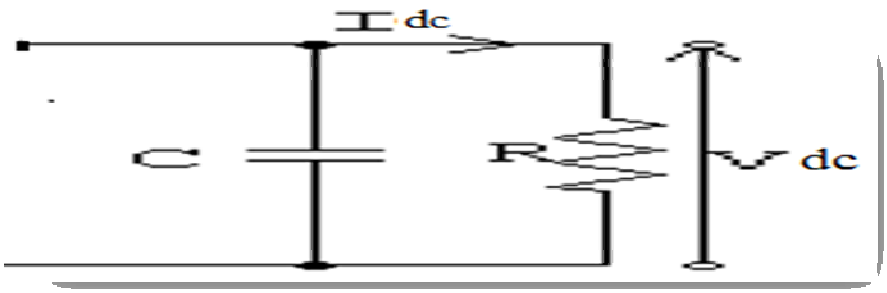
Pendant chaque séquence de conduction, la tension Vred à la sortie du redresseur est :

Vred = Vi -Vk

Où *Vi* (respectivement Vk) est la tension appliquée à l'anode (respectivement à la cathode) de la diode D*i* (respectivement Dk') conductrice pendant cette séquence, et par conséquent la tension de sortie du redresseur sera définie comme suit :

Vred = max (Vj)-min (Vj)

Le schéma le plus simplifié d'un filtre R, C'est montré sur la figure (III.42), Vdc est sa tension de sortie.



Figure(III.42): Schéma d'un filtre C.

La fonction du transfert du filtre est définie par :

$$V_{dc} = \frac{1}{C.S} I_{dc} \qquad \textbf{(III.21)}$$

III.7. Modélisation d'onduleur triphasé

L'onduleur utilisé :

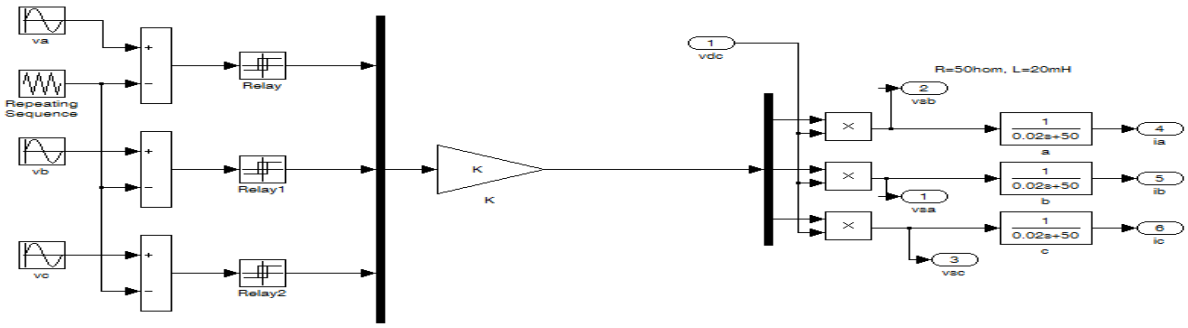


Figure (III.43): Schéma bloc d'onduleur

III.8.Conclusion

Le système à concevoir est constitué de :

- Vent.
- Turbine.
- GSAP.
- Redresseur + Filtre
- Onduleur + Filtre

La modélisation de ces différents composants constituants la chaîne de conversion a été présentée dans ce chapitre ainsi que la présentation de différents blocs sous Simulink/ Matlab.

Les résultats de ce modèle seront présentés et discutés dans prochain chapitre.

CHAPITRE IV

Résultats de Simulation

CHAPITRE IV: RESULTATS DE SIMULATION

IV.1. Introduction

Afin de valider notre étude théorique de la chaîne de conversion d'énergie éolienne, la réalisation pratique ou, à défaut, la simulation du processus est nécessaire. La chaîne de conversion a été modélisée et simulée à l'aide des logiciels Matlab-Simulink.

Les convertisseurs électroniques présentés précédemment ont besoin, pour fonctionner, de recevoir des ordres de commande.

A l'aide du logiciel de simulation Matlab-Simulink, on transforme les équations qui constituent le modèle du processus à étudier en schémas bloc (Figure (IV.44)).

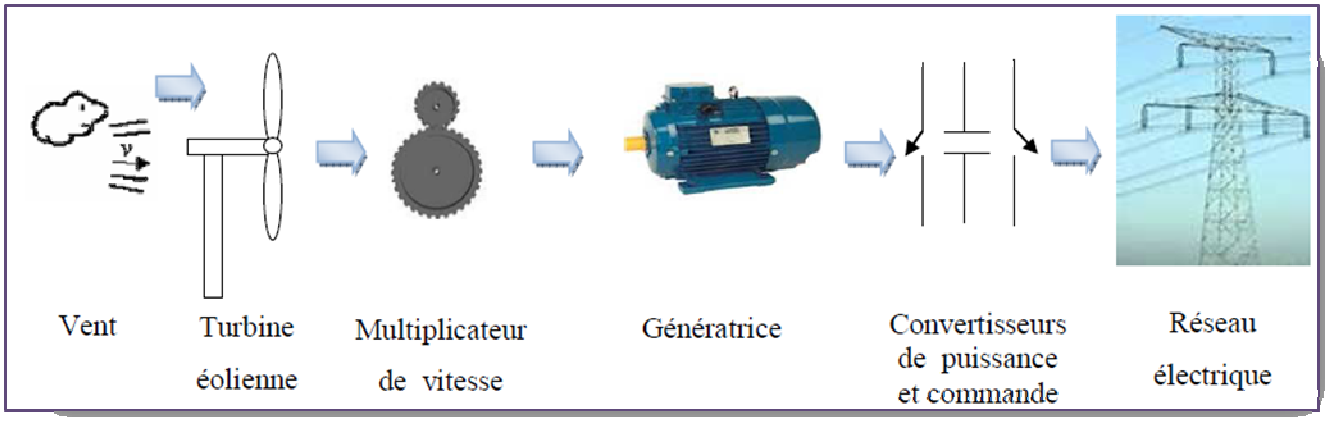


Figure (IV.44): Schéma d'un système éolien.

IV.2. Présentation de Simulink

SIMULINK est un logiciel qui permet de modéliser, simuler et analyser des systèmes dynamiques. Ce logiciel a été produit par la société « The Math Works Inc ». C'est un outil totalement intégré au noyau de calcul de Matlab qui procure un environnement de modélisation basé sur des schémas-blocs. Simulink possède une interface graphique qui facilite l'analyse des systèmes dans le domaine temporel et fréquentiel. Les systèmes Simulink ne sont plus décrits par des lignes de codes Matlab mais simplement définis par des

schémas-blocs dont tous les éléments sont prédéfinis dans des bibliothèques de blocs élémentaires qu'il suffit d'assembler.

Le système modélisé sous *Simulink* peut recevoir des données de l'espace de travail de *Matlab* ou y envoyer des données de sortie. L'échange de données entre *Simulink* et l'espace de travail *Matlab* peut se faire à l'aide de variables communes ou par l'intermédiaire de fichiers MAT.

- ✓ ***Au niveau de la modélisation*** *Simulink* met à disposition:
  - un éditeur graphique dans lequel les blocs sont reliés entre eux avec des fils de connexion.
  - des bibliothèques de blocs paramétrables
- ✓ ***Au niveau de simulation*** *Simulink* permet ***:***
  - la simulation de systèmes en temps continu ; discret ou hybride ;
  - la simulation de systèmes linéaires (définis sous forme matricielle) et non-linéaires.

IV.3.Résultats de simulations

Le schéma bloc global du modèle du système éolien étudié est représenté sous Simulink comme l'indique la figure (IV.44).

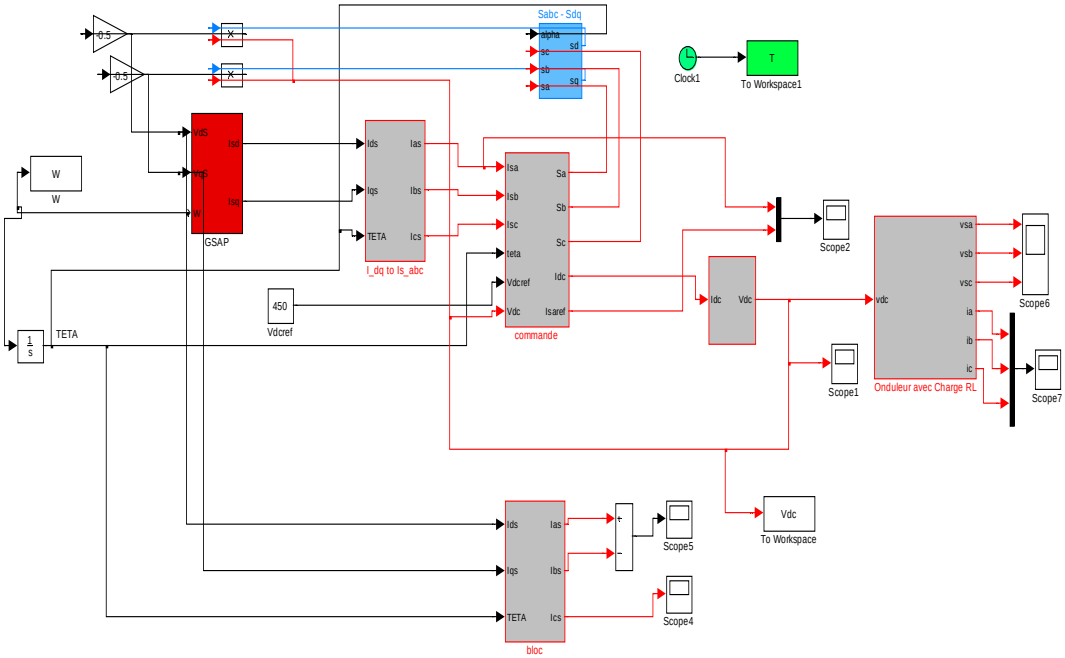
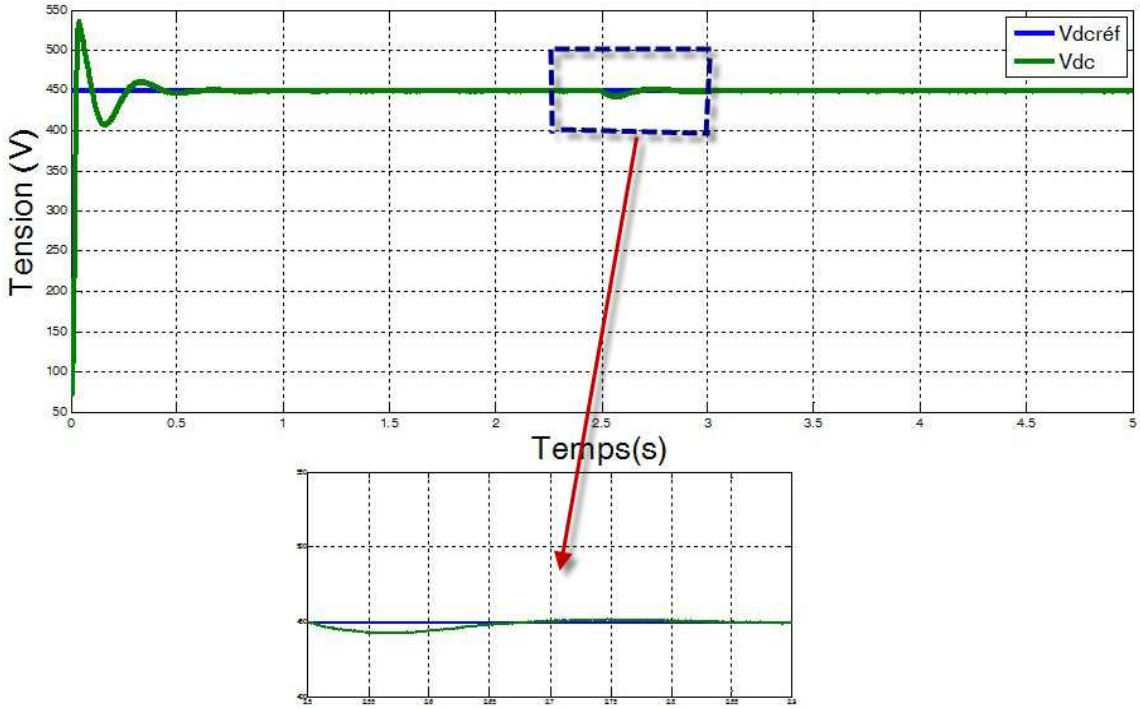


Figure (IV.45): Schéma bloc global du modèle du système éolien horizontal étudié.

Dans cette partie, le fonctionnement du dispositif complet a été simulé sous l'environnement *MATLAB-SIMULINK* en utilisant les paramètres électriques de la machine **(voir annexe),** la référence de la tension à la sortie du redresseur est prise égale à 450V. La vitesse moyenne de la génératrice égale à 183 [rad/s].

IV.3.1. Résultats en charge R:

Les figures (IV.46, IV.47 et IV.48) montrent respectivement la tension continue à la sortie du redresseur, les courants de la génératrice (GSAP) et les tensions statoriques. A l'instant t = 2.5 s, on branche une charge résistive aux bornes du redresseur, un régime transitoire court la tension du bus contenu coïncide à celle de référence.



Figure(IV.46): La tension du bus continu.

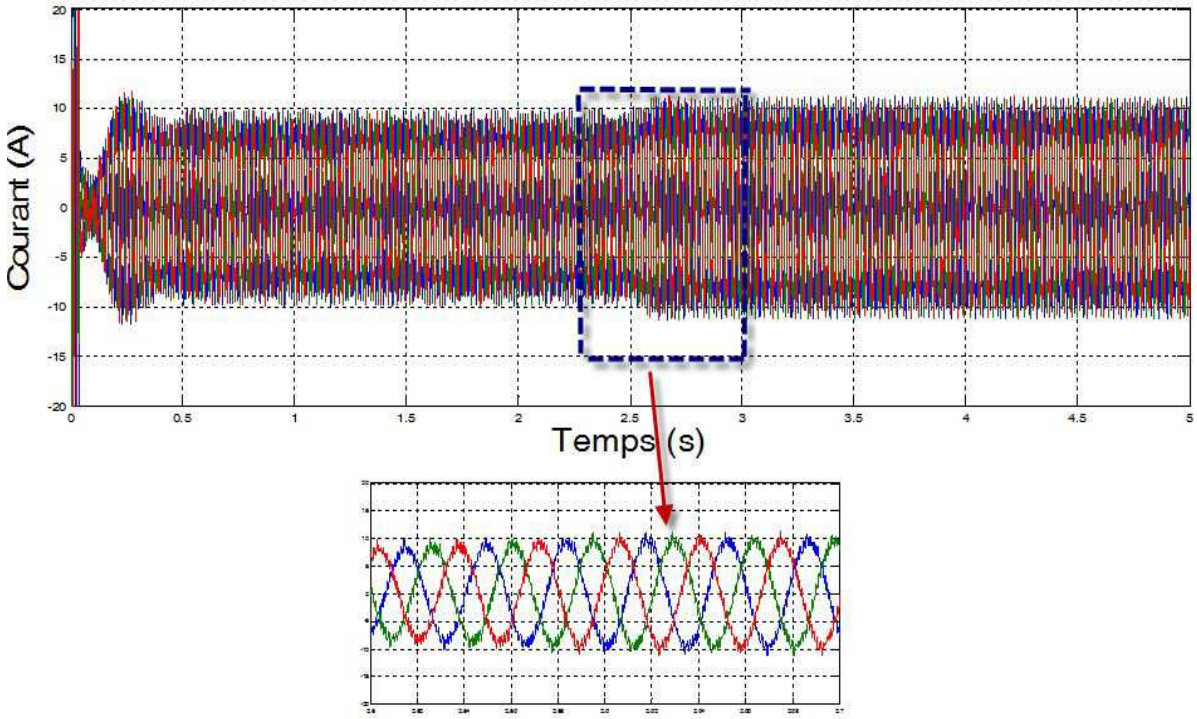


Figure (IV.47): Les courants statoriques de la génératrice.

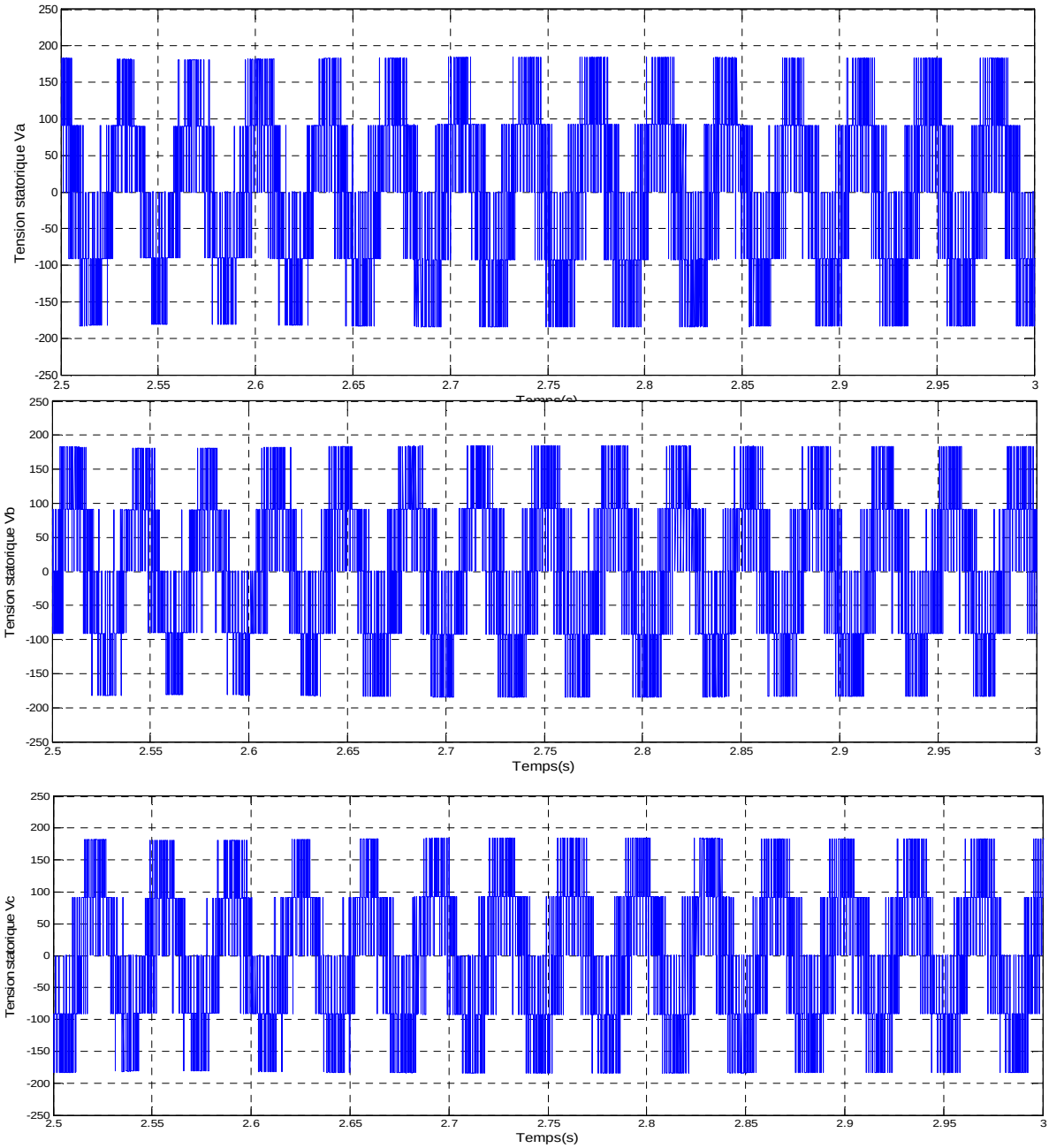


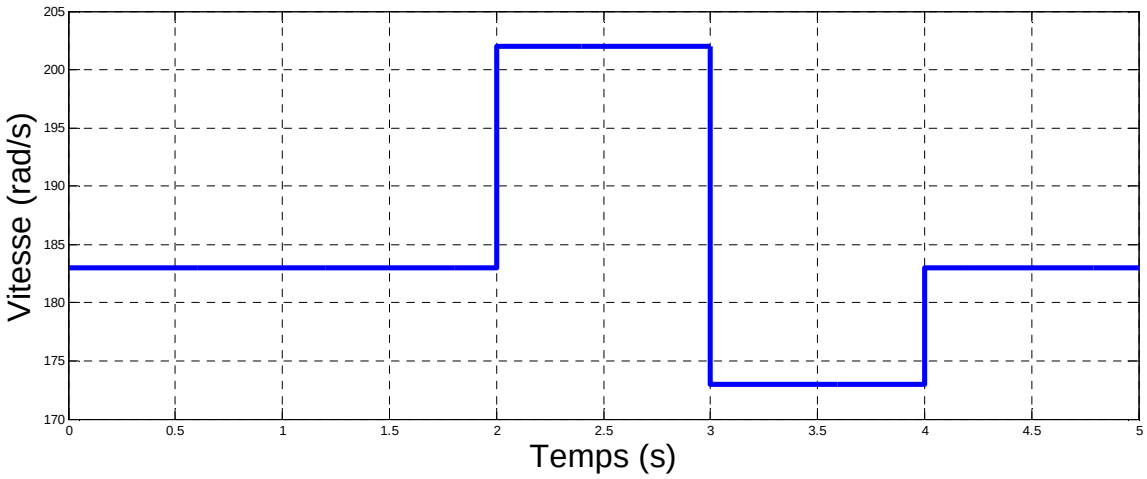
Figure (IV.48): Les tensions statoriques de la génératrice.

IV.3.2. Résultats en variant la vitesse de la turbine :

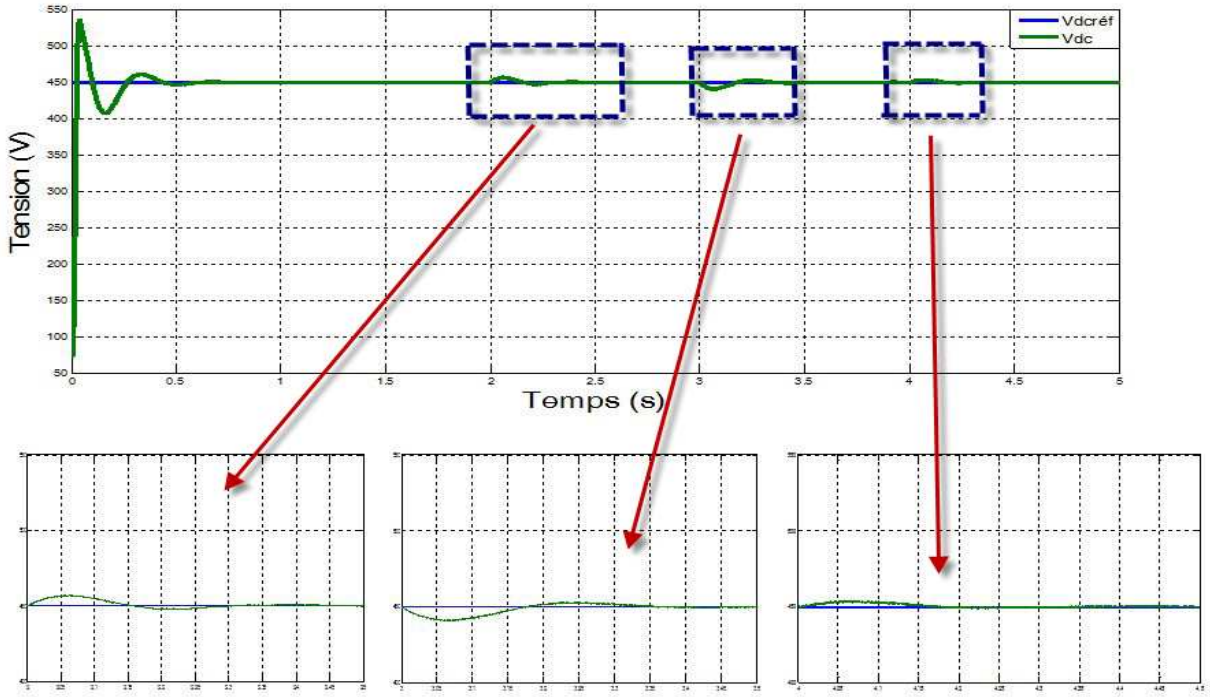
La variation de vitesse de la génératrice donnée à la figure (IV.49), on observe que la tension du bus continu figure (IV.50) reste en moyenne égale à 450V les surtensions ne dépassent pas 2 V. En effet, lorsque la vitesse du vent varie la commande du redresseur doit suivre le changement du point de fonctionnement afin de stabiliser la tension du bus.

Une augmentation de la vitesse du vent est suivie d'une surtension alors qu'une diminution de la vitesse du vent est accompagnée d'une chute de tension. La tension du bus est établie à 450Vavec un temps de réponse qui dépend de la commande du redresseur, de l'ordre de 0.05s dans l'exemple traité.

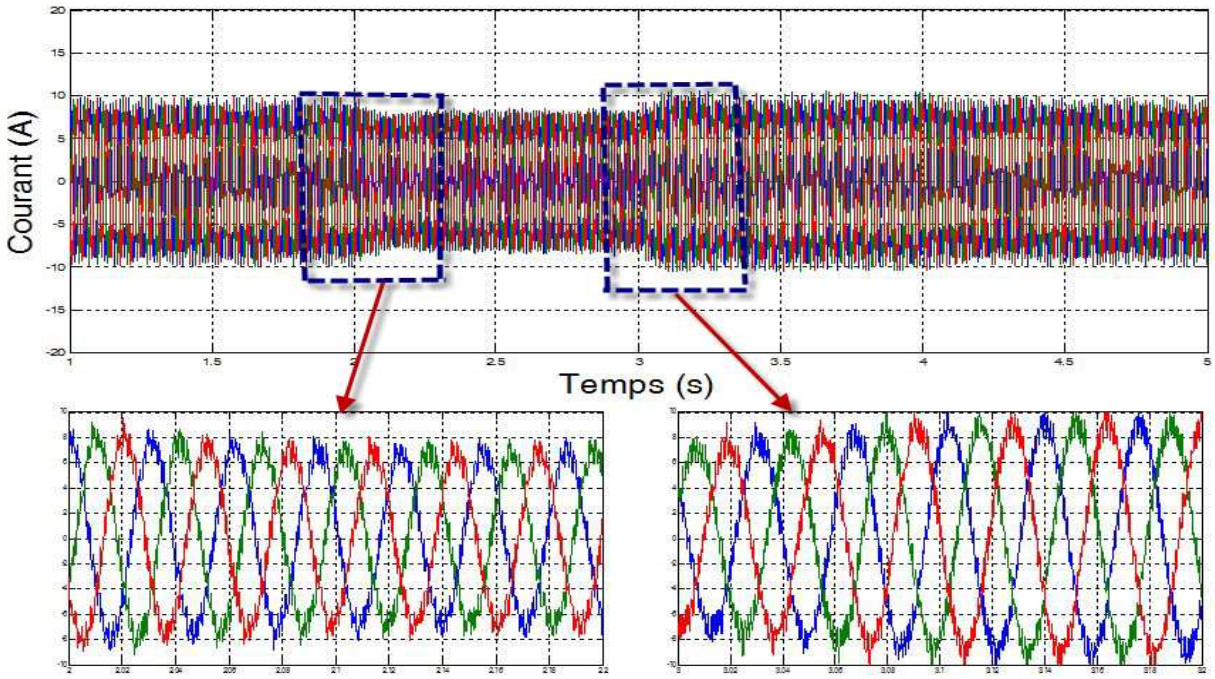
Les figures (IV.52 et IV.51) montrent respectivement, les tensions statoriques, les courants statoriques de la génératrice (GSAP) pour un profil de la vitesse donnée à la figure (IV.49).



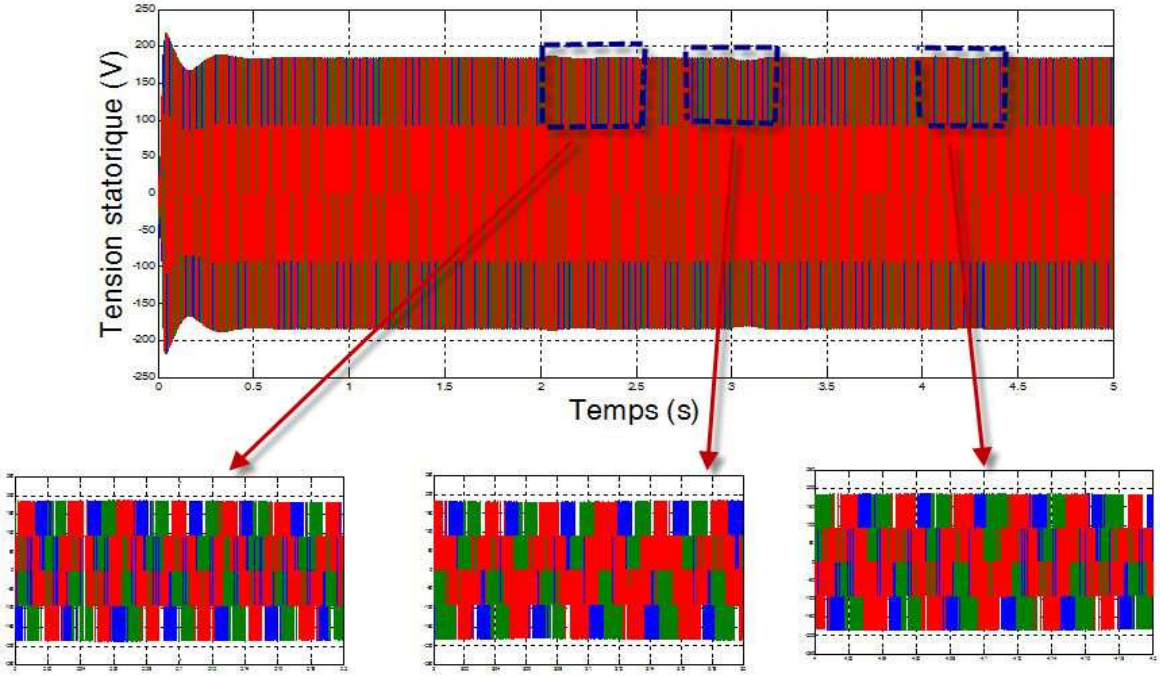
Figure(IV .49): Profil de la vitesse électrique de la génératrice.



Figure(IV.50): La tension du bus continu.



Figure(IV.51): Les courants statoriques de la génératrice.



Figure(IV.52): Les tensions statoriques de la génératrice.

IV.3.3. Association de l'onduleur MLI:

Notre onduleur est un onduleur de courant ce qui justifie les courbes de courant coté réseau.

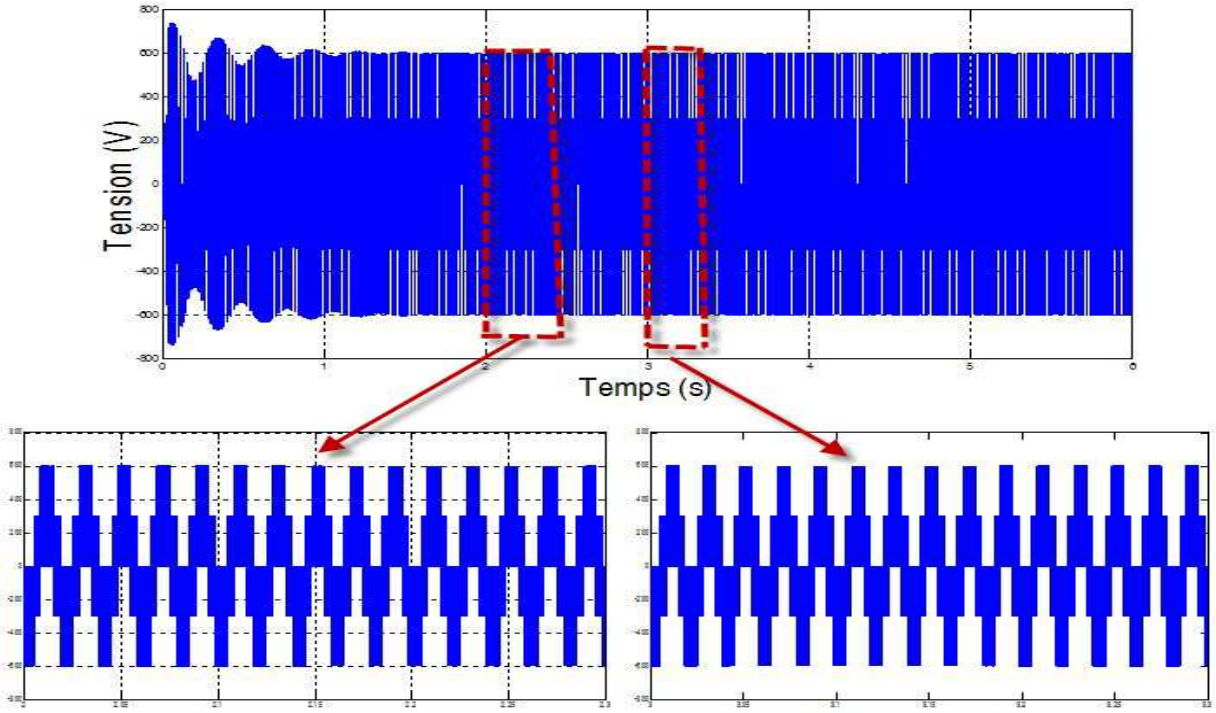


Figure (IV.53): tension coté réseau.

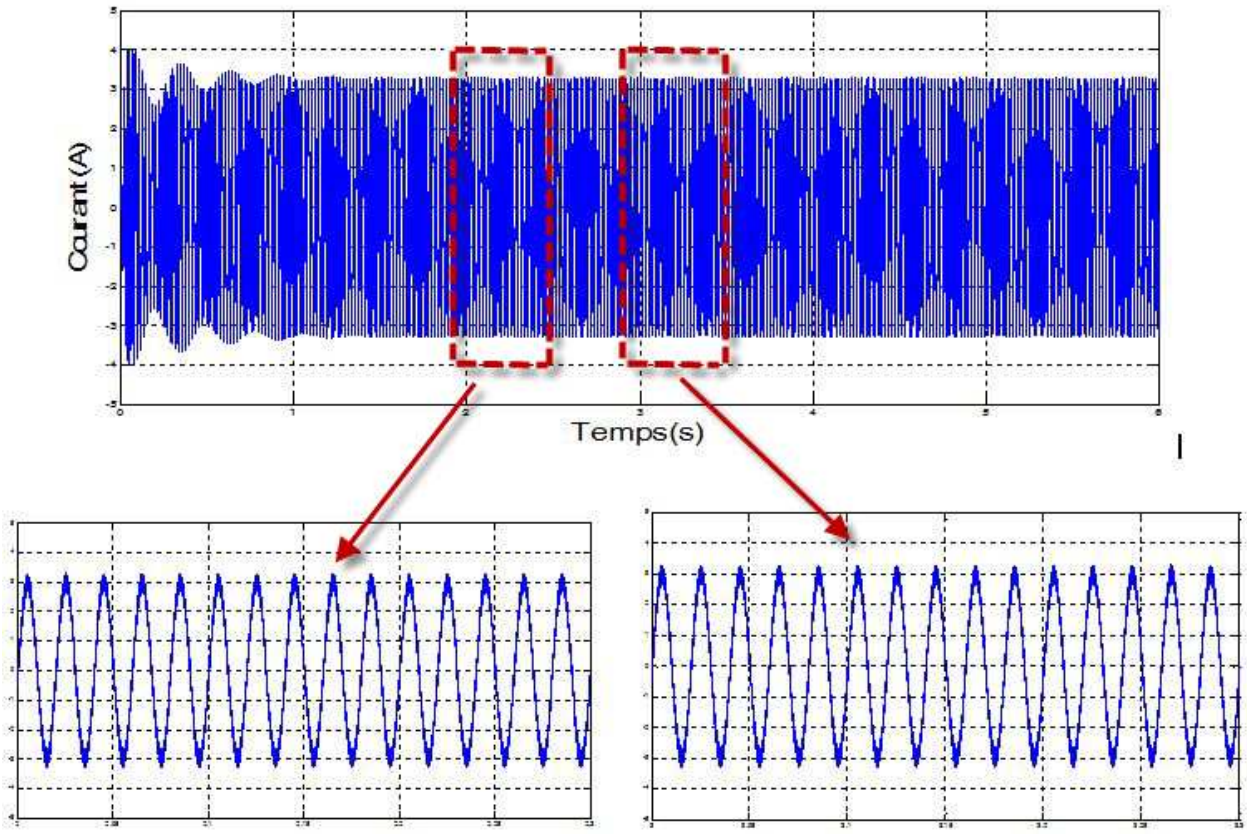


Figure (IV.54):courant coté réseau.

VI.4. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un système de conversion éolienne sans réseau. Un modèle de simulation a été mis au point pour prédire le comportement du système en entier et les résultats des différentes simulations réalisées sous environnement Matlab/Simulink ont été présentés et discutés dans se même chapitre.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur l'utilisation de la machine synchrone à aimant permanent avec des convertisseurs statiques de puissance dans un système de conversion d'énergie éolienne.

Dans un premier temps, une brève description sur les systèmes éoliens a été présentée. Comme beaucoup d'énergies renouvelables, le gisement éolien mondial est considérable puisqu'il est très supérieur à la consommation énergétique actuelle de l'humanité. Cependant le développement de son exploitation dépendra, non pas des difficultés technologiques surmontées actuellement côté pratique, mais de données économiques et politiques favorisant ou non les diverses formes d'énergies exploitables. Et on peut dire aussi que la chaîne éolienne est une source de production d'énergie qui représente dans certains cas l'une des meilleures solutions adaptées car elle ne consomme aucun combustible et ne participe pas à l'effet de serre.

Vue l'importance de l'énergie éolienne, on a intéressé à la simulation d'un modèle pédagogique d'une éolienne avec une génératrice synchrone à aimant permanent.

Dans un second temps, nous avons abordé la description des machines électriques (en s'intéresse à la machine synchrone à aimants permanents), on a passé en revue la modélisation des différents blocs de la chaîne de conversion.

Dans un dernier temps, l'essentiel de notre contribution est abordé, à savoir la simulation de la chaîne de conversion. Les résultats de simulation sont conformes à la réalité.

En pratique, un prototype d'une éolienne de faible puissance (sans convertisseurs) a été réalisé au cours de ce travail qui reste de lui associé les convertisseurs de puissance ce qui est notre objectif au future pour accomplir notre travail et valider les résultats obtenus par la simulation.

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

[B. Aissa.2011] : Mémoire de Master en Électrotechnique :Étude pour la Conception d'un Système Éolien de Faible Puissance,Universitéde Batna,Année 2011.

[B.Ali, 2011] : Mémoire de Magister en Electrotechnique : Contribution à l'étude de systèmes de commande d'une éolienne, Université de Tizi-Ouzou, Année 2011.

[B. Nouri, 2011] : Thèse de Doctorat en Machines Electriques et leurs Commandes : Fonctionnement à Fréquence de Commutation Constante des Convertisseurs de Puissance en Utilisant des Techniques de Commande Avancées, Université de Setif, Année 2011.

[B.Soltane, 2010]: Doctorat en sciences Electrotechnique : Conception & Commande des Machines à Aimants Permanents Dédiées aux Energies Renouvelables, Université de Constantine. Année 2010.

[B. Wafa, 2011] : Mémoire de Magister en Electrotechnique : Convertisseurs Multiniveaux dans les Systèmes PV Connectés au Réseau, Université de Biskra, Année 2011.

[C. Naïm, 2010] : Mémoire d'Ingénieur en Electrotechnique : Conversion d'Energie Produite par des Générateurs Eoliens, Université de Constantine, Année 2010.

[H.Samira, 2013] : Mémoire de Magister en Electrotechnique : Etude et Commande d'une Eolienne à base d'une Machine Synchrone à Aimants Permanents, Universitéde Tizi-Ouzou, Année 2013.

[F. Omar, 2013] : Mémoire de Magister en Electrotechnique : Contribution à l'Etude des Systèmes Hybrides de Génération : Application aux Energies Renouvelables, Université de Souk - Ahras. Année 2013.

[I.Vechiu, 2005] : Doctorat en Electrotechnique : Modélisation et Analyse de l'Intégration des Energies Renouvelables dans un Réseau Autonome, Université du Haver, Année 2005.

[L.M^edTahar, 2012] : Mémoire de Magister en Electrotechnique :Commande Floue de la Machine Synchrone à Aimant Permanant (MSAP) utilisée dans un système éolien, Université de Setif,Année 2013.

[M. Abdoulaziz, 2007] : Mémoire d'Ingénieur en Electrotechnique : Etude du Générateur Asynchrone pour l'Utilisation dans la Production de l'Energie Eolienne, Ecole Nationale Polytechnique, Année 2007

[Martin, 2008] : livre Aérodynamiques of Wind Turbines, Deuxième Edition 2008.

[M. Farida, 2013] : Mémoire de Magister en Electrotechnique : Commande d'un Système Eolien à Base d'un Générateur Synchrone à Aimants Permanents, Université de Batna, Année 2013.

[M. Issam, 2009] : Mémoire de Magister en Electromécanique : Modélisation et Simulation d'une Chaîne de Conversion Eolienne de Petite Puissance à Axe Horizontal, Université d'Annaba, Année 2009.

[N. Khalil, 2006] : Mémoire de Magister en Electrotechnique : Contribution à la commande de la machine asynchrone par DTC et logique floue, Université de Constantine, Année 2006.

[P .Frédéric ,2003] : Thèse de Doctorat en Electronique et Génie Electrique : Etude et Commande de Génératrices Asynchrones pour l'utilisation de l'Energie Eolienne,Université de Nantes, Année 2003.

[R. Radia, 2009] : Mémoire de Magister en Electrotechnique : Étude d'une Chaîne de Conversion d'Energie Eolienne,Université de Constantine, Année 2009.

[T. Abderrahim, 2012] : Mémoire de Magister en Electrotechnique : Etude et Commande D'une Eolienne à Vitesse Variable Integrée au Réseau MT, Université d'Oran, Année 2012.

Webographie :

[1]http://afleu.olympe.in/afleu/et3/synchrone/synchrone.php

[2] http://www.edf.com/html/panorama/production/renouvelable/hydro/fonctionnement.html

[3]http://eolienne.f4jr.org/generateur_electrique

[4]http://www.phytem.ens-cachan.fr/

[5]http://www.windpower.org

[6]http://www.thierry-lequeu.fr/data/Redresseurs.pdf

[7] http://www.previmeteo.com/dz/2485801-meteo-ouargla.html

[8]https://www.google.dz/search?hl=fr&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1366&bih=631&q=Chauffage+d%E2%80%99une+maison+par+l%E2%80%99%C3%A9nergie+solaire&oq=Chauffage+d%E2%80%99une+maison+par+l%E2%80%99%C3%A9nergie+solaire&gs_l=img.3...1865.1865.0.3330.1.1.0.0.0.0.186.186.0j1.1.0....0...1ac.2.64.img..1.0.0.MRx0JUb0tZo

[9]https://www.google.dz/search?hl=fr&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1366&bih=631&q=Sch%C3%A9ma+de+principe+d%E2%80%99une+centrale+solaire+photovolta%C3%AFque&oq=Sch%C3%A9ma+de+principe+d%E2%80%99une+centrale+solaire+photovolta%C3%AFque&gs_l=img.3...195411.195411.1.198039.1.1.0.0.0.0.188.188.0j1.1.0....0...1ac.1.64.img..2.0.0.mVcIUh08V6k

[10]ncipe+d'une+centrale+solaire+photovoltaïque&gs_l=img.3...195411.195411.1.198039.1.1.0.0.0.0.188.188.0j1.1.0....0...1ac.1.64.img..2.0.0.mVcIUh08V6k#hl=fr&tbm=isch&q=Mode+d'exploitation+des+ressources+géothermique

[11]https://www.google.dz/search?hl=fr&site=imghp&tbm=isch&source=hp&biw=1366&bih=631&q=Sch%C3%A9ma+de+principe+d%E2%80%99une+centrale+solaire+photovolta%C3%AFque&oq=Sch%C3%A9ma+de+principe+d%E2%80%99une+centrale+solaire+photovolta%C3%AFque&gs_l=img.3...195411.195411.1.198039.1.1.0.0.0.0.188.188.0j1.1.0....0...1ac.

1.64.img..2.0.0.mVcIUh08V6k#hl=fr&tbm=isch&q=Sch%C3%A9ma+de+principe+d%E2%80%99une+centrale+hydraulique

Annexe

ANNEXE

Principaux paramètres des éléments considérés du système

Paramètres de la GSAP	
Puissance nominale	$P = 2.2KW$
Courant nominale	$I_n = 5A$
Nombre de paires de pôles	2p=5
Résistance des enroulements :	$R_s = 2.71\Omega$
Inductance synchrone	$L_s = 20mH$

Paramètres du bus continu	
La tension	450V
Capacité	$3e-3F$

travail appliquée

TRAVAIL APPLIQUEE

Introduction :

Partie appliquée de cette note est un microcosme de l'énergie éolienne, nous avons choisi et nous avons recueilli un ensemble d'idées qui nous permettent de développer un modèle pour ce travail manuel a commencé l'idée de toit de ventilateur et moteur une voiture, mais il a besoin d'être une grande force et le moteur de la moto puis a été sélectionné et donc disponibles composants de base et nous avons commencé à travailler les étapes, nous sort des images et expliquer ce qui suit

Pale : Nous avons utilisé dans les ailes du ventilateur de plafond électrique d'origine, qui a une longueur de près de près de 60 cm

Génératrice : Moteur de moto a une signification tension 12v ET 8A P=21w qui convertit l'énergie cinétique en énergie électrique

MADE IN FRANC

La Base : Ceci est un point de départ se trouvent le tube qui sont placés au-dessus de la turbine et le générateur comporte des panneaux de bois et enroulement

Ventilateur de plume emporté par le vent

Prise d'électricité

Lampe de 12 V pour tester le système

La chaine complétée:

Conclusion

Le but de ce travail pratique est de soutenir les énergies renouvelables (énergie éolienne) afin de réduire la pollution de remplacement et d'énergie propre et d'encourager la recherche scientifique sur le mélange entre théorique et appliquée comme un modèle qui tient compte de son application à l'avenir

Nous allons travailler à l'avenir sur le développement de ce travail pour ajouter des adaptateurs pour profiter de cette énergie précieuse et chaste.

ملخص

إن الطلب على الطاقة يشكل أولوية إستراتجية بالنسبة للعالم بأسره ومع الاستهلاك الكبير للطاقة الناتج أساسا عن النمو الديموغرافي؛التطور الصناعي وسائل النقل.....الخ' كان من الضروري على دول العالم أن تراجع سياساتها الطاقوية و ذلك باستعمال مزيج طاقوي بالاعتماد على الطاقات المتجددة.

إن استغلال الطاقات المتجددة في الجزائر يشكل ضرورة مطلقة ، لهذا أطلقت الجزائر برنامجا طموحا لتطوير الطاقات المتجددة و الفاعلية الطاقوية.

الهدف من هذه المذكرة هو دراسة أنواع المحولات في إنتاج الطاقات المتجددة بتخصيص الدراسة على طاقة الرياح. بعد تقديم لمحة عن الطاقات المتجددة و أنواع المحولات و أنواع المولدات المستعملة، كان اختيارنا واقعا على الآلة المتزامنة ذات المغناطيس الدائم كما تم تقديم نمذجة نظام تحويل طاقة الرياح و في الفصل الأخير تم محاكاة سلسلة تحويل طاقة الرياح.كما قمنا بصناعة نموذج مصغر لمحطة توليد طاقةالرياح من دون محولات و النتائج كانت جيدة.

الكلمات المفتاحية:الطاقات المتجددة؛طاقة الرياح؛المحولات؛مولدات؛الة متزامنة ذات مغناطيس دائم؛نمذجة؛محاكاة.

Résumé

La demande d'énergie est une stratégie pour le monde en général, et avec la grande consommation d'énergie due à la croissance démographique "le développement industriel et le transport etc ..... "il était nécessaire aux pays du monde de revoir leurs politiques énergétique, en utilisant une combinaison énergétique basées sur les énergies renouvelable.

L'exploitation des énergies renouvelables en Algérie est une nécessité absolue, pour cela l'Algérie a lancé un programme ambitieux visant à développer les énergies renouvelables et l'efficacité énergétique.

Le but de ce mémoire est d'étudier les types des convertisseurs utilisés dans la production des énergies renouvelables tout en mettant l'accent sur l'énergie éolienne. En premier lieu nous avons définis les aspects des énergies renouvelables et les différents types de convertisseurs et générateurs aux énergies éoliennes. Nous avons choisi par la suite la machine synchrone à aiment permanente associée aux convertisseurs de puissances. Les résultats de la simulation ont été proches de la réalité. Nous fabriquons également d'aérogénérateur sans convertisseur de puissance ; les résultats étaient.

Mots clés: énergie renouvelable; énergie éolienne ; convertisseurs ; générateurs ; GSAP ; modélisation; simulation.

Abstract

Energy demand is a strategy for the world in general, and with the high energy consumption due to population growth "industrial development and transportation etc ..... it was necessary for countries of the world review their energy policies, using an energy mix based on renewable energies

The exploitation of renewable energies in Algeria is an absolute necessity , for that Algeria has launched an ambitious program to develop renewable energy and energy efficiency. The purpose of this brief is to examine the types of converters used in the production of renewable energies while focusing on wind energy. We opted first to define the aspects of renewable energies and the different types of converters and generators designed to be exploited in the process of this energy. We have chosen the permanent synchronous machines associated to power converter .we also manufacture small model of the wind power station without convertisseur power and the result were good.

Keywords: renewable energy; wind power; converters; generators; GSAP; modelling; simulation.