

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'enseignement Supérieur
et de la Recherche scientifique



Université d'EL-Oued
Faculté des Sciences et de Technologie

Mémoire de Fin d'Etude
En vue de l'obtention du diplôme de
LICENCE ACADEMIQUE

Domaine : Sciences et de Technologie
Filière : Génie Électrique
Spécialité: Réseaux Électriques

Thème

Etude d'une centrale éolienne

Dirigé par:

lammouchi Zakaria

Réalisé par:

Sallouh moussaab

Rahal omar

Deheb ossama

Soutenu 03-04 Juin 2014



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته



Remerciements

Je suis particulièrement sensible à l'honneur que m'a fait Prof. Lammouchi Zakaria, au département d'Electrotechnique de l'université d'EL-Oued, d'accepter d'être rapporteur de ce mémoire et pour la confiance et l'intérêt qu'il m'a témoigné tout au long de la réalisation de ce travail

A cette occasion, je témoigne ma reconnaissance à toute personne m'ayant aidé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Enfin, un remerciement particulier à mes parents et à mes frères et sœurs.

Dédicace

Je dédie ce travail à ma mère, mon père

A mon oncle, à mes beaux parents et à tous mes collègues.

A ma grande famille

SOMMAIRE

Sommaire.....	I
Liste des figures.....	III
Liste des symboles	V
Introduction générale	01

Chapitre I

Généralité sur le système éolien

I-1 Introduction	03
I-2 Définition de l'énergie éolienne	04
I-3 Développement de l'énergie éolienne	04
I-4 Emplacement des parcs éoliens	05
I-5 Taille des aérogénérateurs	06
I-6 Les différent types d'éoliennes	06
I-6.1 Les éoliennes à axe horizontal	06
I-6.2 Les éoliennes à axe vertical	07
I-7 Le vent	09
I-8 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne	10
I-8.1 Les avantages	10
I-8.2 Les inconvénients	11
I-9 Conclusion	12

Chapitre II

Principe de travail centrale éolienne

II-1 Introduction	13
II-2 Principe de fonctionnement.....	13
II-3 Eléments Constitutifs d'un Aérogénérateur (à axe horisantal).....	14
II-4 La production d'énergie par la centrale éolienne.....	15
II-5 Caractéristiques technologiques des éoliennes.....	15
II-5 .1 Le supportage.....	15
II-5 .2 Les pales.....	16
II-5 .2 .1 Longueur.....	16
II-5 .2 .2 Largeur.....	16
II-5 .2 .3 Le profil.....	16

II-5 .2 .4 Les matériaux.....	16
II-5 Zones de fonctionnement de l'éolienne.....	17
II-6 Conclusion.....	19

Chapitre III

Modélisation du Système Eolienne

III.1 Introduction.....	20
III-2 Description de la partie mécanique de l'éolienne.....	20
III-3 Hypothèses simplificatrices pour la modélisation mécanique de la turbine.....	21
III-4 Modélisation de la vitesse du vent.....	21
III-4.3 Conversion aérodynamique.....	22
III-4.3.1 Théorie de Betz.....	23
III-4.3.2 Limite de Betz.....	24
III-5 Modélisation du couplage mécanique entre la turbine et la génératrice.....	26
III-6 Simulation de la turbine.....	29
III-7 Conclusion.....	32
Conclusion générale.....	33
Bibliographie.....	VII

Liste des Figures

Figure I.1	conversion de l'énergie cinétique du vent.....	04
Figure I.2	Evolution des puissances éoliennes installées dans le monde en MW.....	05
Figure I.3	installation d'éoliennes offshore en Mer de nord.....	05
Figure I.4	Taille des hélices en et puissance en KW.....	06
Figure I.5	Configuration à axe horizontal.....	07
Figure I.6	Configuration à axe vertical.....	08
Figure I.7	la vitesse moyenne du vent dans l'Algérie.....	09
Figure II.1	Conversion de l'énergie cinétique du vent.....	13
Figure II.2	les composante de l'aérogénérateur.....	14
Figure II.3	Courbe de la puissance éolienne en fonction de la vitesse du vent.....	17
Figure II.4	Limitation de puissance éolienne, a) pitch, b) déviation verticale de l'axe de Rotation, c) rotation horizontale de l'axe de rotation, d) vitesse continûment Variable.....	18
Figure III. 1	Modèle mécanique simplifié de la turbine.....	21
Figure III. 2	Profil du vent avant et après le filtrage.....	22
Figure III.3	théorie de Betz : schéma de principe.....	23
Figure III.4	Coefficient aérodynamique en fonction du ratio de vitesse de la turbine.....	25
	λ	
Figure III.5	Le couplage mécanique entre la turbine et la machine électrique.....	27
Figure III.6	Schéma bloc d'une turbine éolienne.....	28
Figure III.7	Schéma électrique équivalent de la turbine éolienne.....	28
Figure III. 8	Schéma bloc du modèle de la turbine.....	29

Figure III.9 Schéma bloc d'un système éolienne.....30

Figure III.10 a : Vitesse de vent, b : Vitesse mécanique de la turbine, c : Couple mécanique développée, d : Puissance mécanique produite par la turbine.....31

LISTE DES SYMBOLES

p	la densité de l'air.
S	la surface balayée par les pales de la turbine.
J_m	inertie de la machine.
f_m	coefficient de frottement de la machine.
J	inertie de la turbine.
f	frottement des pâles.
C_T	le couple statique fournie par l'éolienne.
$C_{méc}$	Couple mécanique présent sur l'arbre de la turbine.
J_{T0}	Inertie Totale
f_{T0}	Coefficient de frottement Totale
R_s	la résistance des phases statoriques.
ΔE	la variation d'énergie cinétique de l'air
F	la force de l'air sur l'éolienne
P_T	La puissance de l'éolienne.
V	La vitesse du vent
β	l'angle de la pale
Ω_T	la vitesse de la turbine

Introduction Générale

Introduction général

L'intense industrialisation des dernières décennies et la multiplication des appareils domestiques électriques ont conduit à des besoins planétaires considérables en énergie électrique. Face à cette demande, toujours croissante de nos jours, les pays industrialisés ont massivement fait appel aux centrales nucléaires. Cette source d'énergie présente l'avantage indéniable de ne pas engendrer de pollution atmosphérique contrairement aux centrales thermiques, mais le risque d'accident nucléaire, le traitement et l'enfouissement des déchets sont des problèmes bien réels qui rendent cette énergie peu attractive pour les générations futures. Pour faire face à ces différents problèmes, les pays se tournent de plus en plus vers l'utilisation de sources d'énergies propres et renouvelables. En effet, ces pays se sont engagés, à moyen terme, à augmenter dans leur production d'énergie électrique la part d'énergie d'origine renouvelable.[AG]

Parmi ces sources d'énergies renouvelables, l'énergie éolienne est celle qui a le potentiel énergétique le plus important. La puissance des éoliennes installées dans le monde augmentant de plus en plus tous les ans, les systèmes éoliens ne peuvent plus se comporter comme uniquement des générateurs de puissance active dans les réseaux de distribution ou de transport, selon la puissance installée. De plus, les différents gestionnaires de réseaux ne pourront plus se permettre de perdre tout ou partie de la puissance installée afin de garantir la stabilité du réseau suite à un défaut d'origine électrique. C'est pourquoi les systèmes éoliens devront certainement assurer, à plus long terme, une continuité de service suite à un défaut électrique sur le réseau ou à un défaut sur un des éléments de la chaîne de conversion électromécanique (interrupteurs de puissance, capteurs,...).

Le premier chapitre est consacré à des rappels sur les systèmes éoliens à travers les concepts physiques régissant leur fonctionnement. Ces rappels sont suivis par une définition de l'énergie éolienne de manière générale, et les différentes technologies sont utilisées pour capter l'énergie du vent (capteur à axe vertical ou à axe horizontal), ainsi les inconvénients et les avantages des systèmes éoliens.

Dans le deuxième chapitre, nous avons parlé à l'étude du principe de fonctionnement de l'éolienne ainsi que des véhicules et de la station caractéristiques technologiques des éoliennes et aux zones de fonctionnement de l'éolienne.

Dans le troisième chapitre, nous avons proposé le concept de chaîne éolienne (la partie mécanique de l'éolienne). Dans ce chapitre, nous établissons la modélisation avec la simulation de l'éolienne exige la modélisation du vent.

Chapitre I

Généralité sur le système éolien

I-1 Introduction

I-2 Définition de l'énergie éolienne

I-3 Développement de l'énergie éolienne

I-4 Emplacement des parcs éoliens

I-5 Taille des aérogénérateurs

I-6 Les différent types d'éoliennes

I-6.1 Les éoliennes à axe horizontal

I-6.2 Les éoliennes à axe vertical

I-7 Le vent

I-8 Avantages et inconvénients de l'énergie éolienne

I-8.1 Les avantages.

I-8.2 Les inconvénients

I-9 Conclusion

Chapitre I

Généralité sur le système éolien

I-1 Introduction:

Depuis l'utilisation du moulin à vent, la technologie des capteurs éoliens n'a cessé d'évoluer. C'est au début des années quarante que de vrais prototypes d'éoliennes à pales profilées ont été utilisés avec succès pour générer de l'électricité. Plusieurs technologies sont utilisées pour capter l'énergie du vent (capteur à axe vertical ou à axe horizontal) [LT].

L'énergie éolienne est une ressource d'origine solaire, provient du déplacement des masses d'air qui est dû indirectement à l'ensoleillement de la terre [RR]. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres, une différence de pression est créée et la masse d'air est en perpétuel déplacement. Environ 0,25% du rayonnement solaire total est converti en énergie éolienne.

L'énergie éolienne est une énergie "renouvelable" non dégradée, géographiquement diffuse, et surtout en corrélation saisonnière (l'énergie électrique est largement plus demandée en hiver et c'est souvent à cette période que la moyenne des vitesses des vents est la plus élevée).

L'énergie éolienne est devenue aujourd'hui une réalité. Elle est en plein développement en termes de puissance installée dans le monde. Plusieurs facteurs ont contribué et contribuent encore à son essor :

L'énergie éolienne est propre : les éoliennes n'engendrent aucune pollution. Elle ne rejette aucune substance dangereuse dans l'environnement et n'engendre aucun déchet. L'utilisation d'une turbine de 1000 kW, dans des conditions normales, évite un rejet annuel de 2000 tonnes de dioxyde de carbone émis par d'autres sources de production d'électricité, comme par exemple les centrales électriques à charbon [BH].

Dans ce chapitre, on présente une définition de l'énergie éolienne de manière générale, puis l'évolution des éoliennes durant les dernières décennies [MJ] [TZ]. Des statistiques sont données montrant l'évolution de la production et la consommation de l'énergie éolienne dans le monde, ainsi que les différents types d'éoliennes avec les avantages et les inconvénients de l'énergie éolienne. Ce chapitre sera clôturé par une conclusion.

I- 2 Définition de l'énergie éolienne:

L'éolienne est un dispositif destiné à convertir l'énergie cinétique du vent en éniemiécanique[LT], elles sont généralement utilisés pour produire de l'électricité et entre dans la catégorie des énergies renouvelables.

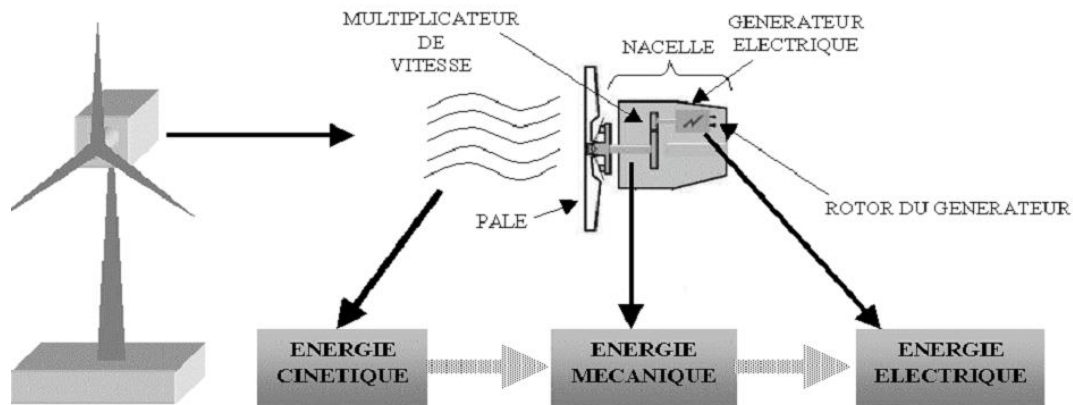


Figure I.1 conversion de l'énergie cinétique du vent

I-3 Développement de l'énergie éolienne:

Depuis ces dernières années, la production d'électricité par l'énergie éolienne s'est considérablement développée dans le monde entier (figure 1.2). Ceci est principalement dû à deux raisons:

- Produire une énergie propre.
- Trouver une source d'énergie durable alternative aux combustibles fossiles.

La capacité mondiale a atteint 196630 MW, dont 37642 ont été ajoutés en 2010, soit légèrement moins qu'en 2009 [03]. En 2010, la capacité mondiale installée a atteint 196630 MW, après 159766 MW en 2009. Les investissements dans les nouveaux équipements ont diminué dans de nombreux pays du monde [LT].

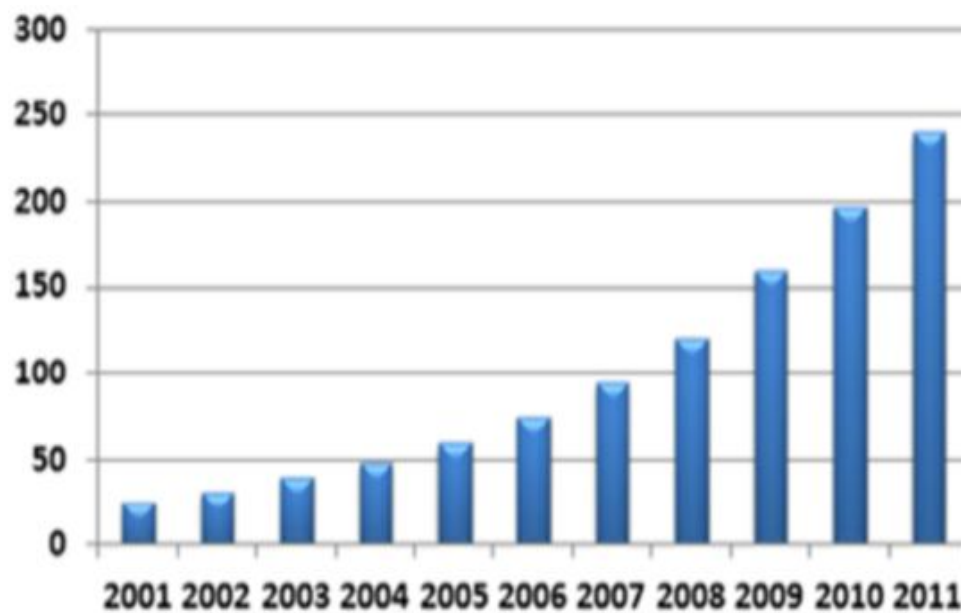


Figure I.2 Evolution des puissances éoliennes installées dans le monde en MW

I-4Emplacement des parcs éoliens:

Les parcs éoliens se situent naturellement là où il y a un niveau de vent suffisant tout au long de l'année pour permettre une production maximale. Les côtes, les bords de mers et les plateaux offrent des conditions intéressantes en terme de vent mais il faut aussi tenir compte de l'impact sur le paysage. Pour ces raisons, lorsque c'est possible, des parcs éoliens offshore sont construits. Ces derniers comportent des dizaines d'éoliennes comme on peut le voir sur la figure I.3



Figure I.3 installation d'éoliennes offshore en Mer de nord

I-5 Taille des aérogénérateurs:

Avec le développement récent et le besoin de fournir des puissances croissantes au réseau les constructeurs et les chercheurs mettent au point des éoliennes de plus en plus puissantes et donc plus grandes, ce que présente la figure 1.4. Pour utiliser le maximum de la force du vent, on cherche à ce que l'hélice balaie une surface où le vent est maximum. Pour cela les éoliennes sont très haut perchées pour ne pas subir les effets de sol qui freinent le vent.

Les plus grandes éoliennes commercialisées actuellement possèdent une hélice de plus de 100 mètres de diamètre. Cette hélice est perchée à plus de 10 mètres de hauteur pour produire jusqu'à 4.5 MW

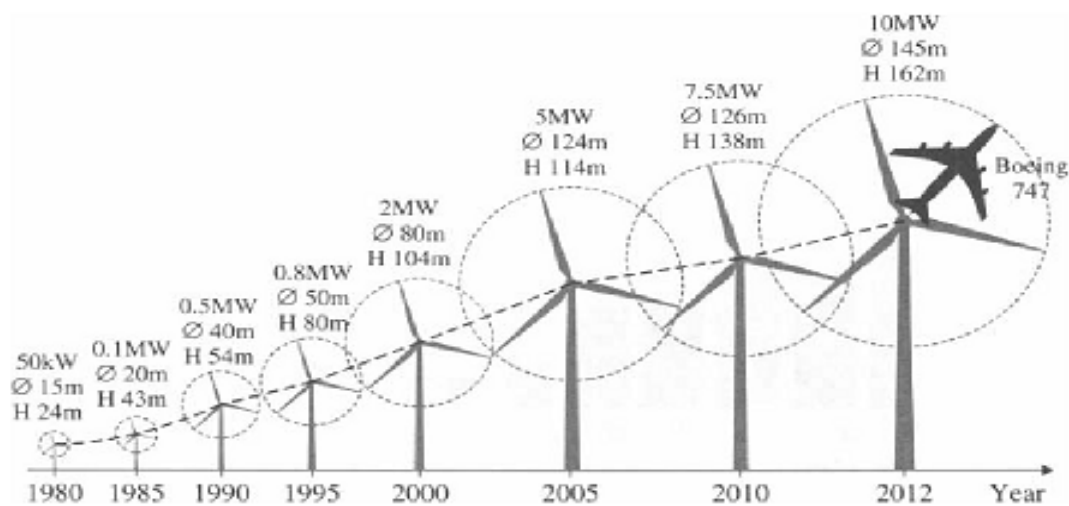


Figure I.4 Taille des hélices en et puissance en KW

I-5 Les différents types d'éoliennes :

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

I-5.1 Les éoliennes à axe horizontal

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

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

Sur base la du nombre de pales que compte l'hélice, on peut distinguer deux groupes:

a) les éoliennes à rotation lente "multipales"

Elles sont, depuis longtemps, relativement répandues dans les campagnes, et servent quasi exclusivement au pompage de l'eau.

b) Aérogénérateurs

Les éoliennes à rotation rapide, bi- ou tripales en général, constituent actuellement la catégorie des éoliennes en vogue, et sont essentiellement affectées à la production d'électricité, d'où leur nom le plus courant "d'aérogénérateurs".

Parmi les machines à axe horizontal parallèle à la direction du vent, il faut encore différencier l'aérogénérateur dont l'hélice est en amont de machine par rapport au vent « *hélice au vent* » et celle dont l'hélice est en aval de la machine par rapport au vent « *hélice sous le vent* ».

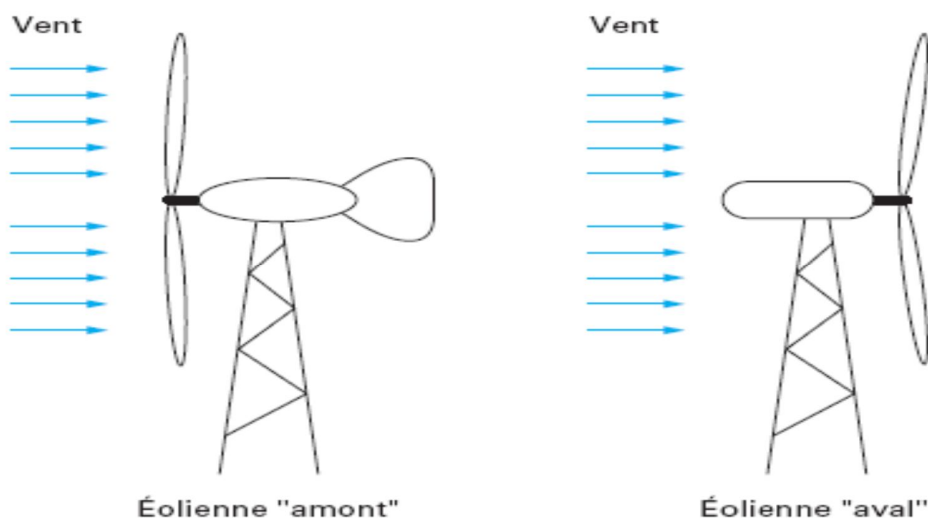


Figure I.5 Configuration à axe horizontal

I-5.2 Les éoliennes à axe vertical

Pour ces capteurs, l'axe de rotation est vertical et perpendiculaire à la direction du vent et sont les premières structures développées pour produire de l'électricité. Elles possèdent l'avantage d'avoir les organes de commande et le générateur au niveau du sol, donc elles sont facilement accessibles.

Elles sont adaptées à tous les vents et ne nécessitent pas de dispositif d'orientation. Deux d'entre elles sont particulièrement remarquables : Savonius et Darrieus [BH].

- a) L'éolienne Savonius comporte principalement deux demi cylindres dont les axes sont décalés l'un par rapport à l'autre. Comme les machines à aubes, elle utilise essentiellement la traînée pour tourner. Cette machine présente deux avantages :
- ✓ Elle est simple à fabriquer
 - ✓ Elle démarre avec des vitesses de vent de l'ordre de 2 m/s
- b) L'éolienne inventée par le Français Darrieus est un rotor dont la forme la plus courante rappelle vaguement un fouet à battre les œufs. Cette machine est bien adaptée à la fourniture d'électricité. Malheureusement, elle ne peut pas démarrer seule. Ce type de machine, qui peut offrir les puissances les plus fortes n'a pas connu le développement technologique qu'il méritait à cause de la fragilité du mécanisme encore mal maîtrisée..



a- Éolienne de type Savonius.



B-Éolienne de type Darrieus.

Figure I.6 Configuration à axe vertical

I-6 Le vent :

Le vent est généralement appliqué aux déplacements naturels horizontaux de l'atmosphère (mouvement d'air). Les mouvements de direction verticale sont appelés des courants. Les vents sont produits par les différences de pressions atmosphériques engendrées principalement par les gradients de température.

En ce qui concerne l'Algérie, la ressource éolienne varie beaucoup d'un endroit à un autre. Ceci est principalement dû à une topographie et climat très diversifié. En effet, notre vaste pays se subdivise en deux grandes zones géographiques distinctes. Le nord méditerranéen est caractérisé par un littoral de 1200 Km et un relief montagneux, représenté par deux chaînes de l'Atlas tellien et l'Atlas saharien. Entre elles, s'intercalent des plaines et les hauts plateaux de climat continental. Le sud, quant à lui, se caractérise par un climat saharien. Le sud algérien est caractérisé par des vitesses plus élevées que le nord, plus particulièrement le sud ouest avec des vitesses supérieures à 4 m/s et qui dépassent la valeur de 6 m/s dans la région d'Adrar. Concernant le nord, on remarque globalement que la vitesse moyenne est peu élevée. On note cependant l'existence de microclimats sur les sites côtiers de Oran, Bejaia et Annaba, sur les hauts plateaux de Tيارت et El Kheiter ainsi que dans la région délimitée par Bejaia au nord et Biskra au sud.

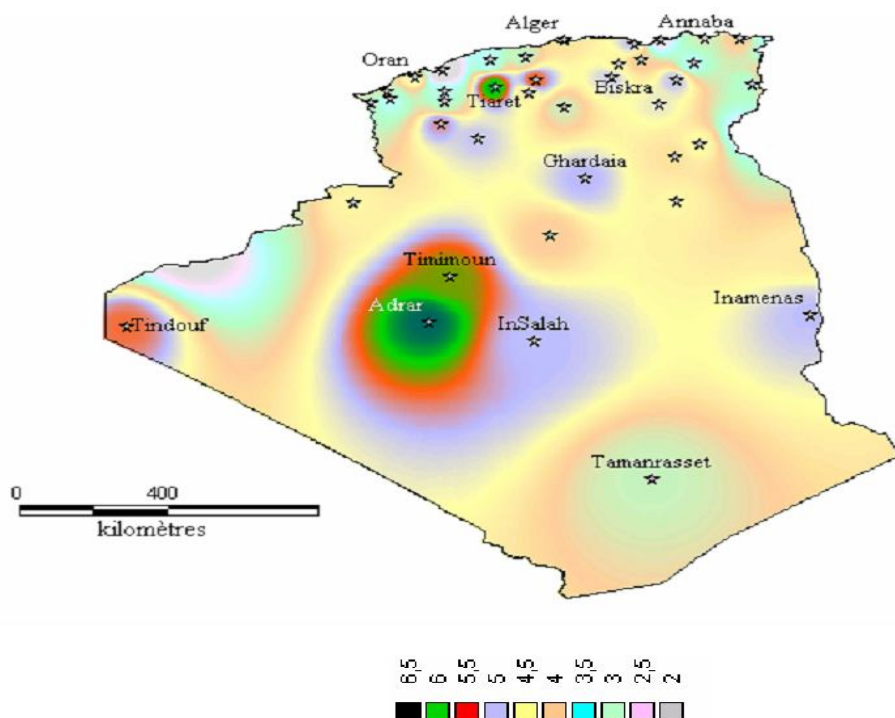


Figure I.7 la vitesse moyenne du vent dans l'Algérie

I-7 Avantage et Inconvénients de L'énergie éolienne

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

I-7.1 Les avantages

L'énergie éolienne, propre, fiable, économique, et écologique, c'est une énergie qui respecte l'environnement

- ✓ Bien que ne pouvoir envisager de remplacer totalement les sources traditionnelles d'énergie, l'énergie éolienne peut toutefois proposer une alternative intéressante et renouvelable. Elle s'inscrit parfaitement dans l'effort global de réductions des émissions de CO₂, etc.
- ✓ L'énergie éolienne est une énergie renouvelable propre, gratuit, et inépuisable .
- ✓ Chaque mégawatheure d'électricité produit par l'énergie éolienne aide à réduire de 0,8 à 0,9 tonne les émissions de CO₂ rejetées chaque année par la production d'électricité d'origine thermique
- ✓ Parmi toutes les sources de production d'électricité, celle d'origine éolienne subit de très loin le plus fort taux de croissance
- ✓ L'énergie éolienne n'est pas non plus une énergie à risque comme l'énergie nucléaire et ne produit pas de déchets toxiques ou radioactifs.
- ✓ L'exploitation de l'énergie éolienne n'est pas un procédé continu puisque les éoliennes en fonctionnement peuvent facilement être arrêtées, contrairement aux procédés continus de la plupart des centrales thermiques et des centrales nucléaires. Ceux-ci fournissent de l'énergie même lorsque que l'on n'en a pas besoin, entraînant ainsi d'importantes pertes et par conséquent un mauvais rendement énergétique
- ✓ Les parcs éoliens se démontent très facilement et ne laissent pas de trace .
- ✓ C'est une source d'énergie locale qui répond aux besoins locaux en énergie. Ainsi les pertes en lignes dues aux longs transports d'énergie sont moindres
- ✓ La durée de vie des éoliennes modernes est maintenant de 20 à 25 ans, ce qui est comparable à de nombreuses autres technologies de production d'énergie
- ✓ C'est l'énergie la moins chère entre les énergies renouvelables, selon l'article le coût de l'éolienne a diminué presque 90% depuis le début des années 80. Le coût de l'énergie

éolienne continue de diminuer grâce aux percées technologiques, à l'accroissement du niveau de production et à l'utilisation de grandes turbines .

- ✓ Cette source d'énergie est également très intéressante pour les pays en voie de développement. Elle répond au besoin urgent d'énergie qu'ont ces pays pour se développer. L'installation d'un parc ou d'une turbine éolienne est relativement simple. Le coût d'investissement nécessaire est faible par rapport à des énergies plus traditionnelles, ce type d'énergie est facilement intégré dans un système électrique existant déjà.
- ✓ L'énergie éolienne se révèle une excellente ressource d'appoint d'autres énergies, notamment durant les pics de consommation, en hiver par exemple.

I-7.2 Les inconvénients

Même s'ils ne sont pas nombreux, l'éolien a quelques désavantages :

- ✓ L'impact visuel : Dans la plus grande majorité des cas, les enquêtes réalisées montrent une réelle acceptation des populations voisines ou visitant un site éolien
- ✓ Les bruits mécaniques ou aérodynamiques ont été réduits par l'utilisation de nouveaux profils , extrémités de pale, mécanismes de transmission etc.
- ✓ les pales en rotation sont difficilement visibles par mauvais temps ou la nuit. Les oiseaux peuvent alors entrer en collision avec celles-ci. Plus le parc éolien est dense plus ce risque est grand. Des lumières sur les pales peuvent réduire ce danger.
- ✓ la puissance électrique produite par les aérogénérateurs n'est pas constante. La qualité de la puissance produite n'est donc pas toujours très bonne. Jusqu'à présent, le pourcentage de ce type d'énergie dans le réseau était faible, mais avec le développement de l'éolien, notamment dans les régions à fort potentiel de vent, ce pourcentage n'est plus négligeable.
- ✓ Les systèmes éoliens coûtent généralement plus cher à l'achat que les systèmes utilisant des sources d'énergie classiques, comme les groupes électrogènes à essence, mais à long terme, ils constituent une source d'énergie économique et ils demandent peu d'entretien.

I-8 Conclusion

Après un rappel de notions nécessaires à la compréhension du système de conversion de l'énergie éolienne, différents types d'éoliennes et leur mode de fonctionnement ont été décrits dans ce chapitre. Comme beaucoup d'énergies renouvelables, le gisement éolien mondial est considérable puisqu'il est très supérieur à la consommation énergétique actuelle de l'humanité. Et on peut dire aussi que l'éolienne est une source de production d'énergie qui représente dans certains cas l'une des meilleures solutions adaptées. Et ne consomme aucun combustible.

Chapitre II

Caractéristiques technologiques des éoliennes

II-1 Introduction

II-2 Principe de fonctionnement

II-3 Eléments Constitutifs d'un Aérogénérateur (a axe horisantal)

II-4 La production d'énergie par la centrale éolienne

II-5 Caractéristiques technologiques des éoliennes

II-5 .1 Le supportage

II-5 .2 Les pales

II-5 .2 .1 Longueur

II-5 .2 .2 Largeur

II-5 .2 .3 Le profil

II-5 .2 .4 Les matériaux

II-5 Zones de fonctionnement de l'éolienne

II-6 Conclusion

Chapitre II**Caractéristiques technologiques des éoliennes****II-1 Introduction :**

La ressource éolienne provient du déplacement des masses d'air qui est dû indirectement à l'ensoleillement de la Terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres, une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. L'énergie récupérée est fonction de la vitesse du vent et de la surface mise face au vent. L'utilisation de cette énergie est soit directe (mouture, pompage) soit indirecte (production d'électricité via un générateur) [RR], ces systèmes demandent une bonne technicité.

II-2 Principe de fonctionnement d'une éolienne :

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

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

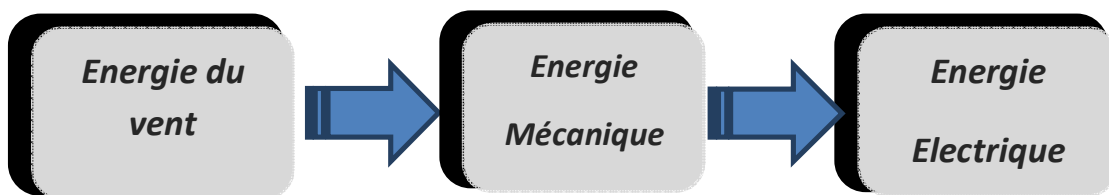


Figure II.1 Conversion de l'énergie cinétique du vent .

II-3 Eléments constitutifs d'un aérogénérateur:

L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor : cette énergie cinétique est convertie en énergie mécanique qui est elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique solidaire au rotor[BH]. L'électricité peut être envoyée dans le réseau de distribution, stockée dans des accumulateurs ou utilisée par des charges isolées.

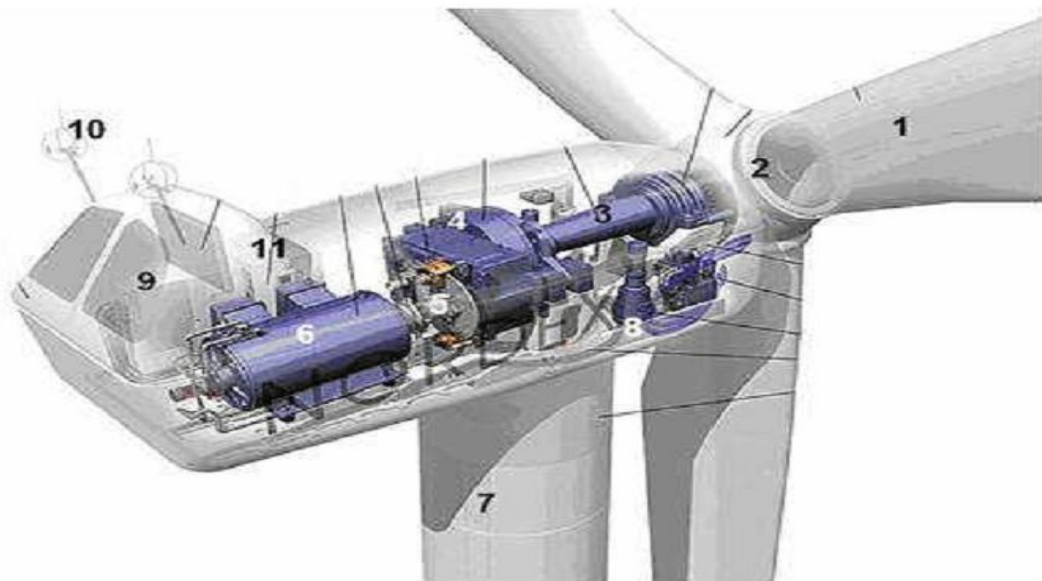


Figure II.2 les composants de l'aérogénérateur

- 1. Les pales:** sont les capteurs de l'énergie cinétique qui transmettent l'énergie au rotor
- 2. Le moyeu :** il est pourvu d'un système qui permet d'orienter les pales pour réguler la vitesse de rotation.
- 3. L'arbre primaire (ou arbre lent) :** relie les pales au multiplicateur.
- 4. Le multiplicateur :** il permet de réduire le couple et d'augmenter la vitesse. C'est l'intermédiaire entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire[RR].
- 5. L'arbre secondaire :** il amène l'énergie mécanique à la génératrice. Il est équipé d'un frein à disque mécanique qui limite la vitesse de l'arbre en cas de vents violents.
- 6. Le générateur électrique :** il assure la production électrique. Sa puissance peut atteindre jusqu'à 5 MW. Il peut être une dynamo (produit du courant continu) ou un alternateur (produit du courant alternatif). L'alternateur est le plus utilisé pour des raisons de coût et de rendement.
- 7. Le mât :** c'est un tube en acier, pilier de toute l'infrastructure. Sa hauteur est

importante : plus elle augmente, plus la vitesse du vent augmente mais en même temps le coût de la structure augmente. En général, le mat a une taille légèrement supérieure au diamètre des pales.

8. Le système d'orientation de la nacelle : c'est une couronne dentée équipée d'un moteur qui permet d'orienter l'éolienne et de la verrouiller dans l'axe du vent grâce à un frein.

9. Le système de refroidissement : il est à air, à eau ou à huile et destiné au multiplicateur et à la génératrice.

10. Les outils de mesure du vent : girouette pour la direction et anémomètres pour la vitesse. Les données sont transmises à l'informatique de commande.

11. Le système de contrôle électronique : il gère le fonctionnement général de l'éolienne et de son mécanisme d'orientation.

12. Au pied du mât se trouve un **transformateur**.

II-4 La production d'énergie par la centrale éolienne:

Sous l'effet du vent, le rotor tourne. Dans la nacelle, l'arbre principal entraîne un alternateur qui produit l'électricité. La vitesse de rotation du rotor (de 12 à 15 tours/minute) doit être augmentée par un multiplicateur de vitesse jusqu'à environ 1500 tours/minute, vitesse nécessaire au bon fonctionnement de l'alternateur. Des convertisseurs électroniques de puissance ajustent la fréquence du courant produit par l'éolienne à celle du réseau électrique auquel elle est raccordée, tout en permettant au rotor de l'éolienne de tourner à vitesse variable en fonction du vent. La tension de l'électricité produite par l'alternateur, de l'ordre de 600 à 1000 volts, est ensuite élevée à travers un transformateur de puissance, situé dans la nacelle ou à l'intérieur du mât, jusqu'à un niveau de 20 ou 30 KV [RR]. Ce niveau de tension permet de véhiculer l'électricité produite par chacune des éoliennes d'une centrale éolienne jusqu'au point de raccordement au réseau électrique public. La tension de l'électricité produite par la centrale peut alors être de nouveau transformée, en fonction du niveau de tension de raccordement de la centrale au réseau public.

II-5 Caractéristiques technologiques des éoliennes:

II-5 .1 Le supportage:

Les pylônes peuvent être réalisés en acier ou en béton armé. Ils peuvent être autoporteurs et auto résistants ou haubanés. Si le haubanage permet de réduire les dimensions du mât, par contre il pénalise l'emprise au sol. Pour limiter l'occupation au sol, le supportage de plusieurs éoliennes par une seule structure est envisagé ; dans ce cas, les pylônes constitués de structures métalliques en treillis sont intéressants. Actuellement les mats en caisson,

souvent en acier et fortement ancrés au sol, sont très répandus pour les éoliennes de forte puissance.

II-5 .2 Les pales:

Les pales sont une partie très importante des éoliennes. De leur nature dépendront le bon fonctionnement et la durée de vie de la machine ainsi que le rendement du moteur éolien. Plusieurs éléments caractérisent ces pales sont la longueur, la largeur, le profil, les matériaux et le nombre[AR].

Parmi ces éléments, certains sont déterminés par les hypothèses de calcul, puissance et couple et d'autres sont choisis en fonction de critères tel que : coûts, résistance au climat .

II-5 .2 .1 Longueur

Le diamètre de l'hélice est fonction de la puissance désirée. La détermination de ce diamètre fixe aussi la fréquence de rotation maximum, que l'hélice ne devra pas dépasser pour limiter les contraintes en bout de pales dues à la force centrifuge. Il est essentiel de prendre en compte le travail en fatigue des pales et les risques de vibrations, surtout pour les très longues pales.

II-5 .2 .2 Largeur

La largeur des pales intervient pour le couple de démarrage qui sera d'autant meilleur que la pale sera plus large. Mais pour obtenir des vitesses de rotation élevées, on préférera des pales fines et légères.

II-5 .2 .3 Le profil

Il est choisi en fonction du couple désiré. Pour la plupart des aérogénérateurs de moyenne et de faible puissance, les pales ne sont pas vrillées. Par contre, pour la plupart des machines de grande puissance (≥ 100 kW), elles le sont, c'est-à-dire qu'elles prennent la forme d'une hélice. Les caractéristiques des différents profils sont déterminées en soufflerie. Ils ont en général été étudiés pour l'aviation (ailes ou hélices).

II-5 .2 .4 Les matériaux

Les matériaux utilisés pour la réalisation des pales sont variés et ont bénéficié de nombreux progrès, particulièrement ceux dus aux pales d'hélicoptère. Contrairement à ce que l'on croit fréquemment, ce n'est pas dans le domaine de l'aérodynamique que réside la difficulté mais bien dans celui de la construction et de la résistance des matériaux. En effet, c'est dans le mode de réalisation des pales qu'il y a le plus à faire pour augmenter la sécurité de marche. Les matériaux utilisés pour la réalisation des pales sont donc essentiels et doivent

répondre à plusieurs exigences : ils doivent être assez légers, résistants à la fatigue mécanique, à l'érosion et à la corrosion, et de mise en oeuvre ou d'usinage simple.

On rencontre plusieurs types de matériaux :

- ✓ **le bois** : il est simple, léger, facile à travailler et il résiste bien à la fatigue mais il est sensible à l'érosion, peut se déformer et est réservé pour des pales assez petites.
- ✓ **le lamellé-collé** : c'est un matériau composite constitué d'un empilement de lamelles de bois collées ensemble. Il est possible de réaliser des pales jusqu'à 5 à 6 m de longueur ayant une bonne tenue en fatigue.
- ✓ **les alliages d'aluminium** : pour des pales allant principalement jusqu'à 20 m de longueur.
- ✓ **les matériaux composites** : leur intérêt est de permettre la réalisation de toutes les formes et dimensions, ainsi que d'obtenir les caractéristiques mécaniques exactes recherchées : pale vrillée, corde évolutive, changement de profil.

II-6 Zones de fonctionnement de l'éolienne:

Compte tenu des informations précédentes, la courbe de puissance convertie d'une turbine, généralement fournie par les constructeurs, qui permet de définir quatre zones de fonctionnement pour l'éolienne suivant la vitesse du vent :

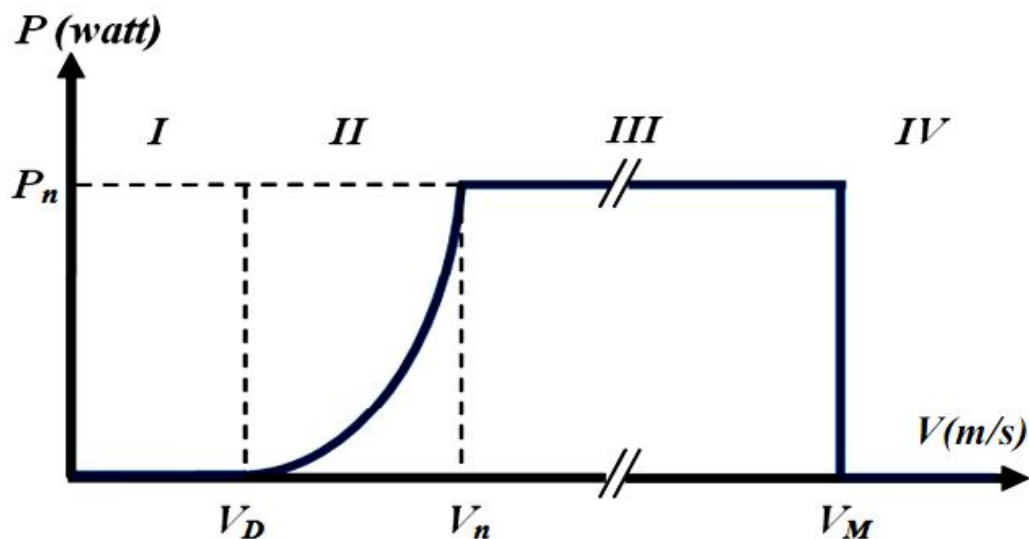


Figure II.3 Courbe de la puissance éolienne en fonction de la vitesse du vent.

V_D : La vitesse du vent correspondant au démarrage de la turbine. Suivant les constructeurs, V_D varie entre 2.5m/s et 4m/s pour les éoliennes de forte puissance ;

V_n : La vitesse du vent pour laquelle la puissance extraite correspond à la puissance nominale de la génératrice. Suivant les constructeurs, V_n varie entre 11.5m/s et 15m/s en fonction des technologies ;

VM: vitesse du vent au-delà de laquelle il convient de déconnecter l'éolienne pour des raisons de tenue mécanique en bout de pales. Pour la grande majorité des éoliennes, VM vaut 25m/s.

Zone I : $V < V_D$: La vitesse du vent est trop faible. La turbine peut tourner mais l'énergie à capter est trop faible.

Zone II : $V_D < V < V_n$: Le maximum de puissance est capté dans cette zone pour chaque vitesse de vent. Différentes méthodes existent pour optimiser l'énergie extraite. Cette zone correspond au fonctionnement à charge partielle.

Zone III : $V_n < V < V_M$: La puissance disponible devient trop importante. La puissance extraite est donc limitée, tout en restant le plus proche possible de la puissance nominale de la turbine (P_n). Cette zone correspond au fonctionnement à pleine charge.

Il existe quatre voies principales pour limiter la puissance éolienne dans le cas de fortes valeurs du vent. La première est une technique active assez coûteuse et complexe appelée système à pas variable « pitch » : elle est donc plutôt utilisée sur les systèmes à vitesse variable de moyenne à fortes puissances (quelques centaines de kW). Elle consiste à régler mécaniquement la position angulaire des pales sur leur axe ce qui permet de décaler dynamiquement la courbe du coefficient de puissance de la voilure. La seconde technique est passive « stall ». Elle consiste à concevoir la forme des pales pour obtenir un décrochage dynamique du flux d'air des pales à fort régime de vent. Il existe aussi des combinaisons des deux technologies précédemment citées. La troisième façon de limiter la puissance est la déviation de l'axe du rotor dans le plan vertical (un basculement de la nacelle) ou une déviation dans le plan horizontal (rotation autour de l'axe du mat). Ainsi, la turbine n'est plus face au vent et la surface active de l'éolienne diminue.

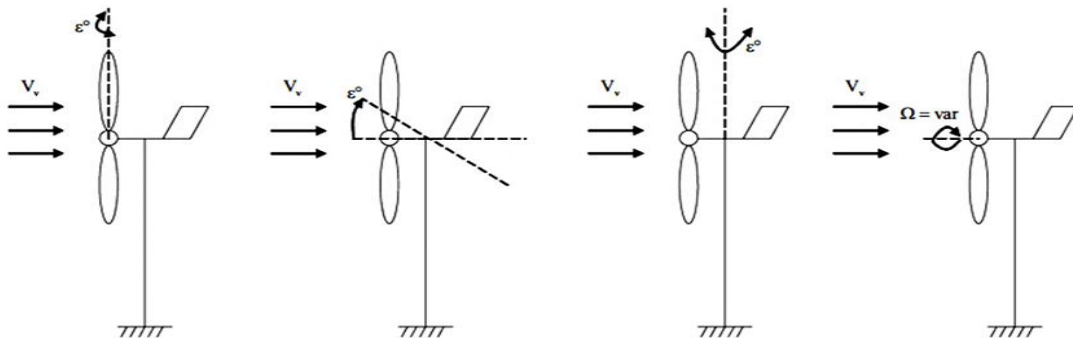


Figure II.4 Limitation de puissance éolienne, a) pitch, b) déviation verticale de l'axe de Rotation, c) rotation horizontale de l'axe de rotation, d) vitesse continûment Variable.

II-6 Conclusion:

Une brève description sur les systèmes éoliens a été présentée dans ce chapitre. 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.

Vue l'importance de l'énergie éolienne on s'intéressera dans les chapitres suivants à la conception et la simulation d'un modèle pédagogique d'une éolienne.

Chapitre III

Modélisation du système éolienne

III.1 Introduction

III-2 Description de la partie mécanique de l'éolienne

III-3 Hypothèses simplificatrices pour la modélisation mécanique de la turbine

III-4 Modélisation de la vitesse du vent

III-4.3 Conversion aérodynamique

III-4.3.1 Théorie de Betz

III-4.3.2 Limite de Betz

III-5 Modélisation du couplage mécanique entre la turbine et la génératrice

III-6 Simulation de la turbine

III-7 Conclusion

Chapitre III

Modélisation du système éolienne

III-1 Introduction:

Il existe deux grandes familles d'éoliennes : celle à axe vertical et celle à axe horizontal. Actuellement, les éoliennes à axe horizontal sont largement plus utilisées que les éoliennes à axe vertical pour des raisons économiques liées à leur fabrication et à leur installation. Parmi les éoliennes à axe horizontal, on distingue celles à vitesse fixe et celles à vitesse variable. Ces dernières sont les plus couramment utilisées pour la production d'énergie électrique sur le réseau électrique. En effet, les éoliennes à vitesse variable, contrairement aux éoliennes à vitesse fixe, fonctionnent sur une large plage de vitesses permettant ainsi une maximisation des puissances extraites pour de faibles vitesses du vent et le maintien d'une puissance constante pour des vitesses de vent élevées.

Dans le deuxième chapitre, nous avons proposé le concept de chaîne éolienne complète. Dans ce chapitre, nous établissons un modèle de simulation de l'ensemble de la chaîne éolienne [LM].

Parmi la modélisation mécanique de l'éolienne, exige la modélisation du vent et du comportement aérodynamique des pales. Ce chapitre est composé de deux parties:

- ✓ Une première partie est consacrée à la modélisation du vent et son évolution seront étudiés de façon détaillée.
- ✓ La deuxième partie est consacrée à la modélisation de la partie mécanique de l'éolienne, on terminera cette partie par une simulation de ces configurations.

III-2 Description de la partie mécanique de l'éolienne:

Le système éolien, est constitué mécaniquement de trois organes:

- ✓ Trois pales orientables possédant des coefficients propres d'inertie, d'élasticité et de frottement par rapport à l'air et par rapport au support de la turbine ;
- ✓ Un arbre d'entraînement des pales avec sa propre inertie;
- ✓ Un rotor de génératrice possédant une inertie et un coefficient de frottement.

On présente les principes de base de l'interaction entre les pales de la turbine éolienne et le vent pour en déduire les expressions simplifiées de la puissance convertie.

III-3Hypothèses simplificatrices pour la modélisation mécanique de la turbine:

Les modèles les plus fréquemment rencontrés dans le cadre d'étude électromécanique sont relativement simples et obéissent aux hypothèses simplificatrices suivantes:

- ✓ Les pales sont considérées à conception identique avec les mêmes paramètres d'inertie, d'élasticité et de frottement ;
- ✓ Les coefficients de frottements des pales par rapport à l'air et par rapport au support sont très faibles et peuvent être ignorés ;
- ✓ La vitesse du vent est supposée à répartition uniforme sur toutes les pales, ce qui permet de considérer l'ensemble des pales comme un seul et même système mécanique caractérisé par la somme de tous les systèmes mécaniques.

On obtient alors un modèle mécanique simple (FigureIII.1).

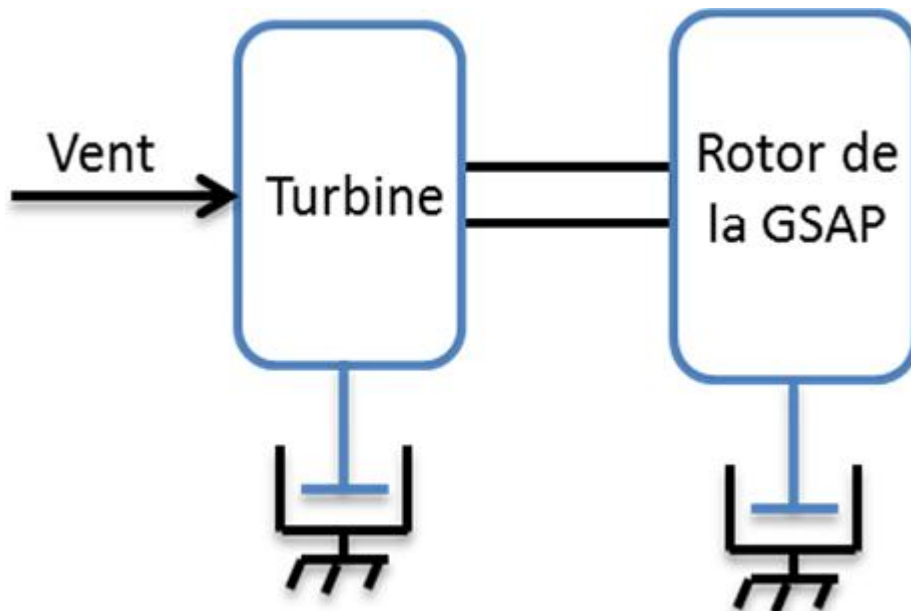


Figure III. 1 Modèle mécanique simplifié de la turbine.

III-4 Modélisation de la vitesse du vent:

Le vent est la raison d'être des aérogénérateurs, son énergie cinétique constitue la source primaire d'énergie. Le vent est en fait un champ de vitesses de déplacements de masses d'air caractérisé par sa vitesse et sa direction qui sont affectées par plusieurs facteurs, en particulier le phénomène de cisaillement et l'effet d'obstacle de la tour.

Ces phénomènes modélisables correspondent à la partie déterministe de la variation spatiale du champ de vitesses. Les turbulences provoquées par les obstacles en amont

(bâtiments, arbres, autre éoliennes, ...) correspondent à la partie stochastique de la variation spatiale du champ de vitesses

Cependant, le vent peut être représenté par une grandeur aléatoire définie par des paramètres statistiques. De nombreux travaux sur la modélisation du vent ont été réalisés. L'un des principes retenus consiste à générer l'allure temporelle du vent à partir d'un bruit blanc sur lequel on applique une fonction de transfert à déterminer. Les paramètres de cette fonction de transfert dépendent des grandeurs caractéristiques du site et de la nature du vent.

$$V = F(t) \quad (\text{III.1})$$

La vitesse du vent sera modélisée, dans cette partie, sous forme déterministe par une somme de plusieurs harmoniques sous la forme :

$$V(t) = \sum_{n=1}^i a_n \cdot \sin(b_n \cdot w_v \cdot t) \quad (\text{III.2})$$

La Fig.III.2 montre l'évolution de la vitesse du vent avant et après le filtre spatial.

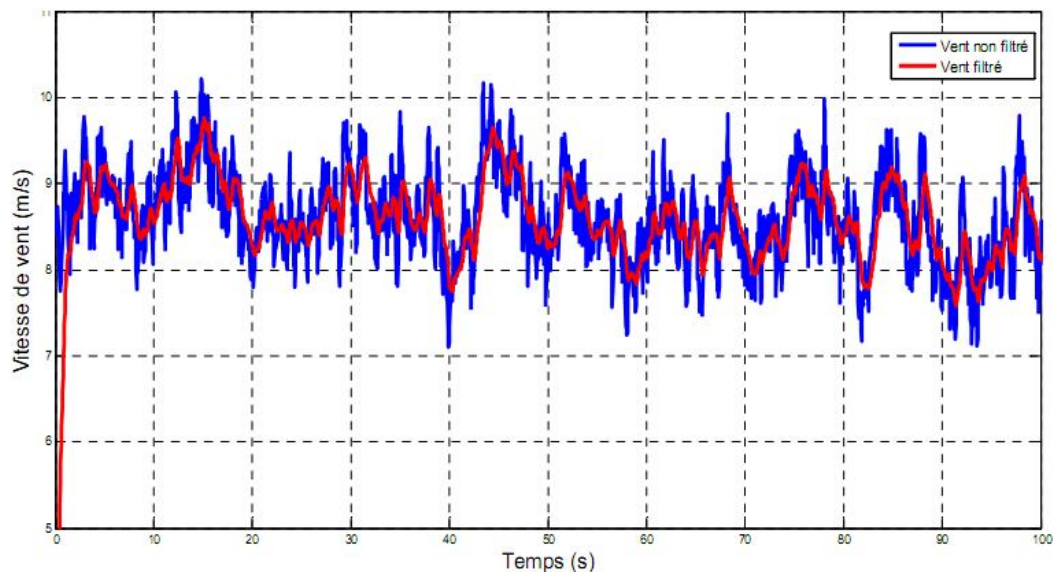


Figure III. 2 Profil du vent avant et après le filtrage

III-4.3 Conversion aérodynamique:

La modélisation de la turbine consiste à exprimer la puissance extractible en fonction de la vitesse incidente du vent et des conditions de fonctionnement, cela permettra de connaître le couple éolien appliquée sur l'arbre lent de l'éolienne.

Cette modélisation (essentiellement dépendante du coefficient de puissance CP ou rendement énergétique de l'éolienne) s'appuie sur des recoupements bibliographiques ou des informations extraites de brochures des différents constructeurs

III-4.3.1 Théorie de Betz:

La théorie globale du moteur éolien à axe horizontal a été établie par « Albert Betz ». A. Betz suppose que le moteur éolien est placé dans un air animé à l'infini en amont d'une vitesse V et à l'infini en aval d'une vitesse v . La production d'énergie ne pouvant se faire que par la conversion de l'énergie cinétique, la vitesse v est nécessairement inférieure à V . Il en résulte que la veine de fluides traverse le générateur éolien en s'élargissant.

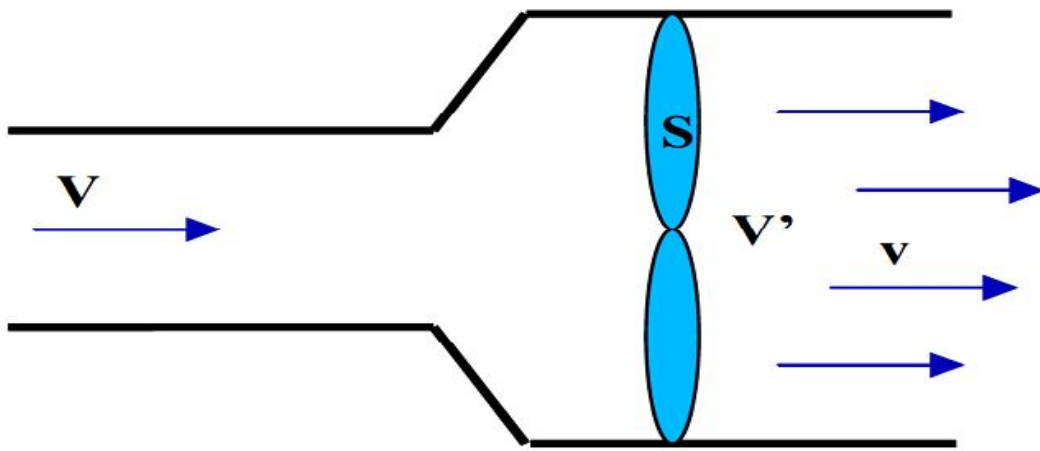


Figure III.3 théorie de Betz : schéma de principe

Soit donc V la vitesse de l'air en amont, v celle en aval et V' celle au travers de S , la section balayée par les pales de l'éolienne (comme présenté à la Fig. III.3) et m la masse d'air qui traverse l'éolienne, la variation d'énergie cinétique de l'air ΔE , est:

$$\Delta E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (V^2 - v^2) \quad (\text{III.3})$$

La puissance de l'éolienne P_T est alors :

$$P_T = \frac{1}{2} \cdot p \cdot S \cdot V' \cdot (V^2 - v^2) \quad (\text{III.4})$$

Avec :

- p : la densité de l'air.

- S : la surface balayée par les pales de la turbine.

Par ailleurs, la force de l'air F sur l'éolienne est :

$$F = p \cdot S \cdot V' \cdot (V - v) \quad (\text{III.5})$$

D'où :

$$P_T = F \cdot V' = p \cdot S \cdot V'^2 \cdot (V - v) \quad (\text{III.6})$$

En identifiant les équations III.4 et III.6, il vient:

$$V' = \frac{V+v}{2} \quad (\text{III.7})$$

Et donc :

$$P_T = \frac{1}{4} \cdot p \cdot S \cdot (V^2 - v^2) \cdot (V + v) \quad (\text{III.8})$$

III-4.3.2 Limite de Betz

La puissance de l'éolienne sera alors maximale quand sa dérivée dP_T/dv sera nulle[RR], soit pour $v = V/3$. La puissance est alors maximale et vaut :

$$P_T = P_{T-max} = \frac{16}{27} \cdot \frac{p \cdot S \cdot V^3}{2} \quad (\text{III.9})$$

On peut donc en déduire que même si la forme des pales permet d'obtenir $v = V/3$. Le coefficient C_P est une grandeur variable en fonction de λ , la valeur maximale théorique possible du coefficient de puissance C_P , appelée limite de Betz est de '16/27=0.593' , 0.593 fois l'énergie cinétique de la masse d'air amont. On écrira en notant la vitesse du vent amont V .

$$P_T = \frac{1}{2} \cdot p \cdot \pi \cdot R_T^2 \cdot V^3 \cdot C_P \quad \text{ET } C_{P-max} = \frac{16}{27} = 0.593 \quad (\text{III.10})$$

Où : C_P est le coefficient de puissance de l'éolienne, il dépend de la vitesse du vent V , du nombre de pales, de leur rayon R_T , de leur angle de calage β et de leur vitesse de rotation Ω_T . Plus généralement, on regroupe les deux variables pour définir une nouvelle variable λ appelée rapport de vitesse ou «tip speed ratio» (TSR) en anglais.

$$\lambda = \frac{R_T \cdot \Omega_T}{V} \quad (\text{III.11})$$

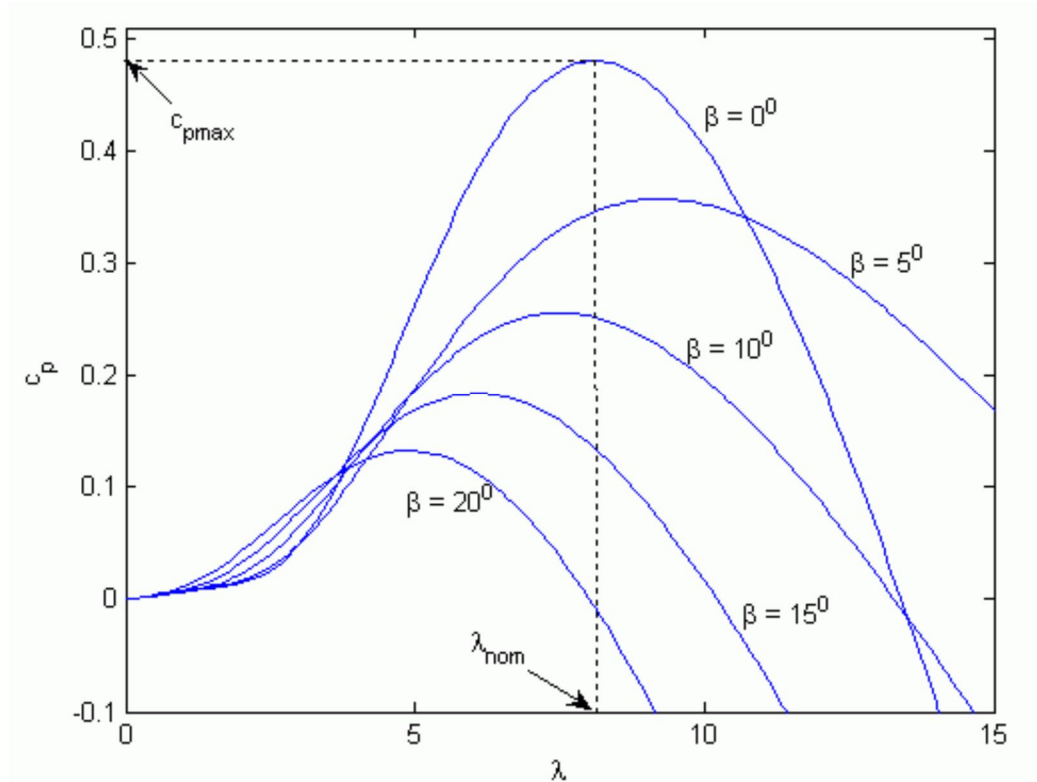


Figure III.4 Coefficient aérodynamique en fonction du ratio de vitesse de la turbine λ

La figure III-4 représente le coefficient de puissance C_p (calculé à partir de l'équation $C_p(\lambda, \beta_i)$) en fonction du rapport de vitesse λ pour différents angles d'inclinaison des pales β_i . On remarque que si, pour un angle constant β , on pouvait maintenir le coefficient de vitesse λ constant et égal à $\lambda_{optimal}$ à chaque instant, la puissance captée par l'éolienne serait maximale. La figure III.2 montre le $\lambda_{optimal}$ correspondant à un angle d'inclinaison des pales $\beta_i[RR]$.

Cette condition ne peut être vérifiée qu'avec l'utilisation de la vitesse variable. En effet, afin de maintenir $\lambda = \lambda_{optimal}$, il est nécessaire de faire varier la vitesse de rotation du générateur (et de l'éolienne) avec les variations de vitesse du vent [AG].

Pour un fonctionnement à vitesse de rotation fixe, le coefficient λ varie avec la vitesse du vent : la puissance captée est maximale seulement pour une vitesse du vent donnée (généralement la vitesse nominale de fonctionnement).

A partir de relevés réalisés sur une éolienne, l'expression du coefficient de puissance a été approchée, pour ce type de turbine, par l'équation suivante:

$$C_p = (\beta - 2) \cdot [(0.5 - 0.167) \cdot \sin \left[\frac{\pi \cdot (\lambda + 0.1)}{18.5 - 0.3(\beta - 2)} \right] - 0.00184 \cdot (\lambda - 3)] \quad (\text{III.12})$$

La puissance captée par la turbine pourra donc s'écrire :

$$P_T = \frac{1}{2} \cdot S \cdot \rho \cdot C_p(\beta, \lambda) V^3 \quad (\text{III.13})$$

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

$$C_T = \frac{P_T}{\Omega_T} = C_p(\beta, \lambda) \cdot \frac{S \cdot \rho \cdot V^3}{2} \cdot \frac{1}{\Omega_T} \quad (\text{III.14})$$

III-5 Modélisation du couplage mécanique entre la turbine et la génératrice:

Les éléments mécaniques de l'aérogénérateur et les forces subies ou transmises à travers ces éléments sont nombreux. Il faut par conséquent faire un choix des éléments et des grandeurs liées à ces éléments que l'on souhaite intégrer dans le modèle[LM].

La partie mécanique de la turbine comprend trois pales orientables et de longueur R . Elles sont fixées sur un arbre d'entraînement tournant à une vitesse de rotation Ω_t , relié à un multiplicateur de gain G . Ce multiplicateur entraîne la génératrice électrique. Les trois pales sont considérées identiques. De plus, on considère une répartition uniforme de la vitesse du vent sur toutes les pales et donc une égalité de toutes les forces de poussée. Ainsi, on peut modéliser l'ensemble des trois pales comme un seul et même système mécanique caractérisé par la somme de toutes les caractéristiques mécaniques. De part la conception aérodynamique des pales, nous considérons que leur coefficient de frottement par rapport à l'air est très faible et peut être négligé. De même, la vitesse de la turbine étant très faible, les pertes par frottement seront négligeables devant les pertes par frottement du côté de la génératrice[AG]. Sur la base de ces hypothèses, on obtient alors un modèle mécanique constitué de deux masses comme l'illustre la Figure (III.5).

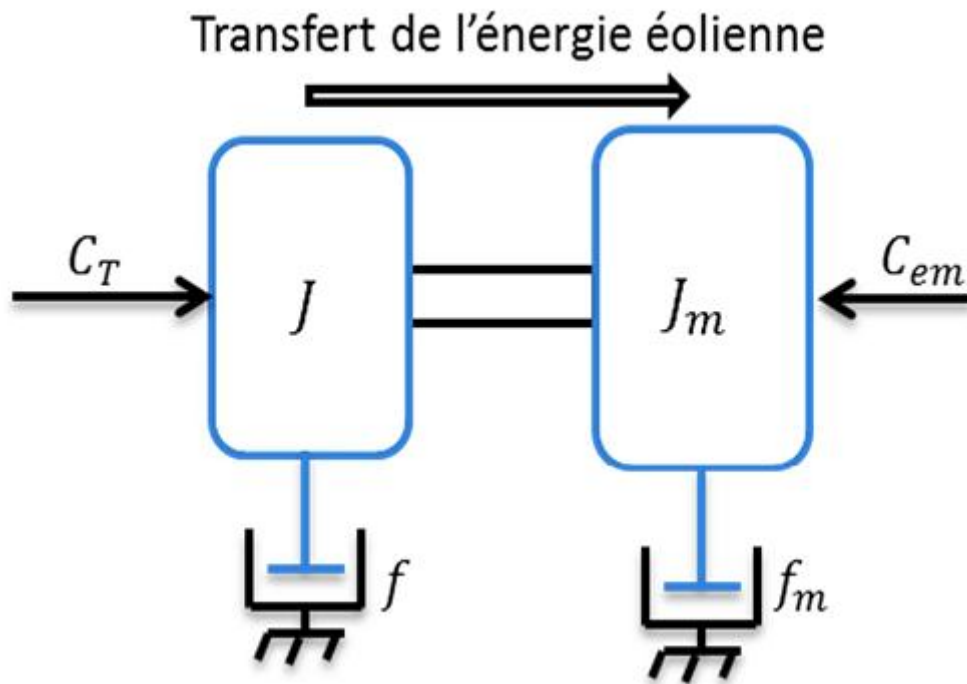


Figure III.5 Le couplage mécanique entre la turbine et la machine électrique .

L'équation différentielle qui caractérise le comportement mécanique de l'ensemble turbine et génératrice est donnée par:

$$\Delta C = C_T - C_{méc} = (J - J_m) \left(\frac{d\Omega_T}{dt} \right) + (f + f_m) \cdot \Omega_T \quad (\text{III.15})$$

Avec :

- ✓ J_m : inertie de la machine.
- ✓ f_m : coefficient de frottement de la machine.
- ✓ J : inertie de la turbine.
- ✓ f : frottement des pâles.
- ✓ C_T : le couple statique fournie par l'éolienne.
- ✓ $C_{méc}$: Couple mécanique présent sur l'arbre de la turbine.

Nous disposons uniquement des paramètres mécaniques de la machine et de l'inertie de la voilure. C'est pour cela que dans notre application, nous ne considérons que le coefficient de frottement associé à la génératrice (celui de la voilure n'est pas pris en compte).

$$J_{T0} = J + J_m \approx J \text{ ET } f_{T0} = f + f_m = f$$

Avec:

- ✓ J_{T0} Inertie Totale
- ✓ f_{T0} Coefficient de frottement Totale

Par suite, le modèle qui caractérise le comportement mécanique de la chaîne éolienne est donné par l'équation différentielle suivante:

$$C_T = C_{méc} + J \left(\frac{d\Omega_T}{dt} \right) + f \cdot \Omega_T \quad (\text{III.16})$$

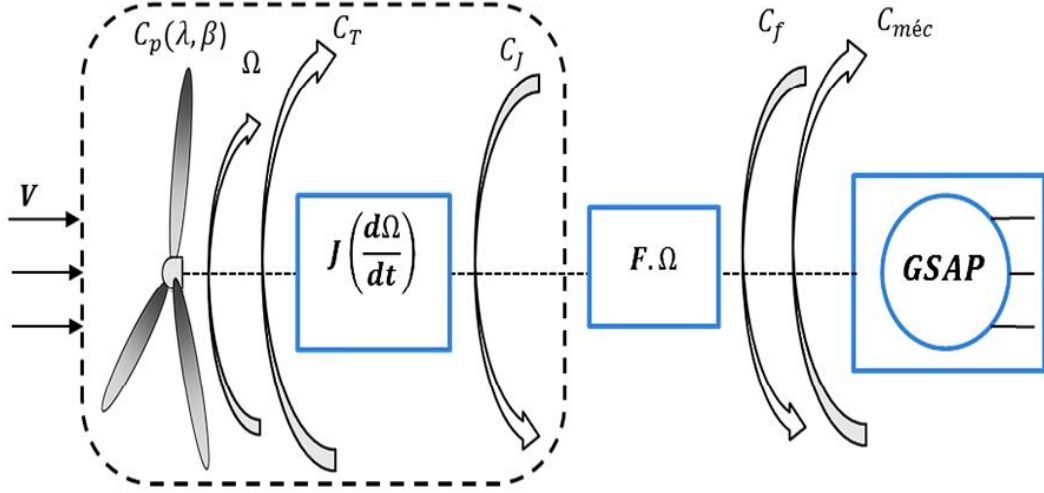


Figure III.6 Schéma bloc d'une turbine éolienne.

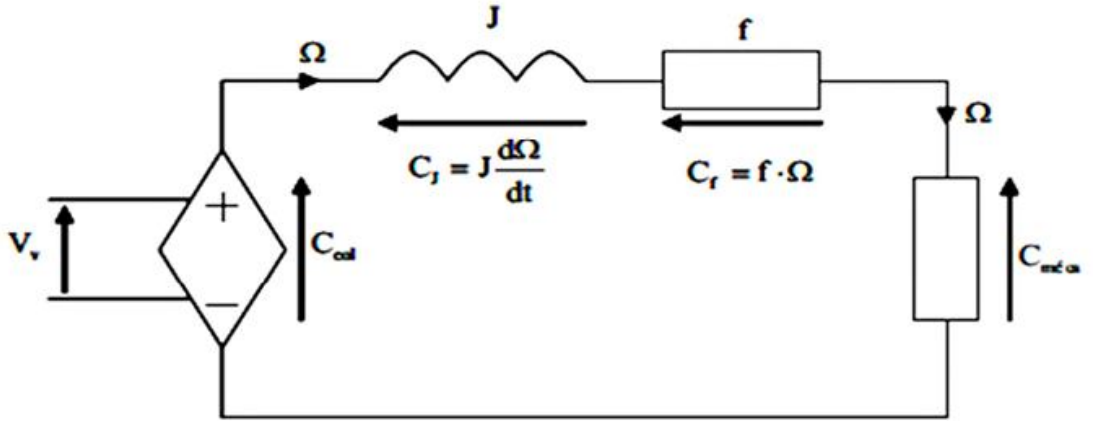


Figure III.7 Schéma électrique équivalent de la turbine éolienne

L'équation mécanique qui gère un tel ensemble est donnée par :

$$\Delta C = C_T - C_{méc} = J \left(\frac{d\Omega_T}{dt} \right) + f \cdot \Omega_T \quad (\text{III.17})$$

D'où, après le réarrangement des termes, la valeur de la vitesse obtenue par :

$$\Omega_T = \frac{1}{J} \int (\Delta C - C_f) dt \quad (\text{III.18})$$

où : $C_f = f \cdot \Omega_T$

la figure III.8 correspondant à cette modélisation de la turbine se déduit aisément des équations précédentes. Cette dernière génère le couple C_T entrées de la turbine sont la vitesse du vent V , l'angle d'orientation des pales β , et la vitesse de rotation de la turbine Ω_T . Le modèle de l'arbre décrit la dynamique de la vitesse de la turbine Ω_T , il a donc deux entrées : le couple C_T , le couple électromagnétique C_{mec} fourni par la génératrice. Le schéma montre que la vitesse de la turbine Ω_T peut être contrôlée par action sur deux entrées : l'angle de la pale β et le couple électromagnétique de la génératrice C_{mec} . La vitesse du vent V est considérée comme une entrée perturbatrice à ce système.

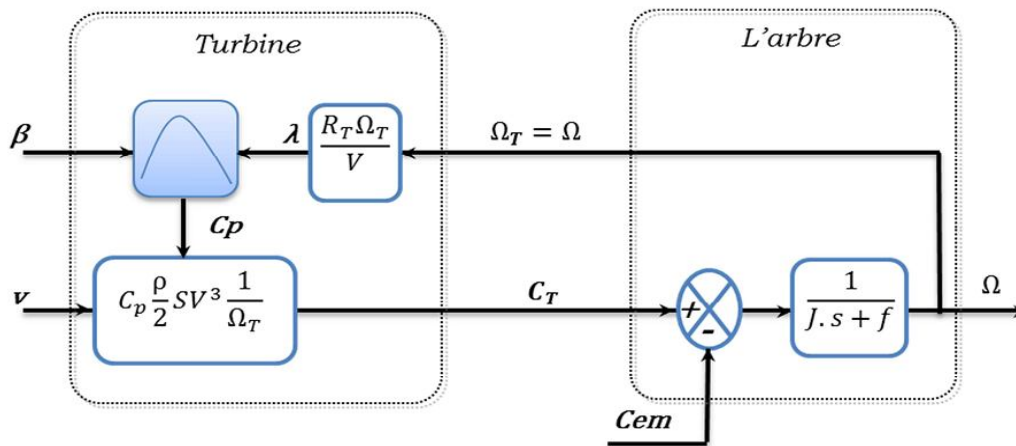


Figure III. 8 Schéma bloc du modèle de la turbine.

III-6 Simulation de la turbine:

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, on transforme les équations qui constituent le modèle du processus à étudier en schémas bloc.

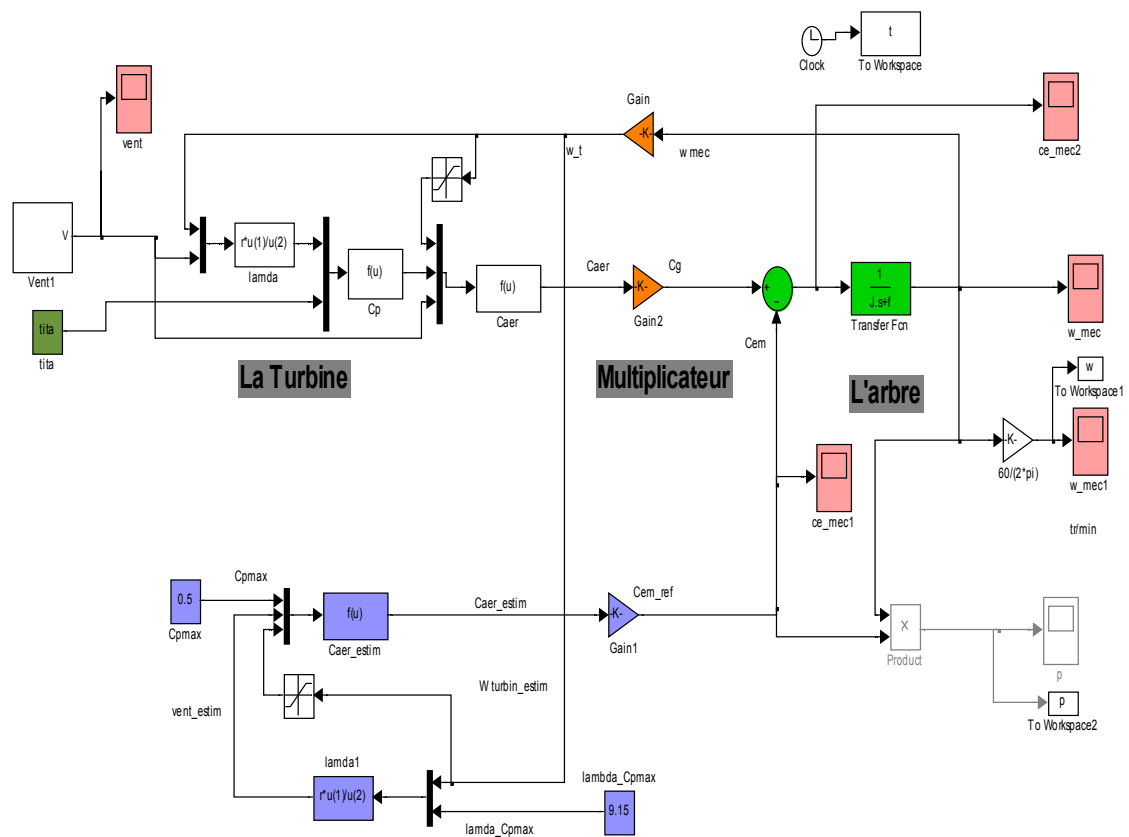


Figure III.9 Schéma bloc d'un système éolienne

Les Fig. III.10-a et III.10-b présente la vitesse de vent et la vitesse de rotation de la turbine, ainsi les Fig. III.10-c et III.10-d présente le couple et la puissance à la sortie de la turbine à vide et pour une vitesse moyenne du vent égale à 8.5m/s.

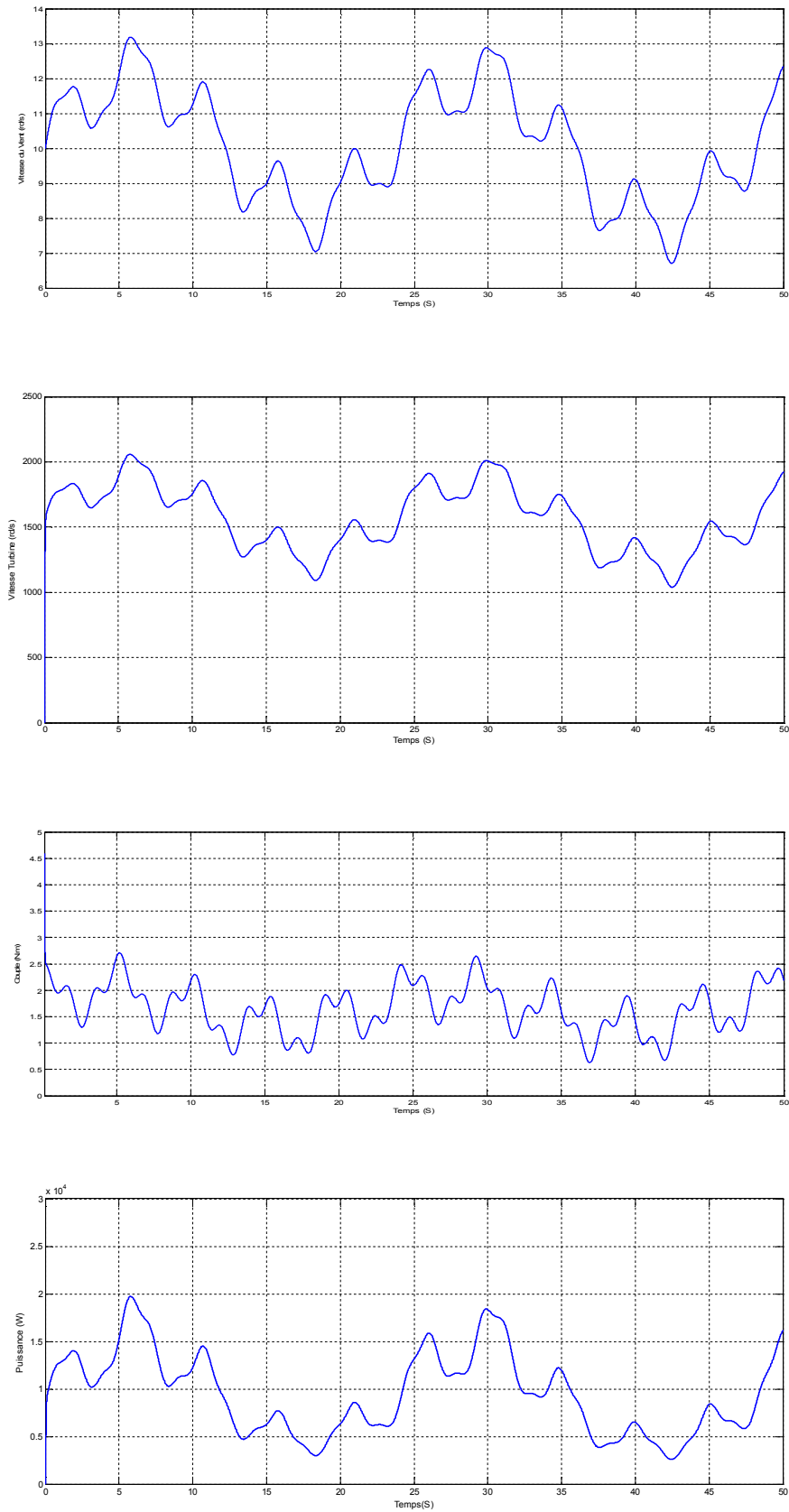


Figure III.10 a : Vitesse de vent, b : Vitesse mécanique de la turbine, c : Couple mécanique développée, d : Puissance mécanique produite par la turbine

III-7 Conclusion:

Dans ce chapitre, nous avons décrit les deux parties essentielles du système de conversion éolienne, la première représente la modélisation de la vitesse du vent dans la deuxième partie de ce chapitre, nous avons étudié la modélisation de la partie mécanique qui contient la turbine et l'arbre de la génératrice. Des résultats de simulation sont présentés.

Conclusion Générale

L'objectif principal de ce mémoire était l'étude d'une centrale éolienne. Pour cela on a traité les aspects qui englobent le développement d'un tel système : l'état de l'art des systèmes de conversion d'énergie éolienne, la modélisation, l'analyse de fonctionnement.

Dans le contexte d'énergie éolienne un état de l'art des systèmes de conversion d'énergie éolienne est présenté dans le premier chapitre. La production de l'énergie éolienne est de plus en plus importante et alors de nouvelles constructions apparaissent. Cette évolution dynamique est surtout visible dans le domaine du grand éolien grâce au développement de nouvelles technologies telles que les matériaux de construction, l'électronique de puissance et les techniques de commande.

Notre étude nous a permis de réaliser une modélisation mécanique d'un système de conversion d'énergie éolienne. Cette modélisation se démarque principalement par l'approche différente qui a été faite de la partie mécanique qui fait appel aux calculs aérodynamiques pour déterminer les relations liant la vitesse du vent, le couple et la vitesse de l'hélice.

Le premier chapitre nous a permis de dresser un panel de solutions électrotechniques possibles pour la production d'énergie électrique grâce à des turbines éoliennes. Après un rappel de notions nécessaires à la compréhension du système de conversion de l'énergie éolienne, différents types d'éoliennes et leur mode de fonctionnement ont été décrits. Dans le deuxième chapitre nous avons étudié les éléments constitutifs d'un aérogénérateur. L'aérogénérateur utilise l'énergie cinétique du vent pour entraîner l'arbre de son rotor : cette énergie cinétique est convertie en énergie mécanique qui est elle-même transformée en énergie électrique par une génératrice électromagnétique solidaire au rotor. Dans le troisième chapitre, on a présenté la partie mécanique qui contient la turbine et l'arbre de la génératrice. Nous avons étudié la modélisation de la partie mécanique de l'éolienne. Des résultats de simulation sont présentés.

BIBLIOGRAPHIE

[RR] **REDJEM Radia** "*Étude d'une chaîne de conversion d'énergie éolienne*"
UNIVERSITE MENTOURI DE CONSTANTINE Mémoire magistère 2009.

[BH] **BELGHITRI HOUDA** "*MODELISATION, SIMULATION ET OPTIMISATION D'UN
SYSTEME HYBRIDE EOLIEN-PHOTOVOLTAIQUE*" **U NIVERSITE ABOU-BAKR
BELKAID DE TLEMCEEN**. Mémoire magistère 2010.

[LT] **LATRECHE Mohammed Tahar** "*Commande Floue de la Machine Synchrone à Aimant
Permanant (MSAP) utilisée dans un système éolien*" **Université Ferhat Abbas de Setif**.
Mémoire magistère 2012.

[MJ] **M. JOURIEH** «*développement d'un modèle représentatif d'une éolienne afin d'étudier
l'implantation de plusieurs machines sur un parc éolien*» *Thèse de Doctorat Ecole
Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, 2007*

[TZ] **TIR ZOHEIR** «*Contribution à l'Etude d'un Aérogénérateur Asynchrone en Cascade*»
mémoire de magister Université Ferhat Abbas de Setif, 2010.

[AR] :A Rachedi «*optimisations d'une Installations photovoltaïque par la conceptions
.assistées
par ordinateur CAO*» Mémoire de magister université de Tlemcen ,2001

[AG]**Arnaud GAILLARD**" *Système éolien basé sur une MADA : contribution à l'étude de
la qualité de l'énergie électrique et de la continuité de service*" .Thèse doctorat Université
Nancy avril 2010.

RÉSUMÉ

L'exploitation des ressources renouvelables connaît un grand développement dans les pays industrialisés et même dans certains pays sous développés.

L'Algérie à fournit un grand effort pour l'électrification rurale et saharienne, en effet le taux l'électrification national pour l'année 2001 est de 96%, mais malgré à cet taux élevée il existe toujours des zones très isolée et leurs électrification est très coûteuse, a cet effet le système de ventilation aérienne(éoliennes) pour la production d'électricité considérée parmi les meilleurs solution pour résoudre ce type de problème.

Nous avons présentée dans nos mémoires de fin d'étude une étude détaillée sur les stations aérienne(éoliennes) et leur fonctionnement et on a fait une simulation par le logiciel MATLAB qui nous permet d'étudier et suivie les point d'exploitation optimal pour l'obtention d'une production maximale de la puissance électrique de différentes vitesse de vent.

ABSTRACT

The exploitation of renewable resources has been a great rise in industrialized countries and even in some underdeveloped countries.

Algeria is in a great effort to provide rural electrification and Saharan Africa. Indeed, the national electrification rate for the year 2001 is 96%. Despite the high rate, there are still scattered to their homes electrification through the extension of the conventional network is very expensive.

That's where the Aeolian system for the production of electricity(Aeolian)be fully self is the ideal solution for this type of problem.

We presented in our memories study detailed stations aerobic and how they work in the latter we have simulated, based on MATLAB which allows us to study in order to secure the neighborhood to trace the optimum operating point and having a maximum production of electrical power for different wind speeds.

Keywords: Aeolian system, point tracking Great Power, a renewable resource

ملخص

ان استعمال الموارد المتجددة عرف تطور كبير في البلدان المصنعة وايضا في بعض الدول السائر في الطريق النمو وفرت الجزائر جهد كبيرا للكهرباء القروية والصحراوية وبالفعل النسبة الوطنية لسنة ٢٠٠١ هي ٩٦% وبالرغم من هذه النسبة المترفعة يوجد دائما بؤر متعثرة وبالتالي تكون كهربتها بتمديد الشبكة مكلفة جدا.

حيث ان النظام الهوائي للإنتاج الكهربائي (ريحي) يكون بالكامل ذاتيا ويكن هو الحل المثالي لهذا النوع من المشاكل. نقدم في هذا البحث دراسة تفصيلية على المحطات الهوائية وكيفية عملها وفي الاخير قمنا بمحاكاة وذلك بالاعتماد على المطلب الذي يسمح لنا بدراسة من اجل تأمين التتبع الحي لنقطة الاشتغال المثلى لغرض الحصول على الانتاج الاعظمي للاستطاعة الكهربائية لمختلف سرعات الرياح.

المصطلحات: النظام الهوائي, تتبع نقطة الاستطاعة العظمى, الموارد المتجددة