

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي



UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA

جامعة باجي مختار - عنابة --



**FACULTE : Sciences de l'ingéniorat**

**DEPARTEMENT : Electrotechnique**

**DOMAINE : Science et technologie**

**Mémoire de fin d'étude**

**Energie éolienne**

**FILIAIRE : Electrotechnique**

**OPTION : Electrotechnique**

**Présenté par : Belaid Nada Hibat Errahmen**

**Dirigé par Dr:Abdallah Abderrazak**

**Année : 2020-2021**

## EN RESUME

Dans l'optique d'une production électrique plus diversifiée et davantage fondée sur les énergies renouvelables, l'éolien tient une place de premier plan.

- ✓ La production électrique éolienne permet de moins utiliser les centrales thermiques à flamme, de diminuer notre dépendance énergétique et de produire plus près des lieux de consommation.
- ✓ En France, le gisement terrestre est intéressant et le gisement maritime très prometteur. Les effets de variabilité du vent sont gérés en fonction des différents régimes de vent, des autres capacités de production et des échanges d'énergie avec les autres pays d'Europe via l'interconnexion des réseaux.
- ✓ La production croît régulièrement et rapidement, avec des retombées économiques intéressantes en termes d'emplois. Dans le même temps, la mise en place de parcs éoliens est soumise à des procédures exigeantes où le citoyen peut et doit faire entendre sa voix.
- ✓ Les particuliers peuvent aussi participer au financement des parcs éoliens.

**Mots clés :** énergie éolienne ; vents ; renouvelables .

# Sommaire

Remerciement	
Dédicace	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction.....	1
I. Les énergies renouvelables .....	2
<u>II.</u> Type des énergies renouvelables : .....	2
<u>II.1</u> Energie éolienne : .....	3
<u>II.1.1.</u> Introduction : .....	4
<u>II.1.2.</u> Historique : .....	4
<u>II.1.3</u> Les différents types d'éoliennes.....	5
<u>II.2.</u> Généralité sur le vent : .....	6
<u>II.2.1</u> Notions sur le vent : .....	6
<u>II.2.2</u> Direction et vitesse de vent : .....	6
<u>II.3</u> Les principales composantes d'une éolienne : .....	7
<u>II.4.</u> Le principe de fonctionnement d'une éolienne : .....	7
<u>II.5</u> Différents composants d'une éolienne : .....	9
<u>II.6</u> Différents types d'éolienne (classification) : .....	12
<u>II.7</u> Production de l'électricité avec le vent .....	15
<u>II.8</u> Le placement d'une éolienne : .....	22
<u>II.9</u> Les différentes utilisations de l'énergie éolienne : .....	23
<u>II.10</u> Evaluation de l'énergie éolienne dans le monde : .....	24
III. Eolienne en Algérie : .....	24
<u>III.1.</u> Carte saisonnières de la vitesse du vent : .....	255
IV. La sécurité, des risques sous surveillance : .....	266
<u>IV.1</u> La santé, un souci très présent : .....	27
<u>IV.2</u> Une perception globalement favorable : .....	28
CONCLUSION : .....	299
BIBLIOGRAPHIE.....	31



# Remerciements

*Je remercie en premier lieu **le Dieu** qui m'a donné la santé, la patience et la volonté pour arriver à ce stade et réaliser ce travail.*

***A mes chers parents**, de leur confiance, encouragement et de leur sacrifice durant toute ma vie je souhaite que ce travail soit le fruit de leurs efforts...*

***A mes sœurs et mes frères**, de leur soutien, aide, encouragement et de leurs conseils.*

***A mon encadreur**, pour m'avoir accepté le cadrage de cette mémoire, je souhaite que ce travail soit le témoignage de notre reconnaissance, J'ai eu la chance et le plaisir d'effectuer ce travail de recherche sous la direction de vous.*

***A mon jury** de mémoire, qui m'ont fait*

*L'honneur d'accepter de juger ce travail, je souhaite que ce travail soit le témoignage de notre reconnaissance, mes profonds respects.*

*À tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la finalisation de ce travail et tous ceux qui ont souhaité ma voir arriver à ce stade.*



# Dédicaces

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, à vous **mon père**.*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; **maman que j'adore**.*

*Aux personnes dont j'ai bien aimé la présence dans ce jour, à **mes sœurs et mon frère**, Je dédie ce travail dont le grand plaisir leurs revient en premier lieu pour leurs conseils, aides, et encouragements.*

*Aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés, et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études supérieures, mes aimables amis, et collègues d'étude*

*N.A.D.A.*

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> les énergies renouvelables.....	2
<b>Figure 2</b> : une éolienne ... ..	4
<b>Figure 3</b> :... : moudre de grain .....	7
<b>Figure 4</b> : généralité sur le vent .....	8
<b>Figure 5</b> fonctionnement d'éolienne .....	11
<b>Figure 6</b> : composants d'éolienne ... ..	<b>12</b>
<b>Figure 7</b> :... les pales .....	13
<b>Figure 8</b> éolienne de Darrieux .....	16
<b>Figure 9</b> :... éolienne de Savanius .....	17
<b>Figure 10</b> :... Schéma d'une éolienne .....	18
<b>Figure 11</b> : parc éolien.....	20
<b>Figure 12</b> : énergie éolienne au 1 <sup>er</sup> janvier de chaque année .....	21
<b>Figure 13</b> cartes saisonnières de la vitesse du vent .....	22
<b>Figure 14</b> :atlas de la vitesse du vent à 10m.....	23
<b>Figure 15</b> :... atlas de la puissance énergétique récupérable à 50m.....	23
<b>Figure 16</b> : : sécurité de machine.....	24
<b>Figure 17</b> : échelle du bruit.....	25

## Liste des tableaux

**Tableau 1** : Classification des turbines éolienne

## **Introduction**

L'énergie électrique est un élément crucial pour tout développement Socio-économique. Elle est devenue dans la vie quotidienne des populations, notamment dans les pays développés, une forme d'énergie dont on 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 Tchimbay 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,...



## I. Les énergies renouvelables

Les énergies renouvelables sont des énergies fondées sur l'utilisation des éléments naturels (terre, eau, vent) et de la lumière du soleil, renouvelées ou régénérées naturellement et inépuisables. Elles se déclinent en énergies géothermique, hydroélectrique, éolienne, solaire et marémotrice. La biomasse (bois, plantes, déchets agricoles...) est également une source d'énergie renouvelable. Le recours aux énergies renouvelables est au cœur des préoccupations politiques contemporaines qui visent à réduire l'exploitation des ressources fossiles, à l'instar du pétrole et du charbon. Ces énergies renouvelables sont souvent présentées, un peu rapidement, comme n'ayant aucun impact sur l'environnement.



Fig. 1 : les énergies renouvelables

## II. Type des énergies renouvelables

Une source d'énergie renouvelable s'est le fait d'en consommer ne limite pas son utilisation future. C'est le cas de l'énergie du soleil, du vent, des cours d'eau de la terre et généralement de la biomasse humide et sèche à l'échelle de la durée de vue de l'humanité.

### Utilisation

- Pour les petites températures (basse et moyenne énergie de 30 à 150 °C), la chaleur est utilisée directement pour le chauffage des bâtiments. Quand la température est plus élevée, on peut utiliser l'énergie pour faire tourner une turbine et produire de l'électricité. Dans ce cas, il s'agit de centrales géothermiques. On trouve ce type d'installations aux Philippines ou en Turquie par exemple.
- Dans le cas où la température est trop faible pour chauffer le bâtiment, il est possible d'utiliser une pompe à

chaleur. Dans ce cas, une partie du chauffage est réalisée à partir de l'électricité, et l'autre partie par la géothermie.

- Le chauffage "dit géothermique" qui est parfois proposé par certains chauffagistes capte généralement sa chaleur à quelques dizaines de centimètres au-dessous du sol. Dans ce cas précis, on ne peut pas exactement parler de géothermie, puisque la chaleur recueillie ne provient pas du centre de la Terre, mais du Soleil qui réchauffe le sol. Il s'agit donc d'un abus de langage.

## II.1 Energie éolienne

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.

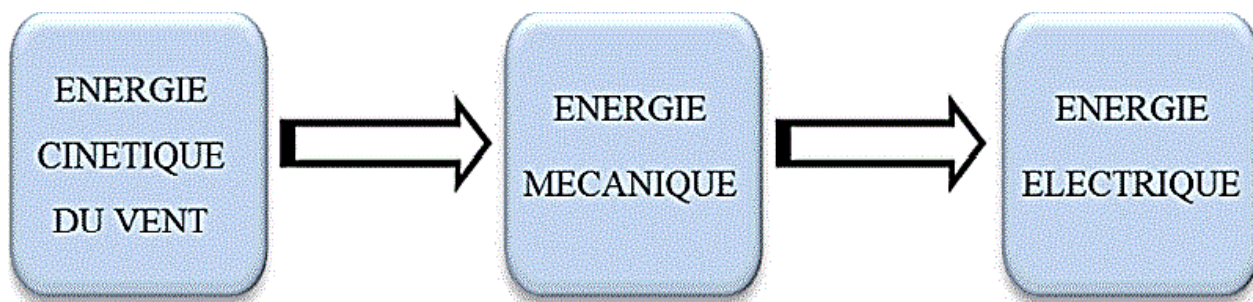
L'utilisation du vent par l'homme ne date pas d'aujourd'hui, elle est très ancienne. De nos jours l'énergie mécanique du vent produit l'électricité. Le principe des éoliennes s'inspire de celui des moulins à vent et à eau autrefois utilisé pour moudre le grain ou pomper l'eau. L'éolien est l'une des 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.

L'énergie éolienne est utilisée de trois manières :

- **Conservation de l'énergie mécanique** : le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (navire à voile ou char voile), pour pomper de l'eau (moulins de Majorque, éoliennes de pompage pour irriguer ou abreuver le bétail) ou pour faire tourner la meule d'un moulin.
- **Transformation en force motrice** (pompage de liquides, compression de fluides...)
- **Production d'énergie électrique** ; l'éolienne est alors couplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu ou alternatif. Le générateur est relié à un réseau électrique ou bien fonctionne au sein d'un système « autonome » avec un générateur d'appoint (par exemple un groupe électrogène) et/ou un parc de batteries ou un autre dispositif de stockage d'énergie.



Fig 2 : une éolienne



#### **Utilisation :**

- Propulsion des bateaux, pompage, production électrique.
- Exploitable à grande échelle par des fermes éoliennes.

#### **II .1.1 . 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.

#### **II .1.2 Historique**

Depuis des siècles, l'homme utilise l'énergie du vent pour faire avance des bateaux, moudre du grain ou pomper de l'eau. Cette source d'énergie nous sert maintenant à produire de l'électricité.

Depuis quelques années, la production électrique éolienne est en plein développement industriel.

Elle présente en effet de nombreux atouts : c'est tout d'abord une énergie renouvelable non polluante qui contribue à une meilleure qualité de l'air et à la lutte contre l'effet de serre. C'est aussi une énergie qui utilise les ressources nationales et concourt donc à l'indépendance énergétique et à la sécurité des approvisionnements. Enfin, le démantèlement des installations et la gestion des déchets générés pourront se faire sans difficultés majeures et les sites d'implantation pourront être réutilisés pour d'autres usages. Des difficultés existent malgré tout : la gestion technique de la production sur le réseau électrique, certains impacts environnementaux (avifaune, paysage, bruit) et l'aménagement du territoire.

Dans ce guide, nous abordons les différents aspects de la production électrique éolienne.



Fig 3 : moulin de grain

## II .1.3 Les différents types d'éoliennes

- ❖ **Les éoliennes à axe horizontal :** Elles sont souvent appelées "éolienne à hélices" et sont basées sur le principe des moulins à vent. Elles s'orientent suivant la direction du vent et sont souvent constituées de trois pales. Ce sont celles les plus courantes. Elles sont implantées dans les zones rurales ou en mer car elles nécessitent de la place.
- ❖ **Les éoliennes à axe vertical :** L'axe du rotor est perpendiculaire au sol. Elles n'ont besoin d'aucun système pour les orienter dans la direction du vent, cependant leur efficacité reste médiocre par rapport aux éoliennes à axe horizontal puisqu'elles captent deux fois moins d'énergies dans le vent. Il existe deux modèles d'éoliennes à axe vertical : Savoirs et D'ailleurs les éoliennes à axe vertical de type Darrieus possèdent généralement un rendement plus faible que les éoliennes "classiques" à pôle.

## II.2 Généralité sur le vent

- 2% de l'énergie solaire transformée en énergie cinétique des vents.
- 35% de ces vents présents dans la couche de 0 à 1 Km au-dessus du sol.
- 10% de cette énergie ~ 7 fois la consommation mondiale.

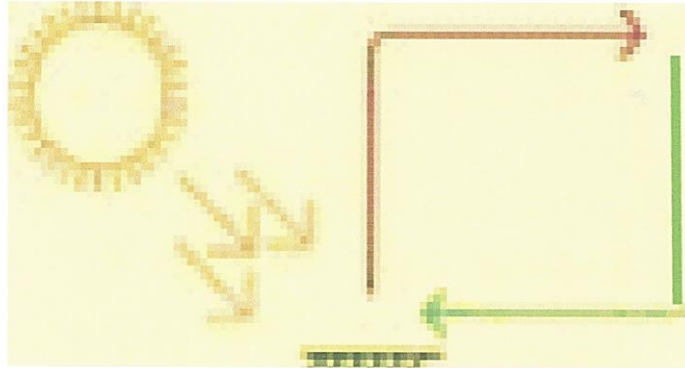


Fig 4 : généralité sur le vent

### II .2.1 Notions sur le vent

Les éoliennes convertissent l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. Cette énergie est renouvelable, et non polluante. La vitesse du vent varie selon les zones géométriques et les saisons, elle est surtout élevée pendant l'hiver et au niveau des mers (offshore). Le vent est un mouvement de l'atmosphère. Il peut apparaître sur n'importe quelle planète disposant d'une atmosphère.

Le vent est de l'air qui se déplace des anticyclones (hautes pressions) vers les dépressions (basses pressions); le vent « coule » comme l'eau dévalerait une pente d'un montage; du coup plus la pente est rapide, plus l'eau coule vite; c'est la même chose pour le vent: plus la différence de pression est grande, plus le vent souffle fort; nous parlons de cisaillement ou (sauté le vent) lorsque la variation de l'intensité de la vitesse du vent et la variation de l'intensité de la direction du vent varient fortement en altitude. Sur la terre, plusieurs régions ont des vents caractéristiques auxquels les populations locales ont donné des noms particuliers, Les vents sont une source d'énergie renouvelable, et ont été utilisés à travers les siècles à divers usages par : les moulins à vent, la navigation à la voile, le vol à la voile ou plus simplement le séchage. La vitesse du vent est mesurée avec un anémomètre mais peut être estimée par une manche à air, un drapeau, etc.

### II.2.2 Direction et vitesse de vent

Le vent souffle en principe des zones des hautes pressions vers les zones de basses pressions .Aux altitudes moyennes et aux grands altitudes, sa direction est cependant modifiée du fait de la rotation de la terre. Le vent devient alors parallèle aux isobares au lieu de leur être perpendiculaire. Dans l'hémisphère nord ; le vent tourne dans le sens contraire des aiguille d'une montre autour des aires cycloniques et dans le sens direct autour des zones anticycloniques. Dans l'hémisphère sud, les sens sont inverses par rapport aux précédents.

### II.3 Les principales composantes d'une éolienne

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

- **La tour** : elle doit être le plus haut 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 50et 80m de haut .La tour à ferme d'un tronc en cône ou, à l'intérieur, sont disposés les câbles de transport de l'énergie électrique, les éléments de contrôles, les appareillages de connexion au réseau de distribution ainsi que l'échelle d'accès à la nacelle.
  - **La nacelle** : regroupe tous les éléments mécaniques permettent le rotor éolien au générateur électrique : arbres lent et rapide, multiplicateur .et les systèmes hydrauliques une machine synchrone (MS) et ou électriques d'orientation des pales. A cela viennent s'ajouter le système de refroidissement par eau, un anémomètre et le système électrique de gestion de l'éolienne.
  - **Le rotor** : formé par les pales assemblées dans leur noyau. Pour les éoliennes destinées à la production d'électricité, le nombre de varie classiquement de là 3, le rotor tripale étant de loin le plus rependu 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.

### II.4 Le principe de fonctionnement d'une éolienne

Le principe de fonctionnement de l'énergie éolienne est relativement simple :

Le vent fait tourner des pales qui font-elles même tourner le générateur de l'éolienne. A son tour le générateur transforme l'énergie mécanique du vent en énergie électrique de type éolienne. L'électricité éolienne est dirigée vers le réseau électrique ou vers des batteries de stockage d'électricité éolienne.

Pour produire de l'énergie éolienne, les pales du rotor des aérogénérateurs captent l'énergie cinétique du vent, ce qui fait tourner un générateur électrique qui transforme l'énergie mécanique du vent en électricité. Cette énergie électrique produite est une énergie renouvelable et propre qui peut être dirigée vers des batteries de stockage ou le réseau électrique.

Le rotor des aérogénérateurs est composé en général de 3 pales tournant à une vitesse maximum de 30 tours par minute et fixés sur un moyeu. Quant à la puissance de l'électricité produite, une éolienne développe environ 2 millions de watts capables d'alimenter près de 2.000 foyers.

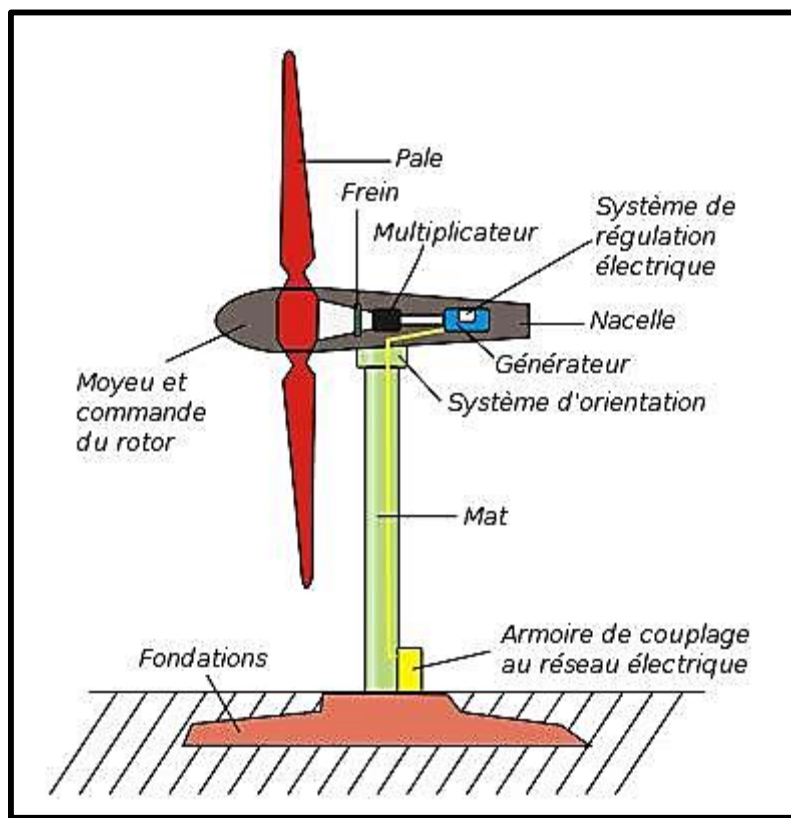


Fig 5 : fonctionnement d'éolienne



## II.5 Différents composants d'une éolienne :

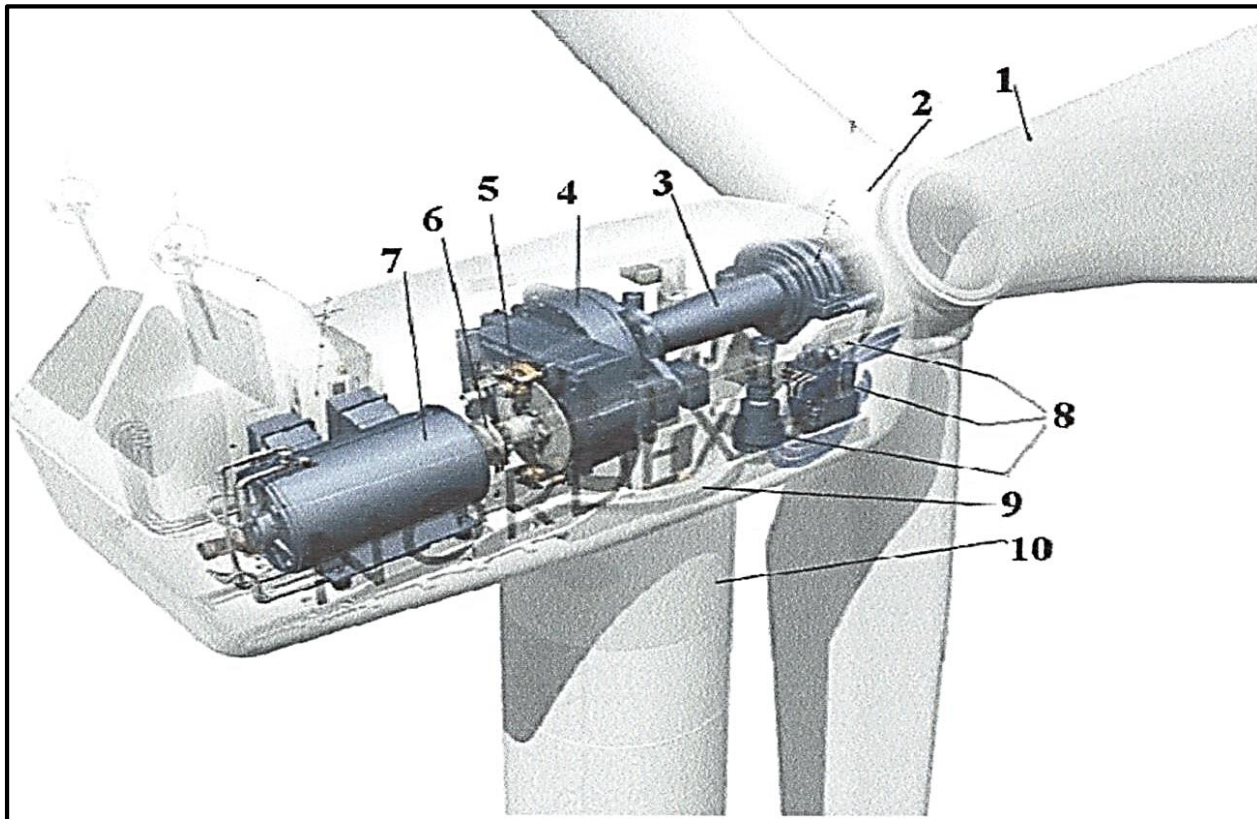


Fig 6 : composants d'éolienne

- 1 Les pales.
- 2 Le noyau.
- 3 L'arbre primaire.
- 4 Le multiplicateur.
- 5 L'arbre secondaire.
- 6 Le générateur électrique.
- 7 Le mat.
- 8 Le système d'orientation de nacelle.
- 9 Le système de refroidissement.



10 Les outils de mesure du vent (girouette et anémomètre).

11 Le système de contrôle électronique.

12 Un transformateur.

**1- Les pales :** Elles captent le vent et transfère sa puissance au moyeu du rotor. Chaque pales d'une éolienne de 1.000 KW mesure environ 27m de long et sa conception ressemble beaucoup à celle des ailles d'un avion.



Fig 6 : les pales

**2- Le noyau :** c'est celui le rotor et 11 est fixe • l'arbre lent de l'éolienne qui le lie au multiplicateur. Le rotor de l'éolienne moderne de 1.000 KW tourne assez lent environ 20 tours/min. L'arbre lent contient des tuyaux pour le système hydraulique permettent l'opération des freins aérodynamiques.

**3- L'arbre primaire :** (ou arbre lent) : relie les pales multiplicateur.

**4- Le multiplicateur :** Il est situé à droite de l'arbre lent. Il fait tourner l'arbre rapide à une vitesse 75 fois supérieur à celle de l'arbre lent.

**5- L'arbre secondaire :** (l'arbre rapide) : Il tourne à environ 1.500 tour/min et entraine la génératrice électrique .Il est muni d'un frein mécanique à disque actionné en cas d'urgence lorsque le frein aérodynamique tombe en cas de maintenance de l'éolienne.

**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 cout de rendement.

**7- La tour :** Elle supporte la nacelle et le rotor de la turbine .Elle est assez élevée (50 à 80 m), pour exploiter les vents les plus fortes en altitude. Il existe plusieurs types de tour : en autoporteur, en tubulaire d'acier, ou bien une tour massive en béton. A l'intérieur de la tour se trouve une échelle qui permet d'accéder à la nacelle pour l'entretien.

**8- Le système d'orientation de la nacelle :** Il utilise des moteurs électriques pour pivoter la nacelle et le rotor de sorte que celui-ci soit toujours orienter face au vent. Le dispositif d'orientation est contrôlé par le système contrôle- commande qui enregistre la direction du vent grâce aux signaux émis par la girouette.

**9- Le système de refroidissement :** il est à air ou à huile et destiné au multiplicateur et à la génératrice. Il contient un ventilateur électrique utilisé pour refroidir la génératrice. En plus, le système comporte un refroidisseur d'huile destiné à refroidir l'huile de la génératrice

**10- Les outils de mesure du vent (girouette et anémomètre) :** Ils sont utilisés pour mesurer la vitesse et la direction du vent respectivement. Les signaux électroniques émis par l'anémomètre sont utilisés par le système contrôle- commande de l'éolienne pour la démarrer lorsque la vitesse du vent atteint approximativement 5m /s, le système de commande arrête automatiquement l'éolienne si la vitesse du vent est supérieur à 25m /s, le système contrôle- commande utilise les signaux de la girouette pour orienter l'éolienne dans la direction du vent à l'aide du dispositif d'orientation.

**11- Le système de contrôle électronique :** Il comporte un ordinateur qui surveille en permanence l'état de l'éolienne tout en contrôlant le dispositif d'orientation. En cas de défaillance (exemple surchauffe du multiplicateur ou de la génératrice) le système arrête automatiquement l'éolienne et le signale à l'ordinateur de l'opérateur via un modem téléphonique.

**12- Un transformateur :** il se trouve au pied de la tour.

## II.6 Différents types d'éolienne (classification)

Il existe nombreux types :

### 1. Turbine à axe horizontal

La plus partie de la technologie éolienne se réfère aux éoliennes à axe horizontal. La raison est bien simple : aujourd'hui les éoliennes commerciales raccordées au réseau sont construites avec un rotor de type hélice monté sur un axe horizontal (c'est-à-dire arbre principal horizontal). La finalité du rotor est évidemment de convertir le mouvement linéaire du vent en énergie rotative susceptible d'entraîner une génératrice. Les éoliennes à axe horizontales sont de conceptions simples et ont un meilleur rendement par rapport à l'énergie maximum récupérable sur l'arbre, appelé limite de Betz.

Le tableau suivant propose une classification de ces turbines selon la puissance qu'elles délivrent et le diamètre de leur hélice.

Tab 1 : Classification des turbines éolienne

Echelle	Diamètre de l'hélice	Puissance délivrée
Petite	Moins de 12m	Moins de 40kw
Moyenne	De 12 m à 45m	De 40 KW à 1 mw
Grande	46m et plus	1 mw et plus

Sur la base du nombre de pales que compte l'hélice, on peut distinguer deux groupes d'éoliennes à axe horizontal :

#### a) A rotation lente :

Les éoliennes à rotations lentes qui, depuis longtemps, sont relativement rependues dans les campagnes. Elles sont constituées par un ou plusieurs anneaux concentriques (roues multiples à jantes). Le nombre de celles-ci varie entre 20 et 40. Par suite de leur inertie importante, leur comportement lors de la rafale de vent fait que leur diamètre reste limité, au maximum à 8 mètres.

#### b) A rotation rapide :

Selon le nombre des pales, on distingue trois conceptions :

- **Conception tripales :**

La plus part des éoliennes modernes sont tripales. Le rotor maintenu dans une position face au vent par un mécanisme d'orientation actionné par des moteurs électriques. La plus grande majorité des

éoliennes vendues sur le marché mondial sont cette conception. Une caractéristique de cette conception est l'emploi d'une génératrice asynchrone.

- **Conception bipale (avec un rotor basculant) :**

L'avantage des éoliennes bipales par rapport à leurs cousines tripales est le fait qu'elles permettent d'économiser le coût d'une pale ainsi que le poids de celle-ci. Les éoliennes bipales ont cependant certaines difficultés à pénétrer le marché, entre autres.

- **Conception mono pales :**

Il existe également des éoliennes mono pales et elles permettent effectivement d'économiser le coût d'une pale de plus. Une chose est sûre : s'il est possible de construire quelque chose, les éoliennes mono pales sont assez rares pour les mêmes raisons que celles citées pour les bipales. Les problèmes étant cependant encore plus prononcés que dans le cas des éoliennes bipales.

## **2. Eolienne à axe verticale**

Les éoliennes à axe vertical ressemblent un peu aux roues hydrauliques. En fait ; certaines pourraient également fonctionner à axe horizontal mais il est probable qu'elles soient aussi efficaces qu'une éolienne munie d'un rotor du type hélice. Il y a deux types d'éolienne à axe vertical : celle de Darrieux et de Savonius.

### **a) L'éolienne de Darrieux :**

La seule à axe vertical qui n'ait jamais été fabriquée commercialement est l'éolienne de Darrieux nommée d'après l'ingénieur français George Darrieux qui a breveté la conception en 1931. Cette éolienne est caractérisée par ses pales de rotor en forme C qui la font ressembler un peu à un fouet à œufs.



Fig 7 : éolienne de Darrieux

**b) L'éolienne de Savanius :**

Ne permettent pas de développer de grandes puissances et n'ont qu'un faible rendement dépassant pas 50% de la limite de Betz. De ce fait, elles ne connaissent pas un grand développement.

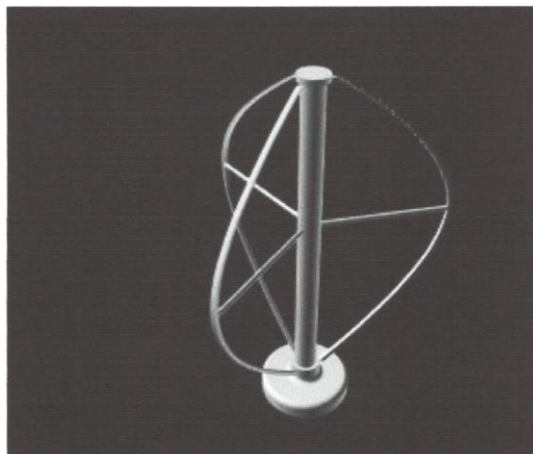


Fig 8 : éolienne de Savanius

- 1. Les éoliennes à bosse :** les pales de ces éoliennes sont fabriquées sur la base des techniques des bosses qui permettent aux baleines à bosses de mieux nager. L'avantage de ces éoliennes c'est qu'elles permettent 20% de rendement en plus que les types d'éoliennes traditionnelles et elles sont plus résistantes.
- 2. Les éoliennes qui permettent de produire de l'eau :** elles permettent de transformer en eau potable l'humidité contenue dans l'air via une unité frigorifique sise dans la nacelle, un filtre et un mat de stockage.

3. **Les éoliennes recyclables** : dont les pales sont fabriquées en composite thermoplastique fait à partir d'une résine de Cyclics.
4. **Les éoliens multi rotors** : qui comportent 3 rotors de 3 pales, avec un diamètre de 2.1m et qui peut fournir une puissance de 6kW.

## **II.7 Production de l'électricité avec le vent**

Le procédé de transformation de l'énergie cinétique en énergie mécanique, électrique

L'énergie électrique ou mécanique produite par une éolienne dépend de trois paramètres : la forme et la longueur des pales, la vitesse du vent et enfin la température qui influe sur la densité de l'air.

L'énergie récupérable par une éolienne est proportionnelle à la surface balayée par son rotor et au cube de la vitesse du vent.

L'énergie récupérable correspond à l'énergie cinétique qu'il est possible d'extraire. Elle est proportionnelle à la surface balayée par le rotor et au cube de la vitesse du vent.

La puissance maximum récupérable (P) est donnée par la loi de Betz :  $P = 0,37 \cdot S \cdot V^3$ ; où 0,37 est la constante de l'air à pression atmosphérique standard (1 013 hPa), S la surface balayée et V la vitesse du vent.

En pratique, une éolienne produit quatre fois plus d'énergie si la pale est deux fois plus grande et huit fois plus d'énergie si la vitesse du vent double. La densité de l'air entre également en jeu : une éolienne produit 3% de plus d'électricité si, pour une même vitesse de vent, l'air est plus froid de 10°C. La puissance éolienne dépend principalement de l'intensité du vent et de ses variations. L'énergie éolienne est donc une énergie intermittente et aléatoire.

Le vent est plus fort et plus constant en mer. Les éoliennes qui y sont installées sont également plus puissantes.

L'ensemble pale/rotor est orienté face au vent par un système de gouvernail. La plupart des éoliennes démarrent lorsque la vitesse du vent atteint environ 3 m/s et s'arrêtent lorsque cette vitesse atteint 25 m/s. Généralement, les éoliennes sont paramétrées afin d'exploiter au mieux les vents de puissance intermédiaire.

❖ **Energie cinétique :**

Le vent est de l'air en mouvement, et comme tout corps en mouvement on peut lui associer une **énergie cinétique**, elle est en fonction de la masse et de la vitesse du volume d'air. Si on considère que la masse volumique de l'air (masse de l'air par unité de volume) est constante, on peut dire que l'énergie fournie par le vent est fonction de sa vitesse :

**énergie cinétique du vent**

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

*m* : masse du volume d'air (en kg)  
*v* : vitesse instantanée du vent (en m/s)  
*E<sub>c</sub>* : énergie cinétique (en joules)

❖ **La masse de l'air :**

A une pression atmosphérique normale et à une température de 15 degrés Celsius, l'air possède une masse volumique d'environ 1,225 kg par mètre cube. Cependant, la masse volumique diminue un peu lorsque l'humidité de l'air augmente. De même, l'air froid est plus dense que l'air chaud, tout comme la masse volumique de l'air est plus faible à des altitudes élevées (dans les montagnes) à cause de la pression atmosphérique plus basse qui y règne.

**masse de l'air**

$$m = \rho \cdot V$$

*m* : masse du volume d'air (en kg)  
*V* : volume d'air occupé (en m<sup>3</sup>)  
*ρ* : masse volumique (en kg/m<sup>3</sup>)

Dans le cas de l'éolien, le volume d'air occupé dépend de la surface balayée par le rotor de l'éolienne. La puissance du vent traversant le rotor correspond à la quantité d'énergie cinétique traversant le rotor à chaque seconde.

❖ **Energie théoriquement récupérable :**

En considérant un dispositif de récupération de cette énergie de surface  $S$  et en faisant l'hypothèse que la vitesse du vent est identique en chaque point de cette surface, le volume d'air qui traverse cette surface en 1 seconde est égale à  $v_s$ .

**Vitesse du vent créé par le déplacement de la pale**

$$U = \omega \cdot r = 2\pi \cdot f \cdot r = 2\pi \cdot \frac{n}{60} \cdot r$$

$U$  : vitesse du vent dû au déplacement de la pale ou vitesse tangentielle (en m/s)

$\omega$  : vitesse angulaire du rotor (en rad/s)

$r$  : distance du point considéré à l'axe de rotation (en m)

$f$  : fréquence de rotation du rotor (en hertz ==  $s^{-1}$  == tour/seconde)

$f$  : fréquence de rotation du rotor (en (tour. $K^{+1}$ )/(seconde. $K^0$ ))

$f$  : fréquence de rotation du rotor (en (tour. $K^{+0}$ )/(seconde. $K^{-1}$ ))

avec  $K^{+1}$  élément de  $R^+$ , donc  $K^{+1} > 0$

$n$  : fréquence de rotation du rotor (en tour/min)

❖ **Puissance récupérable :**

**Puissance du vent contenue dans un cylindre de section  $S$**

$$P_{cinétique} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot a \cdot S \cdot V_{turbine}^3$$

$V_{turbine} = a \cdot V_f$  :

$V_f$  : vitesse du fluide au niveau de la turbine (en m/s)

$\rho$  : masse volumique de l'air (air atmosphérique sec, environ : 1,23 kg/m<sup>3</sup> à 15 °C et à pression atmosphérique 1,0132 bar)

$S$  : surface projetée du capteur éolien (en m<sup>2</sup>)

Cette puissance (en Watt) est une puissance théorique, il est bien sûr impossible qu'elle soit récupérée tel quelle par une éolienne (cela reviendrait à arrêter le vent).

❖ **Limite de Betz/formule de Betz :**

La puissance récupérable est inférieure, puisque l'air doit conserver une énergie cinétique résiduelle pour qu'il subsiste un écoulement. L'allemand Albert Betz a démontré en 1919 que la puissance maximale récupérable est :



### La puissance maximale récupérable

$$P_{max} = \frac{16}{27} \cdot P_{cinétique} = \frac{8}{27} \cdot \rho S \cdot v^3$$

avec  $P_{cinétique} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot S \cdot v^3$ , lorsque  $v_{aval} = \frac{1}{3} \cdot v_{amont}$

$\rho$  : masse volumique du fluide (air atmosphérique sec, environ : 1,23 kg/m<sup>3</sup> à 15 °C et à pression atmosphérique 1,0132 bar)

$S$  : surface du capteur éolien (en m<sup>2</sup>)

$v$  : vitesse incidente (amont) du fluide (en m/s)

Le rendement maximal théorique d'une éolienne est ainsi fixé à  $\frac{16}{27}$  soit environ 59,3 %. Ce chiffre ne prend pas en compte les pertes d'énergie occasionnées lors de la conversion de l'énergie mécanique du vent en énergie électrique.

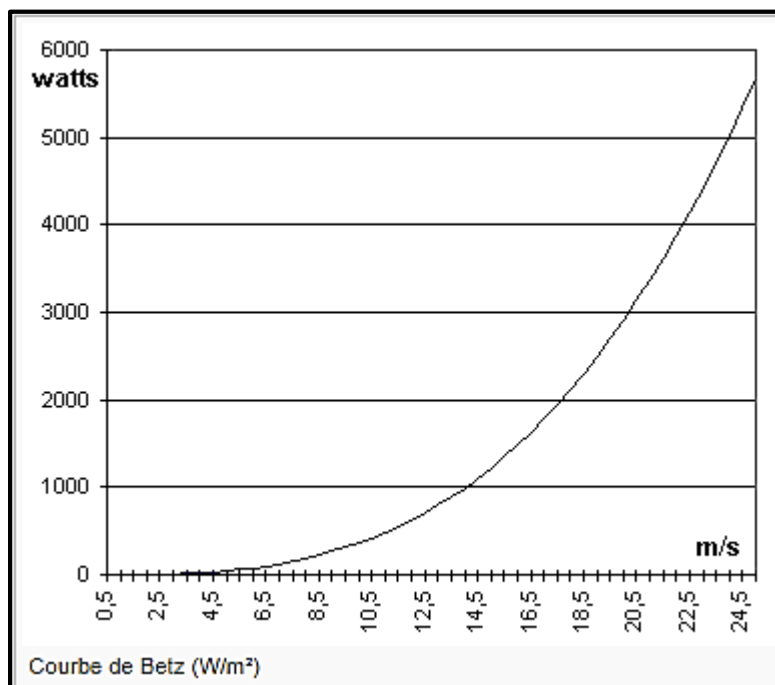
Dans le cas d'une hélice de diamètre D, la limite de Betz est égale à

$$P = 0,37 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot v^3$$
$$P = 0,29 \cdot D^2 \cdot v^3$$

La puissance fournie par un aérogénérateur est proportionnelle :

- au **carré** des dimensions du rotor
- au **cube** de la vitesse du vent

Courbe ci-contre pour une hélice de diamètre D = 1 m



L'énergie fournie par l'aérogénérateur étant convertie d'une forme à une autre, cette limite est donc affectée par tous les rendements propres aux différentes transformations.

- Hélice :  $0.2 < \eta < 0.8$
- Le multiplicateur ou le réducteur :  $0.7 < \eta < 0.98$
- L'alternateur ou la génératrice continue :  $0.80 < \eta < 0.98$
- Le transformateur :  $0.85 < \eta < 0.98$
- Le redresseur :  $0.9 < \eta < 0.98$
- Les batteries :  $0.7 < \eta < 0.8$

Les rendements de chaque élément varient avec le régime de fonctionnement lié à la vitesse de rotation de l'hélice, ce qui en dehors du régime nominal diminue encore le rendement global du dispositif, il semble difficile de dépasser 70% de la limite de Betz .

#### ❖ Vitesse angulaire du rotor :

La vitesse angulaire  $\omega$ , aussi appelée fréquence angulaire ou pulsation, est une mesure de la vitesse de rotation. C'est-à-dire un angle par seconde :

**vitesse angulaire**

$$\omega = 2\pi \cdot f$$

$\omega$  : vitesse angulaire (en rad/s)  
 $f$  : fréquence de rotation du rotor (en  $s^{-1}$  ou Hz)

#### ❖ Vitesse tangentielle :

Soit une hélice immobile dont l'axe de rotation est parallèle au vent, pour chaque pale on peut tracer la résultante perpendiculaire au profil appliquée au centre de la poussée aérodynamique. On obtient :

- T1 et T2 parallèles et de même sens qui ont tendance à déplacer l'hélice dans un mouvement de translation dans la direction du vent
- P1 et P2 parallèle et de sens opposé, perpendiculaire à la direction du vent

Ces deux forces créent un couple moteur qui a tendance à faire tourner l'hélice dans un plan perpendiculaire à la direction du vent.

**Vitesse du vent créé par le déplacement de la pale**

$$U = \omega \cdot r = 2\pi \cdot f \cdot r = 2\pi \cdot \frac{n}{60} \cdot r$$

$U$  : vitesse du vent dû au déplacement de la pale ou vitesse tangentielle (en m/s)  
 $\omega$  : vitesse angulaire du rotor (en rad/s)  
 $r$  : distance du point considéré à l'axe de rotation (en m)  
 $f$  : fréquence de rotation du rotor (en hertz == s<sup>-1</sup> == tour/seconde)  
 $f$  : fréquence de rotation du rotor (en (tour.K<sup>+1</sup>)/(seconde.K<sup>0</sup>))  
 $f$  : fréquence de rotation du rotor (en (tour.K<sup>+0</sup>)/(seconde.K<sup>-1</sup>))  
 avec K<sup>+1</sup> élément de R<sup>+</sup>, donc K<sup>+1</sup> > 0  
 $n$  : fréquence de rotation du rotor (en tour/min)

❖ **Diminution de vitesse en aval d rotor :**

Le modèle le plus courant de calcul de la diminution de vitesse dans le sillage est celui développé par WASP/Park2, logiciel utilisé en standard par l'industrie éolienne Ce modèle s'appuie sur le développement linéaire d'un Sillage rectangulaire.

**La vitesse du vent en aval de l'éolienne**

$$v = U \left[ 1 - \sqrt{(1 - CT) \left( \frac{D}{D + 2kX} \right)^2} \right]$$

$v$  : vitesse du vent dans le sillage, en aval du rotor tournant (en m/s)  
 $U$  : vitesse du vent non perturbée en amont (en m/s)  
 $CT$  : coefficient de traînée de l'éolienne (sans dimension)  
 $D$  : diamètre du rotor (en m)  
 $X$  : distance du rotor au point de calcul (en m)  
 $k$  : est une constante de décroissance du sillage

**constante de décroissance du sillage**

$$k = \frac{A}{\ln\left(\frac{h}{z_0}\right)}$$

$A$  : constante ( $A=0,5$ )

$h$  : hauteur du moyeu (centre du rotor)

$z_0$  : longueur de rugosité

**❖ Couple mécanique produit par l'éolienne :****couple mécanique produit par l'éolienne**

$$\Gamma = \frac{P}{\omega}$$

$\Gamma$  : couple mécanique produit par l'éolienne (en N·m)

$P$  : puissance mécanique (en W)

$\omega$  : fréquence de rotation du rotor (en rad/s)

Le couple moteur est la force de rotation qui fait tourner le rotor. Ce couple est obtenu par une sommation des composantes de portance et de traînée et est fonction du nombre de pales du rotor :

**couple moteur**

$$\Gamma = \int_D^L d\Gamma = \eta \cdot \int_D^L [\xi \cdot \sin \alpha - D \cdot \cos \alpha]$$

$\Gamma$  : couple moteur (en N·m)

$\eta$  : nombre de pales (sans unité)

$\alpha$  : angle d'attaque des pales (en degrés)

$\xi$  : Portance (en N)

$D$  : traînée (en N)

$L$  : longueur des pales (en m)

En supposant l'angle  $\alpha$  constant sur toute la longueur de la pale il est possible de simplifier cette équation en considérant une vitesse relative constante sur toute la longueur de la pale. On trouve que le couple moteur peut s'exprimer sous la forme suivante :

couple moteur

$$\Gamma = \eta \cdot L \cdot [\xi \cdot \sin \alpha - D \cdot \sin \alpha]$$
$$= \eta \cdot L^2 \cdot \frac{\rho \cdot c}{2} \cdot \left( v^2 + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot U^2 \cdot [C_z \cdot \sin \alpha \cdot C_x \cdot \cos \alpha] \right)$$

$\Gamma$  : couple moteur (en N·m)

$\eta$  : nombre de pales (sans unité)

$\alpha$  : angle d'attaque des pales (en degrés)

$\xi$  : Portance (en N)

$D$  : traînée (en N)

$L$  : longueur des pales (en m)

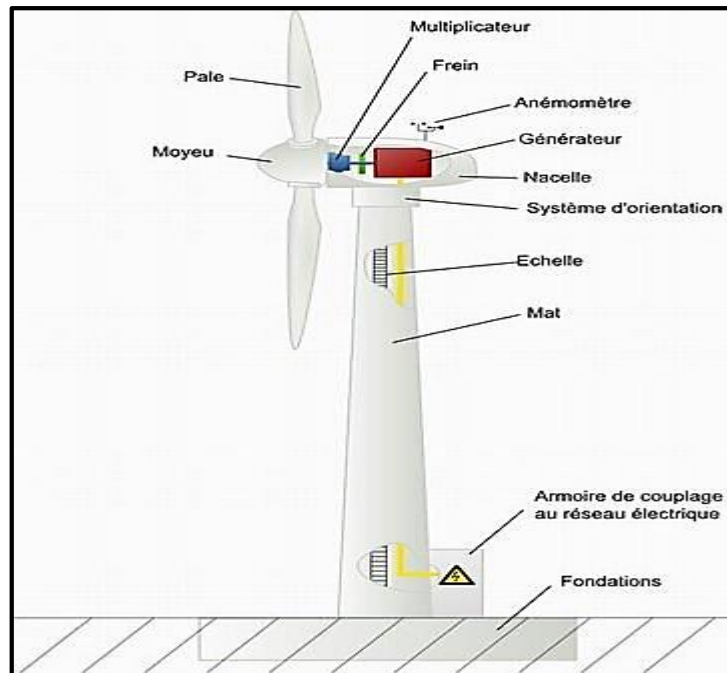


Fig 9 : Schéma d'une éolienne

## II .8 Le placement d'une éolienne :

Les éoliennes peuvent être placées sur terre (éolien terrestre). Ce sont les champs d'éoliennes (ou parc éolien) que tu peux voir quand tu voyages ou si tu habites près de l'un d'entre eux. Mais elles peuvent aussi être placées en mer. On parle alors d'éolien maritime ou off-shore.

Installer un parc éolien implique les différents acteurs de la société : porteurs de projet, élus, pouvoirs publics et citoyens. Avant de décider de l'installation d'un parc éolien, plusieurs études sont menées.

La première étape consiste à s'assurer que le site d'implantation envisagé convient à un tel projet. Il doit en particulier :

- ✓ être suffisamment venté. Dans l'idéal, les vents doivent être réguliers et suffisamment forts, sans trop de turbulences, tout au long de l'année. Des études de vent sur le site sont donc indispensables ;
- ✓ être facile à relier au réseau électrique haut ou moyen tension ;
- ✓ être facile d'accès ;
- ✓ ne pas être soumis à certaines contraintes (aéronautiques, radars, etc...) ;
- ✓ prendre en compte le patrimoine naturel, en particulier l'avifaune (faune animale des oiseaux) et la faune marine pour l'éolien maritime et éviter les zones protégées (telles que les réserves) ;
- ✓ ne pas prendre place dans des secteurs architecturaux ou paysagers sensibles (sites inscrits et classés, paysages remarquables...) ;
- ✓ être d'une taille suffisante pour accueillir le projet.

Cependant, il n'est pas interdit d'installer une éolienne hors de ces zones. Mais ces éoliennes ne seront pas forcément reliées au réseau électrique. Elles serviront par exemple à fournir de l'électricité à une exploitation agricole.

Les éoliennes en mer bénéficient de vents marins, donc plus forts et plus réguliers. Elles doivent être installées à plus de 30 km des côtes et à moins de 30 m de profondeur.



Fig 10 : parc éolien

## II.9 Les différentes utilisations de l'énergie éolienne

L'énergie éolienne peut être utilisée pour :



- Transformer la force du vent en force motrice pour la compression de fluides ou le pompage de liquide par exemple.
- Conserver de l'énergie mécanique afin, par exemple, de pomper de l'eau, de faire tourner la meule d'un moulin ou de faire avancer un véhicule tel que la voile.
- Produire de l'énergie électrique afin de fabriquer un courant alternatif ou continu avec l'aide d'un générateur électrique.

## II.10 Evaluation de l'énergie éolienne dans le monde

Les éoliennes produisent 1 % de la production de l'électricité globale II y a maintenant des milliers d'éoliennes fonctionnant dans diverses régions du monde, avec des entreprises de service public ayant une capacité totale de plus de 58 982 MW.

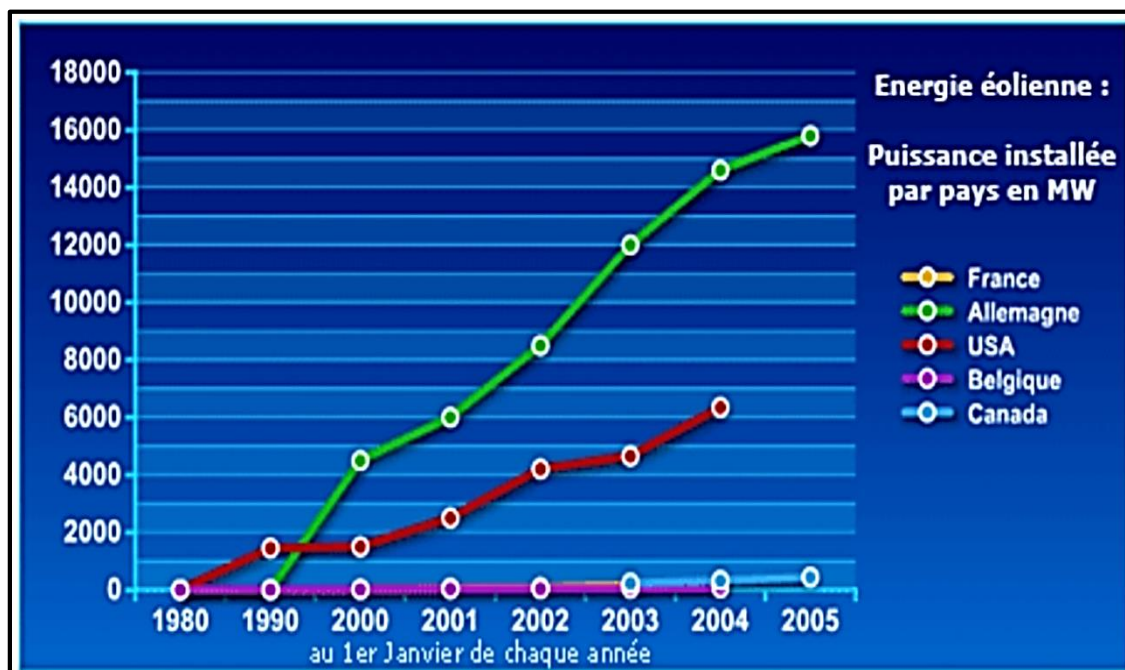


Fig 11 : énergie éolienne au 1<sup>er</sup> janvier de chaque année

## III. Eolienne en Algérie

D'après le Centre de Développement des Energies Renouvelables, Laboratoire Energie Eolienne & ALGEOL Projet National de recherche, domicilié au CDER :

- L'une des préoccupations actuelle en Algérie est la revalorisation des terres agricoles dans les zones arides et semi-arides.
  - De parvenir à une autosuffisance alimentaire.
  - De fixer les populations.
- Les atlas développés montrent que le potentiel énergétique renouvelable
  - géothermiques.
  - solaires.
  - éoliens.
- Estimé au sud est favorable à l'implantation des systèmes énergétiques basés sur ces sources d'énergie.

### III.1 Carte saisonnières de la vitesse du vent

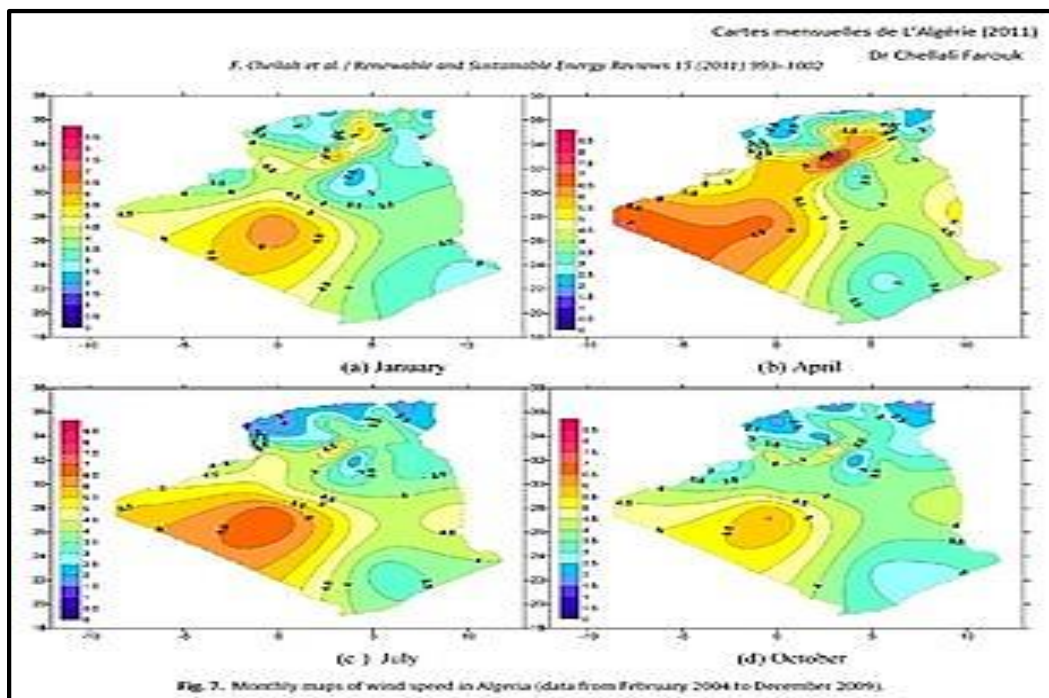


Fig 12 : cartes saisonnières de la vitesse du vent



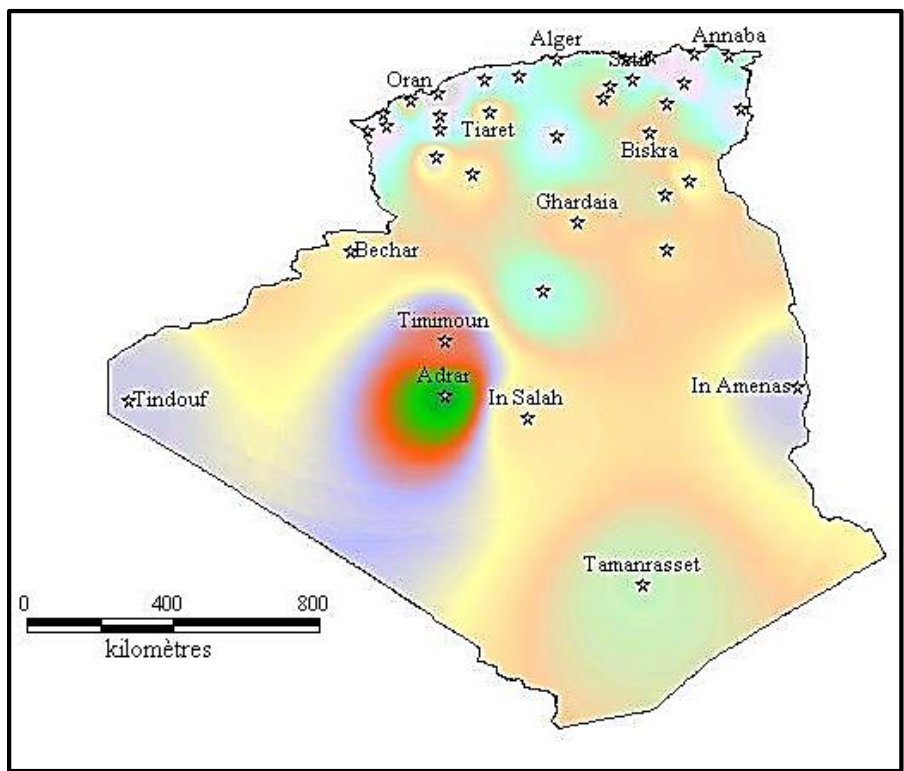


Fig 13 : atlas de la vitesse du vent à 10m

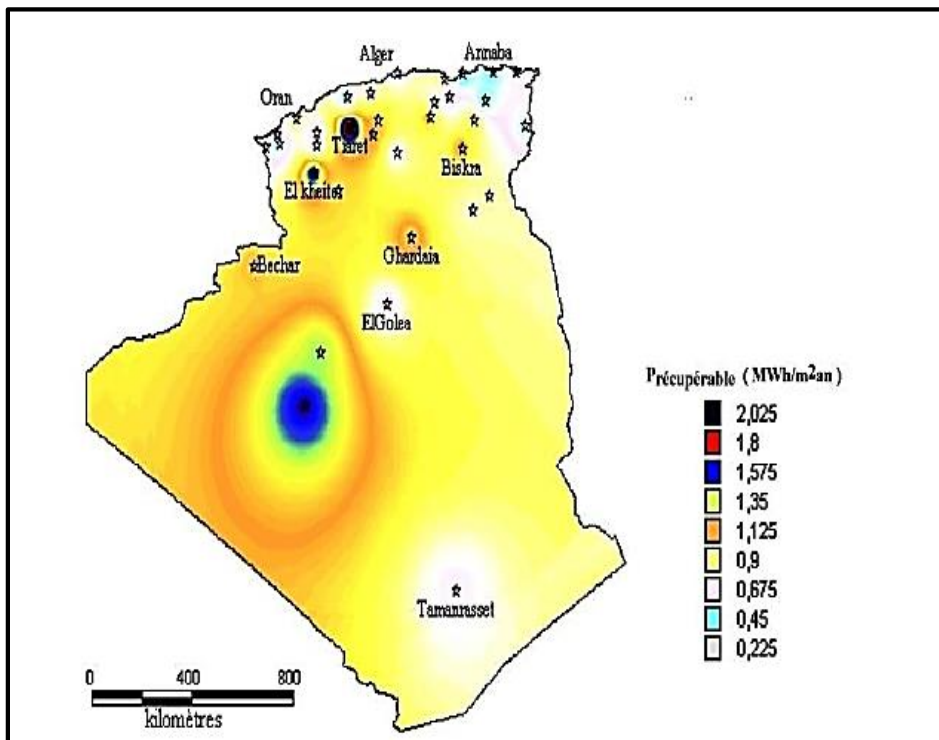


Fig 14 : atlas de la puissance énergétique récupérable à 50m

#### IV. La sécurité, des risques sous surveillance

Comme toute technologie, les éoliennes peuvent faire l'objet d'incidents, d'accidents, dont les principales causes sont les vents forts puis la foudre, ou de pannes.

Une vingtaine d'accidents ont été dénombrés en France depuis 2000, avec des conséquences matérielles faibles. Aucune blessure de passant ou de riverain n'a jamais été signalée. La plupart des accidents par le passé se sont produits sur des petites machines avec des vitesses de rotation élevées.

L'introduction de dispositifs de sécurité de la machine (freinage, mise en drapeau, parafoudre,...) permet de maîtriser de mieux en mieux le risque d'accident éolien. Une maintenance régulière doit être mise en œuvre pendant toute la durée de l'exploitation (estimée à 20 ans).

Dans le cadre de la réglementation ICPE (voir p. □ 16), une étude de dangers doit désormais être produite avant l'implantation des éoliennes pour évaluer les risques susceptibles de générer des impacts sanitaires (chute 18 d'objets...) ou environnementaux (fuite d'huile...). Cette étude doit préciser l'envergure des dangers et des risques et présenter les mesures pour les gérer. De plus, sur la base de ses résultats, les préfets décident de la distance à observer entre parcs éoliens et routes.

Une étude de dangers-type est en cours de réalisation par l'institut national de l'Environnement industriel et des Risques (INERIS).



Fig 15 : sécurité de machine

#### **IV.1 La santé, un souci très présent**

Les éoliennes récentes sont peu bruyantes, et des études n'ont pas montré d'impact particulier du bruit sur les riverains des parcs éoliens. Les machines font l'objet de perfectionnements techniques constants pour réduire encore le bruit : diminution de la vitesse de rotation des pales, engrenages de précision silencieux, montage des arbres de transmission sur amortisseurs, capitonnage de la nacelle.

Les projets éoliens sont soumis à la réglementation relative à la lutte contre les bruits de voisinage (décret 2006-1099 du 31/08/2006).

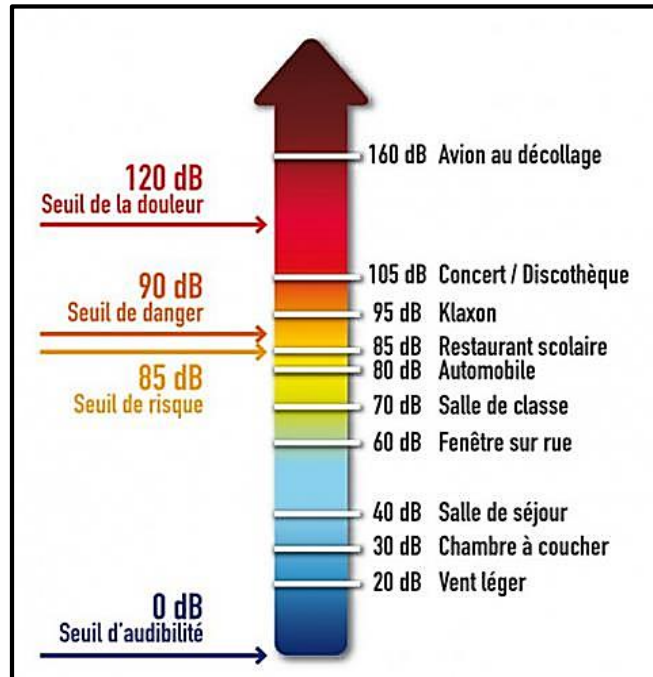


Fig 16 : échelle du bruit

## IV.2 Une perception globalement favorable

Les Français sont nettement favorables à l'installation d'éoliennes en France (à 74%) et dans leur région (à 69 %). Ils le sont encore majoritairement (à 54%) si le projet se situe à moins d' 1 km de chez eux.

Lorsqu'ils ne sont pas favorables à l'installation d'une éolienne à moins d' 1 km de chez eux, ils motivent leur réponse par la crainte de la nuisance paysagère et du bruit. L'inquiétude au sujet du bruit s'estompe bien souvent après la visite d'une ferme éolienne.

## CONCLUSION

L'éolien industriel. Face à l'enjeu actuel, un développement raisonné est possible. L'implantation d'un parc éolien ne doit être seulement la résultante de contraintes techniques liées à une optimisation de la production électrique (même si cette réalité reste forcément très prégnante, la ressource en vent doit être utilisée le mieux possible). Le site doit également être pris en compte, et ceci demande une réflexion à l'échelle d'un large territoire, étant donné l'emprise visuelle des machines et des parcs. L'architecte ne doit pas seulement être là pour signer le permis de construire comme c'est parfois le cas. Une prise de parti affirmé lors de la création du parc éolien, rendra plus lisible et plus acceptable la présence de ces objets dans le paysage. On aura créé un nouveau paysage avec des éoliennes, avec une nouvelle lecture du site.

Les parcs éoliens rendent visible par leur mouvement une ressource que nous ne voyons pas habituellement. On retrouve dans les régions fortement ventées un patrimoine architectural lié au vent, les moulins à vent, dont la logique d'implantation était liée elle aussi à une optimisation de la ressource.

Avec les éoliennes, on est aujourd'hui à une autre échelle, mais toutes les infrastructures qui marquent le paysage ont-elles aussi changé d'échelle.

On entend de nombreuses critiques concernant l'éolien, et celle qui revient régulièrement concerne le fait de dénaturer le paysage. (On pourrait aussi se poser ce genre de question pour les autres sources de production d'énergie.). L'écueil à éviter est le mitage des paysages par une trop grande densité d'installations dans un site. C'est l'idée développée dans les zones de développement de l'éolien.

Par rapport à la population et aux riverains, un effort de communication est indispensable. Il existe des exemples d'intégrations réussies. Un parc éolien peut être le support à de nombreux projets d'éducation, de découverte de la nature et des énergies. De par leur situation, ils offrent des panoramas remarquables sur le paysage. Une meilleure concertation pourrait éviter des réactions impulsives qui bloquent parfois les projets. La prise en compte des problèmes soulevés devrait aussi permettre de créer des parcs mieux intégrés. Un dialogue est à mettre en place.

Il existe une grande différence culturelle avec nos voisins du nord de l'Europe, chez qui l'éolien s'est développé depuis beaucoup plus longtemps, et de façon plus harmonieuse (participation de la population au travers de collectifs qui ont investi dans cette énergie). Nous n'avons pas (ou très peu en France) cette manière communautaire de fonctionner, et notre approche de l'écologie est très différente. Le développement de la filière nucléaire au détriment des autres n'a pas arrangé les choses. Le petit éolien.

C'est une voie intéressante de développement. Ces systèmes demandent un réel travail d'intégration au bâtiment, car pour l'instant, on est plutôt dans la logique d'un objet posé sur un autre (mais pourquoi pas, leur visibilité est faible s'ils sont placés en toiture). Ils peuvent permettre de créer des bâtiments qui utilisent le vent. Dans l'esprit des cheminées de ventilation naturelle, leur design un peu étonnant peut apporter un plus à l'architecture.

## BIBLIOGRAPHIE

- Mémoire
- [Http//f. wikipedia.org/wiki/Energie renouvelable](http://f.wikipedia.org/wiki/Energie_renouvelable)
- [http://jeunes.edf.com/une /biomasse,8](http://jeunes.edf.com/une/biomasse,8)
- <Http://s3.en site.com/2011/02/05/12/rendement-éolienne.gif>
- <http://www.énergies- renouvelables.org/énergie-géothermi.asp>
- Guide-ademe-énergie-éolienne.pdf
- Mémoire M2-génie industriel l'énergie éolienne  
Réaliser par : Keniouche Farouk et Djouema Naima :  
Dirigé par : Mr Hamdaoui 2008/2009
- <http://www.énergies-renouvelables.fr/énergie-éolienne.php>
- <http://www.énergies -renouvelables. Fr/avantages-inconvénients – énergies renouvelables PHP>
- <http://www.taterre.fr>
- <http://www.les énergies-renouvelables.>