

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



جامعة باجي مختار - عنابة

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR - ANNABA

BADJI MOKHTAR– ANNABA UNIVERSITY

Faculté : science de l'ingénierat

Département : électrotechnique

Domaine : Sciences et technologies

Filière : Electrotechnique

Spécialité : électrotechnique

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de licence

Thème : **Les énergies renouvelables**
énergie éolienne

Présenté par : *Nom et Prénom*

–*NehalaNardjes*

–*Guedouarmohamedabdennour*

Jury de Soutenance :

Rapporteur:Mr.Mihoub

Président:Mr.Adjabi

Remerciement :

Nous tenons beaucoup à remercier

Toutes personnes ayons collaboré de

Prés ou loin a la préparation de ce mémoire

Nous exprimons notre profonde gratitude

**A tous les enseignants qui ont dirigés notre
travail surtout**

Mr.Mihoub

Dédicace

Avant tout je tiens à remercier mon dieu le tout puissant pour son aide et le courage qu'il m'a donné pour difficultés durant mes années des études,

Je dédie ce modeste travail à ma chère mère et mon père qui toujours me soutenue et qui contribue efficacement à mes réussites et ma seule sœur et mes frères et qui j'ai adoré tant et que dieu me les protège je leurs témoignes tous amour et toute reconnaissance.

Je remercie Toute la famille **Nehala**

et toute mes amis surtout:

Nada - Khaoula

Nardjes

Dédicace

Avant tout je tiens à remercier mon dieu le tout puissant pour son aide et le courage qu'il m'a donné pour difficultés durant mes années des études,

Je dédie ce modeste travail à ma chère mère et mon père qui toujours me soutenue et qui contribue efficacement à mes réussites et ma grande sœur et mon frère Et je remercie mon oncle : ALI BOUKHATEM et j'espère que dieu les protège.

Je remercie Toute la famille **Guedouar**

toute mes amis surtout:

Alla ; Achref ; Hakim ; Mohamed ; Amir ; fateh

Mohamed Abdennour

Les indices

λ : vitesse réduite

R: rayon de la voile

Ω : vitesse de rotation

V: vitesse du vent

m: Est la masse par seconde (kg/s).

ρ : La densité de l'air (kg/m³).

S: La surface balayée par le rotor (m²).

V: La vitesse moyenne du vent traversant le rotor (m/s).

P: La puissance extraite par le rotor (W).

m: Est la masse par seconde (kg/s).

V1: La vitesse avant le passage à travers le plan de rotor (m/s).

V2: La vitesse après le passage à travers le plan de rotor (m/s).

P0 : La puissance totale d'un flux d'air non perturbé (W).

Cp: une limite maximale du rendement des éoliennes.

Sommaire:

Introduction générale :

Chapitre 01: les énergies renouvelable

1-Energie renouvelable

Les différents types des énergies renouvelables

2-L'énergie Hydraulique

2-1Principe de fonctionnement

2-2-La place de l'hydraulique

3-L'énergie De La Biomasse

3-1-Constitution De La Biomasse

3-2-Principe De Fonctionnement

4-Les énergies Marines

4-1-Principe De Fonctionnement

5-L'énergie De La Géothermie:

5-1-Principe De Fonctionnement De La Géothermie

6-L'énergie solaire

6-1-Principe de fonctionnement

7-L'énergie éolienne

7-1-Principe de fonctionnement d'une éolienne

8-Les avantages des énergies renouvelables

9. Les inconvénients des énergies renouvelables

Conclusion

Chapitre 02: énergie éolienne

Introduction

1-Définition

2-Les types des éoliennes

3-Les principaux composants d'une éolienne

4-Application des éoliennes

5-Potentiel énergétique

6-Conversion d'énergie aérodynamique

7-Le coefficient de puissance

8-Le coefficient de vitesse réduite

9-La limite de Betz

10-Classement des types d'éolienne en fonction du coefficient de puissance

11-Générateur

Générateur asynchrone à cage d'écureuil

Générateur asynchrone à Rotor bobiné

Générateur asynchrone à double alimentation

Générateur synchrone

Générateur synchrone à rotor bobiné

Générateur synchrone à aimants permanent

Conclusion générale

I n t r o d u c t i o n :

L'énergie électrique est un élément crucial pour tout développement Socio-économique. Elle est devenue dans la vie quotidienne des populations, notamment dans les pays développés, une forme d'énergie dont on peut se passer. Vu l'ampleur de l'industrialisation de ces dernières décennies, la multiplication des appareils domestiques de plus en plus gourmands en consommation d'énergie électrique, la demande en énergie électrique est devenue très importante. Face à cela et avec la diminution du stock mondial en hydrocarbure et surtout la crainte d'une pollution de plus en plus envahissante et destructive pour l'environnement, les pays industrialisés ont massivement fait recours aux centrales nucléaires. Cette source d'énergie présente l'avantage indéniable de ne pas engendrer de pollution atmosphérique contrairement aux centrales thermiques traditionnelles, mais le risque d'accident nucléaire(comme la catastrophe de Tchernobyl du 26 avril 1986 qui reste dans la mémoire commune), le traitement et l'enfouissement des déchets sont les problèmes bien réels qui rendent cette énergie peu attractive pour les générations futures Face à ce dilemme, il s'avère nécessaire de faire appel à des sources d'énergie nouvelles qui seront sans conséquence pour l'homme et l'environnement. C'est ainsi que les pays industrialisés se sont lancés dans le développement et l'utilisation des sources d'énergie renouvelables comme le solaire, la biomasse, la géothermie, la marémotrice, l'hydraulique...

Chapitre : 01

Les énergies renouvelables

1 EnergiesRenouvelables:

Les énergies renouvelable (**ouENR**) désignent un ensemble de moyens de produire de l'énergie a partir de sources ou des ressources théoriquement illimites, disponibles sans limite de temps ou reconstitués plus rapidement qu'elles ne sont consommées.

On parle généralement des énergies renouvelables par opposition aux énergies tirées des combustibles fossiles dont les stocks sont limités et non renouvelables aux l'échelle du temps humain : charbon, pétrole, gaz naturel Au contraire, les énergies renouvelables sont produites à partir de sources comme les rayons du soleil, ou le vent, qui sont théoriquement illimites à l'échelle humaine.

Les énergies renouvelables sont également désignées par le terme (**énergiesvertes**) ou (**énergiespropres**). Le faible impact environnemental de leur exploitation en fait un élément majeur des stratégies RSE des entreprises en matière de développement durable.



Figure 1.1 : Energie Renouveable

Les différents types des énergies renouvelables

Il existe plusieurs types d'énergies renouvelables, produites à partir de sources différentes.

2-L'énergieHydraulique :

Si la terre est communément appelé "planète bleue", c'est qu'elle est recouverte à plus de **70%** par l'eau ce qui donne, vu de l'espace, cette couleur bleue. La présence de cet élément la différencie, à ce jour, de toutes les autres planètes puisqu'elle est source de vie.

Cette eau (1,4 milliard de **KM3** soit **400** fois la méditerranée) est salée à **97%** (mers et océans).les **3%** restants, l'eau des fleuves, lacs, nappes souterraines et des glaciers est douce.

L'eau effectue un cycle (cycle hydraulique) dont le soleil est le moteur. Au cours de ce parcours, des échanges vont s'effectuer et l'eau va prendre différents états: liquide, solide (glace), ou gazeux (vapeur de l'eau).

Ce cycle est immuable. Si certaines régions ont des pluviométries différentes en fonction des saisons et de leur localisation géographique, l'eau, à l'échelle de la planète, se renouvelle de manière pérenne.



Figure 1.2 : Barrage Hydraulique

2-1Principedefonctionnement:

La production d'électricité hydraulique exploite l'énergie mécanique (cinétique et potentielle) de l'eau .le principe utilisé pour produire de l'électricité avec la force de l'eau est la même que pour les moulins à eau de l'antiquité. Au lieu d'activer une roue, la force de l'eau active une turbine qui déclenche un alternateur et produit de l'électricité.

Ces installation sont appelées des centrales hydrauliques ou hydroélectriques ce sont ces constructions gigantesques qui enjambent certains fleuves ou encoure ces impressionnants barrages qui l'on voit aux confins des lacs, mais également des petites centrales sur des petits cours d'eau.

2-2-Laplacedel'hydraulique:

L'hydroélectricité est la troisième source de production électrique mondiale, derrière le charbon et le gaz (énergies fossiles) qui restent très utilisés notamment dans des pays comme la Chine ces ressource non renouvelables émettent des gaz à effet de serre

Participent au changement climatique.

3-L'énergieDeLaBiomasse :

L'énergie issue de la biomasse est une source d'énergie renouvelable qui dépend du cycle de la matière vivante végétale et animale. L'énergie biomasse est la forme d'énergie la plus ancienne utilisée par l'homme depuis la découverte du feu à la préhistoire. Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité grâce à la chaleur dégagée par la combustion de ces matières (bois, végétaux, déchets agricoles, ordures ménagères organiques) ou du biogaz issu de la fermentation de ces matières, dans des centrales biomasses



Figure 1.3 : Energie de la Biomasse

3-1-ConstitutionDeLaBiomasse :

On a distingue trois principaux, auxquels correspondent des procédés de valorisation spécifiques :

La biomasse, cellulose et lignine, constituée par: Le bois et les résidus verts,

La paille, La bagasse de canne à sucre, Le fourrage.

La valorisation se fait plutôt par des procédés par voie sèche, dits conversion thermochimiques

La biomasse à glucide, riche en substances glucidiques facilement hydrolysables : Les céréales, Les betteraves sucrières et Lescannes sucre

La valorisation se fait plutôt par fermentation ou par distillation dits conversions biologique

La biomasse oléagineuse, riche en lipides : Colza, Palmier à l'huile, etc.

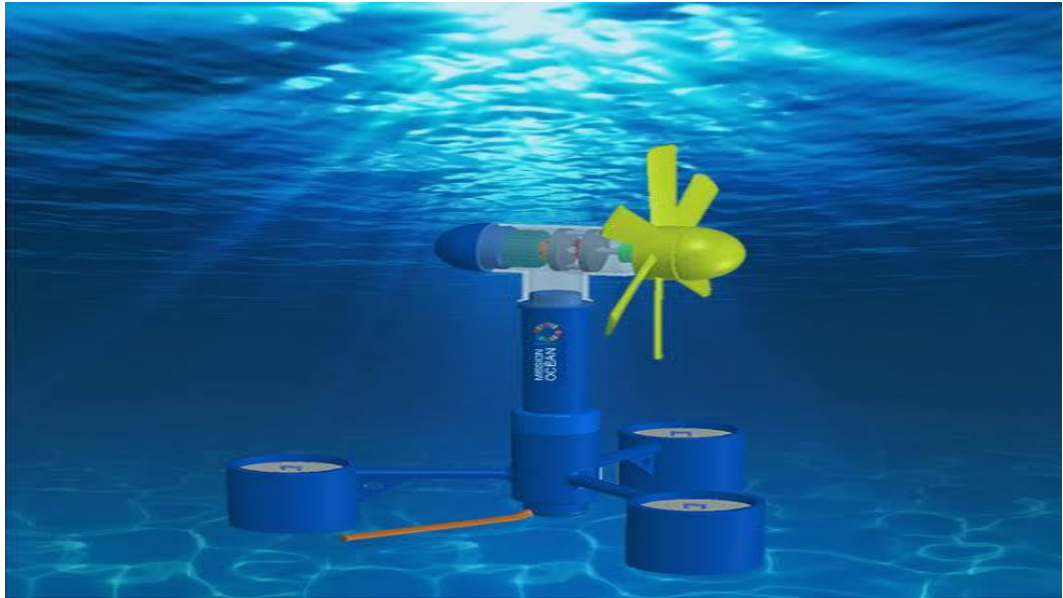
Elle peut être utilisée comme carburant .il y a deux familles de biocarburants : les esters d'huiles végétales (colza) et l'éthanol, produit a partir de blé et de betterave.

3-2-PrincipeDeFonctionnement:

Le principe de fonctionnement d'une centrale à biomasse est très simple .il est même en réalité similaire a celui d'une chaudière voir a celui d'une chaudière à cogénération dans certain cas .globalement, la chaleur produite par la combustion va chauffer un réservoir d'eau qui va alors produire de la vapeur un peu à la manière d'une cocotte minute .cette vapeur d'eau va alors dégagée à haute pression, ce qui va permette de faire tourner une turbine relie à un alternateur.

C'est cet intéressant dans les centrales à biomasse celui qui va permettre de produire de l'électricité.

Ce qui est intéressant dans les centrales à biomasse, c'est surtout celles qui permettent de produire de 'électricité a partir des élément dont nous n'avons plus besoin.



4-Les énergies Marines :

Les énergies marines dépendent des ressources naturelles des eaux des mers et des océans. Elles permettent de produire de l'électricité grâce aux flux naturels d'énergie des courants et des marées, et à la matière marine, exploités dans différents types d'installations.

L'eau recouvre en grande partie notre planète, principalement à travers les mers et les océans. Elle constitue donc une source d'énergie importante, aujourd'hui encore peu exploitée.

Les énergies marines n'émettent aucun gaz à effet de serre et leur matière première est disponible dans de nombreux pays du monde.

- ❖ L'énergie de la houle et des vagues (Holométrie), qui utilise les mouvements verticaux des ondes de houle;
- ❖ L'énergie des courants marins (courants de houle, courant thermohalin, etc.), qui actionne différents types de turbine ;
- ❖ L'énergie éolienne offshore, qui profite des vents marins plus puissants et plus réguliers ;

- ❖ L'énergie thermique des mers (ETM), qui exploite le gradient thermique entre les eaux de surface et les eaux profondes ;
- ❖ L'énergie osmotique qui utilise les différences de salinité pour produire un flux d'eau ;
- ❖ La biomasse marine, en particulier pour produire des biocarburants à partir des algues.

Les énergies marines ne se sont donc pas uniquement hydrauliques .elle ont aussi des composantes éoliennes, hydro thermiques, etc. l'exploitation de l'une ou l'autre de ces formes d'énergies renouvelables dépend surtout des spécifique locales, certain lieux étant plus propices à l'éolienne offshore, d'autres aux hydroliennes, etc.

L'importance des mass océaniques sur la terre et la diversité des modes d'exploitation dotent Cs énergie marine une potentielle énergétique très important.



Figure 1.4 :L'énergie Marémotrice

4-1-PrincipeDeFonctionnement:

L'énergie des courants marins, captés sous la surface de l'eau à l'hydroliennes (éoliennes sous-marines, fixées au sol dont les pales sont actionnées par le flux d'eau qui les traverse) les contraintes d'installation et de maintenances représentent un défi technologique de mieux en mieux maîtrisé. Une expérimentation a été lancée à Paimpol-Bréhat pour une mise en service et un accordement au réseau d'ici la fin de l'été 2012. L'énergie produite par les hydroliennes sera captée en mer par un convertisseur, puis transporté par câble sous-marin de **15** kilomètres jusqu'à terre.



5-L'énergieDeLaGéothermie:

La géothermie, du grec géo (La terre) et thermos (La chaleur) un mot qui désigne à la fois la science qui étudie les phénomènes thermiques internes du globe terrestre, et la technologie qui vise à l'exploiter. Par extension, la géothermie désigne aussi parfois l'énergie géothermique issue de l'énergie de la terre qui est convertie en chaleur.

Cette énergie permet de fabriquer de l'électricité dans les centrales géothermiques, grâce à l'eau très chaude des nappes dans le sous-sol de la Terre.

La température des roches augmente en moyenne de 1 °C tous les 30 m de profondeur. En certains points du globe, en particulier dans les régions volcaniques, qui correspondent à des intrusions de magma dans la croûte terrestre, cela peut aller jusqu'à 100 °C par 100 m.

Une centrale géothermique est composée de 3 parties :

- La pompe ❖
- L'usine qui produit l'électricité ❖

Figure 1.5 : Energie géothermique



Type De Géothermie :

On distingue habituellement trois types:

- ❖ La géothermie peu profonde.
- ❖ La géothermie profonde à haute température.
- ❖ Géothermie des roches chaudes sèches

Basée sur la fracturation et la création d'un "échangeur thermique profond " qu' il faut périodiquement décolmater;

- ❖ Géothermie des roches naturellement fracturées
- ❖ Géothermie stimulée EGS.
- ❖ La géothermie très profonde à très haute température.

Ces trois types de géothermie ont en commun de prélever la chaleur contenue dans le sol, issue de la pression et dans certains cas, d'une plus ou moins grande proximité du magma.

5-1-PrincipeDeFonctionnementDeLaGéothermie:

Pour utiliser cette énergie souterraine, on envoie de l'eau froide sous la terre. Cette eau froide se réchauffe. Elle est alors pompée et ramenée à la surface elle est utilisée soit pour produire de l'électricité dans une centrale, soit directement en tant qu'eau chaude dans le logement (eau chaude pour la douche, les radiateurs.....).

6-L'énergiesolaire:

L'énergie solaire est l'énergie transmise par le soleil sous la forme de lumière et de chaleur, cette énergie est virtuellement inépuisable à l'échelle des temps humains, ce qui lui vaut d'être classée parmi les énergies renouvelables

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique dans lequel on trouve notamment les rayons cosmiques, gamma, X, la lumière visible, l'infrarouge, les micro-ondes et les ondes radios en fonction de la fréquence d'émission. Tous ces types de rayonnement électromagnétique émettent de l'énergie. Le niveau d'irradiante (le flux énergétique) arrivant à la surface de la terre dépend de la longueur d'onde du rayonnement solaire et de l'irradiation solaire sur la terre.

Elle peut être utilisée directement par l'homme pour s'éclairer se chauffer et cuisiner, ou pour produire de l'électricité par l'intermédiaire de panneaux photovoltaïques.

D'où on a deux grandes familles d'énergie solaire qui se distinguent:

-L'énergie solaire thermique: qui utilise la chaleur transmise par le rayonnement.

-L'énergie photovoltaïque: qui utilise le rayonnement lui-même.



Figure. I.6 : Energie Solaire.

6-1-Princioe de fonctionnement :

Comprendre le fonctionnement d'un panneau solaire photovoltaïque est essentielle lorsque l'on souhaite recourir à cette technologie. Le module solaire photovoltaïque est un système capable de capter l'énergie envoyée par le soleil vers la terre, et de la convertir en courant électrique continu. Il existe également des équipements qui produisent de l'eau chaude à partir de l'énergie solaire. **Le fonctionnement d'un panneau solaire photovoltaïque** repose sur plusieurs éléments:

Un module composé de cellules photovoltaïques transformant l'énergie en tension électrique continue.

Un système de montage, également appelé système d'intégration à la toiture qui ancre le panneau photovoltaïque au bâti ;

Un abri qui établit une jonction étanche entre le panneau et le reste de la toiture.

À cela s'ajoutent les équipements électriques, et en particulier l'onduleur qui transforme le courant continu en courant alternatif et permet d'alimenter votre maison, ou le réseau public de distribution d'électricité.

7-L'énergieéolienne:

L'énergie éolienne est une forme indirecte de l'énergie solaire, puisque ce sont les différences de températures et de pressions induites dans l'atmosphère par l'absorption du rayonnement solaire qui mettent les vents en mouvement. L'utilisation du vent par l'homme ne date pas d'aujourd'hui, elle est très ancienne. De nos jours l'énergie mécanique du vent produit l'électricité. Le principe des éoliennes s'inspire de celui des moulins à vent et à eau autrefois utilisé pour moudre le grain ou pomper l'eau. L'éolien est l'une des énergies renouvelables les plus<< prometteuses » à développer. Elle est intéressante d'un point de vue économique et environnemental. Pendant ces dernières années l'éolien c'est très fortement développé, dans le monde et plus particulièrement en



Europe. Les avancements technologiques dans ce domaine, ne cessent de progresser.

Figure. I.7 : Energie éolienne

8-1-Principedefonctionnementd'uneéolienne:

Son fonctionnement est simple est s'inspire de la technologie des moulins a vents. La machine se compose de trois pales (en générale) portées par un rotor et installées au sommet d'un mat vertical. Cet ensemble est fixé par une nacelle qui abrite un générateur. Un moteur électrique permet d'orienter la partie supérieure afin qu'elle soit toujours face au vent.

Les pales permettent de transformer l'énergie cinétique (énergie qui possède un corps du fait de son mouvement) du vent énergie mécanique.

Le vent fait tourner les pales entre **10** et **25** tours par minute.la vitesse de rotation des pales est fonction de la taille de celle-ci. Plus les palles seront grandes, moins elles tourneront rapidement.

Le générateur transforme l'énergie mécanique en énergie électrique. La plupart des générateur ont besoin de tourner a grande vitesse (de **1000** à **2000** tours par minute). Pour produire de l'électricité. Ainsi, la multiplication a pour rôle d'accélérer le mouvement lent des pales.

L'électricité produite par le générateur à une tension d'environ **690** volts. Ne pouvant pas être utilisée directement, et sa tension est augmentée à **20000** volts.

Elle est alors injectée dans le réseau électrique et peut être distribuée entre **14** et **90** KM .h au delà, elles s arrêtent pour des raisons de sécurité. La production électrique varie selon la vitesse du vent. C'est avec des vents de **45** à **90** km .h que l'éolienne produit sa puissance maximal

8-Les avantages des énergies renouvelables :

Les avantages des énergies renouvelables sont nombreux, car ces dernières sont en général propres, sûres et surtout, elles existent en quantité illimitée (contrairement aux énergies fossiles).

-Sûreté: En les utilisant en majorité, on retrouverait une stabilité climatique, économique, environnementale et sociale surtout en développant de grandes centrales thermiques. La sûreté est l'un des avantages principaux, car il existe de très faibles risques d'accident.

-Peu de déchets: Elles génèrent également peu de déchets, et ces déchets sont parfois recyclables.

-La décentralisation des énergies renouvelables est aussi un facteur positif très important pour développer certains territoires et le développement local. Le marché du travail concernant ces énergies représente presque un million deux cent mille emplois surtout dans le photovoltaïque, l'éolien et la biomasse. Ces énergies respectent l'environnement pendant leur fabrication, leur fonctionnement ET lors de leur fin de vie, au moment de leur démantèlement.

Pour résumer, ces énergies renouvelables permettent de réduire considérablement l'émission de CO₂. Elles ne généreraient pas non plus de déchets radioactifs dangereux et leurs ressources seraient infinies grâce au vent, à l'eau et au soleil. Des études menées prétendent qu'en théorie, la planète pourrait entièrement être alimentée grâce aux énergies renouvelables en utilisant seulement un carré de **500000km** comprenant des panneaux solaires. Cette surface représente environ celle de l'Espagne. Cette vision produite par les énergies renouvelables EST séduisante a priori, mais elle masque de nombreux inconvénients

10. Les inconvénients des énergies renouvelables:

Leur disponibilité dépend du climat. Pour celles fonctionnant au solaire, il n'est possible d'utiliser que **50%** de leur capacité réelle dans les zones équatoriales et encore moins à cause de la disparition du soleil pendant plusieurs mois dans les pôles. En outre, quand le ciel EST nuageux, le rayonnement solaire est moindre. Lors de périodes anticycloniques, il n'y a pas de vent. Cette énergie n'est pas très stable.

La responsabilité sur le réchauffement climatique des énergies renouvelables est un inconvénient majeur. Elles sont souvent présentées et admises pour justement résoudre ce problème, mais pour que ce soit réel, il faudrait diminuer considérablement la consommation des énergies fossiles comme le pétrole, le charbon ou le gaz et mieux maîtriser l'énergie renouvelable pour l'économiser davantage.

L'impact visuel sur le paysage est à prendre en compte surtout lors de constructions de grandes centrales solaires ou de champs d'éoliennes.

Ces production décentralisées aideraient à diminuer le nombre de lignes a haute tension. Elles restent donc une pollution pour la faune. De plus, les expériences menées déjà dans certains pays montrent qu'elles aident à l'accroissement de ces mêmes lignes.

Les problèmes majeurs pour la faune sont les barrages hydroélectriques, car ils inondent des vallées entières et ont un fort impact négatif sur l'écosystème. Les poissons migrent difficilement vers leurs lieux de reproduction - même si des passes à poissons ont été construites. Les éoliennes sont un danger pour les oiseaux et les chauves-souris.

Conclusion :

. Pour conclure, les énergies renouvelables auront sans doute une place plus importante dans le futur car elles apparaissent de plus en plus dans le monde et se développent un peu partout de nos jours. En effet, comme certaines énergies fossiles diminuent lentement, tel que la réserve de pétrole, on prévoit grâce aux énergies renouvelables d'autres ressources. De plus, ces énergies sont propres, moins polluantes et participent moins au réchauffement climatique contrairement aux énergies fossiles et nucléaires. Cependant aujourd'hui la production d'origine renouvelable reste nettement inférieure à la demande énergétique, et il est difficile de penser que dans le futur les énergies renouvelables pourraient répondre à tous les besoins en énergie. Nous pouvons alors nous demander : Comment dans les années à venir pourrait-on répondre aux besoins énergétiques avec la pénurie des réserves en énergie fossile et de l'enjeu du réchauffement climatique..

Chapitre : 02

L'énergie éolienne

Introduction :

Depuis plusieurs années, la protection de l'environnement a suscité beaucoup d'intérêt et conséquemment, plusieurs technologies se sont développées. C'est le cas de l'énergie éolienne.

On utilisait cette source énergie pour pomper de l'eau ou pour moudre le blé afin d'en faire de la farine. De nos jours, cette source d'énergie sert encore à pomper l'eau mais elle est principalement utilisée pour produire de l'électricité, et ce sans aucun effet néfaste sur l'environnement. La hausse des coûts d'exploitation des centrales nucléaires et des carburants fossiles ont aussi permis à l'énergie éolienne de devenir beaucoup plus compétitive.

1-Définition d'énergie éolienne :

L'énergie éolienne qui doit son nom au dieu grecque responsable des vents Nommé Eole, est produite par la force exercée par le vent sur les pales d'une hélice. Il est possible ainsi de produire deux sortes d'énergies. Premièrement, l'hélice peut se relier à des systèmes mécaniques servant à moudre le grain ou

à pomper l'eau (il s'agit du principe des moulins à vent). Il est aussi possible de rattacher l'hélice à un générateur transformant l'énergie mécanique en énergie électrique. La quantité d'énergie produite dépend en premier lieu de la vitesse du vent élevée au carré, puis de la surface balayée par les pales et de la densité de l'air. Il faut pour produire de l'électricité un apport minimal du vent d'environ **12-14km/h** et des vents de **50-60km/h** pour produire à pleine puissance. Afin d'éviter d'abîmer l'équipement, la production doit être interrompue si les vents dépassent les **90km/h**.



Figure 1.1 : Ferme des éoliens

2-Les types d'éolienne:

Généralement il y a deux types d'installation des éoliennes : l'éolienne qui n'est pas raccordée au réseau dite " individuelle" est installée en site isolé ; le deuxième mode concerne les éoliennes regroupées sous forme de fermes éoliennes installés sur la terre ou de plus en plus en mer avec les fermes "offshore " ou' la présence du vent est plus régulière. Avec les fermes "offshore" on réduit les nuisances sonores et on améliore l'esthétique. Du point de vue structure, on distingue deux grands types d'éoliennes qui sont:

L'éolienne à axe vertical:

Les pylônes des éoliennes à axe vertical sont courts, entre **0,1** et **0,5** fois la hauteur du rotor. Cela permet de placer tout le dispositif de conversion de l'énergie (génératrice, multiplicateur, etc.) au pied de l'éolienne, facilitant ainsi les opérations de maintenance. De plus, il n'est pas nécessaire d'utiliser un dispositif d'orientation du rotor. Cependant, les vents sont faibles à proximité du sol, ce qui induit un moins bon rendement car l'éolienne subit les turbulences du vent. De plus, ces éoliennes doivent être entraînées au démarrage et le mât subit de fortes contraintes mécaniques pour ces raisons, de nos jours, les constructeurs d'éoliennes privilégient les éolienne à axe horizontal. Les deux types des structures d'éoliennes à axe vertical les plus répandues reposent sur les principes de traînée différentielle ou de la variation cyclique d'incidence



Figure2.2 : Eolienne à axe vertical

Le rotor de Savonius :

Dont le fonctionnement est basé sur la principe de la traînée différentielle. Les efforts exercés par le vent sur chacune des faces d'un corps creux sont d'intensités différentes. Il en résulte un couple entraînant de l'ensemble.

Le rotor de Darrieux :

Est basé sur le principe de la variation cyclique d'incidence. Un profil, placé dans un écoulement d'air selon différents angles, est soumis à des forces d'intensités et de directions variables. La résultante de ces forces génère alors un couple moteur entraînant la rotation du dispositif.

Eoliennes à axe Horizontal :

Les éoliennes à axe horizontal sont basées sur le principe des moulins à vent. Elles sont constituées d'une à trois pales profilées aérodynamique ment le plus souvent le rotor de ces éoliennes est tripale, car trois pales constituent un bon compromis entre le coefficient de puissance, le cout et la vitesse de rotation du capteur éolien ainsi que l'aspect esthétique par rapport aux bipales. Les éoliennes à axe horizontal sont les plus employées car leur rendement aérodynamique est supérieur à celui des éoliennes à axe vertical, elles sont moins exposées aux contraintes mécaniques.

Figure 2.3 : Eolienne à axe horizontal



Il existe deux catégories d'éolienne à axe horizontal

Amont:

Le vent souffle sur le devant des pales en direction de la nacelle. Les pales sont rigides, et le rotor est orienté selon la direction du vent par un dispositif.

Aval:

Le vent souffle sur l'arrière des pales en partant de la nacelle. Le rotor est flexible, auto orientable. La disposition turbine en amont est la plus utilisée car plus simple et donne de Meilleurs résultats pour les fortes puissances: pas de gouverne, les efforts de manœuvre sont moins importants et il y a une meilleure stabilité. Les pales des éoliennes à axe horizontal doivent toujours être orientées selon la direction du vent. Pour cela, il existe des dispositifs d'orientation de la nacelle en fonction de cette direction.

3-Les principaux composants d'une éolienne:

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

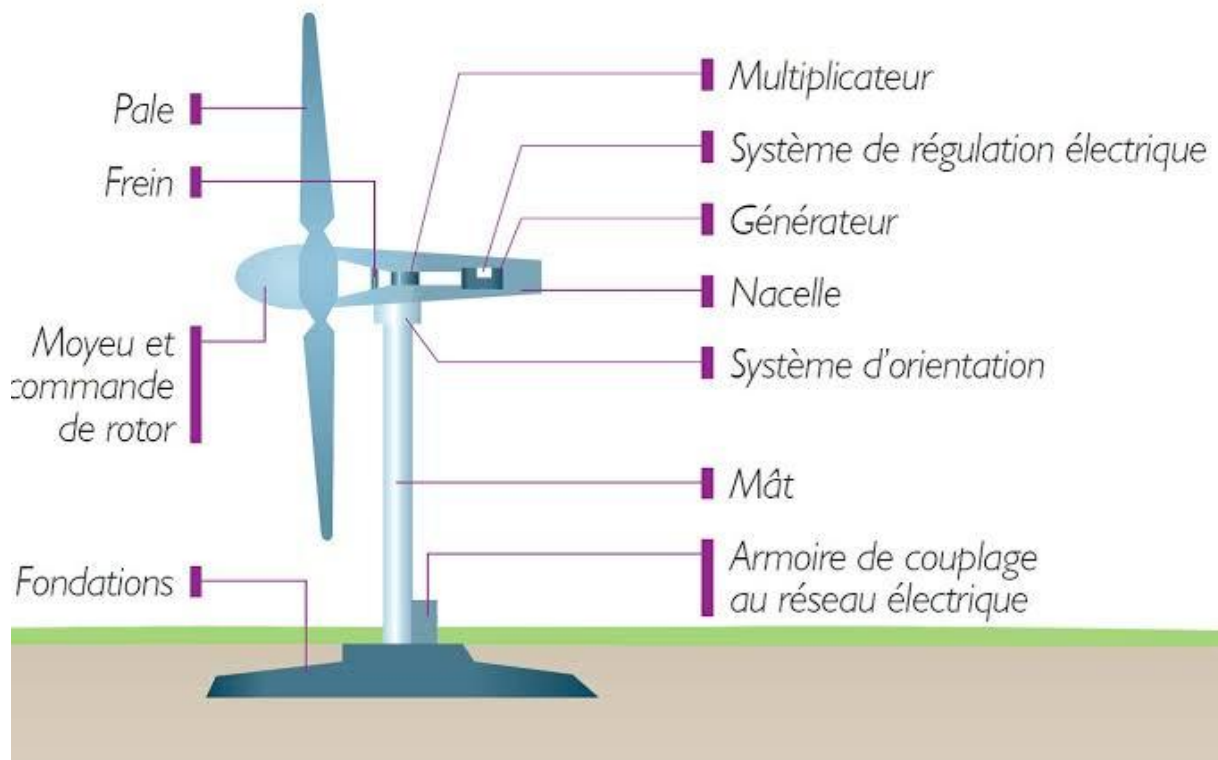


Figure 2.4 : Différentes parties d'une éolienne

L'atour:

Elle doit être le plus haute possible pour éviter les perturbations près du sol. Etant donné que la vitesse du vent augmente lorsque l'on s'éloigne du sol, une tour peut mesurer entre **50** et **80** m de haut. La tour à la forme d'un tronc en cône ou, à l'intérieur, sont disposés les câbles de transport de l'énergie électrique, les éléments de contrôle, les appareillages de connexion au réseau de distribution ainsi que l'échelle d'accès à la nacelle.

La nacelle:

Regroupe tous les éléments mécaniques permettant de coupler le rotor éolien au générateur électrique: arbres lent et rapide, roulement, multiplicateur. Le générateur qui est généralement une machine synchrone (MS) ou asynchrone (MAS) et les systèmes hydrauliques ou électriques d'orientation des pales. A cela viennent s'ajouter le système de refroidissement par air ou par eau, un anémomètre est le système électronique de gestion de l'éolienne.

Le rotor:

Formé par les pales assemblées dans leur moyeu. Pour les éoliennes destinées à la production d'électricité, le nombre de pales varie classiquement de **1 à 3**, le rotor tripale étant de loin le plus répandu car il représente un bon compromis entre le cout, le comportement vibratoire, la pollution visuelle et le bruit.

Les dimensions d'une éolienne sont beaucoup plus grandes qu'on l'imagine. La tour peut atteindre jusqu'à **80** mètre avec une nacelle qui peut avoir des longueurs énormes selon la quantité d'énergie que l'éolienne est susceptible de récolter en une année.

4-Application des éoliennes :

Les grands aérogénérateurs récents, installés dans les parcs éoliens, développent une puissance d'environ **2MW**, ce qui permet d'alimenter en électricité environ **2000** foyers (hors chauffage). Le mât est en général deux fois plus haut que la longueur des pales : de l'ordre de **100m** pour des pales de 50 m.

Les petites éoliennes domestiques destinées aux particuliers fonctionnent sur le même principe.

Leur puissance varie entre **0,1** et **20KW**. Le mât mesure généralement entre **10** et **3m**. Elles peuvent alimenter des bâtiments isolés non reliés au réseau électrique ou bien être raccordées au réseau pour une vente de la production

Les applications d'une éolienne domestique :

La vocation principale d'une éolienne domestique est de produire de l'électricité. Pour cela, la force mécanique générée par le vent va actionner les hélices, qui vont transmettre à leur tour cette énergie à un transformateur pour produire de l'énergie électrique. La production d'électricité est l'application la plus recherchée par les propriétaires d'éolienne domestique.

Cependant, l'énergie éolienne peut également servir à d'autres utilisations. Par le passé, les moulins utilisaient déjà la force du vent pour actionner les meules, servant à broyer des céréales et à produire de la farine. Aujourd'hui, même cette application est moins courante, mais les éoliennes sont encore utilisées pour le pompage d'eau en milieu rural.

Cependant, l'énergie éolienne peut également servir à d'autres utilisations. Par le passé, les moulins utilisaient déjà la force du vent pour actionner les meules, servant à broyer des céréales et à produire de la farine. Aujourd'hui, même cette application est moins courante, mais les éoliennes sont encore utilisées pour le pompage d'eau en milieu rural.

Production d'électricité en zone isolée

Le réseau électrique est plutôt bien développé. Cependant, il existe encore certains lieux qui ne sont pas reliés au réseau. Il est donc souvent nécessaire de trouver une solution alternative pour produire de l'électricité et les énergies renouvelables sont particulièrement indiquées. Dans ce cas, les particuliers peuvent choisir des panneaux photovoltaïques ou une éolienne. Le choix

dépendra du type de terrain, de la force du vent, de l'ensoleillement et aussi du coût de l'installation. Dans bien des cas, une éolienne domestique se révèle être une solution adaptée.



Figure 2.5 : éolienne domestique

Autres applications de l'éolienne pour particulier :

Plus généralement, une éolienne pour particulier est destinée à réduire les factures d'électricité. Car même si dans la plupart des cas, il est obligatoire d'être relié au réseau, l'électricité produite par une éolienne permet de faire face aux principaux besoins électriques domestiques et a un impact bénéfique sur la facture d'électricité.

Applications de l'éolienne pour les entreprises et le monde agricole :

Les éoliennes de petites tailles peuvent parfaitement être adaptées aux besoins d'une entreprise ou d'une exploitation agricole. Effectivement, dans certaines situations, la consommation électrique peut être importante et l'éolienne intervient comme une solution économique et écologique. Outre la production d'électricité, les éoliennes sont également indiquées pour

le pompage d'eau en zone rurale. En effet, la force mécanique sera directement utilisée pour faire remonter l'eau à la surface.

5-Potentiel éolien:

La notion de potentiel éolien désigne la quantité théorique d'énergie éolienne disponible sur un territoire (terrestre ou marin) donné. Il est lié à la force et surtout à la régularité des vents qui ne doivent être ni trop forts, ni trop faibles.

Le potentiel éolien varie selon la hauteur et le type d'environnement ("rugosité" du paysage plus ou moins importante et plus ou moins source de turbulences).

En rouge : la vitesse du vent (en m/s) selon le type d'environnement (urbain, plaine, mer) selon une moyenne indicative qui peut varier selon les régions du monde. Gauche, l'échelle indique la hauteur de la nacelle (pour une même nacelle, et une même longueur de pales). Une même éolienne produit environ 2 fois plus d'électricité en mer car le vent y est plus régulier.

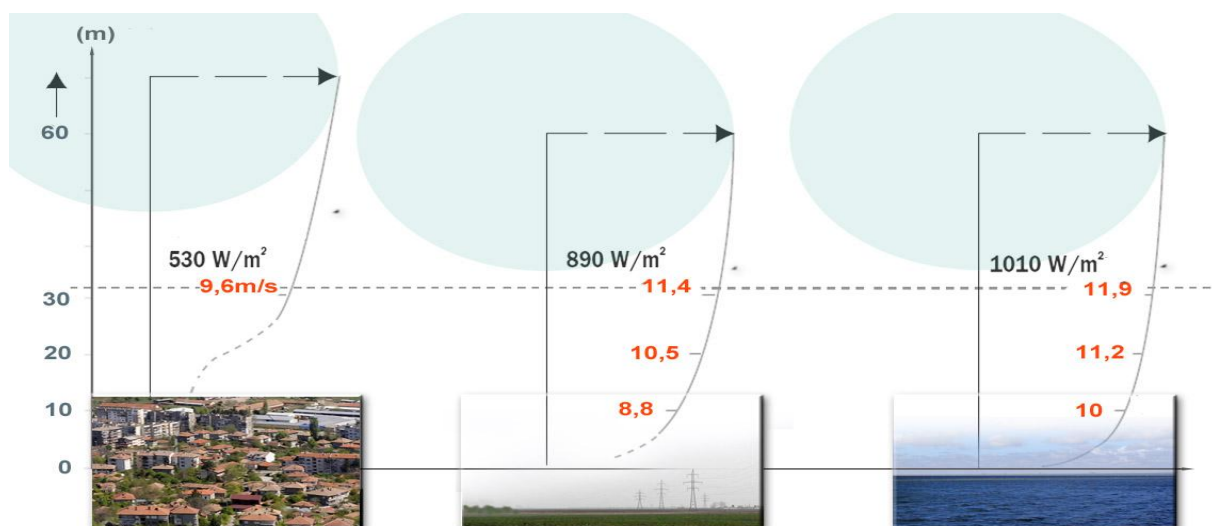


Figure 2.6 : Potentiel éolien

Calcul du potentiel éolien:

Il doit être déterminé sur la base de méthodologies éprouvées et de façon scientifique (ex : modélisation sur la base des données météorologique disponibles+ vérification par mesure du vent sur un mât durant au moins un an), de manière à apprécier le potentiel local et non théorique.

Ces calculs ont bénéficié des progrès de la météorologiques et climatiques, ainsi que, sur la base d'interpolations de plus en plus précises de modèles affinés, notamment produits pour suivre la dispersion aérienne de panaches de pollution, notamment radioactive

6-Conversion d'énergie aérodynamique :

Le rotor éolien est un système de conversion d'énergie qui transforme l'énergie cinétique des masses d'air en mouvement en énergie mécanique disponible sur l'arbre. Cette énergie cinétique est proportionnelle à la masse d'air qui se déplace à une vitesse donnée. L'extraction de l'énergie se fait donc par un ralentissement de l'air qui traverse le rotor, par un mécanisme de transformation des forces agissant sur les pales. Schématiquement, il en résulte que, selon les principes de la mécanique des fluides, la veine fluide traverse le moteur éolien en s'élargissant.

En considérant que l'air est incompressible, que le fluide s'écoule de manière continue et que les grandeurs étudiées ont la même valeur sur une section donnée du tube de courant d'air.

Pour capter l'énergie cinétique des masses d'air en mouvement, les pales du rotor éolien se présentent obliquement au vent avec un angle appelé angle de calage, β , provoquant la rotation par un effet de vis ou de tire-bouchon.

La puissance qui peut être récupérée est décrite par l'équation :

$$P_{aer} = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_w^3 C_p(\lambda, \beta) \quad (1.2)$$

Où ρ est la densité de l'air, R est le rayon du rotor éolien, V_w est la vitesse du vent et C_p est le coefficient de puissance (un paramètre sans dimension qui exprime l'efficacité du rotor éolien dans la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique). Ce coefficient est fonction de l'angle de calage β et de la vitesse spécifique λ , définie par

$$\lambda = \frac{\Omega_t R}{V_w} \quad (2.2)$$

Où Ω_t est la vitesse de rotation du rotor éolien. Le coefficient de puissance a une valeur théorique maximale donnée par la limite de Betz: $C_{pmax}=0,593$. Le couple aérodynamique est donc directement déterminé par:

$$C_{aer} = \frac{P_{aer}}{\Omega_t} = \frac{1}{2} \rho \pi R^2 V_w^3 C_p(\lambda, \beta) \frac{1}{\omega_t} \quad (2.3)$$

7-Le coefficient de puissance:

Le coefficient de puissance C_p représente le rendement aérodynamique, sa valeur dépend de celle de la vitesse relative de l'éolienne λ et de l'angle de calage β .

On définit le coefficient de puissance comme suit :

$$C_p = f(\lambda, \beta) = C_1 \left(\frac{c^2}{\lambda^i} - C_3 \beta - C_4 \right) \exp\left(\frac{-C_5}{\lambda^i}\right) + C_6 \lambda \quad (2.4)$$

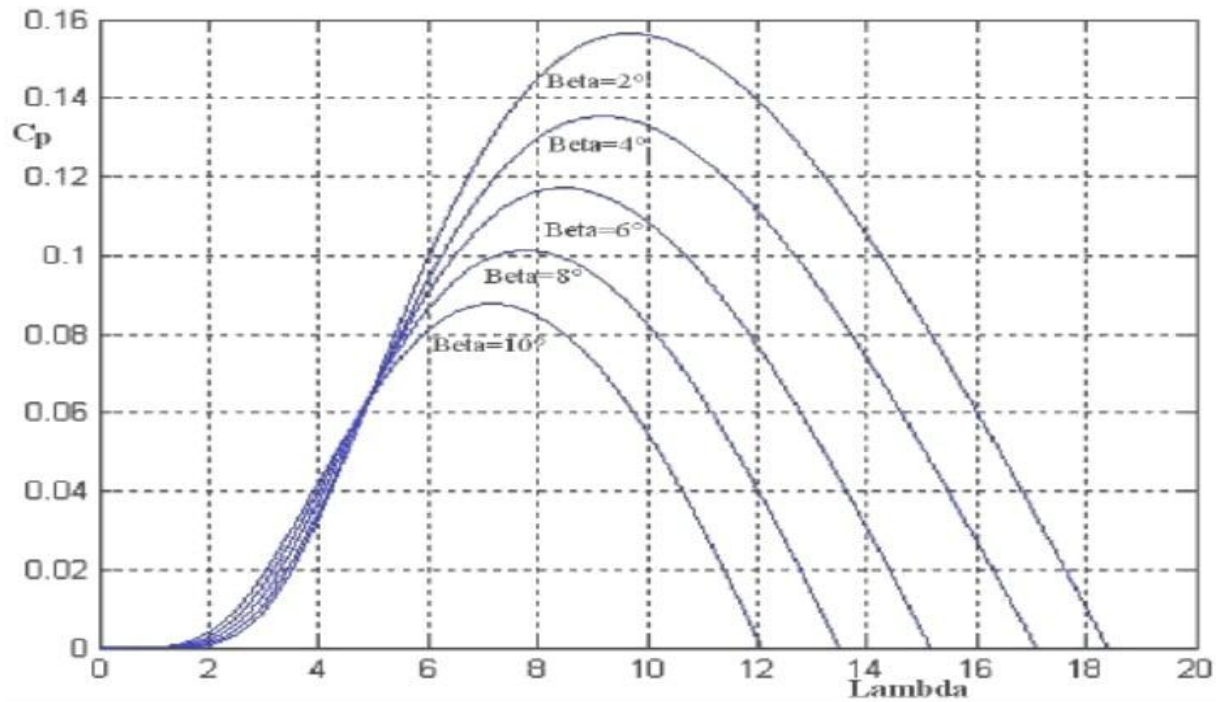


Figure 2.7: Coefficient de puissance Cp

8-le coefficient de vitesse réduite :

Le coefficient de vitesse réduite λ est un facteur spécifique des aérogénérateurs. Il est défini comme le rapport de la vitesse tangentielle en bout de pales ΩR sur la vitesse instantanée du vent V .

$$\lambda = \frac{\Omega R}{V} \quad (2.4)$$

Avec λ : vitesse réduite

R : rayon de la voilure

Ω : vitesse de rotation

V : vitesse du vent

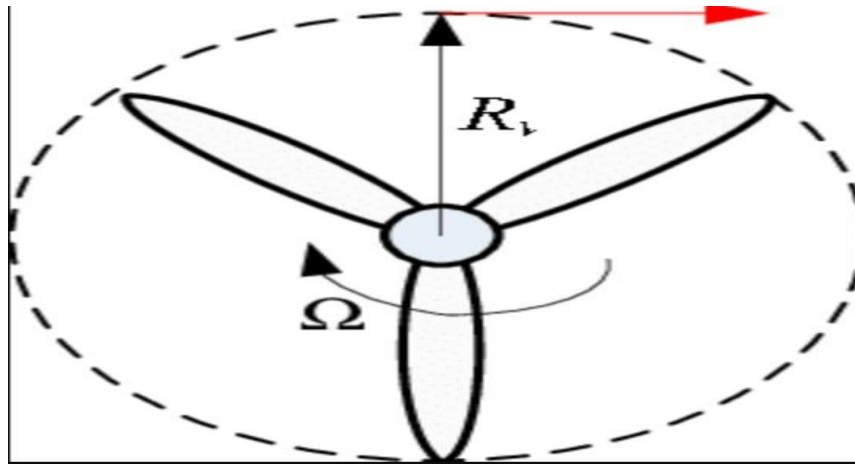


Figure 2.8: vitesses du vent V et vitesse tangentielle

9-La limite de Betz :

Plus la partie de l'énergie cinétique du vent captée par l'éolienne est grande, plus remarquable sera le ralentissement du vent sortant par le côté gauche de l'éolienne, donc la vitesse du vent en amont de l'éolienne n'est pas la même en aval donc on peut dire que la vitesse qui tourne les pales c'est la vitesse moyenne des deux vitesses.

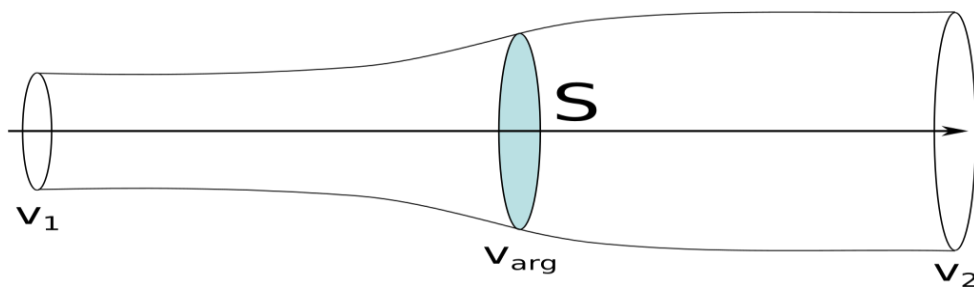


Figure 2.9: tube de courant autour d'une éolienne

Partons de la supposition raisonnable que la vitesse moyenne du vent traversant la surface balayée par le rotor est égale à la moyenne de la vitesse moyenne du vent non perturbé à l'avant de l'éolienne V_1 (m/s), et de sa vitesse après le passage à travers le plan de rotor V_2 (m/s), soit:

$$V = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad (2.5)$$

Et la masse de l'aire traversant la surface balayée par le rotor en un second est égale à

$$m_t = V \rho S e_{ol} \quad (2.6)$$

- m_t : Est la masse par seconde (kg/s).

- ρ : La densité de l'aire (kg/m).

- S : La surface balayée par le rotor (m²).

- V : La vitesse moyenne du vent traversant le rotor (m/s).

La puissance extraite du vent par le rotor est égal à la masse multipliée par le carré de la diminution de la vitesse du vent (selon la seconde loi de newton):

$$\rho = \frac{E_{en} - E_{sort}}{2} \quad (2.7)$$

$$P = \frac{1}{2} m_t (V_1^2 - V_2^2) \quad (2.8)$$

- P : La puissance extraite par le rotor (w).

- m : Est la masse par seconde (kg/s).

- V_1 : La vitesse avant le passage à travers le plan de rotor (m/s).

- V_2 : La vitesse après le passage à travers le plan de rotor (m/s).

En substituant m dans cette expression

$$m_t = \rho V s e_{ol} = \rho \frac{(v_1 + v_2)}{2} S e_{ol} \quad (2.9)$$

Nous obtenons l'expression suivante de la puissance extraite du vent:

$$P = \frac{\rho}{4} (V_1 + V_2)(V_1^2 - V_2^2) S_{eol} \quad (2.10)$$

Comparons maintenant notre résultat avec la puissance totale d'un flux d'air non perturbé traversant une surface $S_{eol}(m^2)$ similaire sans la présence d'un rotor qui ralentit le vent. Nous appelons cette puissance $P_0(W)$

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho V_1^3 S_{eol} \quad (2.11)$$

La ration entre la puissance extraite du vent non perturbé sera alors:

$$C_p \left(\frac{P}{P_0} \right) = \frac{1}{2} \left(1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right) \left(1 + \left(\frac{v_2}{v_1} \right) \right) \quad (2.12)$$

P_0 : La puissance totale d'un flux d'air non perturbé (W).

V_1 : La vitesse avant le passage à travers le plan de rotor (m/s).

V_2 : La vitesse après le passage à travers le plan de rotor (m/s).

Nous pouvons tracer $C_p = \left(\frac{P}{P_0} \right)$ en fonction de $\frac{v_2}{v_1}$:

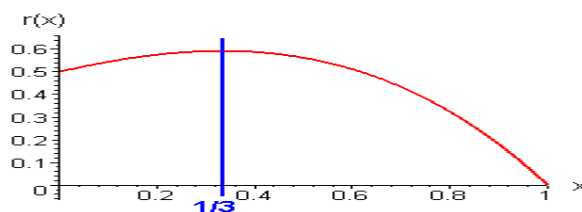


Figure 2.10 : Coefficient de puissance.

Comme vous pouvez le voir, la fonction atteint son maximum pour

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{3} \quad (2.13)$$

La valeur maximale pour la puissance extractible du vent étant de **0,95** ou $\frac{16}{27}$ de la puissance totale contenue dans le vent si la vitesse après le passage par le rotor est de l'ordre de $\frac{1}{3}$ de la vitesse avant de le passage par le rotor.

10-Classement des éoliennes en fonction de leur puissance :

On peut effectuer une première classification des éoliennes en fonction de leur puissance :

Les micro-éoliennes : de quelques watts à 1 kilowatt (kW), elles fournissent de l'électricité en faible quantité, pour des besoins ponctuels. Peu chères, elles sont par exemple adaptées aux bateaux ou à des bungalows.

Les petites éoliennes : de 1 à 65 kW, elles forment ce qu'on appelle le petit éolien.

Les grandes éoliennes : de 100 kW à plusieurs mégawatts, elles constituent l'éolien commercial et servent à alimenter des dizaines, voire des centaines de foyers, surtout lorsqu'elles sont regroupées en « fermes éoliennes ».

11-Les Générateur :

-Les générateurs asynchrones:

La génératrice asynchrone est une machine à induction asynchrone qui transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique. Pour réaliser cette transformation elle doit pour cela être entraînée au-delà de la vitesse de synchronisme (variable suivant la charge). Son rotor est généralement à cage

d'écureuil ; elle bénéficie donc de la robuste simplicité du moteur à cage et des mêmes moyens de fabrication.

La puissance nécessaire à sa magnétisation est fournie par le réseau lorsqu'elle est couplée en parallèle ou par une batterie de condensateurs dans le cas d'une utilisation isolée. La génératrice asynchrone équipe généralement, une mini-centrale ou microcentrale hydraulique.

Une génératrice synchrone (alternateur) est entraînée en fonctionnement normal à sa vitesse de synchronisme (par exemple 1500 min^{-1} pour un 4 pôle). La génératrice asynchrone elle, doit être entraînée au-delà de sa vitesse de synchronisme pour fournir de l'énergie électrique.

Cependant, ces machines asynchrones ne possèdent pas comme les alternateurs un circuit d'excitation. Il faut néanmoins fournir la puissance de magnétisation aussi bien en génératrice qu'en moteur; il ne s'agit pas d'une puissance utilisable, appelée puissance active, mais d'une puissance fictive, puissance réactive, correspondant à une composante du courant à facteur de puissance nul. Ce courant peut être emprunté au réseau mais peut aussi bien être obtenu de façon statique en branchant en parallèle à la machine une batterie de condensateurs. En outre, en ajustant ces condensateurs de façon précise, il est possible, dans certaines conditions, d'utiliser une génératrice asynchrone en dehors d'un réseau, fonctionnement autonome pour alimenter une charge isolée.

-Générateur asynchrone à cage d'écureuil:

La plupart des éoliennes du monde utilisent une génératrice asynchrone triphasée à cage (d'écureuil), appelée aussi une génératrice à induction, pour produire du courant alternatif. Ce type de génératrice n'est en fait que très rarement utilisé, sauf dans l'industrie éolienne et dans les petites centrales

hydrauliques. Nonobstant, on a une assez bonne connaissance de cette technique.

Le fait curieux de Ce type de génératrice est qu'elle fût originalement conçue comme un moteur électrique. En fait, un tiers de la consommation mondiale d'électricité est utilisé pour faire fonctionner des moteurs à induction qui actionnent des machines, pompes, ventilateurs, compresseurs, ascenseurs et d'autres types d'équipement requérant la conversion de l'énergie électrique en énergie mécanique.

Un avantage de cette génératrice est qu'elle est très fiable et relativement peu onéreuse par rapport à d'autres types de génératrices. Elle a également quelques caractéristiques mécaniques qui la rendent très appropriée pour la conversion de l'énergie éolienne (glissement de la génératrice ainsi qu'une certaine capacité de surcharge).

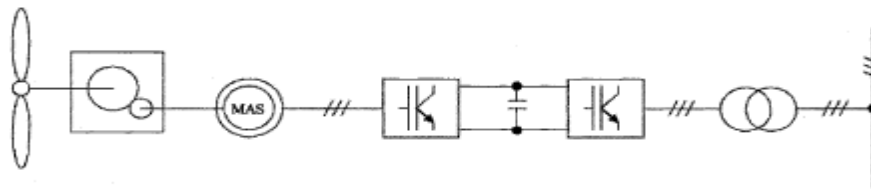


Figure 2.11 : Système éolien basée sur la machine asynchrone à deux vitesses de rotation

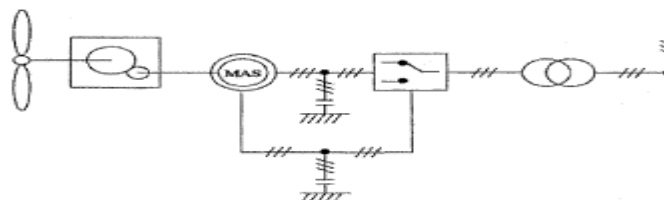


Figure 2.12: Système éolien basé sur la machine asynchrone à cage à fréquence variable

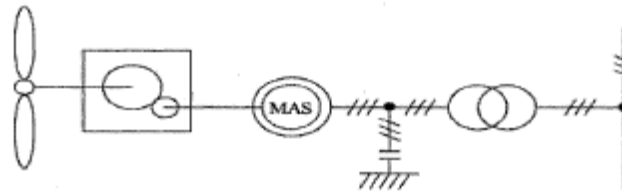


Figure 2.13: Système éolien basé sur la machine asynchrone à cage (vitesse de rotation fixe)

Générateur asynchrone à Rotor bobiné:

La génératrice asynchrone à rotor bobiné et à double alimentation (MADA) présente un atout considérable. Le stator de la génératrice est directement couplé au réseau, le plus souvent par un transformateur. A la place du rotor à cage d'écureuil, ces machines asynchrones ont un rotor bobiné dont le réglage électronique assure la variation du glissement. La chaîne rotor permet ainsi à l'ensemble de fonctionner à vitesse variable sur une plage de vitesse qui dépend du type et du dimensionnement de la chaîne rotor.

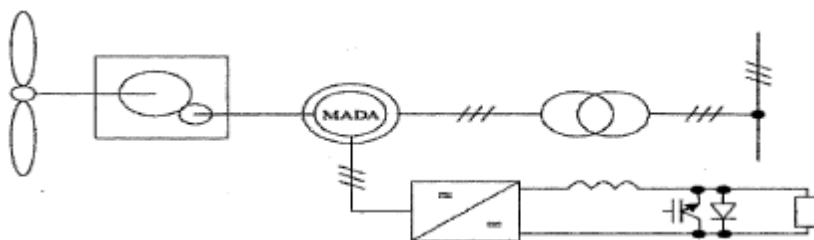


Figure 2.14: Système éolien basé sur la machine asynchrone à rotor bobiné - variation de la vitesse de rotation par réglage de la résistance du rotor

-Génératrice asynchrone à double alimentation:

Comme nous avons parlé déjà les machines asynchrones fonctionnent en régime générateur mais on a arrêté qu'on peut travailler si le rotor tourne avec une vitesse supérieure à la vitesse de synchronisme, si il tourne avec une vitesse égale à celle de synchronisme on gagne rien, et si il tourne avec une vitesse inférieure on va perdre de puissance puisqu'il fonctionne en régime moteur.

Mais ici dans la machine asynchrone à double alimentation peut fonctionner en régime génératrice même avec toutes les vitesses, donc elle peut absorber le maximum de puissance en absorbant même que la puissance du vent qu'il tourne le rotor à une vitesse inférieure à celle de synchronisme.

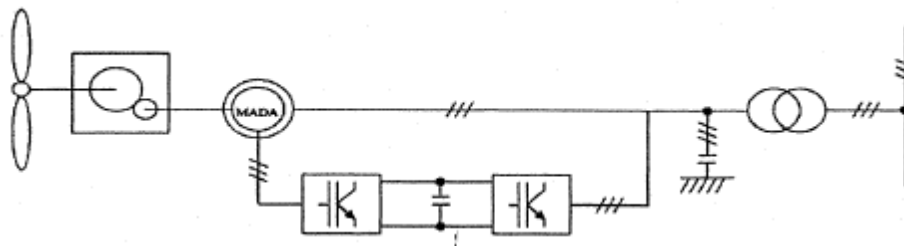


Figure 2.15: Système éolien basé sur la machine asynchrone double alimentation
– régulation de la vitesse de rotation par chaîne rotor alimentation

-Les générateurs synchrones:

Ces générateurs produisent un courant dont la fréquence est identique à celle du réseau. Pour cela, la vitesse de l'éolienne doit être constante. Le champ magnétique du rotor est généré par un courant d'excitation. Celui-ci est fourni par une source indépendante (autre dynamo en fonctionnement, batterie d'accumulateurs) on a alors une dynamo dite à excitation séparée mais plus généralement la machine assure elle-même son excitation à l'aide de condensateurs elle est dite alors auto-excitatrice.

-Générateur synchrone a rotor:

Le rotor d'un générateur synchrone est un large électroaimant dont les pôles peuvent être construits de façon saillant ou pas. Les rotors à pôles non saillants sont normalement utilisés pour des rotors à 2 ou 4 pôles, alors que les rotors à pôles saillants sont utilisés pour des rotors ayant 4 pôles ou plus.

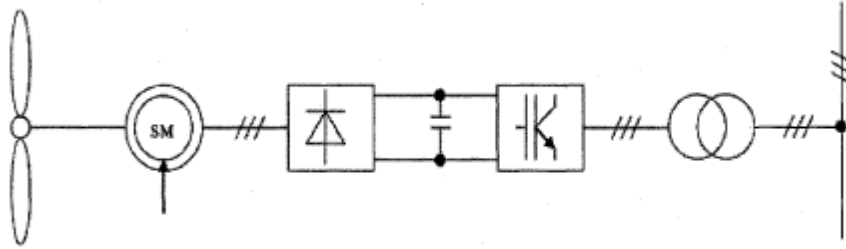


Figure 2.16: Système basée sur la machine synchrone et redresseur à diodes

-Génératrice synchrone à aimants permanents:

Le rotor est constitué d'aimants permanents ou MSAP (générant donc un champ constant), dans ce cas la tension délivrée par la machine n'est pas réglable (si on ne tient pas compte des pertes dans les conducteurs). Les alternateurs à aimants permanents produisent un courant et une tension de fréquence proportionnelle à la vitesse de rotation donc à la vitesse du vent. La source d'excitation du rotor est indépendante du réseau contrairement à la machine synchrone à électroaimant. Ce type de machine tend à être de plus en plus utilisé par les constructeurs d'éoliennes car elle peut fonctionner en mode autonome et sont beaucoup plus légères que les autres types de générateurs. Les coûts de ce type de génératrice sont les plus faibles. Ce type de génératrice est très fréquemment utilisé dans le petit éolien.

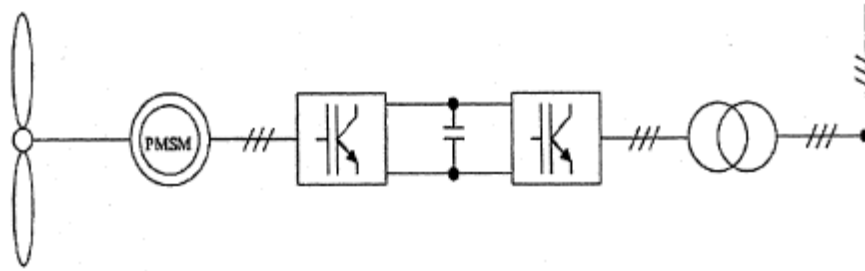


Figure 2.17: Système éolien basé sur la machine synchrone à aimants permanents

Les génératrices à aimants permanents ont l'inconvénient de toujours produire la même densité de flux magnétique quelle que soit la vitesse de rotation du rotor. Le rotor est donc difficile à démarrer car la résistance au mouvement est importante, son démarrage nécessite un vent relativement important. La construction de ces aimants est particulièrement gourmande en terres rares (lanthanides) notamment ceux à base de néodyme peuvent nécessiter jusqu'à 600 kg pour une éolienne de 3,5 mégawatts. Les éoliennes du fabricant Enercon fonctionnent avec un générateur annulaire à excitation indépendante ne nécessitant pas l'utilisation de néodyme, les champs magnétiques requis pour la production d'électricité dans le générateur sont produits électriquement.

Conclusion :

Ce chapitre nous a permis de faire un aperçu général sur les systèmes éoliens. On a commencé par des définitions concernant l'énergie éolienne, et les composants ainsi que les différents types d'éoliennes (à axe horizontal, vertical). Après ce rappel et descriptif des notions élémentaires, on est passé sur l'application et potentiel et la conversion d'énergie aérodynamique et en suite les coefficients de puissance et vitesse réduite et les classements des types d'éolienne en fonction du coefficient de puissance et à la fin on a parlé sur les différents générateurs asynchrone (à cage d'écureuil, à rotor bobiné, à double alimentation) et les différents générateurs synchrones (à rotor bobiné, à aimant permanent).

conclusion général

On peut donc dire que l'éolienne à un système de fonctionnement assez simple. Elle produit beaucoup avec le vent sa source d'alimentation. L'éolienne fait de nombreux progrès. Malgré les points positifs l'énergie éolienne ne semble pas être l'énergie idéale d'avenir car elle ne peut pas rivaliser avec ses concurrents. Mais il faudra tout de même se méfier de cette énergie qui peut nous réserver des surprises dans l'avenir. On conclue que cette transformation n'est pas simple et qu'il faut à l'énergie emprunter un chemin déterminé dont tous les composants favorisant la production électrique. Et que le lieu de la transformation d'énergie et la génératrice, et que cette génératrice atteint des paliers de production en fonction de la force du vent, sans oublier de prendre de compte de son emplacement pour que l'éolienne reçoive un vent stable.

Bibliographie :

- en) [PDF] [Global trends in renewable energy investment 2016 \[archive\]](#), Frankfurt School of Finance & Management, [United Nations Environment Programme](#) et Bloomberg New Energy Finance, 2016.
- Copyright 2020 - Tous droits réservés Plan du site Mentions légales Conditions générales de vente Contact - Un site Web par Agoralys
- Copyright © 2020 Vattenfall - L'énergie est notre avenir, économisons-la-2020– 2011 ©-Tous droits réservés – CONNAISSANCE DES ÉNERGIES
- Copyright © 2020 Observer, Observatoire des Énergies Renouvelables - Tous droits réservés - Mentions légale
- <https://www.univsetif.dz/MMAGISTER/images/facultes/TEC/2012/LAT-RECHE%20Mohammed%20Tahar.pdf>
- <https://lederniercarbone.org/efficacité-éolienne> Copyright © 2011 Eolienne.fr - Tous droits réservés.
- document : [https : éolienne. ooreka.fr\comprendre\ générateur –éolienne](https://eolienne.ooreka.fr/comprendre/générateur-éolienne)