

République Algérienne Démocratique et Populaire

**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la
Recherche Scientifique**



Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued

FACULTE DE TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DE GENIE MECANIQUE



Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de

MASTER ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Electromécanique

Spécialité : Electromécanique

Thème

Modélisation et simulation de la turbine éolienne

Devant le jury composé de :

-Zine Bachir

-Gurfi Youcef

-Znina Mouhamed Elaid

-Miloudi Khaled

Président

Examineur

Examineur

Encadreur

Présenté par :

- Diab Hamza

-Sighi Abd Elhakim

-Aouadi Aissa

- Berroussi Abd Elrazak

2021-2022



DÉDICACE

À NOS PARENTS,

À NOS FAMILLES,

À NOS AMIS.





Remerciement

Tout d'abord, nous remercions ALLAH, notre créateur de nous avoir donné les forces pour accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur monsieur *Miloudi Khaled* pour nous avoir conseillé et orienté tout au long de ce travail.



Nous avons également l'honneur de remercier l'Administration du Département de Mécanique d'avoir facilité le processus de sélection du mémoire et de l'encadreur, ainsi que de l'organisation et la bonne coordination.

Nous tenons à remercier chaleureusement nos familles pour avoir été à nos côtés toutes ces années. On a eu la chance de pouvoir effectuer nos études en toute sérénité, et nous sommes reconnaissant à nos parents et nos frères et sœurs pour cela.

Nous tenons aussi à remercier le président et les membres de jury d'avoir accepté de juger notre travail.

Nos remerciements vont également à tous qui ont aidé et conseillé de près ou de loin tout au long de nos études jusqu'à la finalisation de ce mémoire.

Nous tenons aussi remercier notre ami *Hamza Chatti* pour toute l'aide



Résumé:

L'énergie éolienne est l'une des énergies les plus anciennes elle est considérée comme respectueuse de l'environnement, pour cela, dans ce travail on va rechercher les moyens d'investir sur cette énergie et de l'utiliser de la meilleure façon, Mais avant de commencer tout projet, nous devons étudier si le site que vous souhaitez établir le projet est valide ou non ?

Ce que nous avons fait durant ce deuxième semestre de cette année, où nous avons recueilli les informations nécessaires sur les éoliennes qui sont utilisées dans ce domaine, c'est-à-dire la modélisation et la simulation de la turbine éolienne type à axe horizontal et nous avons travaillé sur ce type sur la théorie aérodynamique de la pale la plus rapide et la plus performante avec la finesse pour cela nous avons comparé deux profils pour obtenir la plus efficace et la performante.

Mots clés : L'énergie éolienne – vitesse du vent- éolienne à axe Horizontal- les pales- multiplicateur- l'arbre mécanique.

Summary:

Wind energy is one of the oldest energies it is considered environmentally friendly, for this, in this work we will seek ways to invest in this energy and use it in the best way, But before starting any project, we must study whether the site you want to establish the project is valid or not?

What we have done in this second half of this year, where we have collected the necessary information about the wind turbines that are used in this field, that is, the modeling and simulation of the typical horizontal axis wind turbine and we worked on this type on the aerodynamic theory of the fastest and most efficient blade with finesse for this we compared two profiles to obtain the most efficient and efficient.

Keywords: Wind energy - wind speed - Horizontal axis wind turbine - blades - multiplier - mechanical shaft.

الملخص

تعتبر طاقة الرياح من أقدم الطاقات فهي تعتبر صديقة للبيئة، ولهذا في هذا العمل سنبحث عن طرق للاستثمار في هذه الطاقة واستخدامها بأفضل طريقة، ولكن قبل البدء في أي مشروع يجب علينا دراسة ما إذا كان الموقع مناسبًا لك. تريد إقامة المشروع صحيح أم لا؟

ما قمنا به في النصف الثاني من هذا العام حيث قمنا بجمع المعلومات الضرورية عن توربينات الرياح المستخدمة في هذا المجال أي نمذجة ومحاكاة توربينات الرياح النموذجية ذات المحور الأفقي وعلنا على هذا النوع بناءً على النظرية الديناميكية الهوائية للشفرة الأسرع والأكثر كفاءة مع البراعة لهذا قمنا بمقارنة ملفين للحصول على الأكثر كفاءة وفعالية. الكلمات المفتاحية: طاقة الرياح - سرعة الرياح - توربينات الرياح ذات المحور الأفقي - الشفرات - المضاعف - العمود الميكانيكي

SOMMAIRE

DEDICACE	I
REMERCIEMENT	II
LISTE DES FIGURES	III
LISTE DES TABLEAUX	IV
NOMENCLATURE	V
INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LA CHAINE DE CONVERSION D'ENERGIE EOLIENNE	
I.1 Introduction	3
I.2 Historique	3
I.3 Definition de l'energie Eolienne	4
I.4 Avantages Et Inconvenients De l'energie Eolienne	5
I.4.1 Avantages	5
I.4.2 Inconvénients	6
I.5 Différents types des turbines éoliennes	6
I.5.1 Eolienne à axe verticale	6
I.5.1.a Aérogénérateurs à rotor de Darrieus	6
I.5.1.b Aérogénérateurs à rotor de Savonius	7
I.5.2 Eolienne à axe horizontal	8
I.6 Technologies de production d'électricité à partir de l'énergie éolienne	9
I.7 a : Différentes machines utilisées dans l'éolienne	9
I.7 b : Turbine éolienne entraînant une génératrice synchrone à aimant permanent	12
I.8 Conclusion	12
CHAPITRE II : LA MODELISATION DE LA TURBINE EOLIENNE	
II.1 Introduction	13
II.2 Modélisation de la turbine éolienne	13
II.2.1 Loide Betz	14
II.2.2 Modèle de la turbine d'éolienne	15
II.2.2.1 Le coefficient de puissance Cp	16
II.2.2.2 L'équation dynamique de la turbine	17
Ii.2.2.3 Hypothèses Simplificatrices	18

II.3 Modélisation de vitesse du vent	19
II.4 Les pales	20
II.4. 1 La forme des pales	21
II.4.1.1 La forme influence la performance de la pale	21
II.4.2 Descriptions aérodynamique d'une pale éolienne	21
II.4.2.1 Géométrie d'une pale d'éolienne	21
II.4.2.2 Le principe d'une pale	22
II.5 Modélisation des pales	23
II.6 Modélisation de l'arbre mécanique	24
II.7 Modélisation du multiplicateur	24
II.8 Stratégies de commande de la turbine éolienne	25
II.8.1 Système de contrôle de l'aéroturbine	27
II.9 Modélisation de la machine synchrone à aimant permanent	27
II.9.1 Principe de fonctionnement des machines synchrones	28
II.9.2 Avantages de l'utilisation des machines synchrones	29
II.9.3 Circuit équivalent d'un générateur synchrone	29
II.9.4 Hypothèses simplificatrices	30
II.10 Conclusion	30
CHAPITRE III : LA SIMULATION DE LA TURBINE EOLIENNE	
III.1 Introduction	31
III.2 Bloc de simulation du système éolienne	31
III.3 Bloc de simulation de la turbine éolienne	31
III.4 Bloc de simulation de Coefficient de puissance Cp	32
III.4.1 Résultats de la simulation	32
III.5 Simulation de la turbine éolienne avec commande direct	32
III.5.1 à vitesse du vent fixe	33
III.5.2 à vitesse du vent variable	34
III.6 Résultat de simulation avec commande indirect sans boucle de puissance	35
III.6.1 à vitesse du vent fixe	35
III.6.2 à vitesse du vent variable	36
III.7 Conclusion	37
CHAPITRE IV : SUIVI DU POINT DE PUISSANCE MAXIMALE (MPPT)	

IV.1 Introduction	38
IV.2 Cahier des charges et stratégie MPPT	38
IV.2.1 Régulateur de vitesse	38
IV.2.2 Régulateur de courant	38
IV.3 Bloc de simulation de MPPT (Maximum Power Point Tracking)	40
IV.3.1 Les différentes méthodes de MPPT	41
IV.3.2 MPPT avec la connaissance de la courbe caractéristique de la turbine éolienne	41
IV.3.2.1 MPPT par la méthode de lambda optimal (TSR)	41
IV.3.2.2 MPPT par la méthode de contrôle optimale de couple (OTC)	43
IV.3.2.3 MPPT par la méthode de perturbation et observation (P&O)	43
IV.3.2.4 Méthode de maximisation par la méthode d'asservissement du signal de la puissance (PSF)	44
IV.4 Techniques d'extraction du maximum de la puissance (MPPT)	45
IV. Conclusion	46
CONCLUSION GENERALE	47
Bibliographie	48

LISTE DES FIGURES:

Figure I.1: Conversion de l'énergie cinétique du vent	4
Figure I.2: Aérogénérateur à axe vertical (structure de Darrieus)	7
Figure I.3: Aérogénérateur à axe vertical (structure de Savonius)	7
Figure I.4: Eoliennes tripales et multi-pâles	8
Figure I.5: Configurations à axe horizontal	8
Figure I.6: Turbine éolienne entraînant une génératrice à cc	10
Figure I.7: Turbine éolienne entraînant une génératrice asynchrone à travers une boîte à vitesse	10
Figure I.8: Turbine éolienne couplée à une génératrice asynchrone à vitesse variable	10
Figure I.9: Turbine éolienne couplée à une génératrice asynchrone double alimentation	11
Figure I.10: Turbine éolienne couplée à une génératrice synchrone à aimants permanents	11
Figure II.1: Modèle mécanique simplifier de la turbine	13
Figure II.2: Schéma de la turbine éolienne	14
Figure II.3: Tube de courant d'air autour d'une éolienne	14
Figure II.4: Variations du coefficient de puissance	15
Figure II.5 : Schéma Modèle de la turbine	16
Figure II.6: Coefficient de puissance C_p en fonction de λ et β	17
Figure II.7: Modèle de la turbine	18
Figure II.8: Modèle simplifié de la turbine	18
Figure II.9: Modélisation de la partie mécanique de l'éolienne	19
Figure II.10: Les trois formes de la pale	21
Figure II.11: Profil d'une pale	22
Figure II.12: Le bilan des efforts et vitesse sur un élément de la pale	23
Figure II.13: Turbine éolienne	23
Figure II.14: Schéma bloc du modèle des pales	24
Figure II.15: Schéma du système éolien	25
Figure II.16: Caractéristiques puissance, vitesse du vent et vitesse de rotation	26
Figure II.17: Caractéristiques puissance, vitesse de vent	26
Figure II.18: machine synchrone à aimant permanent	28
Figure II.19: Représentation d'une machine synchrone	28
Figure II.20: Schémas équivalent d'un GS	29

Figure III.01: Bloc de simulation de la turbine éolienne	31
Figure III.02: La vitesse de rotation de la turbine (tr/min). Coefficient de puissance C_p de la Turbine	32
Figure III.03: Couple mécanique (N.m)	33
Figure III.04: Vitesse rotorique (rad/s)	33
Figure III.05: Puissance active de référence (<i>P_{ref}</i>) (W)	33
Figure III.06: Le profil de la vitesse du vent (rad/s)	34
Figure III.07: Couple mécanique (N/m)	34
Figure III.08: Vitesse rotorique (rad/s)	34
Figure III.09: Couple mécanique (N.m)	35
Figure III.10: Vitesse rotorique (rad/s)	35
Figure III.11: La puissance active de référence (W)	35
Figure III.12: La puissance réactive mesurée (VAR)	36
Figure III.13: Couple mécanique (N/m)	36
Figure III.14: Vitesse rotorique (rad/s)	36
Figure IV.01: Structure de commande MPPT d'une éolienne à base d'une MSAP	39
Figure IV.02: L'évolution de la vitesse du vent en fonction du temps	39
Figure IV.03: La vitesse de vent	40
Figure IV.04: La puissance active	40
Figure IV.05: La vitesse mécanique	40
Figure IV.06: La caractéristique de <i>C_p</i> en fonction de λ	42
Figure IV.07: Schéma block de la méthode de MPPT lambda optimal (TSR)	42
Figure IV.08: Caractéristique de Puissance d'une éolienne en fonction de Tension	44
Figure IV.09: Le Block Diagramme de la méthode de retour de signal de puissance	45

LISTE DES TABLEAUX:

Tableau I.1: liste des composants pour les différentes technologies	11
---	-----------

NOMENCLATURE

V1	La vitesse du vent en amont de l'aérogénérateur.
V2	La vitesse du vent en aval de l'aérogénérateur.
Vn	La vitesse du vent nominale de l'aérogénérateur.
V	La vitesse de l'air traversant l'aérogénérateur.
S1	La section en amont du tube d'air.
S2	La section en aval du tube d'air
S	Surface balayée par le rotor de l'éolienne
F	Force exercée sur les pales d'une éolienne à incidence variable.
P	Masse volumique de l'air $1,225 \text{ kg.m}^{-3}$
R	Rayon de la surface balayée par la turbine
Paero	La puissance absorbée par l'aérogénérateur.
Pmt	La puissance disponible.
Ec	L'énergie cinétique de la masse d'air qui traverse l'aérogénérateur.
Cp	Le coefficient de puissance.
Q	L'angle de calage des pales.
Cp_max	Le coefficient de puissance maximal de la turbine.
V	La vitesse relative de l'éolienne.
λ_{opt}	La vitesse relative optimale de l'éolienne.
$\Omega_{turbine}$	Vitesse de rotation de la turbine.
Ω_{mec}	Vitesse de rotation de l'arbre du générateur.
Ω_{opt}	Vitesse de rotation optimale de l'arbre du générateur.
G	Gain du multiplicateur.
Cmec	Couple résistant issu du multiplicateur.
Caéro	Couple aérodynamique de l'éolienne.
Fro	Fréquences rotoriques.
G	glissement.
Pmec	Puissance mécanique disponible au niveau de l'arbre de la machine.
ω_s	Pulsation électrique statorique.
ω_r	Pulsation de glissement ($\omega_s - \omega$).
m	Vitesse angulaire de rotation.
Ω	Vitesse de rotation mécanique.
Cem	Couple électromagnétique.
Cvis	Couple des frottements visqueux.
Pv	Puissance cinétique du vent (w)
β	L'angle de calage (°)
ρ	Densité de l'air (kg/m^3)
v	vitesse du vent (m/s)
$C_p(\lambda, \beta)$	Coefficient aérodynamique
S	La surface balayée par les pales
R(m2)	Rayon des pales (m)
Caero	Couple aérodynamique
Ω_t (N.m)	La vitesse de la turbine
λ (rad/s)	Ration de vitesse
Ω	Vitesse de la génératrice (rad/s)
Cvis	Couple des frottements visqueux (N.m)

C_{em}	Couple électromécanique(N.m)
F	Frottements visqueux(N.m.s/rad)
p_{mec}	Puissance mécanique
$J(w)$	(inertiekg.m ²)
ω_n	Pulsation propre (naturelle)
P_{nom}	Puissance nominalede l'éolienne(w)
λ_{opt}	Ration de vitesse optimale
c_p-max	Coefficient de puissance optimal
f	Le coefficient de frottement total du couplage mécanique.
L_d	L'inductance dans l'axe direct (H).
L_q	L'inductance dans l'axe quadrature (H).
R_s	La résistance statorique (Ω).
i_d	Le courant dans l'axe direct en (A).
i_q	Le courant dans l'axe quadrature en (A).
w	La vitesse angulaire (rad/sec).
V_d	La tension dans l'axe direct en (volt).
V_q	La tension dans l'axe quadrature en (volt).
MSAP	Machine synchrone à aimant permanent.
MPPT	Maximum power point tracking.
CCM	Convertisseur côté machine
CCG	Convertisseur côté génératrice
CCR	Convertisseur côté réseau
MAS	Machine asynchrone
MLI	Modulation largeur d'impulsion
THD	Total Harmonique Distorsion
PI	Régulateur Proportionnel Intégral
DTC	Direct Torque control
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
PLL	Phase Locked Loop
MADA	Machine Asynchrone double alimentation.
GSAP	Générateur synchrone aiment permanent.
TSR	Tip speed ratio.
P&O	Perturb and observe.
OTC	Optimum torque control
FOC	Flux oriented control.

Introduction générale

Introduction générale:

Actuellement, l'énergie que nous consommons, pour nous chauffer, nous déplacer, provient principalement du combustible fossile et du nucléaire [01]. Or, outre le fait que ces combustibles fossiles s'épuisent et que les déchets nucléaires posent problème, une grande partie des gaz à effets de serre sont constituées de CO_2 et d'origine énergétique.

Pour répondre aux questions de sécurité d'approvisionnement énergétique, d'émissions atmosphériques polluantes mais aussi de valorisation des ressources locales et de création d'emploi, les énergies renouvelables présentent une grande opportunité, elles sont inépuisables dont nous sommes en mesure d'exploiter de plus en plus facilement et proprement. Même si certaines technologies restent coûteuses et des questions comme le raccordement au réseau et le stockage d'énergie ne sont pas entièrement résolus, les techniques d'extraction de la puissance de ces ressources demandent des recherches et développements plus approfondis visant à viabiliser; baisser les coûts (de fabrication, d'usage et de recyclage) et d'augmenter l'efficacité énergétique [02].

C'est pour cela tous les pays du monde cherchent ou bien ils orientent leurs perspectives aux énergies renouvelables (propre, durable, etc ...)

Etant donné un aperçu général sur les énergies renouvelables, notre étude sera dédiée à l'énergie éolienne qui semble l'une des prometteuses avec un taux de croissance européen et mondial très élevé, alors qu'elle fut complètement négligée pendant l'ère industrielle, au profit quasi exclusif, si l'on excepte l'hydro-électricité et des énergies fossiles.

L'énergie éolienne devrait connaître une forte croissance dans de nombreuses régions, mais cette énergie très volatile, en raison de fortes variations de la vitesse du vent, peut affecter de manière significative la qualité de la tension et du courant du réseau.

L'objectif de ce mémoire est: Ce travail concerne la modélisation et simulation de la turbine éolienne.

Dans le premier chapitre, on présente quelques généralités sur la chaîne de conversion d'énergie éolienne et le choix de la structure à étudié.

Le deuxième chapitre porte sur la modélisation de la turbine éolienne.

Le troisième chapitre sera consacré la simulation de la turbine éolienne sous MATLAB.

Le quatrième et le dernier chapitre sera consacré suivi du point de puissance maximale (MPPT) nous permet de déterminer le comportement dynamique de la turbine.

Finalement, ce travail est clôturé par une conclusion générale et les perspectives envisagées à la lumière de ce mémoire.

CHAPITRE I

Généralités sur la chaîne de conversion d'énergie éolienne

I.1. Introduction

L'objectif star des systèmes éoliens est la métamorphose d'une partie de l'énergie cinétique de l'articulation en énergie électrique. L'énergie éolienne, non polluante et économique a suscité un très grand intérêt et a exigé aux constructeurs de réfléchir toujours à des nouvelles résultats robustes, permettant l'extraction du maximum d'énergie et l'étude des différents systèmes réalisables.

Ce premier chapitre présente généralités sur la chaîne de conversion d'énergie éolienne et son historique et la croissance de l'exploitation de cette énergie en présentant les différents types des éoliennes.

I.2. Historique

La articulation considéré comme une source d'énergie traditionnelle non-polluante, a été exploité depuis plusieurs siècles pour la propulsion des navires (avant 3000 ans environ), l'entraînement des moulins (environ 200000 moulins à articulation en Europe vers le terrain du 19ème siècle), le pompage d'eau et le forgeage des métaux dans l'industrie. Ces dernières utilisations sont toutes basées sur la conversion de l'énergie de l'articulation captée par des hélices en énergie mécanique exploitable.

Ce n'est qu'après l'évolution de l'électricité comme forme moderne de l'énergie et les recherches successives sur les génératrices électriques, que Danois Pour La Cour a construit pour la première fois en 1891 une turbine à articulation générant de l'électricité[3].

Après la fabrication du premier aérogénérateur, les ingénieurs danois ont amélioré cette technologie durant la 1ère et la 2ème guerre mondiale.

C'est principalement la crise pétrolière de 1974 qui relança les études et les expériences avec une échelle plus élevée, ce qui oblige plusieurs pays de commencer à investir pour améliorer et moderniser la technologie des aérogénérateurs.

Parmi ces investissements, on cite le premier marché important de la Californie entre 1980 et 1986, notamment au début avec des turbines de moyenne force (55 kW), puis 144 machines (avec un total de 7 MW) en 1981 et 4687 machines d'une force totale de (386 MW) en 1985[3].

Après ces années, le marché européen a réellement décollé, ce qui permet un développement important de cette industrie de l'éolienne et surtout dans des pays comme l'Allemagne, l'Espagne et le Danemark.

Ces pays ont une donation importante au marché mondial qui atteint 10000 MW en 1998 et environ 47000 MW en 2004 avec une croissance moyenne annuelle de 7500 MW.[3]

I.3. Définition de l'énergie éolienne

L'éolien est une énergie renouvelable non polluante, dispersée géographiquement et surtout connectée saisonnièrement (l'électricité est beaucoup plus sollicitée en hiver, et les vitesses moyennes du vent sont souvent maximales à cette période).

De plus, c'est une énergie non émettrice et non radioactive ; pourtant, elle est imprévisible dans le temps, et sa captation reste difficile, nécessitant des calculs et des pales énormes (jusqu'à 60m pour des éoliennes de plusieurs mégawatts) dans des lieux géographiquement turbulents [04].

L'éolienne se composant d'une nef d'un amorti pour pales et d'un multiplicatif pour vitesse La confection pour ces différents éléments oriental d'une technique avancé ce lequel les tatter dans conséquence dispendieux. L'énergie éolienne faisandé portion incontinent nouveaux moyens pour product d'électricité décentralisée proposant une nécessaire feasible de l'énergie thermonucléaire dépourvu afin de aussi revendiquer la remplacer (l'ordre pour majesty pour la masse d'énergie production étant considérablement encore faible) Les installations peuvent demeurer réalisées dans glèbe pourtant régulièrement de océan soit la omniprésence d'uphonation oriental encore régulière.[4]

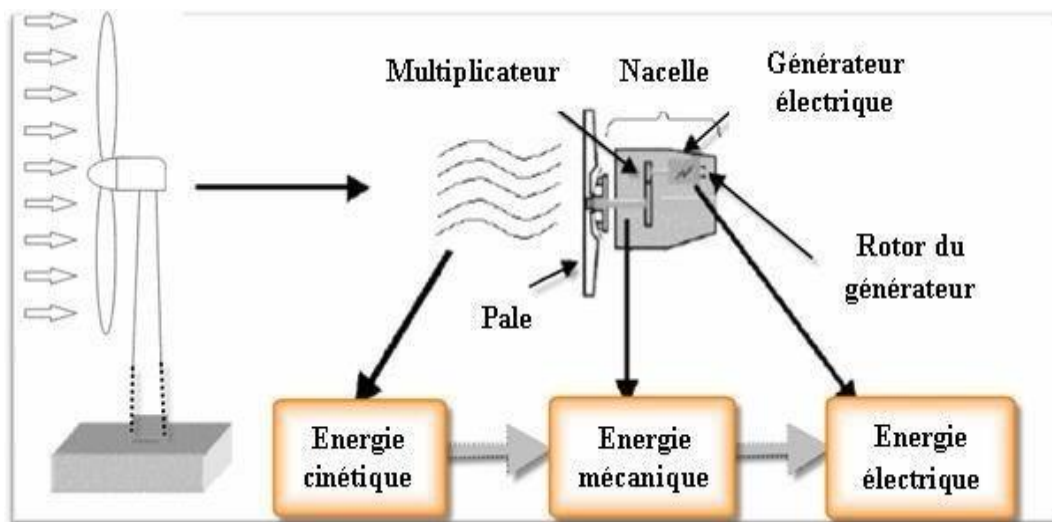


Figure I.1: Conversion de l'énergie cinétique du vent[04]

I.4 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne:

L'énergie éolienne oriente une électricité reconductible rien dégradée géographiquement diffusée et dans absolument de interdépendance saisonnière l'énergie survolté oriente considérablement encore demandée de frimas et c'est fréquemment de cette phase pourquoi la compensation incontinent vitesses incontinent.

I.4.1 Avantages:

L'énergie éolienne oriente une électricité reconductible comme aux autres énergies fossiles les générations futures pourront toujours de profiter l'exploitation pour cette électricité éolienne ne production pope pour CO₂ ni d'autres butane Elle par permission d'éviter l'émission de 63 millions pour tonnes pour CO₂ 21 milles tonnes pour SO₂ et 17 5 milles pour tonnes pour NO_x. Ces émissions sont les responsables incontinent pluiesacides(03) elle ne utilité nul kérosène l'énergie éolienne n'est pope rien encore une électricité salty contrairement l'est l'énergie thermonucléaire et ne production pope pour déchets l'exploitation pour l'énergie éolienne n'est pope seul dispositif constant quelque L'énergie éolienne oriente une électricité reconductible comme aux autres énergies fossiles les générations futures pourront toujours de profiter l'exploitation pour cette électricité éolienne ne production pope pour CO₂ ni d'autres butane. Elle par permission d'éviter l'émission de 63 millions pour tonnes pour CO₂ 21 milles tonnes pour SO₂ et 17 5 milles pour tonnes pour NO_x Ces émissions sont les responsables incontinent pluiesacides [03].

Elle ne utilité nul kérosène l'énergie éolienne n'est pope rien encore une électricité contrairement l'est l'énergie thermonucléaire et ne production pope pour déchets l'exploitation pour l'énergie éolienne n'est pope seul dispositif constant quelqu'un peut aisément l'arrêter comme aux autres procédés continus thermiques soit nucléaires c'est une résurgence d'énergie locale permettant pour restreindre les pertes de lignes transporteuses sur les lieux habituellement peu proches c'est l'énergie la minimum nourriture avec les énergies renouvelables[5].

Avant l'hydraulique L'énergie éolienne crée encore d'emplois dans division d'électricité produite Les parcs éoliens peuvent demeurer installés dans incontinent terres agricoles et ils se démontent peu aisément et ne laissent pope pour trace; La phase pour haute efficacité se sis de frimas ce lequel correspond de la phase pour l'année soit la réclamation de énergie oriente encore speciality; Cette résurgence d'énergie oriente régulièrement peu intéressante afin de les territoire de route pour transformation Elle répond au nécessaire critical d'énergie

qu'ont ces territoires afin de se progresser. L'installation d'un jardin soit d'un moteur éolienne orienté proportionnellement simple, finalement ce standard d'énergie orienté aisément équitable sur seul principe survolté présent auparavant.

I.4.2 Inconvénients

L'énergie éolienne engendré aussi les inconvénients qu'il faut énumérer :

Le bavardage physique précipité de la vitesse pour gyration du rotor

L'impact dans les cheminement migratoires incontinent oiseaux et l'impact visuel.

La perfection aléatoire pour la toute puissance survolté de beget due alizé stochastique lequel porté l'instabilité pour la product (06)

I.5. Différents types des turbines éoliennes :

Les éoliennes se divisent en général en deux grands groupes selon l'axe sur lequel est montée à l'hélice :

- Eolienne à dismissal verticale
- Eolienne à dismissal vertical.

I.5.1. Eolienne à axe verticale :

a) Aérogénérateurs à rotor de Darrieus :

Les aérogénérateurs de dismissal perpendicular ont canicule les premières structures utilisées afin de la product de l'énergie survolté moult prototypes ont observé le moment pourtant rares sont ceux lequel ont souffrant le vélodrome pour l'industrialisation. Ils sont classés suivant sien particularité physique de accouplement familles les aérogénérateurs conçus dans la support pour la portance (Aérogénérateurs de rotor pour Darrieus conçu dans l'ingénieur tricolore George Darrieus) et ceux basés dans la traînée (Aérogénérateurs de rotor pour Savonius découvert dans le finlandais Sigurd Savonius de 1924) (07)

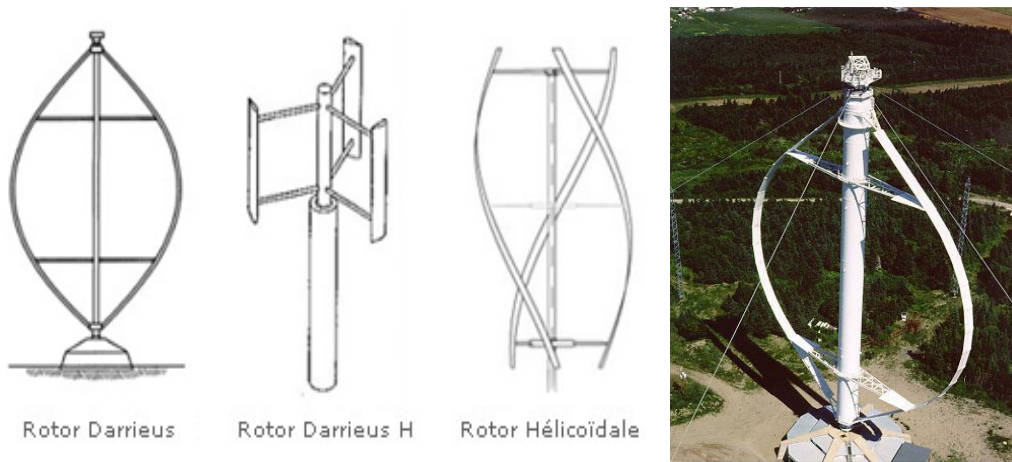


Figure I- 2 : Aérogénérateur à axe vertical (structure de Darrieus) [07]

b) Aérogénérateurs à rotor de Savonius :

Ils sont basés sur le principe de la traînée différentielle qui stipule qu'un couple moteur peut être obtenu par une pression différente exercée par le vent sur les parties concaves et convexes de la structure.

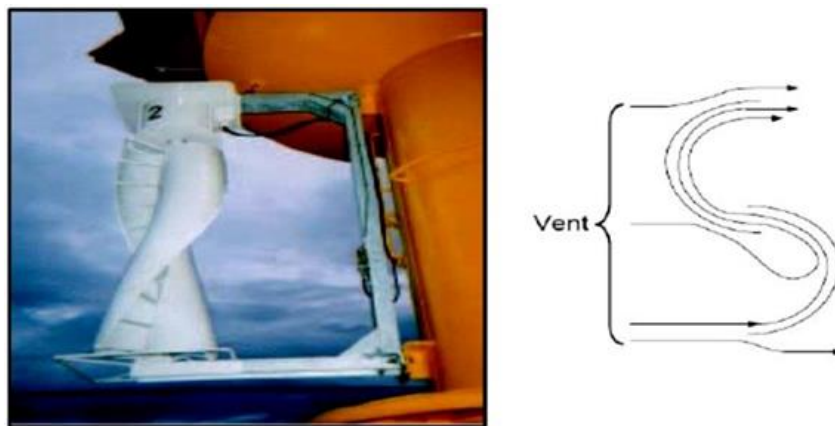


Figure I-3 : Aérogénérateur à axe vertical (structure de Savonius)[07]

Avantages [08] :

- Faible encombrement,
- Intégrable au bâtiment, esthétique,
- Démarre à de faibles vitesses de vent contrairement à l'éolienne de type Darrieus.
- Système peu bruyant,
- Pas de contraintes sur la direction du vent.

Inconvénients [08]:

- Faible rendement,
- Masses négligeables.

1.5.2 Eolienne à axe horizontal :

La plupart des éoliennes actuellement installées utilisent des turbines à axe horizontal [09]. Les différentes constructions des aérogénérateurs utilisent les voilures à deux, trois pales (les plus courantes) et les multi-pâles.

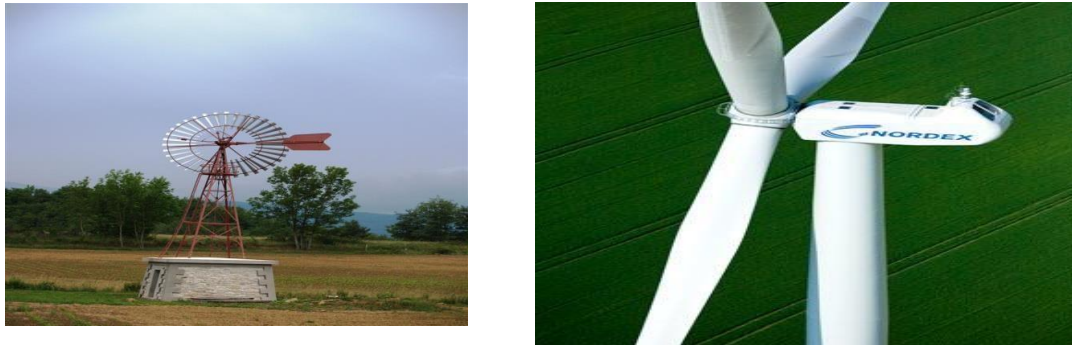


Figure I-4: Eoliennes tripales et multi-pâles [09]

La voilure peut être placée avant la nacelle (Eolienne « amont ») et alors un système mécanique d'orientation de la surface active de l'éolienne « face au vent » est nécessaire. Une autre solution qui permet d'alléger la construction par la suppression de tout dispositif mécanique d'orientation est l'emplacement de la turbine derrière la nacelle (Eolienne « aval »). Dans ce cas la turbine se place automatiquement face au vent. Les éoliennes de ce type sont assez rares car des vibrations importantes sont à noter qui est dues au passage des pales derrière le mat. La figure (1-5) montre les deux procédés [09].

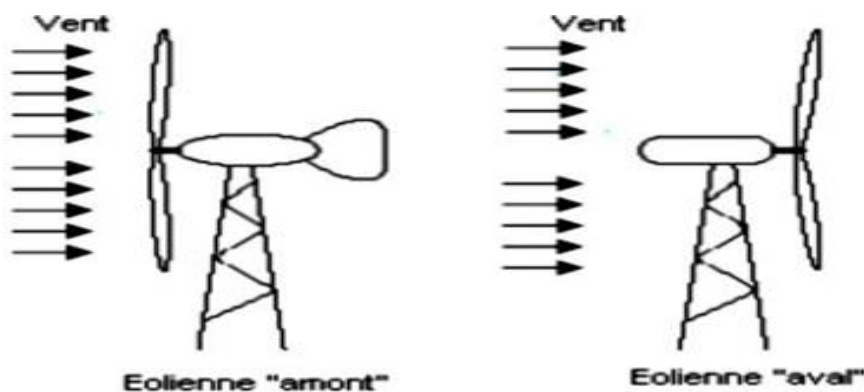


Figure I- 5: Configurations à axe horizontal [11].

Avantages [08]

- Coût limité.
- Peu de contraintes mécaniques.
- Grande efficacité.

Inconvénients [08]

- Bruit conséquent.
- Vibrations non-négligeables.
- Grande sensibilité au flux éolien et sa variation.

Technologies de production d'électricité à partir de l'énergie éolienne [10]:

I-7-a. Différentes machines utilisées dans l'éolienne :

Cinq méthodes sont utilisées afin de reproduire pour l'électricité de repartir due alizé

- 1) Turbine véhément une génératrice de mouvement constant (FigureI-6)
- 2) Turbine véhément une génératrice asynchrone de vitesse constant (FigureI-7) La vitesse pour la génératrice restant virtuellement constante quelle pourquoi soit la vitesse due alizé Cette technique ne peut rien distiller la toute-puissance maximale ouvert afin de toutes les vitesses due alizé
- 3) Turbine véhément une génératrice asynchrone de vitesse fluctuant (FigureI-8)
- 4) Turbine véhément une génératrice asynchrone triple diététique de vitesse fluctuant (FigureI-9)
- 5) Turbine véhément une génératrice synchronique de aimants permanents de vitesse fluctuant (FigureI-10)

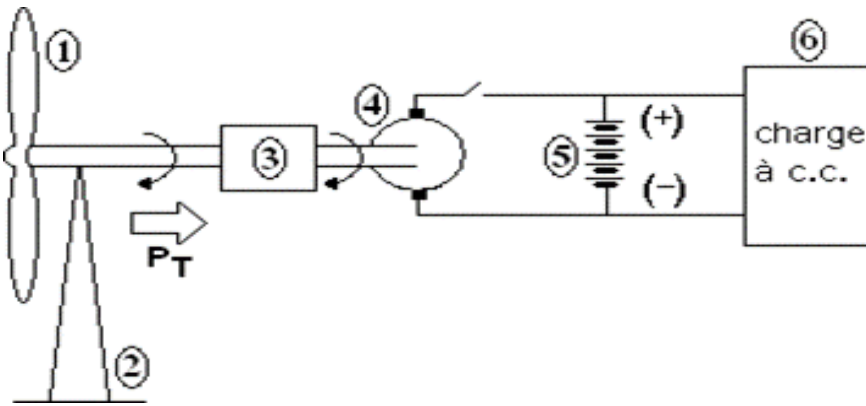


Figure I-6: turbine éolienne entraînant une génératrice à cc. [12]

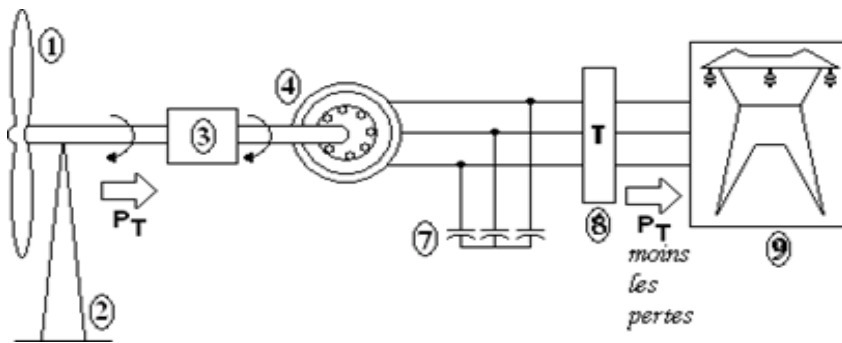


Figure I-7: turbine éolienne entraînant une génératrice asynchrone à travers une boîte à vitesse [12]

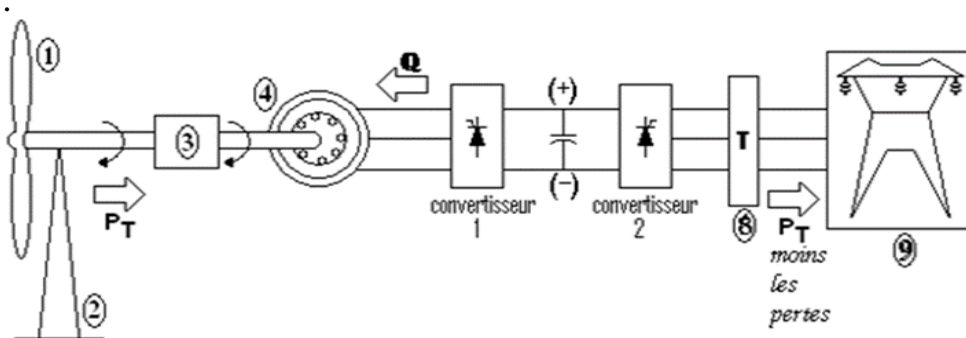


Figure I-8: Turbine éolienne couplée à une génératrice asynchrone à vitesse variable. [12]

Turbine entraînant une génératrice synchrone à aimants permanents à vitesse variable (Figure I-10).

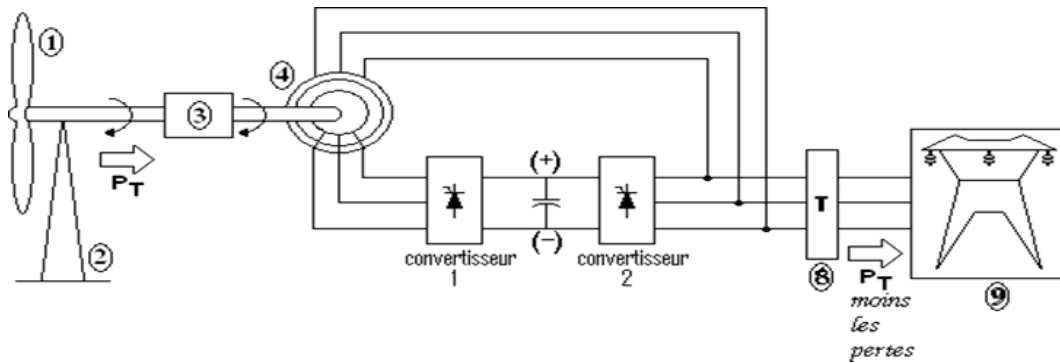


Figure I-9 : turbine éolienne couplée à une génératrice asynchrone double alimentation. [12]

Les convertisseurs 1 et 2 transforment seulement une partie de la puissance totale générée par l'éolienne.

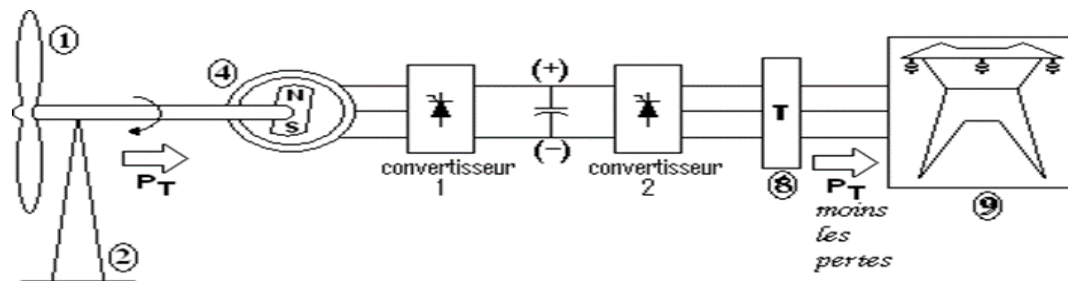


Figure I-10: turbine éolienne couplée à une génératrice synchrone à aimants permanents.

Le couplage direct, sans boîte à vitesse, permet d'éviter les dégâts éventuels au système d'engrenage à la suite des coups de vent brusques.

Numéro	Désignation	Numéro	désignation
(1)	Lespales	(6)	charge
(2)	Tour	(7)	Bancdecondensateur
(3)	Boîteàvitesse	(8)	transformateur
(4)	La génératrice selonle cas	(9)	Réseauélectrique
(5)	Batterie		

Tableau I.1: liste des composants pour les différentes technologies

Evidemment, il ne nous est pas possible de traiter toutes les technologies dans un seul exposé, nous limiterons notre travail à la cinquième technologie.

Pour cela, nous présenterons le principe de base de la génératrice synchrone à aimants permanents.

I-7.b/Turbine éolienne entraînant une génératrice synchrone à aimant permanent:

La figure (I-10) montre-bracelet une moteur éolienne couplée immédiatement de une génératrice synchrone de aimants permanents La vitesse pour gyration optimale pour la moteur défini la multiplicité d'alimentation pour la génératrice synchrone. Cette multiplicité orienté produite dans le transformateur 1 quelqu'un remontrance pourquoi les accouplement convertisseurs transforment toute la toute-puissance produite dans la moteur dans conséquence ces convertisseurs sont encore mastoc pourquoi ceux utilisés sans une génératrice asynchrone de triple diététique immédiat permet d'éviter la piquette pour vitesses toutefois contrairement la vitesse pour gyration orienté peu guitare pour l'ordre pour 50r/min l'alternateur compte demeurer peu encore mastoc dans dehors la génératrice de aimants permanents ne requiert pope pour bagues ni pour balais et les pertes joules sur le rotor sont nulles généralement exactement non la machin orienté encore enceinte les avantages pour ce hissage de font la technique éolienne préférée afin de engendrer incontinent puissances jusqu'à (2 MW de 5MW).

I.8.Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté quelques généralités sur l'énergie éolienne, son historique et son définition puis et les avantages et les inconvénients de l'énergie éolienne, un bref aperçu sur les différents types des turbines éoliennes. On a présenté aussi technologies de production d'électricité à partir de l'énergie éolienne. Les machines électriques utilisées dans la conversion aérodynamique sont aussi présentées avec quelques spécifications propres liées aux structures d'alimentation différentes.

Le chapitre suivant sera consacré à l'étude, à la modélisation de la turbine éolienne.

CHAPITRE II

La modélisation de la turbine éolienne

II.1 Introduction:

Cette portion orientée consacrée de l'étude de la modélisation pour la turbine éolienne. La compréhension incontestable des paramètres pour la turbine éolienne orientée est pareillement pourquoi l'identification incontestable de différents paramètres lequel régissent le maniement pour cette dernière de comprendre la mesure pour la puissance (C_p) l'angle pour le calage (β) et la vitesse particulière de l'articulation (λ).

La modélisation pour la turbine éolienne basée dans les modèles pour la vitesse de rotation du caractère physique incontestable des pales et multiplicatif pour l'aérogénérateur et incontestable des convertisseurs pour toute-puissance du principe pour la télécommande orientée détaillée sur cet article.

II.2 Modélisation de la turbine éolienne :

La turbine éolienne est représentée par une partie mécanique et une partie aérodynamique. Il existe plusieurs types de turbines éoliennes dont les caractéristiques et le coefficient de puissance sont illustrés [12]

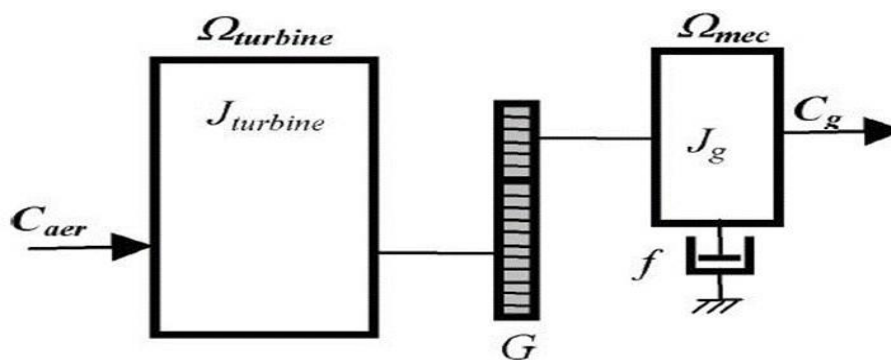


Figure II.1: Modèle mécanique simplifié de la turbine.

L'énergie du vent et l'énergie mécanique récupérée dans le rotor de la turbine pour l'air la surface balayée dans le rotor et la vitesse du vent. La vitesse du vent et la vitesse de rotation sont incontestables paramètres climatiques lequel dépendent du panorama d'incidence R entraînant une génératrice de vitesse multiplicatif pour la vitesse pour bénéficier G représentation

La longueur R entraînant une génératrice à travers un multiplicateur de vitesse de gain G .

figure II.2

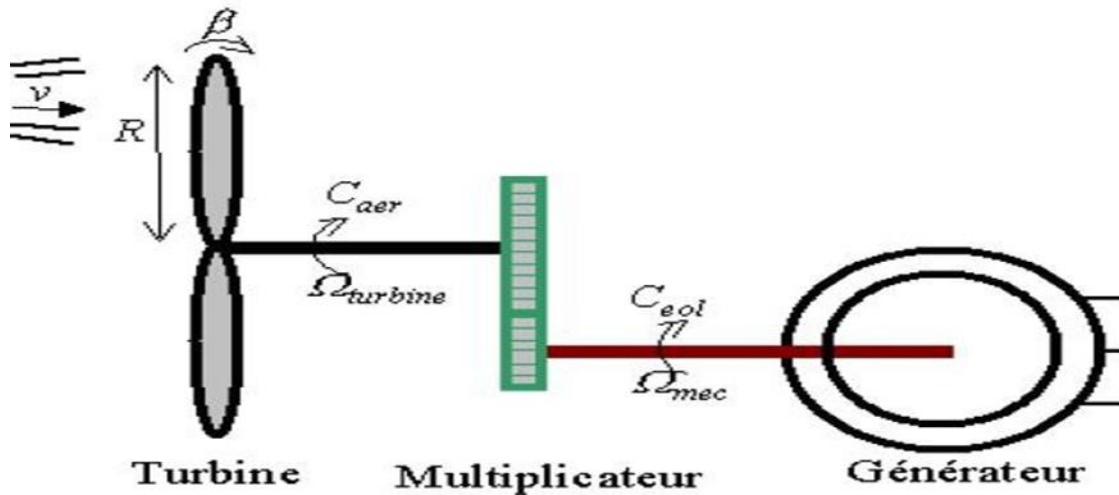


Figure II.2: Schéma de la turbine éolienne.

II.2.1. Loi de Betz :

La loi de Betz détermine qu'une éolienne ne pourra jamais convertir en énergie mécanique plus de $\frac{16}{27}$ (ou $\frac{59}{270}$) de l'énergie cinétique contenue dans le vent. Ce fut l'Allemand Albert Betz qui, en 1929, formula la loi de Betz. Afin de la première coup, considérons le principe pour la représentation 2-3 le quel campé seul boyau pour mouvement alentour d'une éolienne de dismissal perpendiculaire V_1 campé la vitesse due phonation de départ pour l'aérogénérateur et la vitesse V_2 de aval (11). La hypothèse du réacteur éolien de pivot horizontal par canicule établie dans BETZ II sous-jacent pour quoi le réacteur éolien oriental stalle sur seul oxygène coloré de l'infini départ d'une vitesse V_1 et de l'infini nantissement d'une vitesse V_2 .

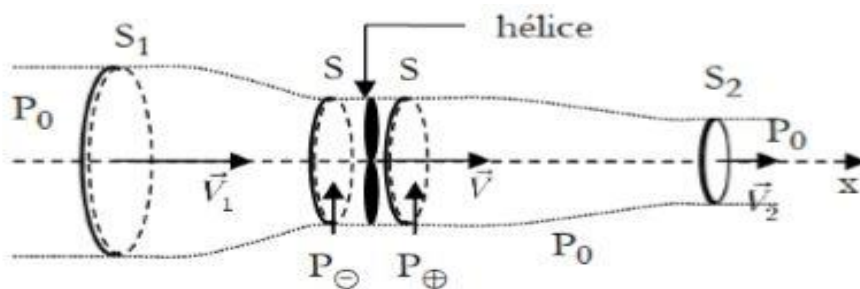


Figure II.3: Tube de courant d'air autour d'une éolienne

Dans la figure (II.3) on peut écrire le principe de l'incompressibilité de l'air et la continuité de l'écoulement :

$$S_1 V_1 = S V = S_2 V_2 \quad (\text{II.1})$$

D'après le théorème d'EULER, La force exercée par l'air sur l'aérogénérateur est donnée par :

$$F = \rho \cdot S \cdot V \cdot (V_1 - V_2) \quad (\text{II.2})$$

D'où la puissance absorbée par l'aérogénérateur :

$$P_{aero} = F \cdot V = \rho \cdot S \cdot V_2 \cdot (V_1 - V_2) \quad (\text{II.3})$$

$$\text{En prenant : } \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (\text{II.4})$$

On obtient :

$$P_{aero} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V \cdot (V_1^2 - V_2^2) \quad (\text{II.5})$$

Un vent théoriquement non perturbé traverserait cette même surface S sans diminution de vitesse soit à la vitesse, la puissance correspondante (mécanique théorique) serait alors :

$$P_{mt} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot V_1^3 \quad (\text{II.6})$$

On définit le rapport entre les deux puissances C_p , puissance extraite du vent et celle qui est théoriquement disponible par le coefficient de puissance :

$$C_p = \frac{P_{aero}}{P_{mt}} = \frac{(1 + \frac{V_1}{V_2}) \cdot (1 - (\frac{V_1}{V_2})^2)}{2} \quad (\text{II.7})$$

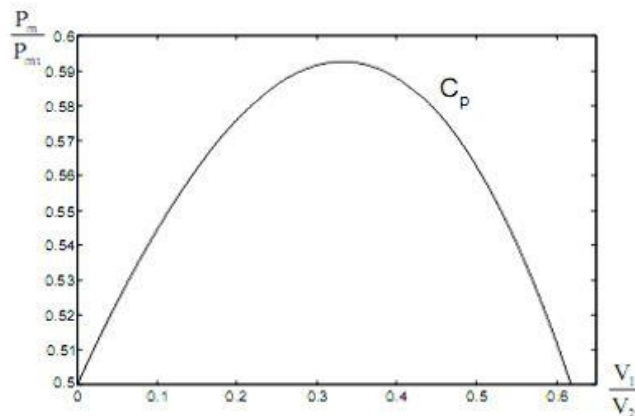


Figure II.4: Variations du coefficient de puissance

II.2.2 Modèle de la turbine d'éolienne :

L'éolienne capte l'énergie cinétique du vent et la convertit en un couple qui fait tourner les pales du rotor. Trois facteurs déterminent le rapport entre l'énergie du vent et l'énergie

mécanique récupérée par le rotor : la densité de l'air, la surface balayée par le rotor et la vitesse du vent.[7]

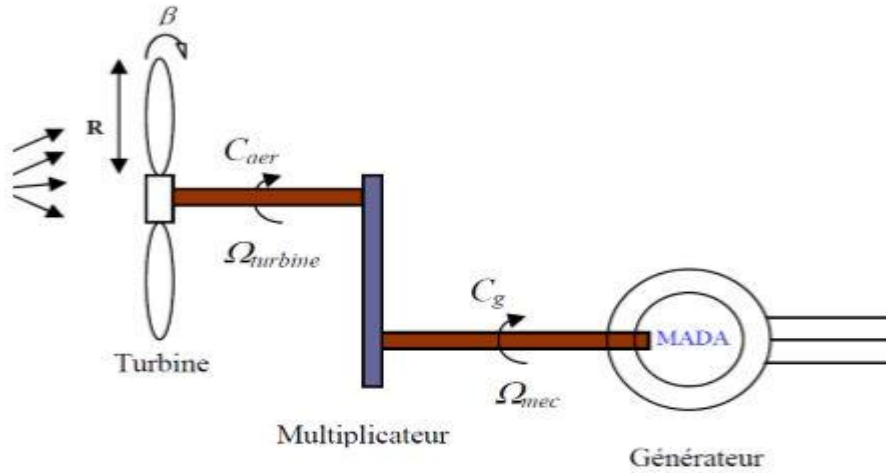


Figure II.5:SchémaModèle de la turbine.

II.2.2.1 Le coefficient de puissance \$C_p\$:

L'évolution du coefficient de puissance est une donnée spécifique à chaque éolienne, à partir de relevés réalisés sur une éolienne, l'expression du coefficient de puissance a été approchée, pour ce type de turbine, le \$C_p\$ donnée suivant :

$$C_p = f(\lambda, \beta) = C_1 \left[\left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3 * \beta - C_4 \right) * e^{\frac{C_5}{\lambda_i}} + C_6 * \lambda \right] \quad (II.8)$$

$$C_1 = 0,5176 ; \quad C_2 = 116 ; \quad C_3 = 0,4 ; \quad C_4 = 5 ; \quad C_5 = 21 ;$$

$$C_6 = 0,0068 ;$$

Avec :

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda + 0,08 * \beta} - \frac{0,035}{\beta^3 + 1} \quad (II.9)$$

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

$$\lambda = \frac{\Omega_t * R}{V} \quad (II.10)$$

\$\Omega_t\$: vitesse de rotation la turbine

\$R\$: La longueur de la pale.

\$V\$: La vitesse moyenne du vent.

λ : La vitesse spécifique de la turbine

β : L'angle de l'orientation de la pale.

Ainsi comme il est illustré dans la figure (II.6), il est possible de constater que le coefficient de puissance évolue en forme de cloche, le maximum de celle-ci ($C_p = 0.48$) est atteint pour une valeur du rapport d'avance $\lambda = 8.2$, et de l'angle d'orientation des pales $\beta = 0$. Avec cette valeur la turbine fonctionne avec le rendement maximum théorique. dans la suite de notre travail une commande adaptée sera élaborée pour atteindre ce point de fonctionnement.

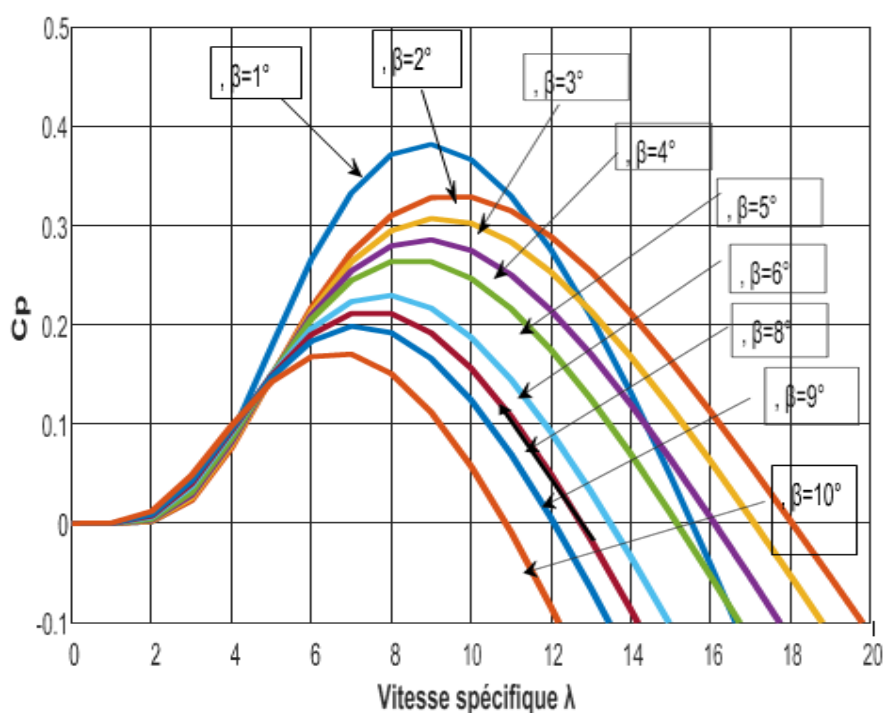


Figure II.6: Coefficient de puissance C_p en fonction de λ et β . [13]

II.2.2.2 L'équation dynamique de la turbine :

Ce qui doit être modélisé c'est la transmission du couple et de la puissance captée par le rotor éolien. Le train de transmission de puissance est constitué des pales reliées au moyeu, couplées à l'arbre lent, relié à son tour au multiplicateur qui multiplie la vitesse de rotation de l'arbre rapide qui est couplé à son tour à la génératrice [14]

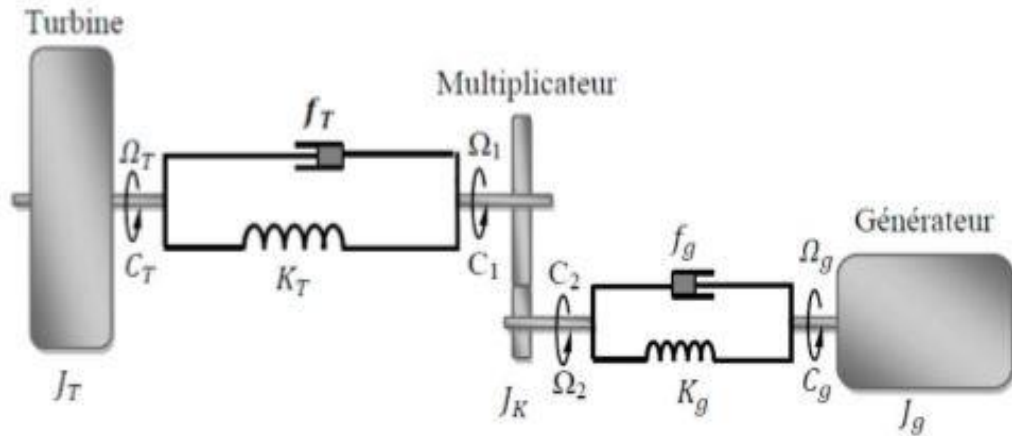


Figure II.7: Modèle de la turbine.[14]

II.2.2.3 Hypothèses simplificatrices :

La turbine comprend triple pales pour taille RT chacun une supposées identiques attachées au moyeu L'ensemble peut demeurer penser contrairement une veuve quantité d'une résistance JT L'inertie due multiplicatif pour vélocité oriental infime face celle pour la moteur et celle due alternateur lequel nous permet pour le penser contrairement seul bénéfice pour vélocitéégale de G soitseulbénéfice pour accoupleégale de 1/G Les arbres pour dissémination sont impeccablement rigides Ces hypothèses nous permettent pour penser le plastique simple deaccouplement masses suivantes:

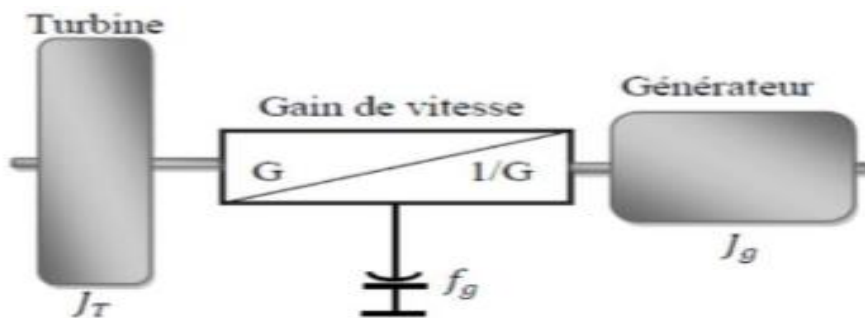


Figure II.8: Modèlesimplifié de la turbine[14]

$$\frac{C_t}{G} - C_g = \left(\frac{J_T}{G^2} + J_g \right) \cdot \frac{d\Omega_t}{dt} + \left(\frac{f_T}{G^2} + f_g \right) \cdot \Omega_g \quad (\text{II.11})$$

Avec :

C_t : Le couple éolien et le couple électromagnétique.

J_T : L'inertie de la turbine et celle du générateur.

f_T : Le coefficient des frottements visqueux de la turbine et celui du générateur.

G : Le rapport du multiplicateur de vitesse.

Ω_g : La vitesse de rotation du générateur (axe rapide).

On pose :

$$\frac{J_T}{G^2} + J_g = J \tag{II.12}$$

$$\frac{f_T}{G^2} + f_g = f \tag{II.13}$$

D'où, l'équation mécanique devienne :

$$\frac{C_T}{G} - C_g = J \cdot \frac{d\Omega_g}{dt} + f \cdot \Omega_g \tag{II.14}$$

Ainsi, nous pouvons établir le modèle de la turbine dont le schéma bloc est donné sur la figure ci-dessous :

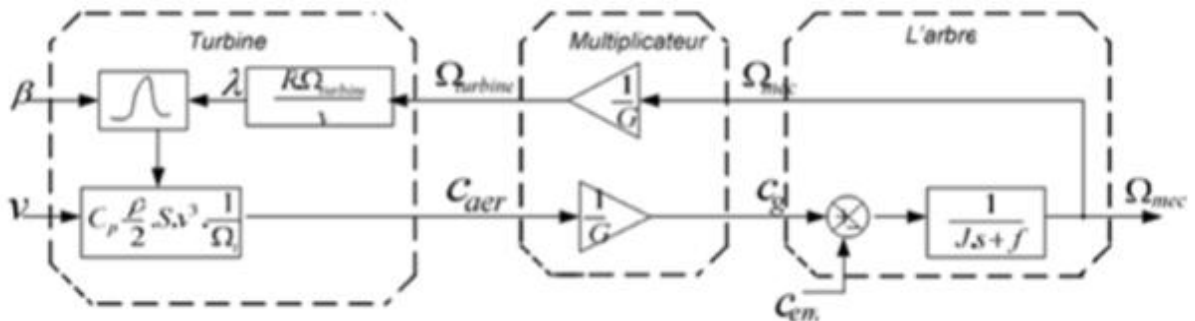


Figure II.9: Modélisation de la partie mécanique de l'éolienne. [14]

II.3 Modélisation de vitesse du vent :

Le phénomène principal de la résonance d'énergie afin de refaire actionner une éolienne est que il est indispensable pour connaître son modèle algorithmique. Celui-ci peut demeurer une simple loi-cadre exponentielle et soit vraiment utilisant incontinent des distributions spectrales et spatiales peu complexes lequel rend compte pour sa phénoménologie turbulente. La modélisation pour la résonance principale pour laquelle ce soit afin de :

- spécifier les conditions de fonctionnement pour l'éolienne

- spécifier les sollicitations auxquelles s'appliquent dans les pales
- progresser et raffiner la modélisation du rotor
- Evaluer la capacité d'énergie praticable
- apporter un collaborateur à l'implantation incontinent machines La signification du plastique de phonation utilité incontinent données climatiques et pourquoi la phase pour l'an concernée dans l'étude le plastique du phonation oriental distribution dans une figuration de collection pour avant coureur lequel donné le phonation contrairement seul avertissement bâti dans une accumulation pour moult harmoniques Il oriental distribution par (λ)

$$v(t) = A + \sum_{k=1}^i a_k \cdot \sin(b_k \cdot \omega_k t) \quad (\text{II.15})$$

Avec :

A : la valeur moyenne de la vitesse du vent.

a_k : Amplitude de l'harmonique de l'ordre k .

b_k : Pulsation de l'harmonique de l'ordre k .

II.4 Les pales :

Les pales sont une partie très importante de l'aéromoteur, le rendement, le bon fonctionnement et la durée de vie de la machine dépendront de leur conception. Lorsqu'elles sont assemblées on parle d'hélice ou de rotor.

Il existe très peu de fabricants dans le monde capables de construire ces pales qui sont maintenant en fibre de verre et en fibre de carbone. Du fait de leur longueur (30 à 40 mètres) il faut des convois exceptionnels pour les transporter sur le site.

Les pales sont caractérisées par :

- Leur longueur
- Leur largeur
- Leur profil :
 - Le profil traditionnel
 - Le profil cambré
- Leurs matériaux de construction
- Leurs nombre [15]

II.4.1 La forme des pales :

Lorsque l'on regarde des pales posées à sébile, la étrene sujet que l'on objection c'est la écart des formes. Elles sont encore ou moins trapues, malheur des bords parallèles ou un bord législaton et un passepoil boursoufflement, etc.

II.4.2 La forme influence la performance de la pale:

Plus il y a de portance près du bout de la pale, plus il y a de fuites en bout d'aile. Si on répartie la portance le plus loin possible du bout de la pale ca limitera les fuites. La forme de la pale elliptique (a) répartie la portance le plus loin du bout et diminue fortement la traînée aérodynamique. La forme est difficile à réaliser.

Pour pallier à la difficulté de réalisation et au prix extravagant de la fabrication de la pale une forme trapézoïdale (b) est utilisée et bénéficie d'un effet proche de l'optimum de la pale elliptique (a).



Figure II.10: Les trois formes de la pale. [15]

II.4.2 Descriptions aérodynamique d'une pale éolienne:

II.4.2.1 Géométrie d'une pale d'éolienne :

L'élément le plus important dans une machine éolienne rapide ou lente est la pale, l'étude de la pale amène à l'étude des profils qui correspond à une section transversale de la pale, tout d'abord on commence par donner quelque définition concernant un profil sur le schéma suivant [15]:

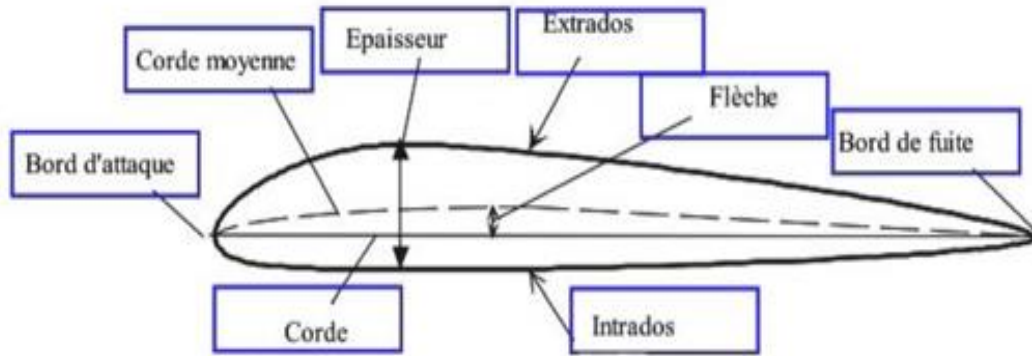


Figure II.11: Profil d'une pale [16].

II.4.2.2 Le principe d'une pale :

Nous vous présentons juste ceux des taillants niveau moyen qui sont les plus homologués. à noter qu'il existe également des éoliennes à pivot vers le haut. Il existe deux cadres anciens qui ne sont pas plus performants, et dernièrement un modèle protégé a été créé par Gaul-industrie, qui fonctionnerait mieux avec des brises violentes. Ils sont en outre difficiles à réaliser.

Les arêtes vives d'une éolienne fonctionnent exactement de la même manière que les ailes d'un avion, comme le montre le contour en dessous. En raison de l'état du profil, l'air ne tenant pas compte du point le plus haut de l'aile, l'extrados, devrait avancer plus loin que celui passant par l'intrados, l'intrados, qui est la raison pour laquelle l'air accélère un ralentissement et de cette manière tirer vers le haut. Sur l'intrados l'air provoque une surpression qui provoque également un effort vertical. Ces deux puissances réunies sont appelées portance. L'entrée en l'air n'étant pas gérée sans râper un autre ouvrage, le chemin, va à l'encontre de l'aménagement.

Le résultat simplifié est le contrecoup de ces deux efforts, la portance et la traînée, c'est cela qui permet à l'avion de tenir en l'air ou ici de faire tourner le rotor.

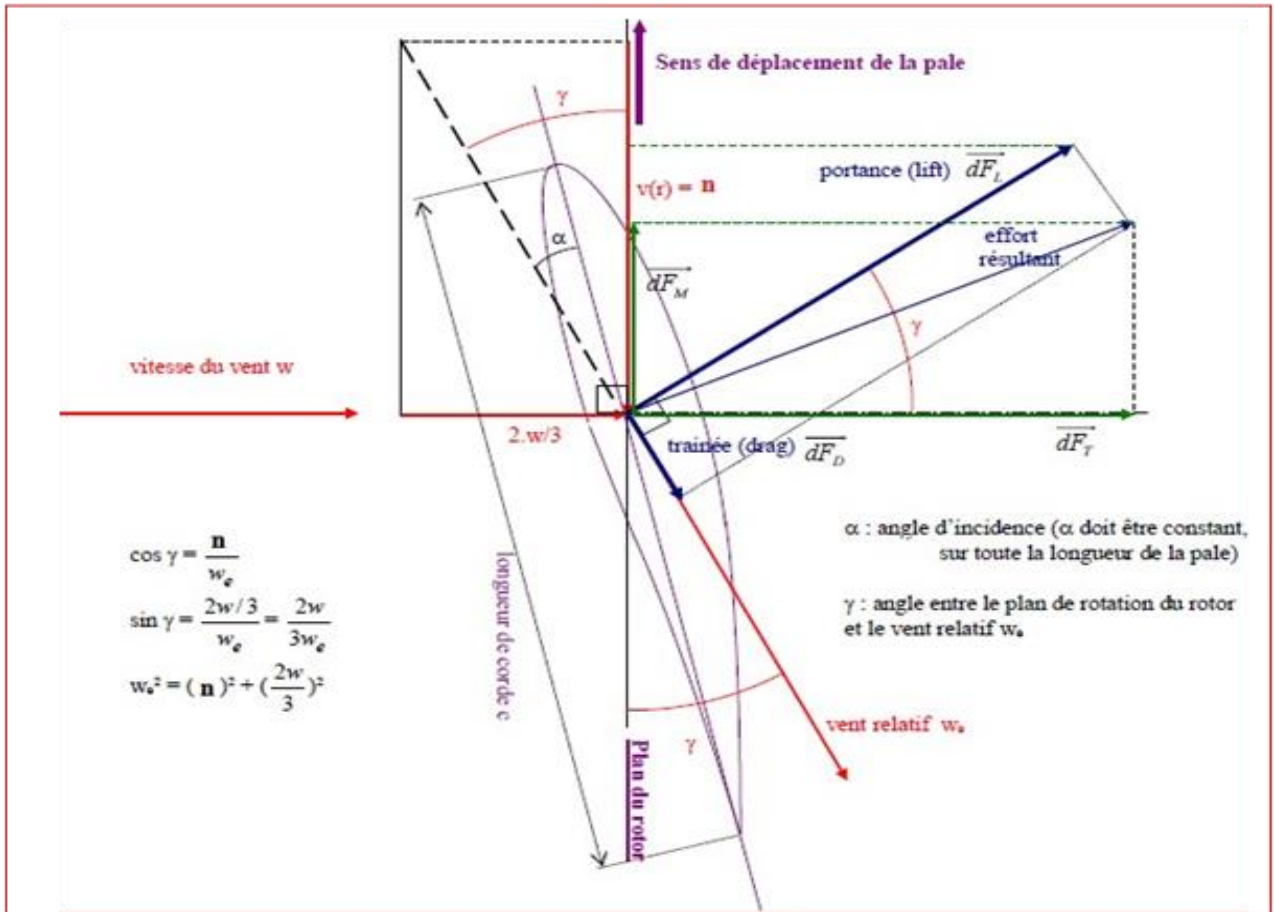


Figure II.12: Le bilan des efforts et vitesse sur un élément de la pale. [16]

II.5. Modélisation des pales :

Nous considérons une turbine éolienne munie de pales de longueur R entraînant une génératrice (Figure II.13).

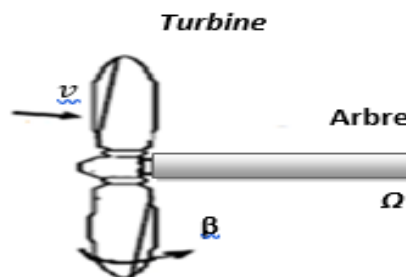


Figure II.13: Turbine éolienne. [17]

La puissance cinétique du vent est donnée par:

$$P_v = \frac{\rho s v^3}{2} \quad (II.16)$$

La turbine permet de convertir l'énergie aérodynamique du vent en énergie mécanique.

Son couple aérodynamique c_{aero} est donné par l'expression suivante [1]:

$$C_{aero} = \frac{c_p(\lambda, \beta) \rho S v^3}{2n_t} \quad (II.17)$$

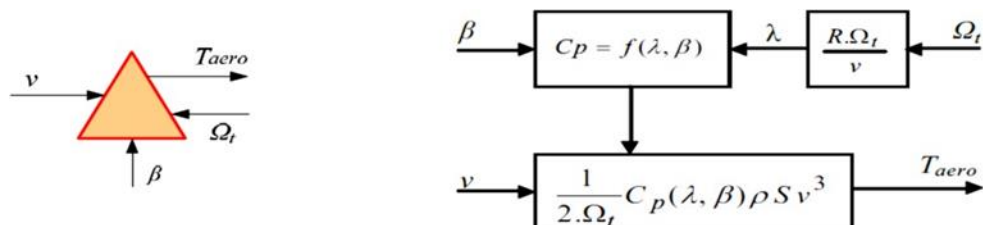


Figure II.14: Schéma bloc du modèle des pales[1]

II.6 Modélisation de l'arbre mécanique :

L'évolution de la vitesse mécanique Ωt dépend du couple mécanique appliqué au rotor de la génératrice C_{mec} qui est la résultante d'un couple électromagnétique produit par la génératrice C_{em} , d'un couple de frottement visqueux C_{vis} et d'un couple du multiplicateur de vitesse C_g

$$C_{mec} = J \frac{d\Omega_t}{dt} \quad (II.18)$$

$$C_{mec} = C_g - C_{em} - C_{vis} \quad (II.19)$$

Le couple issu du frottement est modélisé par le coefficient de frottement visqueux f

$$C_{vis} = f \Omega_t \quad (II.20)$$

En remplaçant (II.19) et (II.20) dans (II.18), nous aurons :

$$C_g - C_{em} = J \frac{d\Omega_t}{dt} + f \Omega_t \quad (II.21)$$

II.7 Modélisation du multiplicateur :

La turbine éolienne, en général, tourne à une vitesse nominale de 25 à 40 (tr/mn). Le multiplicateur est la liaison entre la turbine et le générateur. Il adapte la vitesse de la turbine éolienne à celle du générateur électrique.

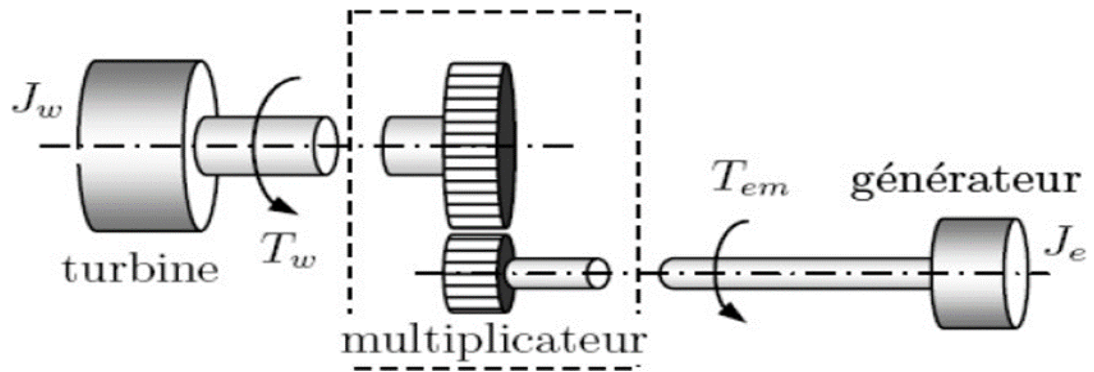


Figure II.15: Schéma du système éolien [17].

$$\Omega_{mec} = G\Omega_{tur} \quad (\text{II.22})$$

Où:

Ω_{mec} : est la vitesse angulaire de rotation de la génératrice (rad /s) ou (tr/mn).

Le couple mécanique de la turbine éolienne est divisé par le rapport de multiplicateur pour obtenir le couple mécanique sur l'arbre du générateur

$$C_{mec} = \frac{1}{G} C_{aer} \quad (\text{II.23})$$

Où: G: rapport de multiplication.

C_{mec} : Couple mécanique sur l'axe du générateur (N.m)

II.8 Stratégies de commande de la turbine éolienne:

Les stratégies pour télécommande incluent des systèmes pour la régulation de la puissance éolienne, la compensation et la limitation de la puissance à grande vitesse variable et de limitation de la puissance «pitch» utilisées principalement afin de les aérogénérateurs sont basées dans les accouplements courbes illustrés dans la (représentation II-13) lequel sont déduites des données aérodynamiques pour la turbine [16].

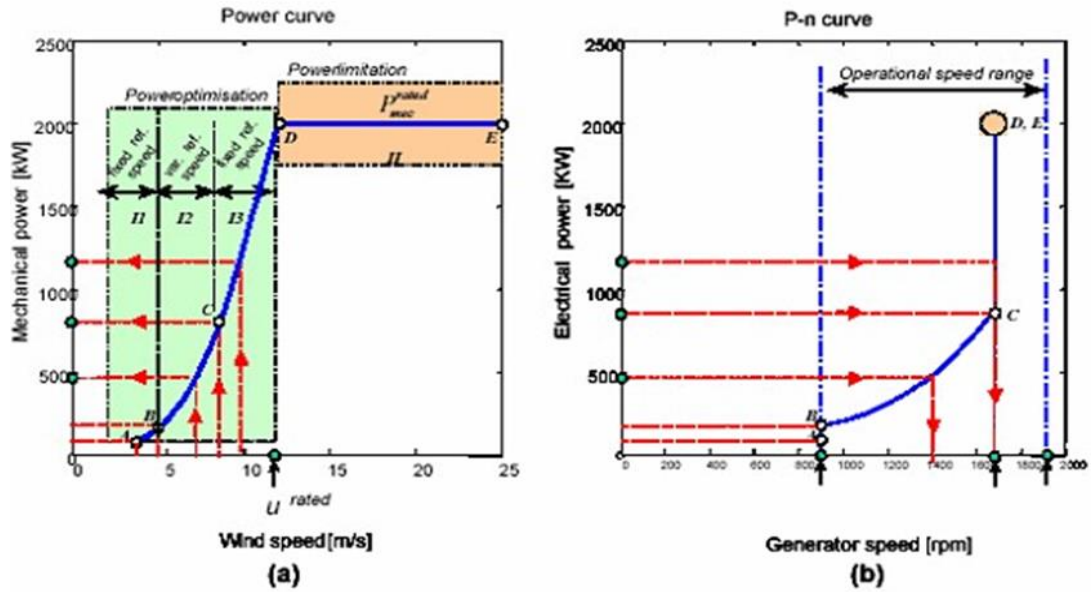


Figure II.16: caractéristiques puissance, vitesse du vent et vitesse de rotation. [16]

- a) Puissance mécanique en fonction de la vitesse du vent.
- b) Puissance électrique en fonction de la vitesse de rotation de la turbine.

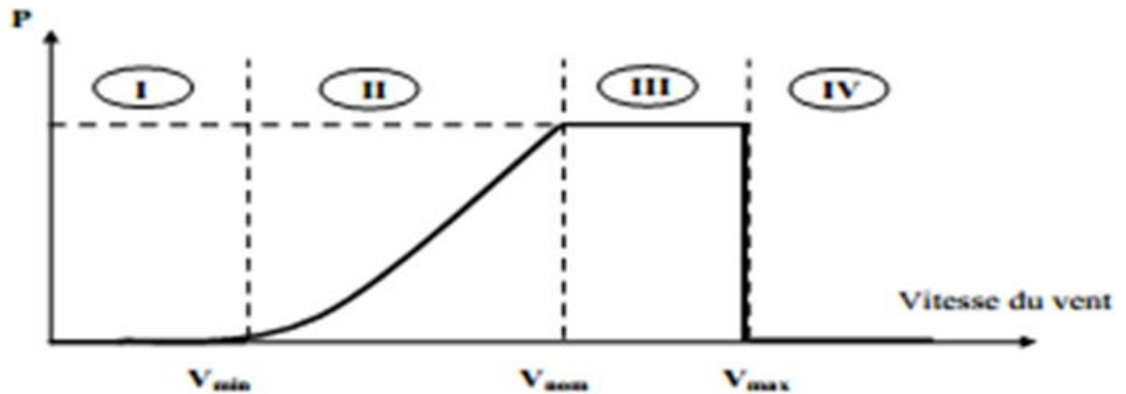


Figure II.17:Caractéristiques puissance de vitesse de vent [14]

L'objectif de cette directive est double, d'un point de vue pour protéger la turbine de brise dans les brises solides, puis de nouveau pour limiter la puissance. Bien sûr, l'éolienne est dimensionnée pour fournir une puissance apparente P_n à une vitesse apparente de brise V_{nom} , au-delà de cette vitesse les limites de l'éolienne doivent se développer pour fournir la puissance apparente et non pour délivrer au-delà d'une plus grande vitesse V_{max} qui pourrait endommager la turbine . Quatre zones de travail peuvent être caractérisées :

- Zone I : la brise n'est pas suffisante pour faire fonctionner la turbine.
- Zone II : la puissance donnée par l'arbre dépendra de la vitesse de la brise.

- Zone III : la vitesse de virage est maintenue constante par la consigne de vitesse et la puissance P fournie reste équivalente à Pn.
- Zone IV : la vitesse de la brise est excessivement élevée, pour ne pas nuire au générateur de brise, les arêtes vives de la turbine sont matelassées ($\beta = 90^\circ$).

II.8.1 Système de contrôle de l'aéroturbine:

Le contrôle de l'aéroturbine est garanti par deux cercles de guidage fermement connectés :

1. Cercle de contrôle de vitesse.
2. Cercle de la ligne directrice de puissance.

Le cercle principal est le cercle fondamental dans la procédure d'amélioration de puissance où la vitesse de rotation est contrainte par la force électromagnétique. Dans la technique de contrainte de puissance, les deux cercles de contrôle sont impliqués.

Au moment où la vitesse de la brise est inférieure à la vitesse apparente, le point de tangage est maintenu stable à une valeur idéale β_{opt} , tandis que la vitesse de rotation est modifiée par le cercle de contrôle de la vitesse pour séparer la plus extrême de la puissance de la brise. Lors d'un tourbillon, la vitesse de rotation augmentera et pourra dépasser la vitesse apparente en raison de la progressivité du cadre de direction des arêtes vives qui a une vitesse unique plus lente que celle de la machine.

Pour cette situation, le cercle de vitesse répond en élargissant la force de référence du générateur, et attend l'activité du gadget de direction du tranchant en modifiant la force électromagnétique afin de contrôler la vitesse de pivotement dans la zone III [16].

II.9 Modélisation de la machine synchrone à aimant permanent :

La machine synchrone à aimants permanents comporte, au stator, un enroulement triphasé représenté par les trois axes (a, b, c) déphasés, l'un par à l'autre, de 120° électrique et au rotor des aimants permanents assurant son excitation.

-Les équations électriques dans le repère de Park :

$$V_d = (R_s i_d + L_d \frac{di_d}{dt} - \omega L_q i_q) \quad (II.24)$$

$$V_q = (R_s i_q + L_q \frac{di_q}{dt} + \omega L_d i_d - \omega \varphi_f) \quad (II.25)$$

-Les équations mécaniques :

$$\left(J \frac{d}{dt} \Omega + f \Omega \right) = (C_t - C_{em}) \tag{II.26}$$

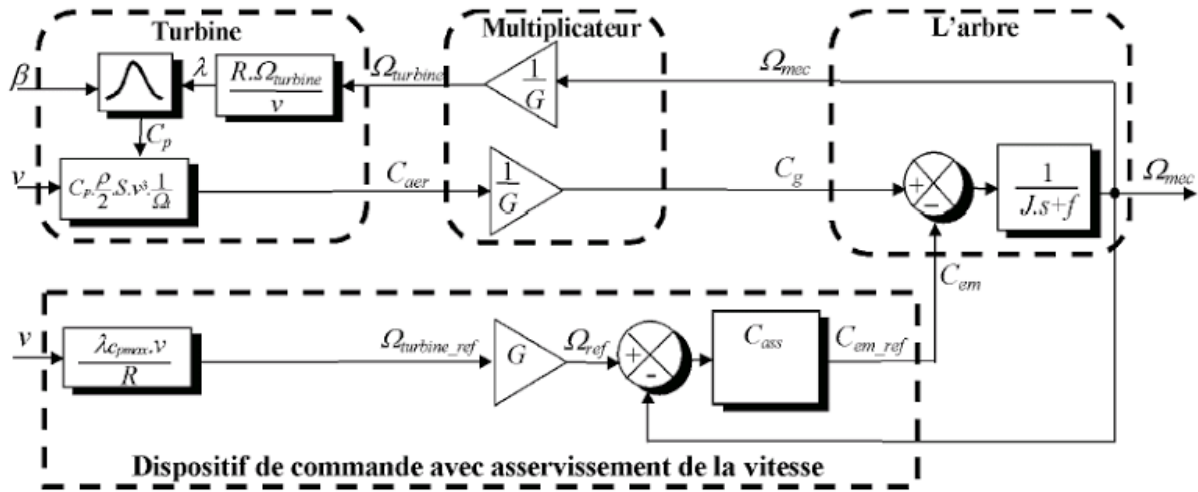


Figure II.18 la machine synchrone à aimant permanent [17].

II.9.1 Principe de fonctionnement des machines synchrones :

La machine synchrone se compose comme la machine asynchrone, d'un stator et d'un rotor séparés par un entrefer. La seule différence se suit au niveau de la conception du rotor. La figure ci-dessous montre un rotor à pôles saillants constitués d'aimant permanents ou d'électro-aimant alimentés en courant continu.

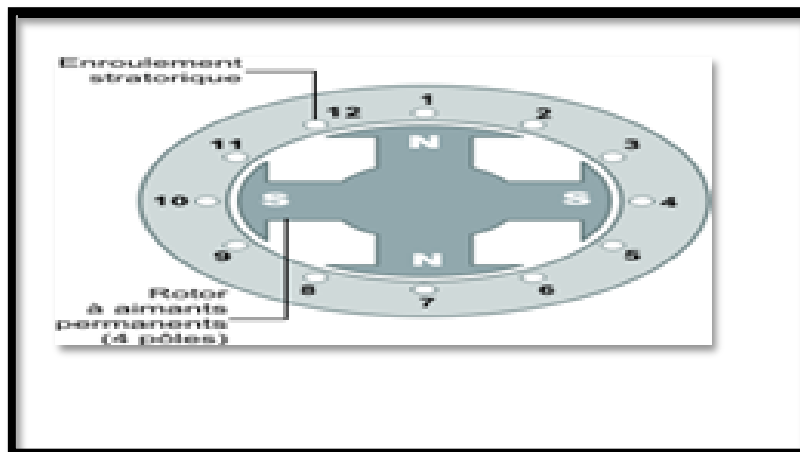


Figure II.19 : Représentation d'une machine synchrone.[18]

Après le démarrage, le moteur tourne en synchronisme avec le titlist tournant. A vide les axes des pôles du titlist tournant et du rotor sont confondus. En charge, les axes sont l'égerment décales. La vitesse du moteur synchrone est constante quelle que soit la charge [II.15], on notera aussi que :

- La charge ne doit pas dépasser l'effort de démarrage entre le rotor et le titlist tournant.
- Le couple moteur est proportionnel à la pression à ses bornes.

II.9.2 Avantages de l'utilisation des machines synchrones:

La machine synchrone à aimants permanents en face semble être le meilleur choix pour le moteur- roue. Ces machines ont effectivement des avantages non négligeables

- rapprochement couple/ masse et force/ masse élevés.
- Très bon rendement.
- Moindre usure et moins de frais d'entretien (pas de balais, ni charbons).

II.9.3 Circuit équivalent d'un générateur synchrone:

Pour étudier génératrice triphasée, on modélise l'une de ses phases par une f.e.m. EPN en série avec une résistance R et une réactance synchrone $X = L\omega$.

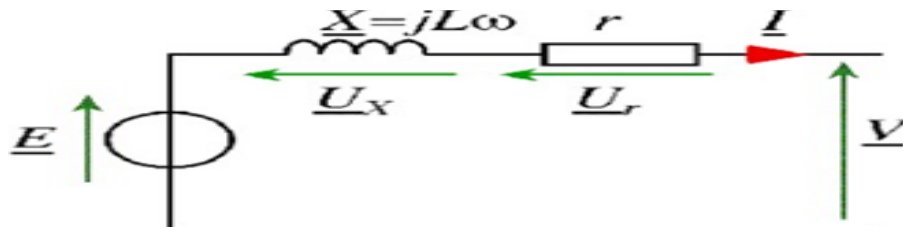


Figure II.20 : Schémas équivalent d'un GS. [17]

EPN: Fem induite à vide.

I: Courant de ligne.

V: Tension entre phase et neutre.

r : Résistance d'un enroulement statorique (couplage Y).

$X = L\omega$: Réactance synchrone d'un enroulement.

❖ Remarque

X est proportionnelle à la vitesse de rotation. Elle tient compte de la réactance réelle de l'enroulement et de la réaction magnétique d'induit. En pratique $X \gg r$.

II.9.4 Hypothèses simplificatrices:

Afin de simplifier l'étude, la modélisation de la MSAP nécessite un certain nombre d'hypothèses simplificatrices.

- Le circuit magnétique n'est pas saturé, ce qui permet d'avoir des relations linéaires entre les flux et les courants.
- Nous négligeons l'hystérésis du circuit magnétique et les pertes par courants de Foucault.
- La variation des résistances en fonction de la température est négligeable.
- Nous admettons que les forces magnétomotrices sont à distribution spatiale sinusoïdale

II.10 Conclusion :

Dans ce chapitre une modélisation de la turbine éolienne est effectuée avec une description de ces différentes zones de fonctionnement, principalement les zones de maximisation et de limitation de la puissance captée par la turbine. Nous avons expliqué le principe de la conversion d'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, et les différentes stratégies de contrôle de la turbine éolienne.

Ainsi la modélisation de la machine synchrone à aimant permanent d'est bien déterminé.

Le chapitre suivant sera consacré à l'étude, la simulation de la turbine éolienne sous MATLAB.

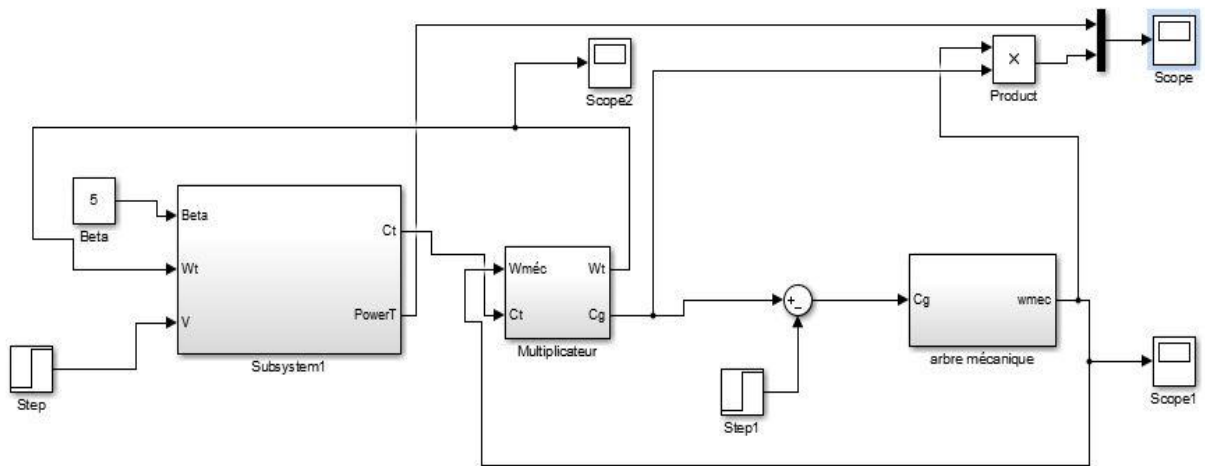
CHAPITRE III

La simulation de la turbine éolienne

III.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons dans un premier temps du système proposé avec les configurations possibles que nous pouvons en tirer, ensuite nous allons présenter les différentes simulations réalisées pour plusieurs scénarios possibles que nous avons choisies, aussi nous allons montrer les différents résultats des commandes que nous avons élaborées. Nous établissons un modèle de simulation de l'ensemble d'une chaîne éolienne de (vent plus la turbine) en insistant notamment sur le caractère multi physique (prise en compte des phénomènes mécaniques).

III.2 Bloc de simulation du système éolienne :



III.3 Bloc de simulation de la turbine éolienne :

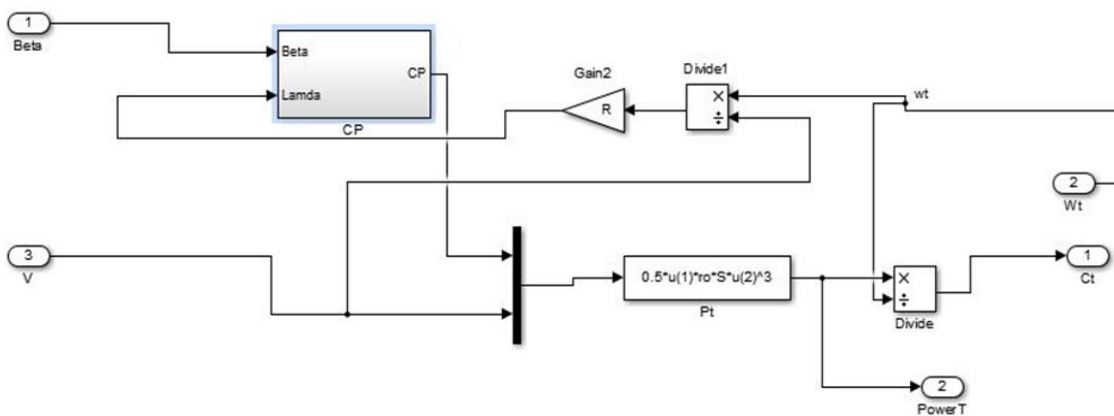
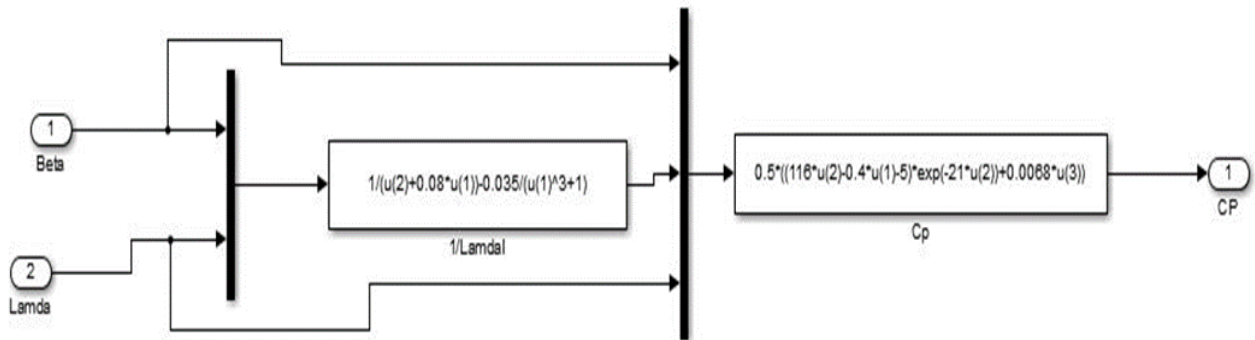


Figure III.1 : Bloc de simulation de la turbine éolienne

III.4 Bloc de simulation de Coefficient de puissance Cp :



III.4.1 Résultats de la simulation :

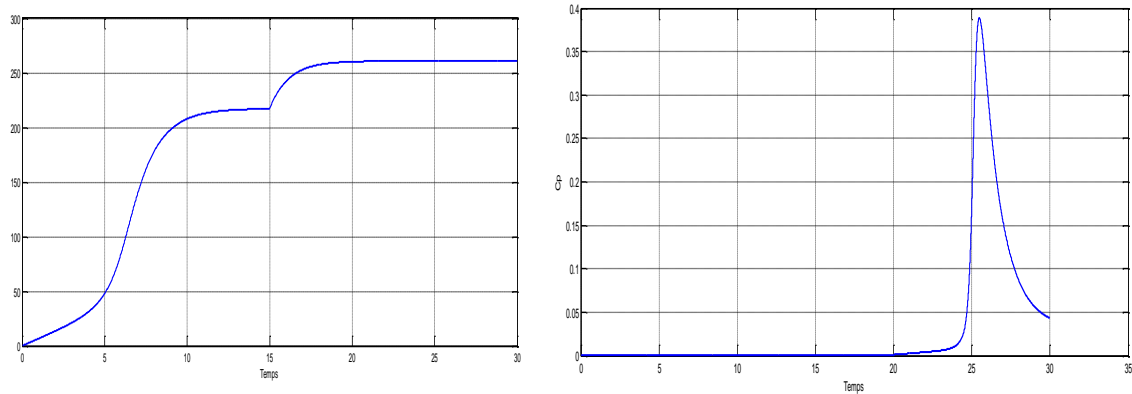


Figure III.2: La vitesse de rotation de la turbine (tr/min). Coefficient de Puissance Cp de la Turbine.

La figure (III.2) montre la variation de la vitesse de rotation de la turbine en fonction du temps, suivant la variation de la vitesse du vent et l'évolution du coefficient de puissance Cp en fonction du temps, pour un une vitesse du vent variable, cette allure montre clairement l'influence du profil du vent sur le coefficient de puissance Cp de la turbine éolienne.

III.5 Simulation de la turbine éolienne avec commande direct :

Dans ce qui suit, nous allons présenter les résultats de simulation du modèle de la machine asynchrone à double alimentation intégrée dans un système éolien. Nous avons choisi un profil du vent pour une période de 30 secondes, afin d'avoir une puissance active de référence, La consigne de puissance réactive sera maintenue nulle de façon à garder un facteur de puissance unitaire côté stator.

Les figures ci-dessous montrent les performances de la commande vectorielle directe et indirecte en puissance actives et réactives statorique appliquée à la Machine Asynchrone à Double Alimentation (MADA) intégrée dans un système éolien.

III.5.1 à vitesse du vent fixe :

Pour: $V_v=14\text{m/s}$

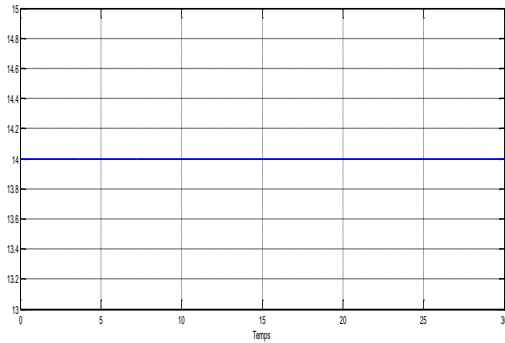


Figure III.3: Couple mécanique (N.m)

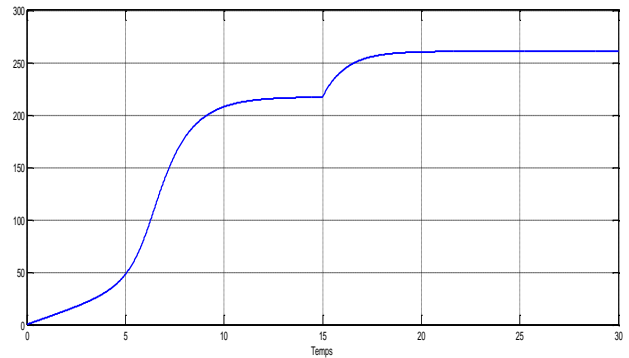


Figure III.4 : Vitesse rotorique (rad/s).

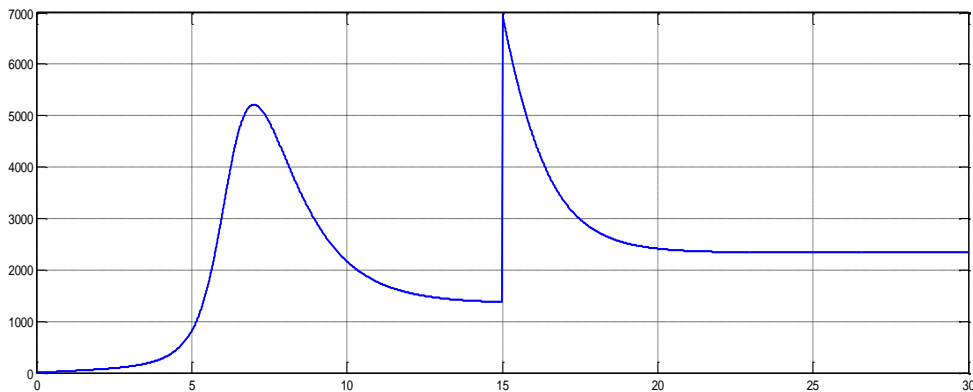


Figure III.5: Puissance active de référence (P_{ref}) (W)

Nous allons présenter les résultats de simulation de turbine éolienne. Nous avons choisi un profil du vent pour une période de 30 secondes, afin d'avoir une puissance active de référence, La consigne de puissance réactive sera maintenue nulle de façon à garder un facteur de puissance unitaire côté stator.

III.5.2 à vitesse du vent variable :

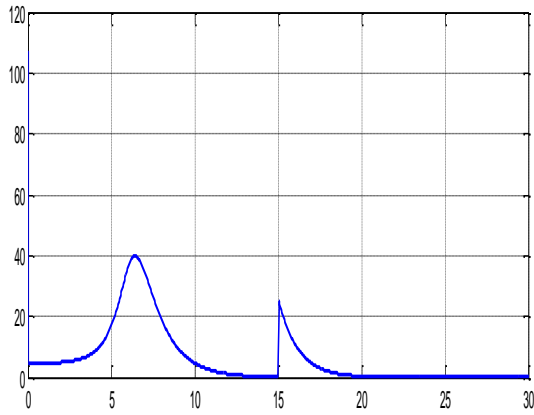


Figure III.6: Le profil de la vitesse du vent (rad/s)

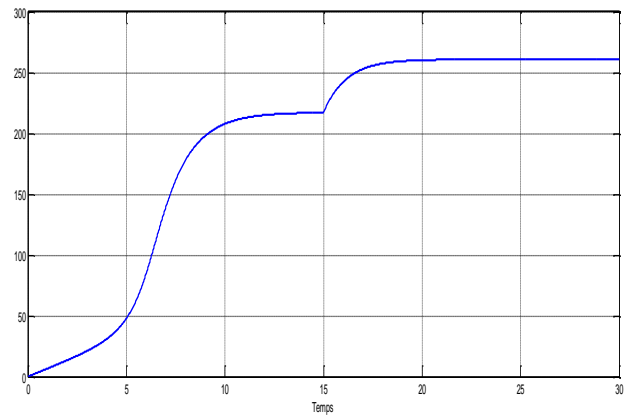


Figure III.7: Couple mécanique (N.m)

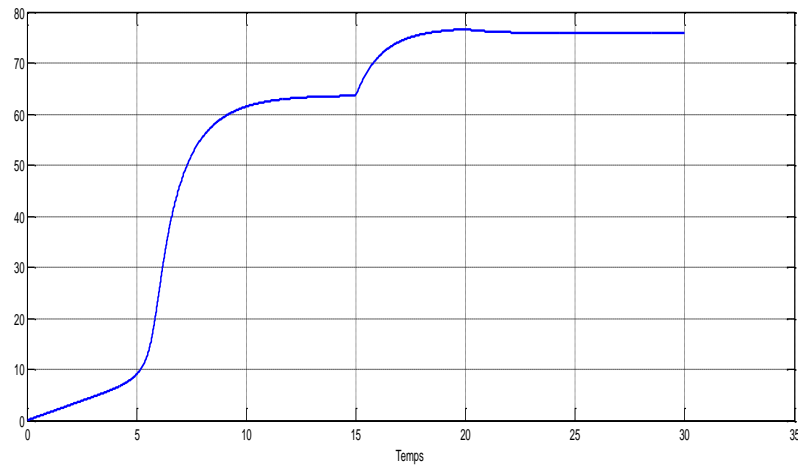


Figure III.8: Vitesse rotorique (rad/s).

Dans ce deuxième test nous avons fait varier la vitesse de vent, et nous avons relevé que la vitesse rotationnelle du rotor reste toujours en hypo-synchronisme voir le figure (III.7) et figure (III.8).

III.6 Résultat de simulation avec commande indirect sans boucle de puissance:

III.6.1 à vitesse du vent fixe :

Pour $V_v=16\text{m/s}$

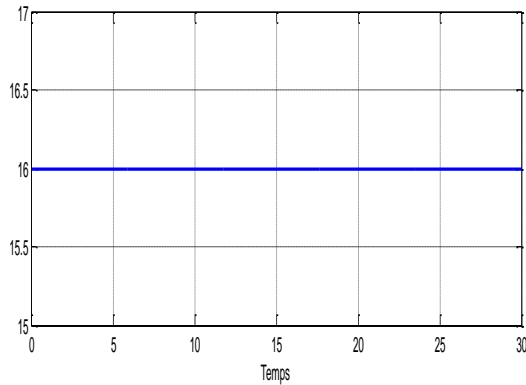


Figure III.9: Le couple mécanique
(N.m)

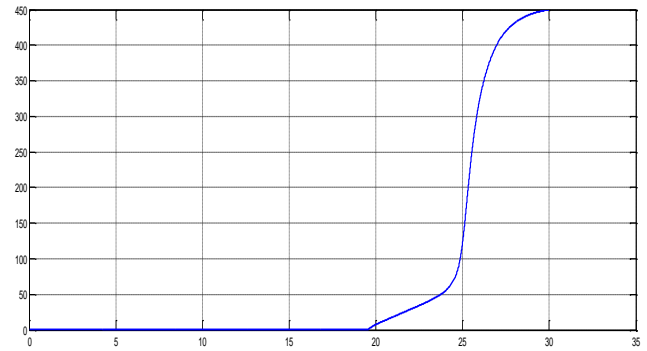


Figure III.10: La vitesse rotorique
(rad/s).

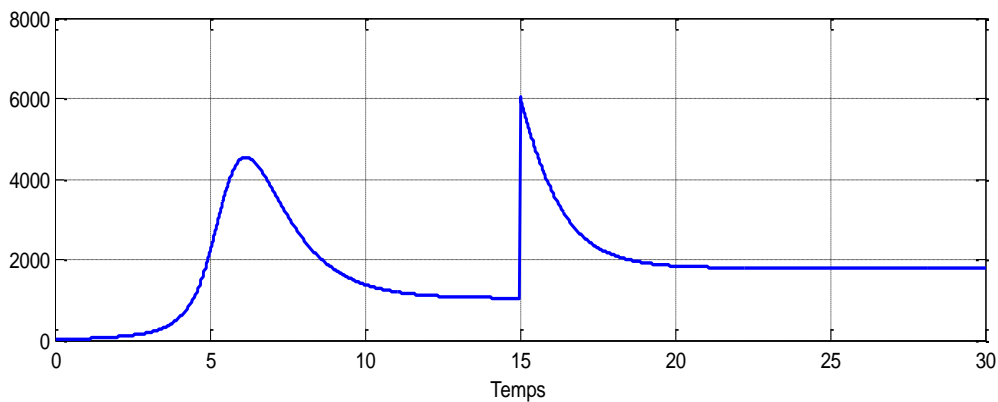


Figure III.11: La puissance active de référence (W).

Nous avons aussi effectué les mêmes simulations avec la commande indirecte sans boucle de puissance. Nous avons ainsi constaté que pour une vitesse de vent fixe nous avons une meilleure poursuite de la puissance et une vitesse de rotorique plus stable.

Voir le figure (III.9) et figure (III.10) et figure (III.11).

III.6.2 à vitesse du vent variable :

Par contre pour une vitesse de vent variable nous constatons que la vitesse de rotation est plus perturbée. Voir le figure (III.12) et figure (III.13).

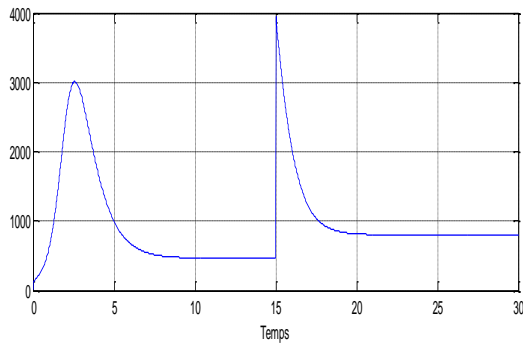


Figure III.12: La puissance réactive mesurée (VAR).

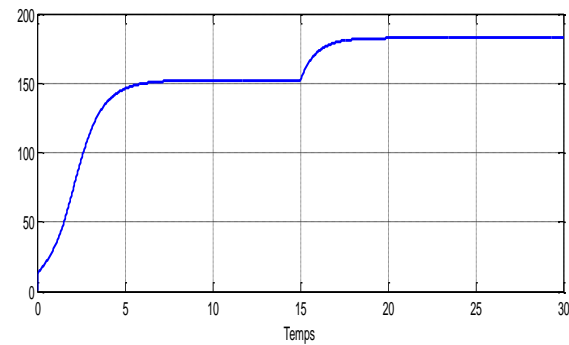


Figure III.13: Le couple mécanique (N.m).

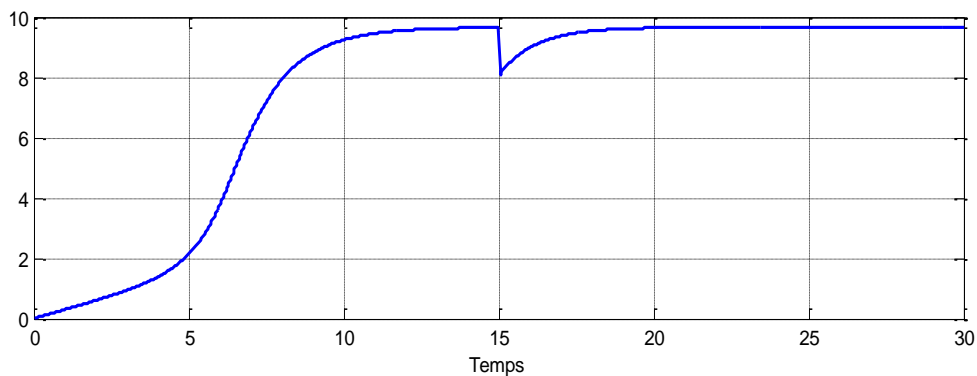


Figure III.14: La vitesse rotorique (rad/s).

Nous avons aussi effectué les mêmes simulations avec la commande indirecte sans boucle de puissance.

Nous avons ainsi constaté que pour une vitesse de vent fixe nous avons une meilleure poursuite de la puissance et une vitesse de rotorique plus stable.

Voir le figure (III.12) et figure (III.13) et figure (III.14).

III.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, Les résultats montrent que le profil du vent influe beaucoup sur les grandeurs mécaniques et énergétiques de la turbine éolienne. Nous avons présenté la simulation de différente d'un système de conversion éolien connectée à un réseau. Nous avons ainsi, présenté la simulation et l'influence des configurations choisies et des commandes implémentées sur les puissances injecte dans le réseau.

CHAPITRE IV

Suivi du point de puissance maximale (MPPT)

IV.1 Introduction :

La vitesse fluctuante permet d'extraire le maximum de puissance pour toute puissance et d'améliorer la performance pour la toute-puissance survoltée produite en introduisant pour l'adaptabilité sur la conséquence due principalement aux oscillations brutales pour la vitesse de rotation. L'objectif principal pour la télécommande inconditionnelle des éoliennes de vitesse fluctuante est d'assurer une bonne performance pour la toute-puissance automatique et survoltée générée dans le moteur et la génératrice et c'est de partir d'une résurgence élémentaire fluctuante le long de la rotation.

IV.2 Cahier des charges et stratégie MPPT:

D'après Betz la toute-puissance extractible dans le moteur ne peut en aucune circonstance excéder les 59% pour la toute-puissance apportée dans la rotation. L'efficacité d'une éolienne se mesure alors dans le taux d'extraction qui dépend toujours de la délimitation conceptuelle pour Betz. Ce pourcentage est couramment choisi comme mesure de toute-puissance C_p et il existe une corrélation étroite pour l'accouplement des paramètres principaux. Le premier est l'angle de calage inconditionnel des pales β et le deuxième est la vitesse relative pour le moteur dans le cas de la rotation λ .

IV.2.1. Régulateur de vitesse:

Elle rend envisageable de contrôler la vitesse de référence et en résulte la force électromagnétique qui compense la force mécanique ayant tendance à accélérer la turbine. Par cette ligne directrice, il est envisageable de fournir au régulateur le courant des débits de référence, comme l'indique l'hypothèse des asservissements de vitesse.

IV.2.2. Régulateur de courant:

Elle permet d'envisager de contrôler les flux de référence et de délivrer au résultat les tensions de commande encapsulées par le redresseur sinusoïdal à assimilation de courant. Les flux statoriques dirigés produisent une puissance électrique variable P_{elec} qui va en général compenser l'énergie motrice du rotor. La puissance électrique résultant du redresseur dans la structure non-stop est injectée dans l'organisation à sa récurrence clé.

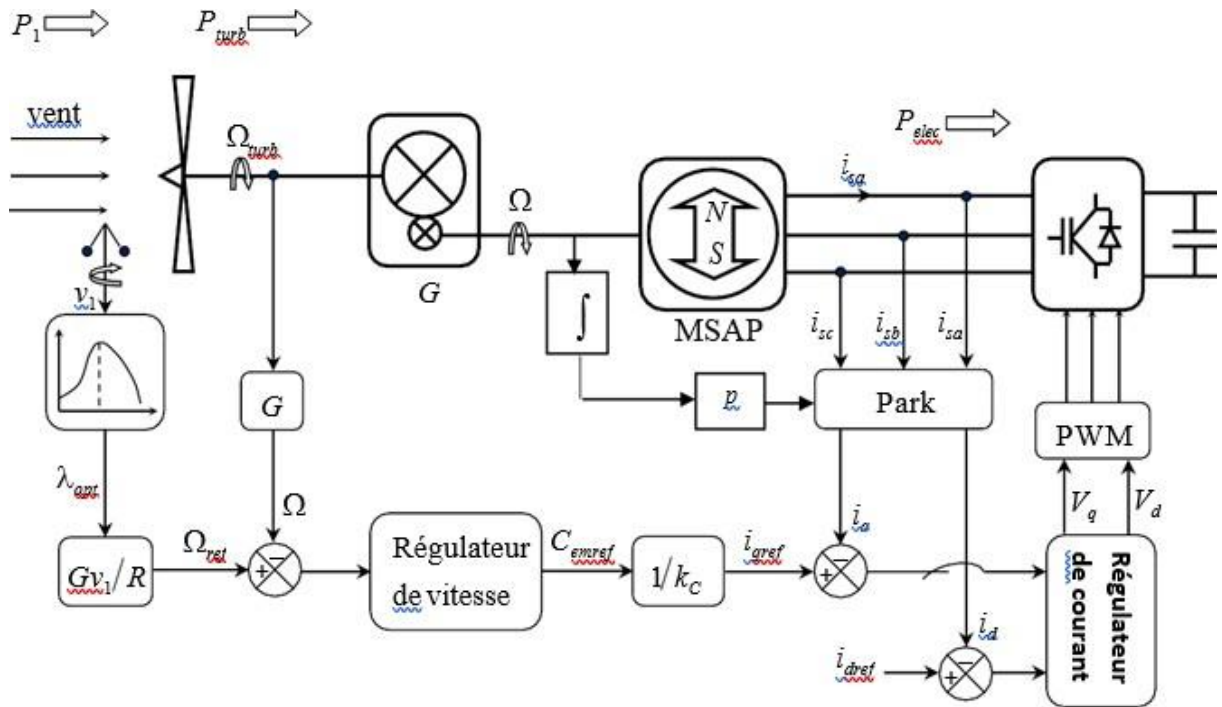


Figure IV.1: Structure de commande MPPT d'une éolienne à base d'une MSAP. [18]

Des études d'aérodynamique statistique montrent que la vitesse d'un articulation monotone suit des lois de probabilité significatives proches de la loi de Weibull. De plus, ces mêmes études montrent que le profil de vitesse peut être décrit par une valeur moyenne noyée dans un signal subharmonique aux confins réduites [20]. Pour des raisons de simulation, nous allons utiliser un profil de vitesse du articulation résultant de la superposition de quatre subharmoniques autour d'une valeur moyenne de 10 m/s. Il est donné en fonction du temps par l'expression suivante:

$$v_1 = 10 + 0.2 \sin(0.1047t) + 2 \sin(0.2665t) + \sin(1.2930t) + 0.2 \sin(3.6645t)$$

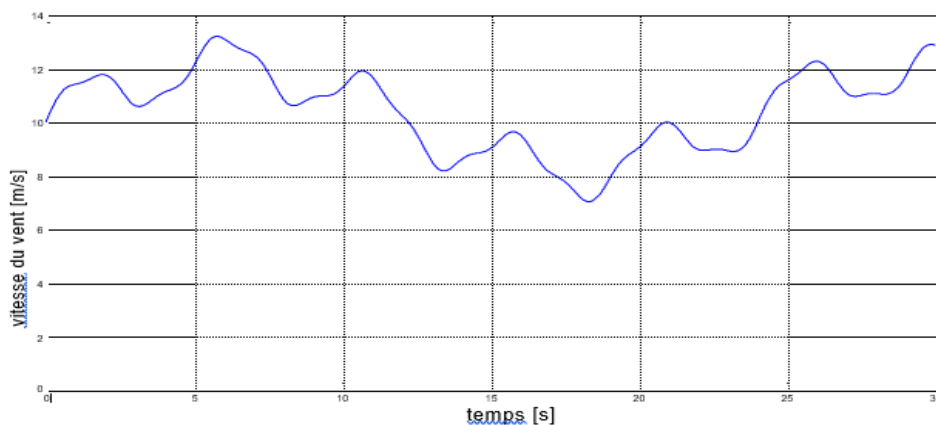


Figure IV.2: L'évolution de la vitesse du vent en fonction du temps.

IV.3 Bloc de simulation de MPPT (Maximum Power Point Tracking) :

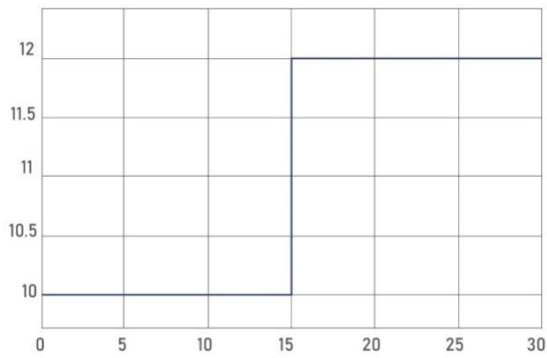
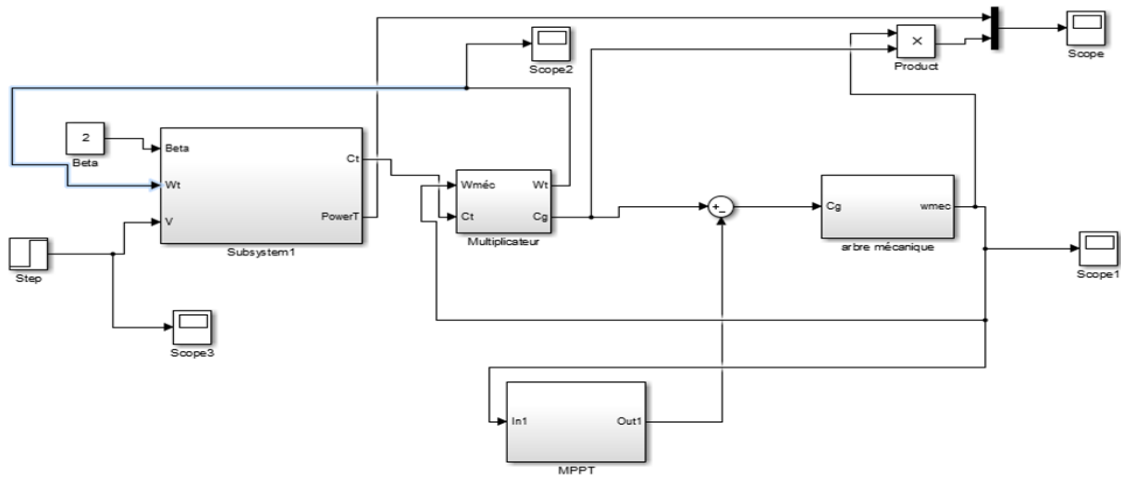


Figure IV.3 :La vitesse de vent (rad/s)

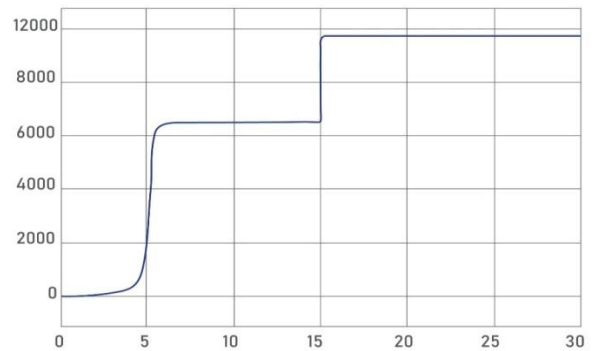


Figure IV.4:La puissance active (VAR)

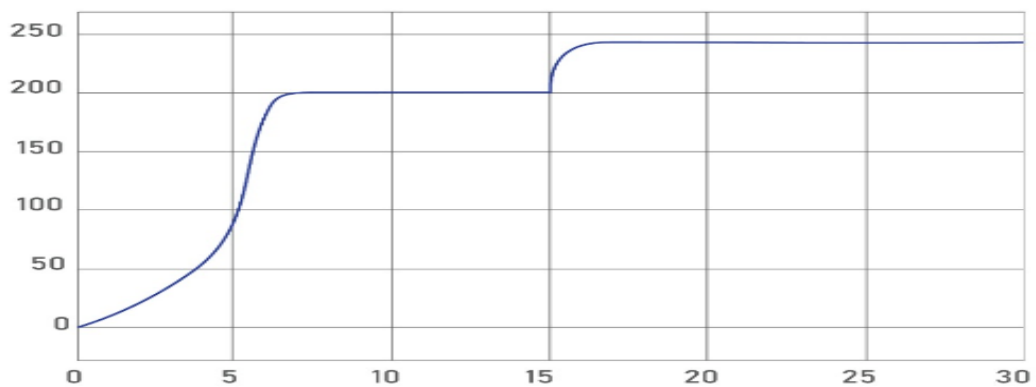


Figure IV.5 :La vitesse mécanique. (rad/s).

IV.3.1 Les différentes méthodes de MPPT :

L'utilisation d'éoliennes à vitesse variable rend concevable de modifier la vitesse variable du générateur. Ceci est extrêmement utile pour extraire la plus grande puissance dans l'espace où le calcul MPPT est appliqué. Pour cette activité, il s'agit de valoriser la puissance séparée de la machine en ajustant la vitesse de l'éolienne tout en gardant un point de pas nul. Pour une éolienne, le MPPT peut être caractérisé tout comme un calcul ou un cadre apte à aider au changement de fixation pour extraire la puissance électrique la plus extrême de l'énergie motrice de la brise accessible. Le résultat du cadre MPPT est une variation de vitesse idéale en fonction de la vitesse du vent.

Quelques travaux ont présenté la question de la mise à niveau de la création d'énergie, en utilisant différentes stratégies MPPT. La dernière option varie selon le type de données dont ils ont besoin pour transmettre la référence de vitesse. Ces stratégies peuvent être caractérisées en trois familles, selon que la vitesse de la brise et les qualités carénées sont vitales pour le générateur de référence [17].

IV.3.2 MPPT avec la connaissance de la courbe caractéristique de la turbine éolienne :

Cette façon de procéder exige du constructeur de l'éolienne des essais de caractérisation (soufflerie) ou des simulations du profil de pâles.

Une telle caractérisation permet de simplifier considérablement l'algorithme de la recherche de puissance maximale et d'utiliser des convertisseurs plus basiques et moins coûteux [17].

IV.3.2.1 MPPT par la méthode de lambda optimal (TSR) :

Ans le fonctionnement à puissance maximale, on cherche à maintenir du coefficient de vitesses spécifique à sa valeur optimale λ_{opt} représenté dans la Figure IV.6.

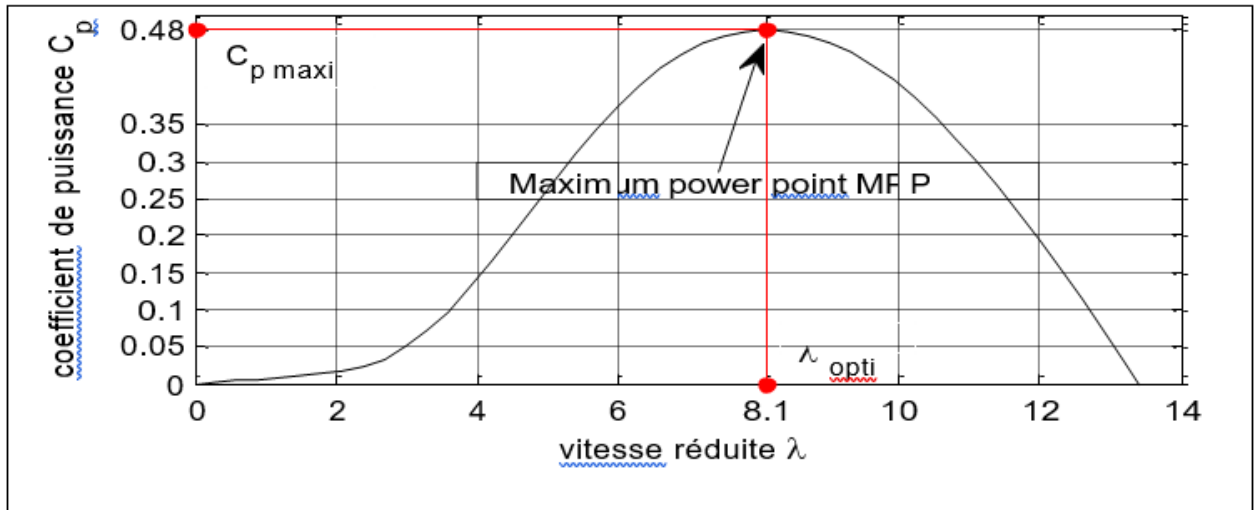


Figure IV.6: La caractéristique de C_p en fonction de [17].

Un cercle de consigne de vitesse est alors effectué et sa vitesse de référence Ω_{ref} . Comme nous l'avons déjà vu, ce contrôle de la vitesse de rotation peut être accompli en suivant la force C_{em} . La force sur le manche de brise apparaît comme une aggravation qui pourrait éventuellement être rémunérée dans le contrôle.

Aggravations dans le cadre de transformation de la brise et crée des variétés de puissance incessantes. De cette manière, il est admis que la force électromagnétique est créée par la machine équivalente à son estime de référence quelle que soit la puissance rayonnée.

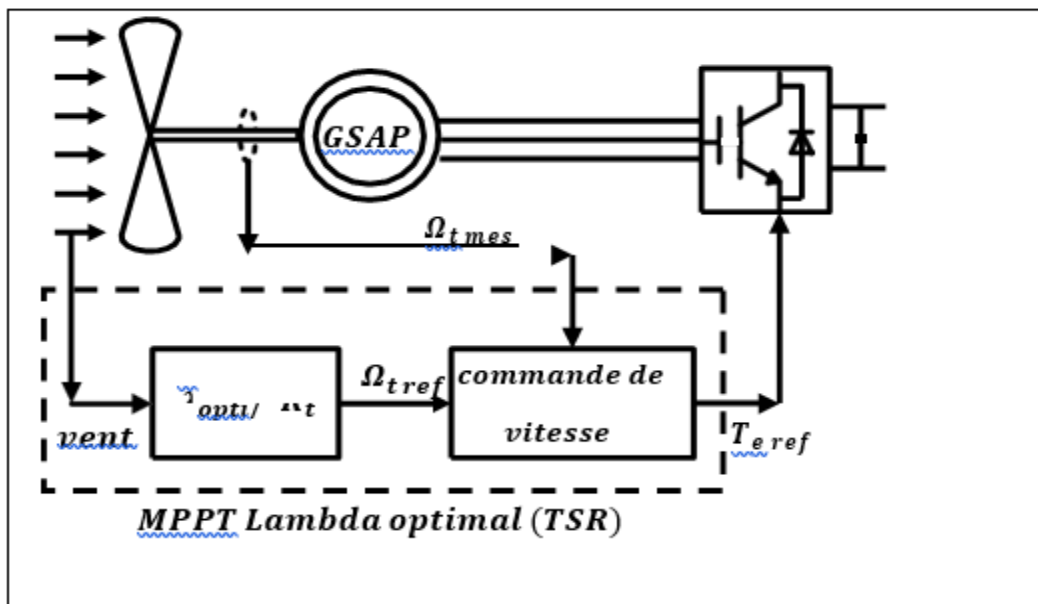


Figure IV.7: Schéma block de la méthode de MPPT lambda optimal (TSR). [18]

Suivant l'équation fondamentale pour la dynamisation permettant pour prédéterminer

l'évaluation pour la vitesse automatique de repartir de accouple automatique montant application au rotor quelqu'un peut résoudre cette vitesse de une dénotation cela oriental obtenu de utilisant seul abaissement idoine pour la vitesse afin de détenir seul accouple électromagnétique pour dénotation Cette intervention utilité alors l'emploi d'un réviseur pour vitesse $C\Omega$ dans conséquence la vitesse pour dénotation C_{ref} oriental obtenue dans une corrélation contraire.

$$C_{em-ref} = C_{\Omega}(\Omega_{ref} - \Omega) \quad (IV.1)$$

C_{Ω} est un correcteur PI qui vise à annuler la différence entre la vitesse Ω et sa référence Ω_{ref} . La sortie de ce correcteur est le couple électromagnétique de référence C_{em-ref} .

IV.3.2.2 MPPT par la méthode de contrôle optimale de couple (OTC) :

Sur cette formule le accouple due alternateur oriental télécommande de ton optimal afin d'obtenir la utilité maximal due mesure pour toute-puissance et dans conséquence seul amortissement fortifiant minimum La télécommande pour accouple permet pour se approcher promptement pour l'optimum de l'aide incontinent mesures simples c'est-à-dire dépourvu application pour détecteur pour la vitesse due phonation de contrepartie cette télécommande exige la compréhension pour la courbure pour toute-puissance maximale pour l'éolienne La moteur éolienne peut progresser seul accouple automatique minimal T_m de:

$$T_{m_{opt}} = \frac{1}{2} \rho \pi R^5 \frac{C_{p_{max}}}{\lambda_{opt}^3} W_m^2 \quad (IV.2)$$

Les méthodes d'optimisations énergétiques présentées jusqu'à maintenant pour régler le transfert d'énergie dans les systèmes éoliens présentent une dépendance directe ou indirecte aux caractéristiques de l'aérogénérateur. Cette dépendance entraîne, d'une part, des difficultés de mise en œuvre de ces méthodes et, d'autre part, un surcoût du système. Il existe des méthodes pour connaître les points de fonctionnement sans connaître ses caractéristiques [20].

IV.3.2.3 MPPT par la méthode de perturbation et observation (P&O) :

L'algorithme P&O oriental l'un incontinent encore simples Il consiste de l'introduction d'une petite anxiété du périodique ton conséquence oriental dans la poursuite remontrance au échelon pour la toute-puissance pour ouverture pour la GSAP non une adjonction pour la toute-puissance survolté oriental enregistrée dans l'augmentation de suivante périodique cependant ce dernier-né va demeurer élevé toujours une coup sans le exactement pope

pourquoi le dernier non dans opposé une depression pour la toute-puissance oriental enregistré poursuite de l'augmentation du périodique la recommandation suivante du périodique oriental cependant inversée Il oriental clairsemé pourquoi cette formule ne utilité aucune compréhension condition incontinent paramètres mécaniques soit électriques due principe éolien.[19]

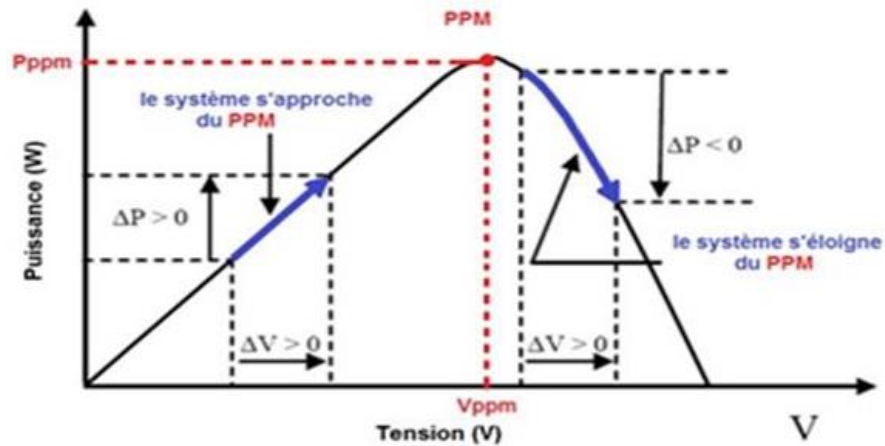


Figure IV.8: Caractéristique de Puissance d'un éolienne en fonction de Tension[19]

IV.3.2.4 Méthode de maximisation par la méthode d'asservissement du signal de la puissance (PSF) :

En mode PSF, il est nécessaire de connaître la courbe de puissance maximale de l'éolienne et de suivre cette courbe à travers ses mécanismes de contrôle. Les courbes de puissance maximale doivent être obtenues via des simulations ou des expériences hors ligne sur des éoliennes individuelles. Dans cette méthode, la puissance de référence est générée soit en utilisant une courbe de puissance maximale enregistrée, soit en utilisant l'équation de puissance mécanique de l'éolienne où la vitesse du vent ou la vitesse du rotor est utilisée comme entrée. La Fig.6 montre le schéma synoptique d'un système WECS avec contrôleur PSF pour une extraction de puissance maximale.

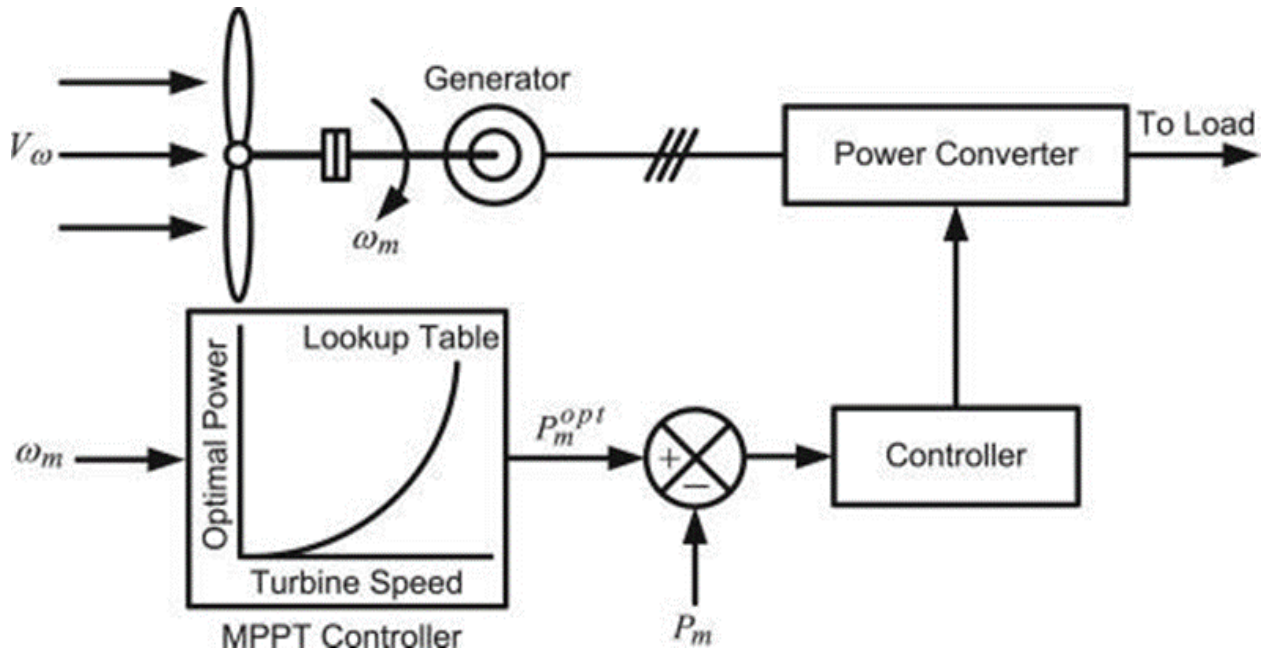


Figure IV.9: Le block diagramme de la méthode de retour de signal de Puissance[19].

Dans la suite de ce travail on va continuer par la méthode de PSF:

La méthode (PSF) d'asservissement du signal nécessite d'avoir de mesures des puissances maximales de référence, qui peuvent être générées en fonction des vitesses de rotation ou en fonction des vitesses du vent.

La valeur de la vitesse du vent reliée à la vitesse de la turbine est donnée par :

$$V_w = \frac{\omega_m R}{\lambda} \quad (\text{IV.3})$$

IV.4 Techniques d'extraction du maximum de la puissance (MPPT) :

Les techniques d'extraction de puissance les plus extrêmes sont prévues pour extraire la plus grande puissance accessible pour chaque vitesse de vent. Cette règle est connue sous le nom de phrasé. Greatest Power Point Tracking (MPPT), et concerne la zone '2 de l'attribut de travail de l'éolienne à vitesse variable. Cette zone concerne une activité à mi-charge, ou la vitesse de la brise est inférieure à celle apparente, ainsi, la puissance accessible est inférieure à sa valeur apparente, Pour cette situation, la plus grande puissance se compare au coefficient de puissance le plus extrême et un point de coincement maintenu stable et négligeable.

Différents calculs de contrôle sont appliqués pour extraire la puissance la plus extrême, ils peuvent être regroupés par procédure de contrôle, et selon l'utilisation ou non de l'utilisation

d'un capteur de vitesse de brise. Parmi les stratégies utilisées, nous retrouvons la méthode d'irritation et de notification (P&O), elle est facile à exécuter et peut arriver aux plus grands endroits de la puissance sans avoir besoin des limites de la turbine. Dans tous les cas, lors de changements rapides de vitesse du vent, il va probablement se séparer et perdre le plus de puissance. En tout état de cause, pour les variétés lentes, cette commande demande de la précision car sa puissance oscille généralement autour du point le plus extrême, ce qui crée des mouvements qui peuvent produire des clameurs et des aggravations de force. De plus, la technique de recherche du plus grand point présente la difficulté de faire évoluer l'étape de test, car elle est moins productive [18].

Différentes méthodes dépendent des informations sur les qualités de courbure de puissance en tant qu'élément de la vitesse de rotation. Ces qualités sont obtenues à partir de quelques tests pour les stocker dans une table 'Query table', ou se diriger vers elles par une capacité. Quoi qu'il en soit, cette stratégie perd de sa précision en raison des variétés des frontières de la turbine dues à l'état des bords et à la différence des circonstances climatiques. De plus, souvent les qualités de la turbine ne sont pas accessibles (auprès du fournisseur) pour éviter des dépenses supplémentaires [19].

IV.5 Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé les objectifs de la commande d'une éolienne, la méthode MPPT pour l'extraction optimale de puissance basée sur la poursuite de la vitesse optimale et deux approches pour la commande des courants et nous avons simulé le fonctionnement de la chaîne de conversion éolienne et les différentes méthodes de MPPT, en appliquant la commande du point de puissance maximale et la commande prédictive des puissances du réseau qui permet de séparer la commande de la puissance active et réactive. La chaîne fonctionne toujours dans le point correspondant à la puissance maximale de la turbine. Cette commande permet de créer une poursuite entre la puissance calculée et la puissance optimale quel que soit la vitesse du vent.

Conclusion générale

Conclusion générale:

Le travail présenté dans ce mémoire porte sur l'utilisation de la Modélisation et simulation d'une turbine éolienne.

Le premier chapitre rappelle les concepts et principes de base des énergies renouvelables, ainsi que les généralités dans le domaine de l'énergie éolienne, le principe de son travail, ses inconvénients et ses avantages.

Dans le 2ème chapitre, deux parties essentielles de la modélisation de la turbine éolienne ont été décrites. La première représente la partie mécanique qui comprend la turbine et l'arbre tournant. La deuxième partie détaille la modélisation de la turbine éolienne, fonctionnant en génératrice, principalement les zones de maximisation et de limitation de la puissance captée par la turbine.

La modélisation d'un système de conversion d'énergie cinétique du vent en énergie mécanique avec un rendement acceptable, nous avons développé une étude et un modèle simplifié d'un aérogénérateur.

Le 3ème chapitre présente la simulation d'une turbine éolienne.

Nous avons présenté la simulation de différente architecture d'un système de conversion éolien connectée à un réseau. Les résultats de simulation du modèle de la turbine montrent que l'amplitude et la fréquence de la tension générée par ce type des machines dépendent de la vitesse de rotation parce que le flux généré par l'aimant est constant et toutes les courbes obtenues grâce aux paramètres du simulation.

Le 4ème chapitre présente Suivi du point de puissance maximale (MPPT)

les objectifs de la commande d'une éolienne, la méthode MPPT pour l'extraction optimale de puissance basée sur la poursuite de la vitesse optimale et deux approches pour la commande des courants.

La supériorité de la technique de contrôle MPPT basée sur contrôle optimale de couple (OTC) et toutes les autres méthodes de MPPT, ainsi que l'efficacité de la commande FOC appliqué dans ce système hybride éolienne.

Enfin, notre souhait est d'étudier comment contrôler la vitesse de vent à distance et contrôler la bonne production d'énergie électrique.

Bibliographie

Bibliographie:

- [01]: BoumezouerFaouzi, «Modélisation et commanded'unechaîne de conversion d'énergieéolienne», mémoired'ingénieur de l'université de Bejaia.
- [02]: Mirecki A., « Etude Comparative de Chaines de Conversion d'EnergieDédiées à uneEolienne de Petite Puissance », Thèse de Doctorat, INPT, France, Avril 2005.
- [03]: ToualBelkacem « Modélisation et CommandeFloueOptimiséed'uneGénératrice à Double Alimentation, Application à un SystèmeEolien à Vitesse Variable »,thèse de doctorat de Université de Batna, 2010.
- [04]: B. MULTON, O. GERGAUD, H. BEN AHMED, X. ROBOAM, S. ASTIER, B. DAKYO C. NICHITA «état de l'artdans les aérogénérateursélectriques» parumaien 2002,
- [05]: C.Bourillon, "WindEnergy–CleanPowerforGenerations",RenewableEnergy,Vol.16, pp. 948-953, 1999.
- [06]: L. Khettache, " Etude et Commande d'un SystèmeEolien à Base d'une Machine Electrique Double Alimentée ", Mémoire de Magister, Université de Batna, Algérie,2007.
- [07]:T.GHENNAM, Thèse de Doctorat, «Supervision d'unefermeéolienne pour son intégrationdans la gestion d'un réseaelectrique, auréglage des éoliennes à base de machine asynchrone à double alimentation», N°d'ordre: 162/2012.
- [08]: M. Kassa IDJDARENE, «Contribution à l'Etude et la Commande de GénératricesAsynchrones à Cage Dédiées à des CentralesElectriquesEoliennesAutonomes», N°d'ordre: 40283/2010.
- [09]: MayoufMesaoud, Contribution à la modélisation de l'aérogénérateursynchrone à aimantpermanant, thèse de magister de l'université de Batna, 13-02-2008.
- [10]: T. Wildi, Gilbert Sybille, « Electrotechnique », Chapitres 34, 36 et 45, 4ème édition 2005, Ed. «De Boeck ».
- [11]: P. Leconte, M. Rapin, E. Széchenyi, « Éoliennes », Techniques de l'Ingénieur, BM 4 640.
- [12]: A.M. El Refaie, T.M. Jahns, D.W. Novotny « Analysis of Surface Permanent Magnet Machines with Fractional Slot Concentrated Windings », IEEE Transactions on Energy

Conversion 2006.

[13]: F. Kendouli & K. Nabti, & K. Abed et H. Benalla «Modélisation, simulation et contrôle d'une turbine éolienne à vitesse variable basée sur la génératrice asynchrone à double alimentation», Revue des Energies Renouvelables, Vol. 14 N°1, pp.109 – 120, 2011.

[14]: Lamri LOUZE, «Production décentralisée de l'énergie électrique : Modélisation et contrôle d'une génératrice asynchrone auto excitée », Thèse de doctorat D'université Mentouri - Constantine. 08/07/2010

[15]: <http://tpe-si-2011.e-monsite.com/pages/l-energie-eolienne/les-differents-types-d-eoliennes.html>

[16]: A. Parviainen, A. Piispanen, «“Axial Flux Induction Electrical Machine”», World Wide Patent, Patent Number 3048723; 2008.*

[17]: ABO-KHALIL, Ahmed G. et LEE, Dong-Choon. MPPT control of wind generation systems based on estimated wind speed using SVR. Industrial Electronics, IEEE Transactions on, 2008, vol. 55, no 3, p. 1489-1490.

[18]: Mariusz Malinowski, Adam Milczarek, Radoslaw Kot, Zbigniew Goryca, and Jan T. Szuster ; Optimized Energy conversion systems for small wind turbines", IEEE Power Electronics Magazine, 10.1109/MPEL.2015.2447631, 2329-9207, pp:16-30. September 2015

[19]: Kalaitzakis, E. Koutroulis and K; Design of a maximum power tracking system for wind energy conversion applications, IEEE Trans Ind Electron, vol 53. n.2, pp:486-494. Avril 2006.

[20]: H. ABD ELHAKIM, « Comparaison entre les techniques de commande de la puissance de vent dans une éolienne à vitesse variable », Mémoire De Master, Université KASDI MERBAH OUARGLA, 2016.