

## Liste des figures

|  |    |
|--|----|
| FIG II.1 Distribution de probabilité de production éolienne.....   | 30 |
| FIG II.2. Echelle du bruit.....  | 34 |
| FIG III.3.1 Statistique de la vitesse du vent au rez de la montagne .....  | 38 |
| FIG III.3.2. Statistique du vent cime de la montagne.....  | 39 |
| FIG III.3.3. Simulation de la vitesse du vent en moyenne de 10 m/s.....  | 39 |
| Figure III..5. Modèle journalier / courbe de calme.....  | 40 |
| Figure III.5.3. La rose du vent de notre site KST .....  | 43 |
| Fig. III.6 point de MPPT d'une éolienne tripale avec la vitesse du vent.....   | 45 |
| Fig III.7. Vitesse de vent modèle analytique .....   | 46 |
| Fig III.7.1. Turbine tripale ( $R.v = 1,25 \text{ m}$ ) .....  | 46 |
| +Fig III.7.2. Schéma de la turbine éolienne.....   | 47 |
| Fig III.7.3. Résultat de simulation .....  | 49 |
| Fig III.8. Résultats obtenus pour le système d'orientation des pales .....   | 50 |
| Fig III.9. Eolienne basée sur une génératrice Asynchrone à cage alimentée au stator par<br>deux convertisseurs MLI ..... | 51 |
| Fig III.9.1. Représentation de la machine asynchrone triphasé dans l'espace électrique.....                              | 52 |
| Fig III.9.2. vitesse du vent V et vitesse tangentielle.....  | 52 |
| Fig III.10. Schéma global de simulation.....   | 53 |
| Fig III.11. Machine asynchrone à double bobinage statorique.....   | 54 |
| Fig.III.12. Schéma bloc de l'orientation des pales en boucle fermée.....   | 55 |
| Fig III.13. Mada alimentée par deux onduleurs à MLI .....  | 56 |
| Fig .III.14. Schéma électrique de l'ensemble selfs + transformateurs + réseau .....                                      | 56 |



## INTRODUCTION ET OBJECTIF GENERAL

Afin d'optimiser l'exploitation de site éoliens, certaines mesures doivent être prises en compte. En effet, un mauvais choix de certains paramètres pourra porter préjudice lors d'installation éolienne ; c'est pourquoi une phase d'étude au préalable se relève d'un extrême intérêt dans la mesure où on pourra dégager les conditions et les contraintes à en tenir compte dans la réalisation d'un projet éolien.

Il faut donc passer par une étude et analyse de l'état de lieu, donc climatisation du site choisi, car une bonne connaissance de ce site permet une meilleure exploitation production de l'énergie électrique. Cependant le couple des aérogénérateurs au réseau électrique à un impact sur la qualité d'alimentation et de la sûreté des fonctionnements, et par conséquent ce raccordement est soumis à certaines techniques et impose parfois des aménagements et dans le réseau pour assurer un bon fonctionnement correct de ce dernier. Ainsi, pour mieux optimiser et sécuriser le site éolien, un système de sécurité et de supervision à distance doit être mise en place pour être au courant de tout ce qui peut arriver à l'éolienne et pour pouvoir vaquer aux pannes brusques de l'éolienne. Ce dernier doit être conçu pour permettre une bonne exploitation automatique des centrales éoliennes.

Et par conséquent, notre objectif général de ce travail est de contribuer à l'installation éolienne inachevée qui a été faite dans le site KASHAMATA en vue de faire fonctionner cette centrale du KASHAMATA et produire un bon courant électrique tout en approvisionnant l'électricité en profitant des potentialités importantes du gisements éolien à KASHAMATA.

# **CHAPITRE I. PRESENTATION DE LA FERME ESPOIR**

## **I.1. INTRODUCTION**

C'est une ferme agro-alimentaire qui s'étend sur quatre provinces, entre autre, le Haut-Katanga, le Congo central, Kinshasa et Nord-Kivu.

La ferme espoir est Sarl, est un projet existe depuis 2002, avec son siège social à Lubumbashi.

## **I.2.DOMAINE D'EXPLOITATION**

En 2002, un domaine est acquis au niveau du village MUKWENE à plus au moins 13km de Lubumbashi, sur la route Kasumbalesa pour une spécialité agricole soit un champ de maïs.



En 2003, une autre superficie est acquise aux environs du village KIMONO, situé à 63km de la ville de Lubumbashi sur la route Kasumbalesa.



En 2005, ouverture d'un nouveau domaine d'exploitation à MULYASHI, à plus de 80km sur la route Kafubu qui aura pour vocation agro-pastorale.



Vers 2007, la ferme prendra une nouvelle dimension avec la naissance d'un autre domaine situé à plus de 400km de la ville de Lubumbashi au parc national de Kundelungu sur l'ancienne concession de la ferme Elakat/GLM. Cette dernière aura pour vocation l'agriculture et l'élevage des gros et menus bétails.

Toujours en 2007, à Kashamata près de Mukuene, où on trouve un système d'irrigation pour le partager, et plusieurs unités de production entre autres le secteur volaille (couver, poulets de chair, poulets de ponte), la boucherie et charcuterie, les étangs pour la pisciculture, la provenderie :



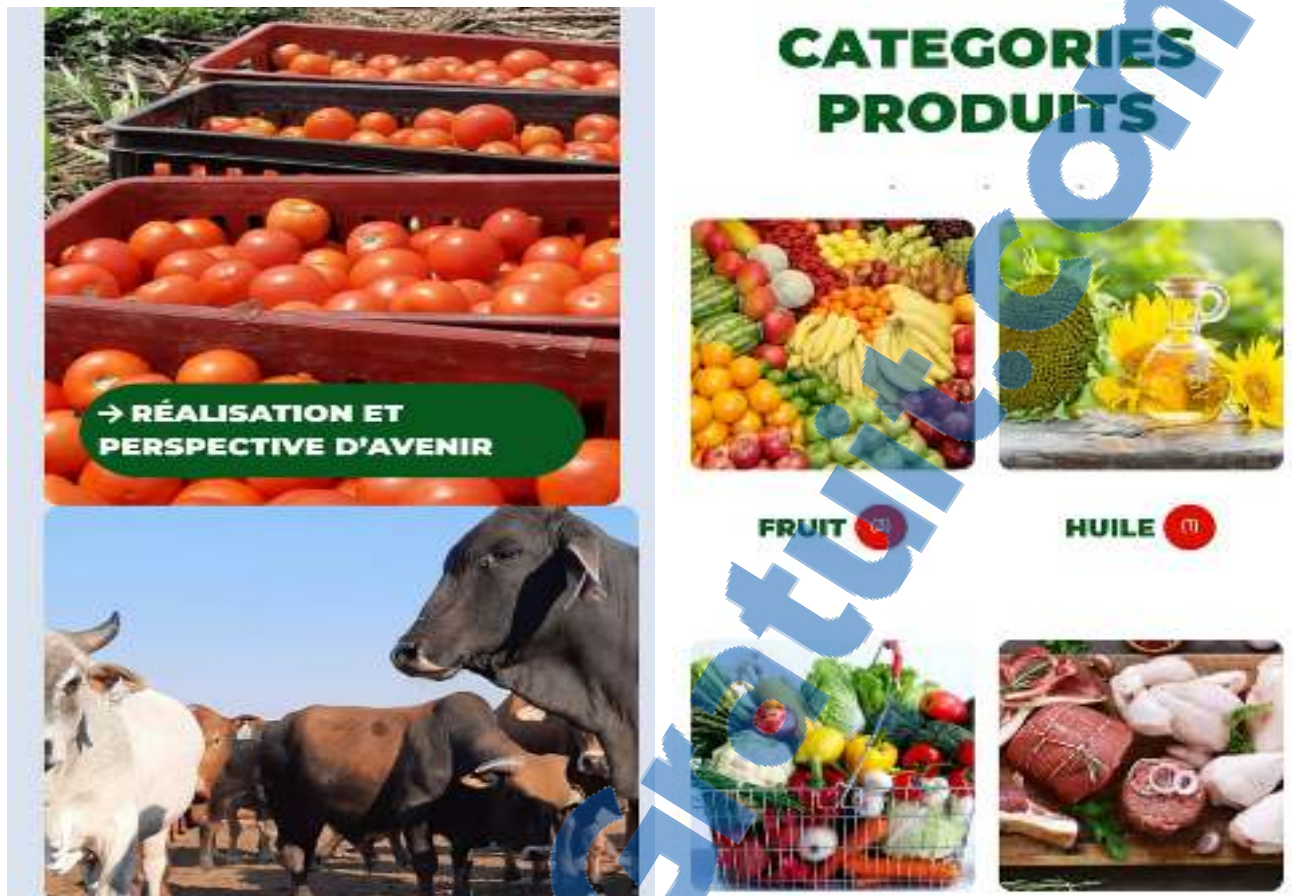
## **Perspective d'avenir <sup>2.2</sup>**

La vision de toute organisation est de croître afin de se positionner d'une façon durable sur marché.

Cela permet d'assurer une garantie par rapport à la récupération des investissements.

La ferme espère à une vision spéciale qui est celle de faciliter la population en provisionnement local au lieu que ces derniers recourent à l'étranger, d'où sa vision « de la ferme à votre table ».





### I.3. STRUCTURE

La ferme espoir Lubumbashi est organisée en trois grandes directions qui sont :

1. Direction générale
2. Direction technique : S'occupe des travaux de génie civile, la gestion des carburants, des charrois automobile et des engins
3. Direction agropastorale

A cela des départements liés aux activités commerciales :

- Département d'administration
- Département boucherie et charcuterie
- Département des finances
- Département commercial et marketing



#### **I.4. FONCTIONNEMENT**

Toutes les directions sont autonomes quant à l'élaboration des budgets et à l'exercice de leurs tâches, elle est une société commerciale où la responsabilité des associés est limitée au montant de leur apport (Sarl).

#### **I.5. CATALOGUE PRODUITS**

##### **I.5.1. De la viande pour tous les goûts**

D'autant plus qu'une alimentation saine et équilibrée ne se limite pas qu'aux fruits et légumes, la ferme espoir détient un impressionnant élevage de gros et menu bétail destiné à produire de la viande fraîche.

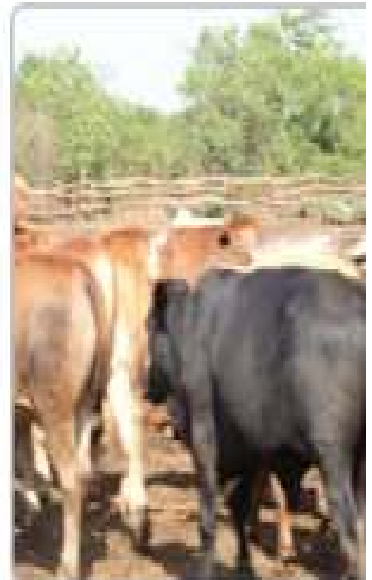
Et pour l'abattage, la ferme s'est dotée des abattoirs industriels modernes destinés à produire de la viande fraîche et des poulets bio élevés en plein air, emballés et conditionnés aux normes internationales pour apporter les meilleurs produits alimentaires dans vos assiettes.

Que ce soit du bœuf, de la chèvre, du mouton ou encore du poulet, il y en pour tous les goûts. En pratiquant une agriculture et un élevage sain, la ferme espoir vous assure une sécurité alimentaire garantie dans vos assiettes.



Dans les soucis d'assurer la sécurité alimentaire, les produits sont transformés localement, sans additifs.

Les bœufs et poulets sont élevés en plein air. Nous recyclons les déjections animales afin de les utiliser dans nos champs. Nous nous adaptons aux changements climatiques afin d'améliorer notre manière de produire sans impacter négativement sur la nature.



KUNDELUNGU est un projet aussi autonome que reste des secteurs de la ferme espoir.

### **I.5.2. SUCCURSALES**

La ferme espoir Sarl des succursales à : Goma, Boma, Kalemie, Ankoro, Kyembe dans le Haut-Katanga, Likasi et Kolwezi via des distributeurs.

### **I.6. HISTORIQUE DE LA FERME ESPOIR**

**Histoire :** La ferme espoir Sarl est une ferme agro-alimentaire qui s'étend sur quatre (4) provinces entre autres ; le Haut-Katanga, le Congo centrale, Kinshasa et le Nord-Kivu.

La ferme espoir Sarl est un projet qui existe depuis 2002, avec son siège social à Lubumbashi province du Haut-Katanga.

### **I.7. PRODUCTION DE LA FERME ESPOIR**

Etant une ferme agro-alimentaire pastorale depuis 2002 en R.D.C, elle produit :

- Les fruits
- Les légumes
- Les viandes
- Les céréales
- Etc...

### **I.8. LES FERMES D'ESPOIR**

Depuis 2015, les "fermes d'espoir" de l'association espoir CFDJ articulent leurs missions autour de la reconquête et de la requalifications de territoires ; elles investissent prioritairement les espaces "dégradés" (fiches urbaines, espaces envahis par les déchets, territoires enclavés), ou délaissés. Elles ouvrent à leur réhabilitation en créant de dynamiques qui associent professionnel et citoyens, et rassemblent les habitants du territoire autour de la participation à un projet collectif. Elle repose sur des valeurs participatives (l'apprendre et faire ensemble), solidaires (soutenir la participation de tous les publics sans exception), d'éducation populaire et citoyenne (promouvoir des initiatives écologiquement et socialement responsables).

Pour réaliser ses missions, l'association développe et gère des équipements de type fermes pédagogiques qui proposent une pluralité d'activités :

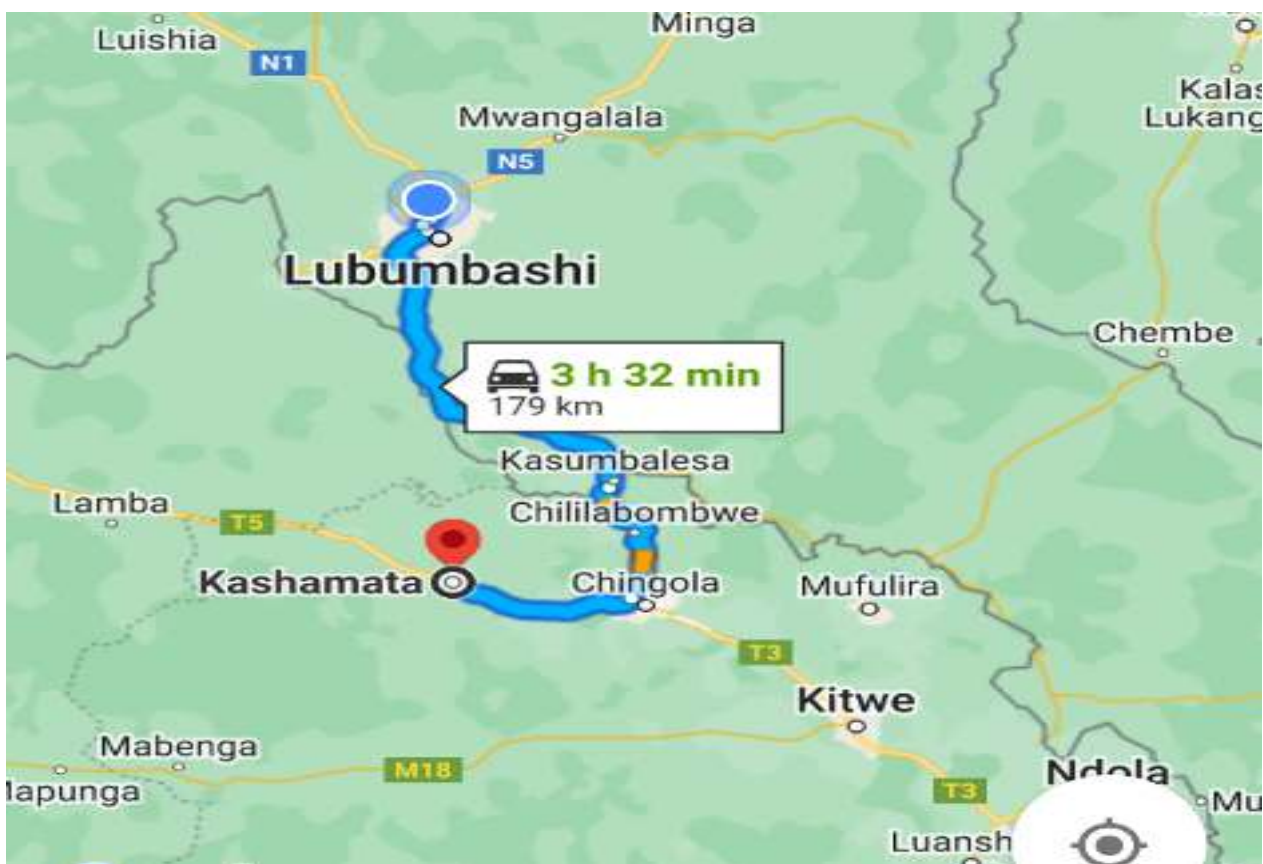
- Développement de pratiques, écologiques urbaine, animation de partager participatifs, réhabilitation de fiches, permaculture et ferme pédagogiques avec des animaux.
- Action d'éducation ou développement durable à travers l'accueil d'enfants issues du milieu scolaires de centres de loisirs et de structures d'accueil œuvrant dans le champ de l'handicap.

### I.8.1. SITUATION GEOGRAPHIE DE LA FERME

La ferme espoir Sarl Haut-Katanga se trouve au village Kashamata sur la route Kasumbalesa.

Et pour visiter la ferme nous pouvons nous adresser au n°15, sur l'avenue Hewa-Bora, dans le quartier industriel, commune Kampemba, Haut-Katanga/R.D Congo.

### I.8.2. LA CARTE GEOGRAPHIQUE



- Activités d'insertion et de formation à destination de publics en risque d'exclusion, de jeunes soumis à des travaux d'intérêt général est des habitants.

- Organisation de chantiers participatifs, déconstruction et de sensibilisation à l'écologie.
- Animation de territoire, au travers de l'écopaturage, d'évènements culturels, d'ateliers participatifs et de fermes mobiles.

## **I.9. COMPORTEMENT DU VENT DANS LE SITE KASHAMATA**

Les paramètres du vent ne sont jamais constant tout au long d'une année, on observe ainsi les périodes de pible vitesse et celle de grande vitesse, il est important d'avoir les informations précises concernant les vitesses du vent du site pour mener à bon terme les études de la centrale éolienne sur le site. En effet le tableau ci-dessous illustre la variation annuelle de la vitesse du vent sur le site et donne ainsi les valeurs pour le vent faible, moyen fort, données délivrés par la station météorologique

|       | Janvier | Février | Mars | Avril | Mai | Juin | Juill | Août | Sept | Octo | Nov | Déc |
|-------|---------|---------|------|-------|-----|------|-------|------|------|------|-----|-----|
| (m/s) | 8,2     | 7,7     | 7,4  | 8,1   | 7,5 | 7,8  | 8,7   | 6,5  | 7,3  | 6,1  | 7,6 | 6,1 |

### **I.9.1. Caractéristique de l'éolienne de la ferme espoir Kashamata**

|                  |   |  |
|------------------|---|--|
|                  | La puissance  | 15KW   |
|                  | Hauteur totale en bout de pôle  | 20 m   |
| Rotor            | - Diamètre<br>- Longueur de pôle<br>- Hauteur du moyeu<br>- Vitesse de rotation moyenne | - 8 m<br>- 4 ou 5 m<br>- 10 m<br>- 8,5 tour/minutes                    |
| Rotor et nacelle | Poids du rotor et de la nacelle   | 250 tonnes   |
| Mât              | - Taille du mât<br>- Diamètre du mât<br>- Poids du mât                                  | - 10 m<br>- 5 m (section haute) et 6,5 (section basse)<br>- 220 tonnes |



## I.9.2. Echelle des vitesses

Nous allons citer dans ce tableau les degrés beaufort et la vitesse correspondante des vents les plus calmes aux cyclones.

| Degrés beaufort | Vitesse du vent m/s | Vitesse du vent km/h | Description générale | Pression sur surface plane Dan/m <sup>2</sup> |
|-----------------|---------------------|----------------------|----------------------|---|
| 0               | 0 à 0,4             | < 1                  | Calure               |   |
| 3               | 3,5 à 5,5           | 12 à 19              | Petite brise         | 3,2 (5 m/s)                                   |
| 4               | 5,5 à 8             | 20 à 28              | Jolie brise          | 6,4 (7 m/s)                                   |
| 6               | 11,4 à 13,9         | 39 à 49              | Vent frais           | 22 (13 m/s)                                   |
| 8               | 17,4 à 20,4         | 62 à 74              | Coup de vent         | 52 (20 m/s)                                   |
| 11              | 28,4 à 32,5         | 103 à 117            | Violence tempête     | 117 (30 m/s)                                  |
| 17              | 54,1 à 60           | 202 à 220            | Cyclone              | 470 (60 m/s)                                  |

## I.9.3. ELECTRIFICATION DE LA FERME ESPOIR KASHAMATA

Elle possède deux types d'électrification dont :

- SNEL
  - Alimentation du réseau SNEL moyenne tension (MT) 15000V
  - Alimentation d'une source éolienne autonome dans la ferme Espoir

## I.9.4. COUT DE L'INVESTIMENT EN EOLIENNE DE LA FERME ESPOIR KASHAMATA

( turbine + éolienne+ générateur) + les pales + (câble de contrôle + mat )

$$4580 + 400 + 1470 = 6450 \text{ USD}$$

Le prix total d'une éolienne, hors installation sera  $6450 \times 1$  Quantité

### Coût des composants électrique

- Contrôleur ou régulateur de charge : 15 USD
- Onduleur (15000W/240V) : 1052 USD
- Batteries (12V/400Ah) : 300 USD

Le prix total de 19 batteries, hors installation sera  $30 \times 19 = 5700$  USD

### **Prix du système hors installation**

Le coût de l'éolienne + coût des composants électrique,  $640 + (915 + 1052 + 5700) = 14117$  USD.

### **Coût de l'installation du système éolienne**

Le coût de l'installation comprend, le prix du transport des différents composants et l'implantation de la turbine éolienne. Ces coûts peuvent généralement constituées 30% du prix du système soit :  $14117 \times 300 = 423.5100$  USD.

### **Coût total du système (après installation)**

Le prix du système (hors installation) + coût de l'installation =  $14117 + 423.5100 = 4249.217$  USD

## **CHAPITRE II. PRESENTATION DES CENTRALES EOLIENNES EXISTANT**

### **II.1 GENERALITES SUR LES CENTRALES EOLINNE**

Cette section présente quelques généralités sur la filière éolienne.

**GENERALITES :** Dans ce travail nous vous invitons à découvrir les éoliennes. Pour cela, nous présentons d'abord le principe de la conversion d'énergie à la base du fonctionnement éolienne.

Ensuite nous évoquons les particularités des dispositifs, puis nous dévoilons les composants d'une éolienne à travers un schéma interactif.

En fin nous évoquons les enjeux des éoliennes et nous terminons par l'émission sonore des éoliennes.

**DIFFERANTES TECHNOLOGIES :** Dans ce travail sont présentées les différentes technologies utilisées dans les systèmes éoliennes, notamment les éoliennes exploitées en vitesse variable. En fin, nous parlons de la connexion au réseau des éoliennes.

**ETUDE APPLIQUEE D'UNE EOLINNE :** Nous allons vous présenter les équations et les connaissances nécessaires à l'étude d'une éolienne, en vue de traiter les exercices.

Cette synthèse énonce le principe des éoliennes et conseille sur leur emplacement et en donne les usages. Elle indique trois conditions de mise en œuvre : Analyser les besoins, identifier les contraintes et dimensionner l'éolienne.

Une éolienne est une machine qui convertit l'énergie du vent en énergie mécanique. Pour être plus clair, on considère qu'il y a du vent quand l'air se déplace et donc quand l'air possède une certaine vitesse. A cette vitesse est associée une énergie, l'énergie cinétique. Le vent exerce une force sur le rotor de l'éolienne et le met en rotation : il exerce une certaine puissance. A proprement parler, cette force est transmise à un axe qui correspond à une certaine puissance. En langage d'ingénieur, nous sommes en présence d'une machine motrice.

Cette énergie mécanique peut être utilisée directement. Par exemple, on pense à l'actionnement d'une pompe à des endroits non desservis par réseau électrique ou à nos anciens moulins à vent. Néanmoins, ces applications mécaniques sont assez marginales. Dans la majorité des cas, l'énergie mécanique du rotor de l'éolienne est transformée en énergie électrique via une génératrice.

Etant une machine utilisant la force motrice (FM) du vent. Cette force peut être utilisée mécaniquement (dans le cas d'une éolienne de pompage), ou pour produire de l'électricité (dans le cas d'un aérogénérateur).

On parlera d'un parc éolien ou une ferme éolienne pour décrire des unités groupées pour la production de l'énergie électrique. Ces unités peuvent être installées en terre ou mer.

## **HISTORIQUE**

Depuis l'antiquité, des moulins à vent convertissent l'énergie éolienne en énergie mécanique (généralement utilisée pour moudre du grain, presser des produits oléifères, battre le fer, le cuivre, le feutre ou les fibres du papier ou relever de l'eau).

De nos jours, on trouve encore des éoliennes couplées à des pompes à l'eau, généralement utilisées pour assécher des zones humides ou au contraire irriguer des zones sèches ou abreuver bétail.

Historiquement parlant, nous notons que c'est en 1888 qu'un certain Charles F. Brush qui avait construit une grande éolienne pour alimenter sa maison en électricité, avec un stockage par batterie d'accumulateurs.

La première éolienne « industrielle » génératrice d'électricité est mise au point par danois poule la cour en 1890, pour fabriquer de l'hydrogène par électrolyse. Dans les années suivantes, il crée l'éolienne LYKKEGARD, dont il vend soixante-douze (72) exemplaires en 1908.

En France, une éolienne expérimentale de 800 KVA était mise en fonctionnement de 1955 à 1963, à Nogent-le-Roi dans la Beauce. Elle avait été conçue par le bureau d'étude scientifique et technique de Lucien romain et exploitée pour le compte d'EDF.

Simultanément, deux éoliennes Ney pie de 130 et 1000 KW furent testées par EDF à Saint-Rémy-Deslandes (manches). En Algérie, une éolienne fut montée les hauteurs d'Alger (Delly Ibrahim) en 1957.

Cette technologie ayant été quelque peu décaissée par la suite, il faudra attendre les années 1970 et le premier choc pétrolier pour que le Danemark relance les activités dans les installations éoliennes.





L'utilisation de l'énergie éolienne par l'homme est ancienne.

## II.2 LA DEFINITION D'UNE EOLIENNE

- Selon le dictionnaire le robert :

Eolienne est nom féminin « une machine qui compte l'énergie du vent ». le mot les pales d'une éolienne.

- Etymologiquement : c'est un dispositif destiné à convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

Les éoliennes sont des pales en rotation autour d'un rotor et actionnées par le vent.

Elles sont généralement utilisées pour produire de l'électricité et dans la catégorie des énergies renouvelables.

- Ou encore : c'est une turbine qui transforme l'énergie cinétique du vent (énergie éolienne) en électricité. On peut également parler d'aérogénérateur.

## II.3 LES SOURCES D'ENERGIE PRIMAIRE D'UNE EOLIENNE

Le terme source d'énergie désigne tous les phénomènes, physiques et techniques, qui permettent d'obtenir de l'énergie. Les sources d'énergie sont nombreuses à être exploitées : elles sont utilisées à des fins variées, et cela dans différents domaines de la vie quotidienne. Certaines sont connues depuis toujours, d'autres bénéficient d'une découverte

plus récente. Voyons ensemble tout ce qu'il faut savoir sur elles, ou on le trouve, comment elles sont exploitées ou encore quel est leur usage.

Notamment nous pouvons mentionner quelques sources d'énergies primaires :

- ✓ Le soleil
- ✓ Le vent
- ✓ Les marées
- ✓ Veau en mouvement
- ✓ Les courants marins
- ✓ La chaleur des sols et des sous-sols
- ✓ Les réactions chimiques des matières organiques vivantes
- ✓ La méthanisation
- ✓ Etc.....

## **II.4 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE EOLIENNE**

Le soleil ne chauffe pas uniformément le globe terrestre, ce qui crée des différences de pression atmosphérique. Ces dernière tendent à crée des mouvements d'air : il s'agit du vent.

- Le principe de fonctionnement d'une éolienne est assez simple. Lorsque le vent souffle, de l'énergie cinétique s'accumule. Il est possible de la convertir en énergie électrique grâce à une éolienne.

Concrètement, la force du vent entraine le rotor de l'appareil, ce qui enclenche par la suite un générateur qui crée du courant alternatif ou continue.

Ce dernier élément peut faire partir d'un système autonome qui porte un dispositif de stockage de l'énergie produite ou être relié au réseau électrique.

Une éolienne démarre à partir d'un vent d'environ 15Km/h. Pour des raisons des sécurités, elle s'arrête automatiquement lorsque la vitesse du vent est supérieure à 90Km/h.

- Une éolienne désigne un appareil qui permet de transformer l'énergie mécanique du vent en énergie électrique. Au fil des siècles, l'énergie éolienne été utilisée pour pomper de l'eau et moudre du grain.

Désormais, elle sert à produire de l'électricité qui peut être :

- ✓ Consommée localement si le site de production est isolé ;
- ✓ Injectée dans le réseau électrique lorsque les éoliennes y sont raccordées.

## **II.5 LES ELEMENTS COSTITUTIFS D'UNE EOLIENNE**

Une éolienne est constituée de quatre (4) principaux éléments :

1. LE ROTOR OU L'HELICE
2. LE MAT
3. LA NACELLE
4. LA PARTIE ELECTRIQUE.

### **II.5.1 LE ROTOR OU L'HELICE**

Le rotor est composé des pales ou ailes (deux à trois le plus souvent), celles-ci balaient un diamètre oscillant entre 40 et 120m. Elles peuvent être fabriquées à partir de plastique renforcé de fibre de verre, de lamellé-collé ou encore de métal.



### **II.5.2 LE MAT**

Le mat est l'élément grâce auquel le rotor et la nacelle de l'éolienne peuvent être positionnées à une hauteur suffisante. Conçu pour supporter les poids de ces deux autres composants, il peut être en métal ou en béton.



### II.5.3 LA NACELLE

Est située au sommet du mat, la nacelle héberge les éléments mécaniques et pneumatiques qui assurent le fonctionnement l'éolienne. Elle abrite aussi certains composants électroniques électriques.





## II.5.4 LA PARTIE ELECTRIQUE

En haut du mat, dans le prolongement de l'axe du rotor, se situe un générateur. Un multiplicateur de vitesse est généralement installé entre ces deux (2) éléments. En effet, la vitesse de rotation de l'hélice de l'éolienne s'élève à 100 à 650 tours par minute. Or, pour être entraîné, le générateur a besoin d'une vitesse de rotation de 1500 à 3000 tours par minute.

Le schéma ci-après permettra de mieux visualiser les éléments constitutifs d'une éolienne. Il est possible de distinguer deux types d'éoliennes :

- Les installations industrielles qui désignent les grands parcs éoliennes reliés au réseau électrique ;
- Les installations domestiques mise en place par les particuliers.



Par ailleurs, il convient de souligner que certaines éolienne sont équipées d'une hélice à axe vertical tandis que d'autre sont munies d'un rotor à axe vertical. Les premières sont les plus courantes. Elles sont sur tout adaptées à une implantation en zone rurale, car elles ont besoin d'une surface plutôt grande.

Idéalement, leur mat doit faire plus de 12m de haut pour assurer un bon rendement.

L'installation de ce type d'éolienne requiert ainsi une demande de permis de construire.

## II.6 PRODUIRE L'ELECTRICITE GRACE A UNE EOLIENNE

L'installation d'une éolienne doit être précédée par une étude de faisabilité. Concrètement, le potentiel éolien d'un site doit être déterminé pour savoir s'il est possible d'y produire de l'électricité, par exemple, l'installation d'une éolienne n'est pas adaptée lorsqu'un

terrain est cerné par des collines, des arbres ou des habitations. En effet, ces éléments empêchent le vent d'y parvenir.

Plusieurs indices renseignent sur le potentiel éolien d'un Site :

- Présences d'anciens moulins à vent ;
- Vent fort et soufflant régulièrement dans la région dans laquelle est situé le site ;
- Végétations orientées dans une direction identique ;
- Etc.....

L'étude de faisabilité peut être confiée à un installateur professionnel. Ce dernier évaluera le rendement théorique du terrain. Si le propriétaire du site est un particulier, il peut aussi l'aider à comprendre le fonctionnement d'une éolienne domestique. Enfin, le spécialiste sollicité déterminera l'endroit idéal où implanter l'éolienne pour assurer une production d'électricité optimale.

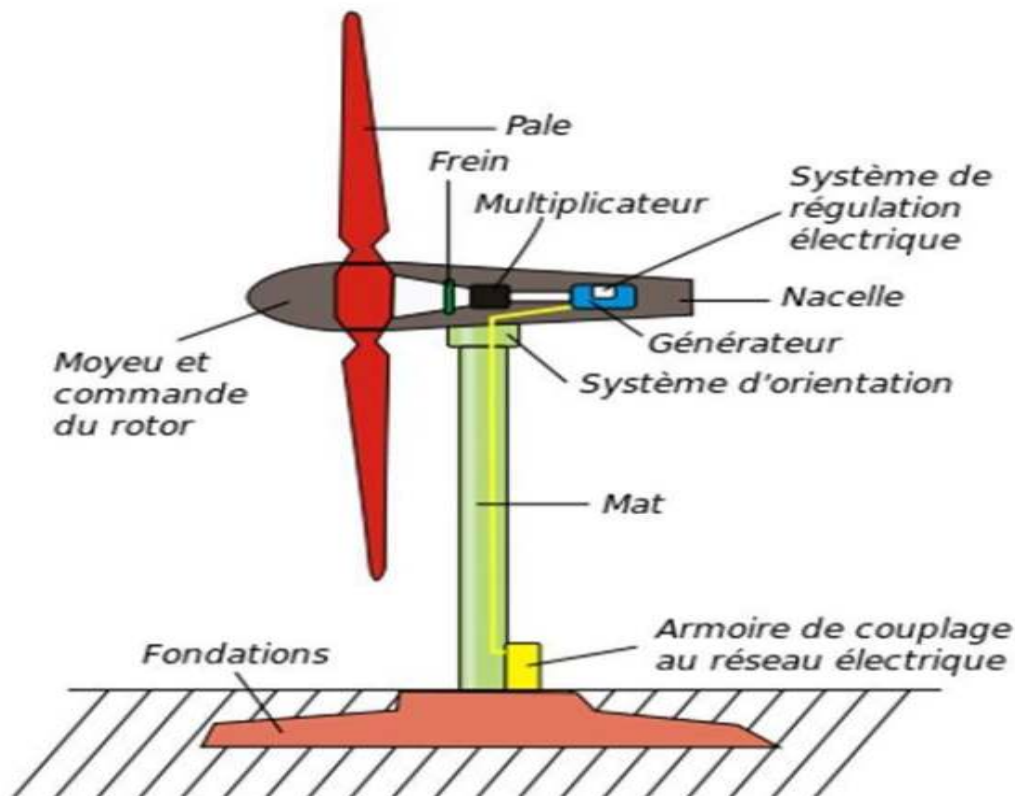
Lorsque l'installation est terminée, le propriétaire du site doit effectuer une demande de raccordement au réseau s'il souhaite vendre une partie ou la totalité de l'électricité.

## **LA DESCRIPTION D'UNE EOLIENNE**

Comme le dit le principe de fonctionnement de l'énergie éolienne repose sur la transformation de l'énergie cinétique en énergie électrique ; les vents font tourner des pales qui font elles-mêmes tourner le générateur de l'éolienne. À son tour le générateur transforme l'énergie mécanique du vent en énergie électrique.

Il est composé des pales (en générale 3) en matériau composite qui sont mises en mouvement par l'énergie cinétique du vent.

Reliées par un noyau, ces dernières peuvent en moyenne mesurer chacune 25 à 60m de long et tourner à une vitesse de 5 à 25 tours par minute.



## II.7 TYPES DES CENTRALES EOLIENNE

En France, plus de 4,5% de l'électricité consommée pour nos usages personnels et professionnels provient actuellement de l'exploitation directe des centrales et des différents types d'éolienne. En développement, cette énergie renouvelable peut provenir d'éoliennes nommées des différentes manières : éolienne vertical, éolienne offshore, éolienne horizontale ou encore éolienne domestique. Chaque éolienne a son propre principe de fonctionnement et permet de produire plus ou moins d'électricité. Total énergie vous éclaire sur le monde de fonctionnement des différents types éoliens qui existent.

### II.7.1 L'EOLIENNE HORIZONTALE

#### PRINCIPE ET FONCTIONNEMENT

- L'éolienne horizontale, également appelée HAWT (horizontal axis Wind turbine) est le type d'éolienne le plus « classique », celui que l'on aperçoit le plus souvent au bord des routes et qui incarne parfaitement l'image de cette énergie renouvelable.

Cette éolienne capte le vent grâce à des pales assemblées sous forme d'hélice. Ces pales tournent autour d'un mat qui se situe horizontalement par rapport au sol, ce qui explique le nom de cette éolienne.

Dans ce type d'éolienne, la force des hélices en rotation permet d'actionner un générateur qui est situé sur le haut de l'éolienne.

Son Avantage : le grand avantage de cette éolienne est son rendement, notamment quand elle comprend un système d'orientation des pales en fonction du vent. Ces éoliennes sont également jugées plus solides et engendrent des faibles coûts d'entretien.

Son inconvénient principal : est le bruit qu'elles engendrent. De plus, la complexité d'installation en fonction de la hauteur du mât est à prendre en compte au moment d'opter pour ce mécanisme.

## **II.7.2 L'EOLIENNE VERTICALE**

### **PRINCIPE ET FONCTIONNEMENT**

Contrairement à l'éolienne horizontale, également nommée VAWT (vertical Wind turbine).

L'éolienne verticale tourne au tour d'une tige (axe) positionnée de manière vertical. L'un de principaux atouts de ce type d'éolienne est de réussir à capter des vents faibles et de produire de l'énergie même avec une vitesse de vent plus légère.

Parmi les éoliennes verticales, deux types se démarquent aujourd'hui sur le marché :

#### **II.7.2.1 L'éolienne Darrieus :**

- L'éolienne darrieus est une éolienne qui se base sur un rotor en H, Cylindrique ou hélicoïdale, qui tourne au tour d'une tige axe. Ce type d'éolienne verticale a deux nombreux avantages dont celui de pouvoir être installé dans des endroits très éventé et de faire très peu des bruits comparé aux autres éoliennes du marché. L'inconvénient de ce type d'éolienne est d'avoir besoin d'un vent relativement fort pour commencer à tourner et donc à produire de l'énergie.



### II.7.2.2 L'éolienne savonius :

- Ce type d'éolienne a l'avantage d'être particulièrement simple à l'installer car peu comburante. Le principe consiste à ce que deux demi cylindres tournent, s'entraînent l'un et l'autre, et le même avec un vent très léger. Outre un esthétisme très désigné qui permet facilement aux installateurs de se projeter avec cette éolienne, l'éolienne savonius peut très bien fonctionner avec de très faibles vents, ce qui n'est pas le cas avec l'éolienne Darrieus.



Éolienne verticale Savonius intégrée sur une toiture en Allemagne - © Pcon

## II.7.3 L'EOLIEENNE OFFSHORE

### PRINCIPE ET FONCTIONNEMENT D'UNE EOLIEENNE OFFSHORE

- Le principe de l'éolienne offshore, aussi également appelée en mer, est le même que celui qui alimente les éoliennes horizontales, à savoir 3 pâles qui tournent comme une hélice grâce au vent qu'elles captent.

- Le mouvement produit par les pâles entraîne un générateur qui transformera alors, à l'image du travail que peut effectuer une dynamo, l'énergie mécanique en énergie électrique.
- La différence entre des éoliennes terrestres et offshores réside essentiellement dans les fondations à réaliser pour chacune d'entre elles. Les éoliennes de types offshores sont conçues pour être très robustes, pouvant aussi résister à des conditions marines très difficiles, dont notamment la corrosion impliquée par le sel marin.
- Ces éoliennes sont généralement groupées aux seins de fermes marines qui sont placées dans des endroits particulièrement stratégique au regard des conditions méthodologique. La production d'électricité de ce genre de ferme est donc importante est surpasse même la production des parcs d'éoliennes terrestres.
- Par ailleurs, des récentes évolutions technologiques permettent d'envisager l'implantation des éoliennes flottantes. Le principe est le même que celui de l'ancre utilisée pour garder les bateaux immobiles au milieu de la mer. En déposant des câbles lestés dans des eaux dont la profondeur dépasse 50 mètres, ce type d'éolienne peut ainsi flotter sur l'eau et produire de l'énergie tout en minimisant les coûts d'implantation liés, en grande partie, aux fondations des éoliennes.





## II.8 L'ÉOLIENNE DOMESTIQUE

Le terme d'éolienne domestique désigne le type d'éolienne qui est installée chez un particulier, soit dans son jardin, soit sur sa toiture. En fonction de ce que voudra faire le particulier avec l'énergie produite, jusqu'à 50% de l'électricité consommée par un ménage des 4 personnes pourra être absorbé par la production de l'électricité d'origine éolienne.

Si l'éolienne domestique dépasse 12 mètres de hauteur, elle nécessitera l'obtention d'un permis de construire pour pouvoir être implantée près de l'habitation. En dessous de cette hauteur, une simple déclaration préalable des travaux suffira pour installer une éolienne de ce type. Le prix d'une éolienne domestique est variable. Il se situe généralement entre 10.000 et 50.000 euros les modèles le plus classiques.

Le particulier qui choisit d'installer ce type d'éolienne chez lui, aura alors deux possibilités traitée l'électricité produite :

- La première possibilité consistera à revendre l'ensemble de l'électricité produite à un acheteur qui garantira le rachat de cette énergie sur une longue durée (20 ans). L'électricité produite sera ainsi injectée dans le réseau, ce qui peut nécessiter des coûts des raccordements au réseau important. En revanche, la rentabilité du projet sera relativement simple à calculer.
- La seconde possibilité consistera à autoconsommé, sur place l'électricité produite par ce type d'éolienne, ce qui évitera de devoir se raccorder au réseau électrique puisque l'électron sera directement consommé sur place. Le particulier devra alors évaluer des solutions de stockage d'énergie comme des batteries ou un générateur de transition. Le but pour le particulier est de se garantir un prix de l'électricité connu sur toute la durée de vie de son éolienne domestique.



## **II.9 TYPE D'ÉOLIENNES LES PLUS RÉPANDUS**

A ce jour, le type d'éoliennes le plus répandus sur le marché reste celui des éoliennes horizontales. Ces dernières se basent sur la rotation de trois pâles et ressemblent fortement au système utilisé par les hélices d'un avion.

Les succès des éoliennes, visibles au sein des parcs éoliennes qui fleurissent près de nos routes, tient essentiellement au fait qu'elles présentent un profil de production très intéressant. En effet, la prise au vent de ce type d'éolienne est importante même s'il faut au minimum des vents de 10Km/h pour commencer à donner du mouvement aux pâles.

Par ailleurs au-delà d'un vent qui atteint 90Km/h, ce type d'éolienne s'arrête automatiquement de fonctionner, car la force motrice engendrée par le mouvement pourrait fragiliser la structure elle-même.

## **COMMENT PROFITER UNE ENERGIE VERTE**

Le fort mouvement actuel en faveur des énergies renouvelables et notamment de l'énergie éolienne permet aujourd'hui au consommateur de pouvoir bénéficier d'une énergie renouvelable au meilleur tarif. En effet, grâce au panachage des sources de productions entre solaire, hydraulique ont aujourd'hui accès à une réelle quantité d'énergie verte disponible.

Grace à total énergies, au de – la de connaître les différents types d'éoliennes qui existent, vous pouvez souscrire une offre verte qui garantira une origine propre et durable à l'énergie que vous consommerez.



## **II.10 TECHNIQUE DE MONTAGE DES EOLIENNES**

### **II.10.1 NOTE TECHNIQUE**

La critique la plus fréquente concernant les éoliennes est le bruit, la cause en est souvent un mauvais montage ou un produit de mauvaise qualité.

Deux types des bruits existent :

- Les bruits aérodynamiques (dépendent de l'éolienne)
- Les bruits mécaniques (dépendent du montage).

Il faudra d'autre pour prévoir un support suffisamment solide pour résister à la troisième de l'éolienne (cf. page précédente).

#### **II.10.1.1 BRUITS AERODYNAMIQUES**

Les bruits aérodynamiques sont dus à l'échappement de l'air sur les bords des fuites des pâles. Pour éviter ces bruits il faut donc préférer des éoliennes qui limitent leurs vitesses de rotation (plus qu'elles tournent vite plus qu'elles sont bruyantes).

Il existe plusieurs techniques pour limiter la vitesse de rotation :

- ✓ Une des méthodes est la déformation des pâles pour réduire la portance dans le vent fort (souvent bruyant).

- ✓ Une seconde méthode consiste à augmenter le couple moteur pour une commande électrique (un courant est envoyé dans la bobine), afin de freiner la vitesse de rotation.

Il faut aussi noter que les éoliennes avec un grand nombre des pâles (ex Rutland) tirent moins parti de la vitesse du vent et tournent donc naturellement moins vite et sont moins sujet à ce problème (voir performance des éoliennes).

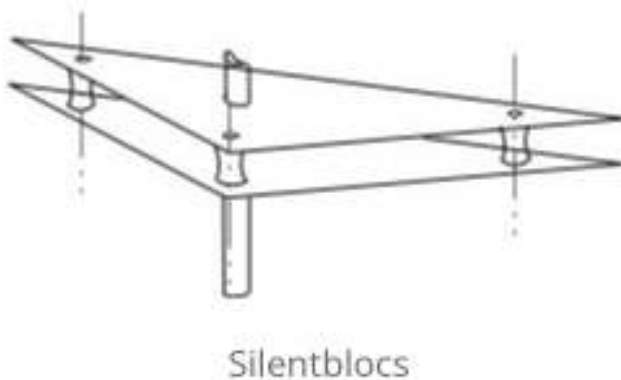
#### II.10.1.2 BRUITS MECANQUES

Les bruits mécaniques sont de deux ordres :

- ✓ Frottement interne des axes en rotation
- ✓ Phénomène de résonance amplifiant les vibrations.

Les frottements internes peuvent être maîtrisés par un entretien régulier (graissage, serrage, nettoyage).

Les phénomènes des résonances sont liés à la transmission des vibrations intermédiaire du mât. Le moyen le plus efficace est le montage de l'éolienne sur un mât souple en utilisant des silentblocs.



**INITIATIVE PARTICULIERE** : des particuliers investissent dans l'implantation d'un parc éolien près de chez eux.

Le parc éolien « le haut des ailles » de 32Mw inauguré en septembre 2005 en lorraine, est le premier exemple d'une nouvelle façon de faire participer la population locale d'un projet éolien. Outre une concertation intensive, l'implication des habitants a été telle que certains se sont approprié le projet au point de s'impliquer financièrement en développement actionnaire. A hauteur de 1.000 euros par action, les 99 actionnaires représentent actuellement 10% du financement total s'élevant à 35 millions d'euros. L'électricité produite

par les parcs est revendu à EDF. Une partie des dividendes est destinée aux actionnaires, une autre permet d'indemniser ces habitants installés à moins de 80 m de chaque éolienne. Le reste du projet a été financé à 80% par un emprunt bancaire et à 10% par le fond d'investissement de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (fideme) avec l'appui de l'ADEME.

D'autres initiatives de ce type ont vu le jour en France mais elles se comptent sur les doigts d'une main alors qu'elles sont plus développées en Allemagne et au Danemark. Un projet européen vise à développer ces pratiques : baptiser WELFI, ce projet est basé sur une analyse comparative des cadres juridiques, financières et sociaux au Danemark et en Allemagne, offrant ainsi la possibilité d'identifier des mécanismes reproductibles et des procédures applicables dans le pays « en apprentissage » (France, Grèce, Espagne).

## II.11 LES POTENTIELS D'EOLIENNE

Presque toutes les énergies renouvelables (excepté les énergies géothermiques profondes et marémotrices), l'énergie éolienne est une forme indirecte de l'énergie solaire. Or, la terre reçoit 175.000 Tw d'énergie solaire au sommet de l'atmosphère, dont 900 Tw sont convertis en énergie éolienne. A partir d'un modèle de circulation général de l'atmosphère, couplé à l'effet simulé du freinage des éoliennes, on estime que le potentiel maximal de puissance éolienne récupérable est compris entre 18 et 34 Tw<sup>45</sup>. D'autres études estiment que le potentiel éolien est beaucoup plus élevé<sup>16</sup>, mais elles négligent les modifications qu'un déploiement massif d'éolienne entraînerait sur la circulation des vents, donc ne prennent pas en compte toutes les contraintes physiques<sup>17</sup>, si l'on considère les nombreuses contraintes liées au déploiement des éoliennes, par zones maritimes très éloignées des côtes, etc....., tout en prenant en compte l'effet des éoliennes sur le vent on peut montrer que le potentiel maximal ne peut dépasser 20 Tw, et largement moins si on se restreint à un taux de retour énergétique pas trop bas<sup>17</sup>.

## II.12 CALCUL

L'énergie éolienne est l'énergie cinétique du vent. L'énergie totale du vent E qui traverse une surface d'air A pendant un temps t est (19) :

$$E = \frac{1}{2} \rho v^3 A t = \frac{1}{2} (\rho A v t) v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3 t$$

Où  $\rho$  est la densité de l'air,  $v$  est la vitesse du vent  $Avt$  est le volume d'air passant par A (considérer perpendiculaire à la direction du vent).

$\rho v t$  est la masse  $m$  passant par  $A$  et  $\frac{1}{2}\rho v^2$  est l'énergie cinétique de l'air en mouvement unité de volume (19).

La puissance éolienne incidente  $P$ , qui équivaut à l'énergie par unité de temps (par exemple égale à la surface du rotor d'une éolienne) est définie par (19) :

$$P = \frac{E}{t} = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

## II.13 UTILISATION

L'énergie éolienne est utilisée de trois manières :

1. Avec conservation de l'énergie mécanique : le vent est utilisé pour faire avancer un véhicule (navire à voile ou char à voile) ou pour faire tourner la meule d'un moulin ;
2. Transformée en force motrice (pompage des liquides, compression des fluides ....) : par exemple, dans le moulin de Majorque, pour irriguer les champs, ou pour abreuver le bétail ;
3. En production d'énergie électrique : (l'éolienne est couplée à un générateur électrique pour fabriquer du courant continu ou alternatif. Le générateur est relié à un réseau électrique ou fonctionne au sein d'un système plus autonome grâce à un générateur d'appoint (par exemple, un groupe électrogène) et ou un parc de batterie ou un autre dispositif de stockage de l'énergie.

## II.14 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES

Variabilité

Distribution de probabilité de la production éolienne

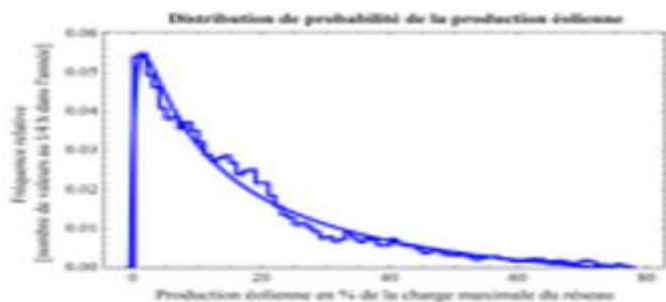


FIG II.1 Distribution de probabilité de production éolienne



La production éolienne dépendant directement de la force du vent, elle est très fluctuante (on dit aussi intermittente ou volatile) : le graphique ci-contre montre la distribution éolienne en % de la charge maximale du réseau ; en ordonnée : fréquence relative (nombre des valeurs au quart d'heure dans l'année). On note la concentration des fréquences sur les faibles valeurs de production.

## II.15 INTERMITTENCE DU VENT

Le plus grand problème de l'énergie éolienne est son caractère intermittent et aléatoire : elle n'est pas produite à la demande, mais selon les conditions météo logiques.

Une éolienne produit en moyenne 25% de sa puissance nominale, du fait de variation du vent, et n'est pas capable d'adapter sa production à la demande.

La plus part du temps, la nécessité de répondre instantanément à la demande électrique, du fait de l'absence de stockage de l'énergie à grande échelle, oblige à coupler un parc éolien avec des sources d'électricité modulable fonctionnant avec un combustible fossile (centre au charbon ou au gaz) ou à l'énergie hydraulique (barrage). Les éoliennes sont aussi parties intégrantes d'un réseau électrique qui fait généralement appel, pour compenser leurs périodes de production insuffisante, à des centres électriques émettant du dioxyde de carbone et des polluants atmosphériques.

Une alternative aux centres d'appoint, du moins pour pallier les variations de la production éolienne à court de terme, peut être le stockage de l'énergie en périodes excédentaires laquelle est restituée en période de creux.

## II.16 PREVISIBILITE

La production éolienne peut être prévue avec une assez bonne précision (écart type de 3% à l'échéance d'une heure et de 7% à l'échéance de 72 heures sur l'ensemble de la France ; à la maille d'un parc éolien, l'écart type atteint 15% en moyenne, avec une disparité importante selon la topographie locale) grâce à des modèles informatiques croisant les prévisions météorologiques détaillées par région avec la localisation des parcs éoliens

### UTILISATION DE L'ENERGIE EOLIENNE EN SITE ISOLE

#### PETIT EOLIEN :

L'énergie éolienne est aussi utilisée pour fournir de l'énergie à des sites isolés, par exemple pour produire de l'électricité dans les îles, pour le pompage de l'eau dans

des champs, ou encore pour alimenter en électricité des voiliers, des phares et des balises. Ces éoliennes des petites puissances sont dites appartenir au petit éolien, par apposition au grand éolien ou à l'éolien industriel.

### **CYCLE DE VIE D'UNE EOLINNE**

Selon l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME), la durée de vie moyenne d'une éolienne est estimée à 20 ans. Ou soit une durée de vie est entre 15 et 30 ans « il faut compter 15 à 25 ans pour une éolienne maritime ».

### **LES BRUITS DES EOLIENNES**



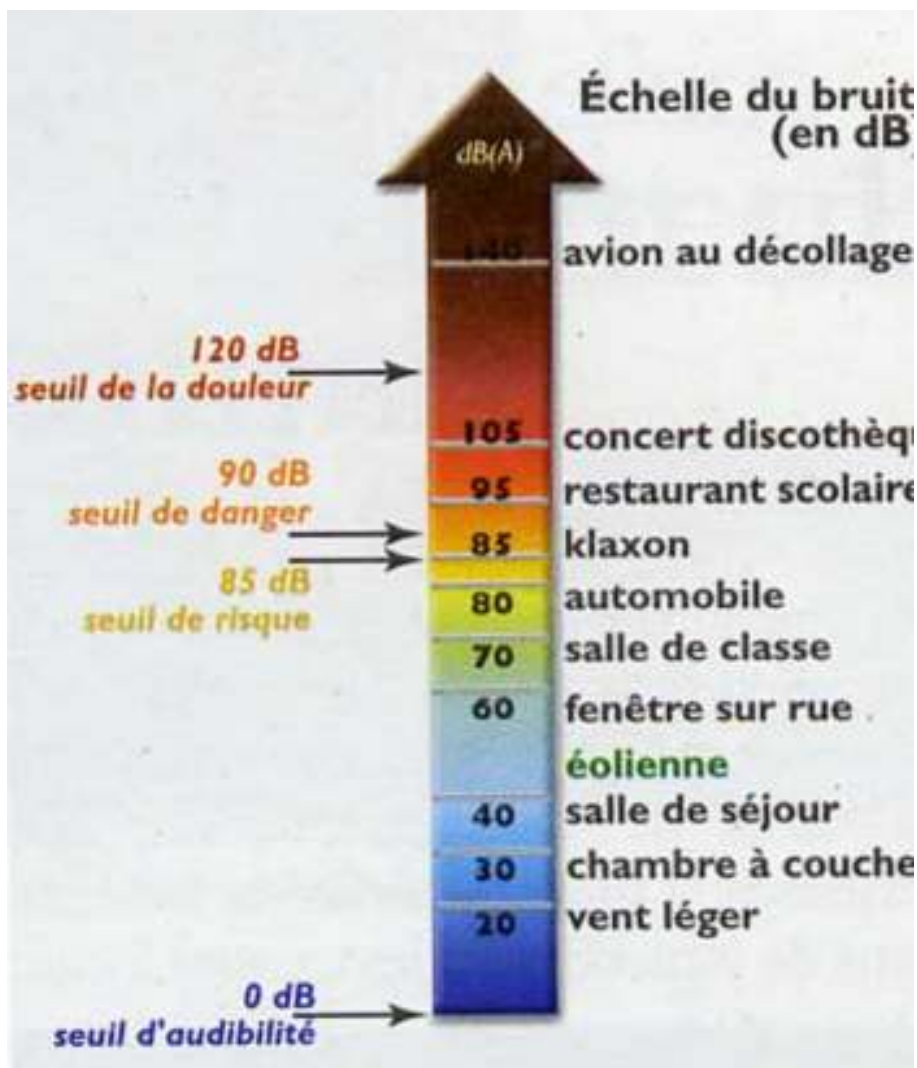
La propagation du bruit est un phénomène très complexe qui dépend du terrain, du vent, taux d'humidité dans l'air.

Les éoliennes produisent un bruit aérodynamique saccadé lié au frottement des pâles dans l'air et un bruit mécanique qui provient de la génératrice.

Les petites éoliennes sont généralement très silencieuses car souvent le réducteur de vitesse des grosses machines éolienne qui génère du bruit par gros vent.

Les aérogénérateurs à axe vertical sont réputés pour leurs silences de fonctionnement et un bon comportement dans les vents agités.

La loi sur le bruit (code de la sante publique) indique que l'émergence sonore ne doit pas dépasser certain db le jour et d'autres db la nuit. Les éoliennes industrielles doivent préserver un éloignement de 300m des habitations.



**FIG II.2. Echelle du bruit**

## **CHAPITRE III. ETUDE SUR LA FAISABILITE FONCTIONNELLE DE LA CENTRALE EOLIENNE DE KASHAMATA**

La présente partie permet d'apporter une aide efficace à tous ceux qui cherchent à prendre des décisions concernant la planification et la réalisation des projets à énergies éoliennes.

Nous pouvons utiliser le logiciel Alwin pour le dimensionnement d'une éolienne en vue d'évaluer son potentielle éolienne, la prédiction de l'énergie électrique produit dans le site en se basant sur le choix judicieux d'aérogénérateurs, et la détermination automatique de l'éolienne.

Ainsi, apporter plusieurs bénéfices, néanmoins ce type de production à un impact sur l'éolienne. Nous visons à étudier les différentes génératrices utilisées dans l'éolienne, et choisir celle qui présente un bon prix de kilowattheure, puis à étudier la faisabilité d'intégration de cette éolienne dans d'autres réseaux électriques.

Et en dernier lieu, on a traité les différents principes et concepts utilisés dans la transmission des données et dans la télésurveillance de l'éolienne, et on a proposé les solutions industrielles qu'on pourra appliquer la centrale éolienne kashamata.

### **III.1. INTRODUCTION ET OBJECTIF GENERAL**

Afin d'optimiser l'exploitation de l'éolienne, certaines mesures doivent être prises en compte. En effet, un mauvais choix des certains paramètres pourra porter préjudice à une installation éolienne ; c'est pourquoi une phase d'étude ou préalable révèle d'un extrême intérêt dans la mesure où on pourra dégager les conditions et contraintes à en tenir compte dans la réalisation d'un projet éolien.

Il faut donc passer par une étude et analyse de la climatologie du site considéré, car une bonne connaissance de ce site permet une meilleur exploitation et production de l'énergie électrique.

Cependant, le couplage d'aérogénérateur au réseau national d'électricité a un impact sur la qualité d'alimentation et la sureté de fonctionnement, et par conséquent ce

raccordement est soumis à certain technique et impose parfois des aménagements pour assurer un bon fonctionnement de ce dernier.

Et par conséquent, l'objectif de notre travail est de faire déplacer cette source énergétique qui est la centrale éolienne, et la placée à un bon endroit qui fera en sorte que ça fonctionne normalement en produisant un bon courant électrique dans la ferme espoir kashamata.

## **III.2. TECHNIQUE DE DIMENSIONNEMENT**

### **III.2.1. PUISSANCE EOLINNE**

$$P = \left(\frac{1}{2}\right) \rho s v^3$$

$$V_{\text{moy}} = \sum v_i f_i$$

La lettre P désigne la densité de l'air en (Kg/m<sup>3</sup>),

V : désigne la vitesse du vent en (m/s)

### **III.2.2. L'ENERGIE FOURNIE PAR UN AEROGENERATEUR**

$$E = T_h \times \sum P_i(V) f_i(V)$$

Avec :

E : énergie produite en KWh,

T<sub>h</sub> : période de temps en heures

P<sub>i</sub>(V) : puissance en (KW) donnée par un aérogénérateur à la vitesse V<sub>i</sub>.

### **III.2.3. FACTEUR DE CAPACITE**

$$C (\%) = (100 \times P_{\text{moy}}) / P_{\text{max}}$$

- I : dimension du terme perpendiculaire à la direction prédominante du vent.
- L : dimension du terrain parallèle à la direction prédominante du vent
- D : diamètre du rotor de la machine
- H : hauteur du pylône

### **III.2.4. MODELISATION MATHEMATIQUE DE LA DISTRIBUTION DE FREQUENCE DU VENT**

Comme c'est difficile de manipuler l'ensemble de données relatives à une distribution de la fréquence du vent, il est plus convenable pour des considérations théoriques,

de modéliser l'histogramme des fréquences des vitesses du vent par une fonction mathématique continue que par une table des matières directe. On peut donc opter pour le modèle de WEIBULL. En effet, pour des périodes allant des quelques semaines jusqu'à une année, la fonction de WEIBULL représente raisonnablement les vitesses observées. Il s'agit d'une fonction de densité de probabilité, s'expriment sous la forme :

$$P(V) = (K/C) (V/C)^{K-1} \exp(-V/C)^K$$

Avec :

PV : densité de probabilité de la vitesse V

K : facteur de forme de la courbe (sens dimension)

C : facteur d'échelle de la courbe en (m/s)

La vitesse moyenne du vent peut être trouvée en intégrant la fonction densité de probabilité, soit donc la formule (6) :

$$V_{\text{moy}} = \int V P(V) dV \text{ ou encore } V_{\text{moy}} = Cr (1+1/K)$$

Où  $\Gamma(x)$  est la fonction mathématique de gamma, définie par :

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} e^{-t} t^{x-1} dt$$

On peut déduire d'autres paramètres importants comme par exemple, la puissance moyenne.

Ainsi, la distribution de WEIBULL peut faciliter beaucoup des calculs rendus nécessaires par l'analyse des données du vent.

✓ Détermination des paramètres de WEIBULL (mabchour 1999) et (faida 2008).

Nous devons maintenant porter notre attention sur les paramètres de K et C, car ils ont la clé de l'utilisation de la distribution de WEIBULL. Ils définissent la formule de l'échelle de la courbe de WEIBULL.

Le facteur de forme, K (sans dimension), exprime la forme de courbe de Weibull : une valeur élevée de K implique une distribution étroite, avec des vents concentrés autour d'une valeur, alors qu'une faible valeur de K conduit à des vents largement dispersés.

Le facteur C (m/s), fixe la position de la courbe. Généralement sa valeur est élevée pour les sites ventés et faible pour le site calmes. Il existe des nombreuses méthodes pour déterminer K et C à partir d'une distribution de vent donnée. La plus utilisée est (4) :



$$C = 1.125V_{\text{moy}} / (1-B)$$

$$K = 1+0,483 (V_{\text{moy}}-2)^{0,51}$$

$$B = 1-0,81 (V_{\text{moy}}-1)^{0,089}$$

- ✓ Les variations de la direction du vent :

On peut déterminer la direction du vent dominante. L'alignement des aérogénérateurs doit permettre de capter le maximum d'énergie disponible dans le vent. Ainsi, dans la mesure où le terrain le permettrait, les aérogénérateurs devront être aligner perpendiculairement aux directions près dominantes du vent. En général, on présente l'état de la direction du vent sous forme d'une rose du vent.

- ✓ Conclusion :

Les paramètres précités dans les paragraphes ci-dessus « techniques de dimensionnement » décrivent les caractéristiques du vent dans tout site.

- Les vents sont généralement caractérisés par :
  - ✓ Les vitesses moyennes (horaires, journalières et mensuelles)
  - ✓ Les directions prédominantes
  - ✓ Les fréquences de chacune des vitesses et de direction, une bonne connaissance de ces caractéristiques importante dans la mesure où elles interviennent dans ;
- Le choix des aérogénérateurs et l'évolution de leurs performances ;
- L'implantation (orientation convenable des éoliennes).

### III.3. REPRESENTATION DES RESULTATS DU DIMENTIONNEMENT

#### III.3.1 POTENTIEL EOLIEN DU SITE DE KASHAMATA

Altitude : 140m

SITE KASHAMATA

AU REZ DE LA MONTAGNE

Température : 28 °C

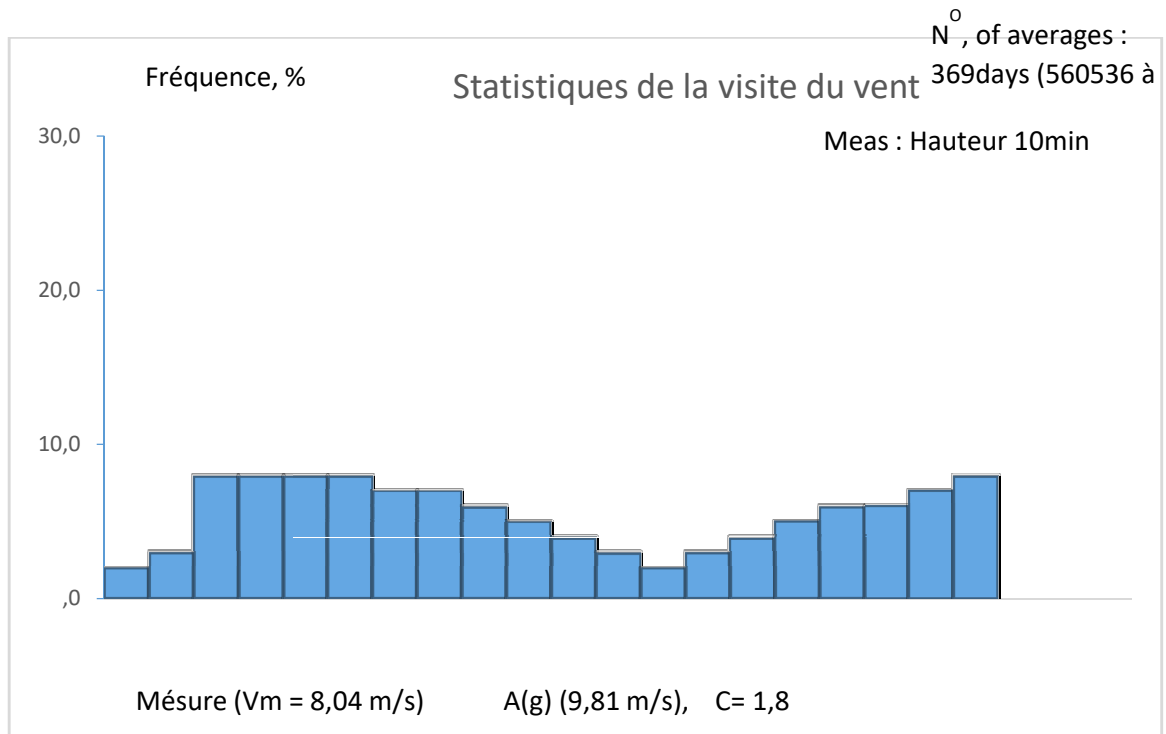
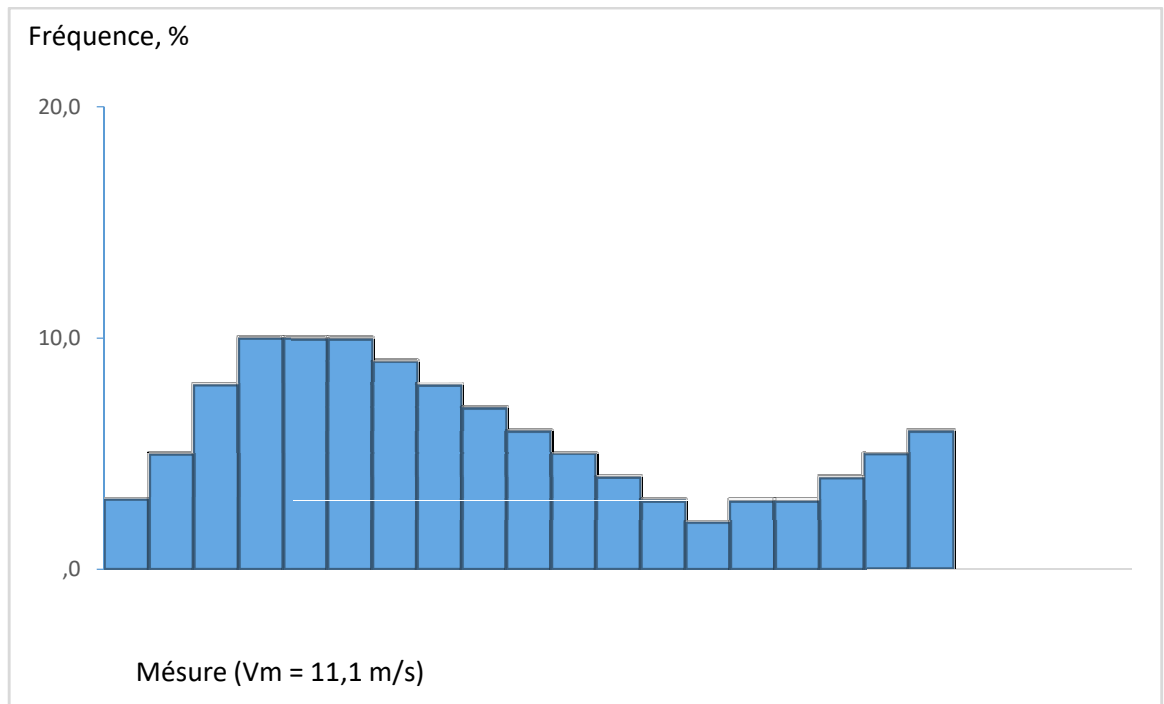


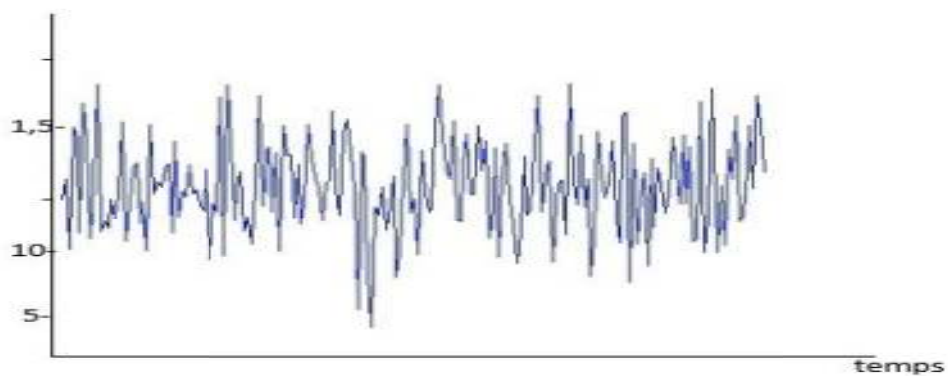
FIG III.3.1 Statistique de la vitesse du vent au rez de la montagne

A CIME DE LA MONTAGNE



**FIG III.3.2. Statistique du vent cime de la montagne**

Simulation de la vitesse du vent en moyenne de 10m/s



**FIG III.3.3. Simulation de la vitesse du vent en moyenne de 10 m/s**

Figure 1 : évaluation du potentiel éolien du site kashamata à partir de 12 mois des données collectées réellement. Le bilan annuel de la distribution de fréquences de la vitesse du vent donne les informations suivantes :

- ✓ La vitesse moyenne du site est de : 11,1m/s
- ✓ La vitesse maximale du site est de : 12,5m/s
- ✓ Les vitesses prédominantes du site varient entre 4,5m/s et 15m/s.

Image

### III.3.2. COURBE DE CALME

« modèle journalier / courbe de calme »

**Figure III.4. Modèle journalier / courbe de calme**

Site : kashamata

Attitude : 140m

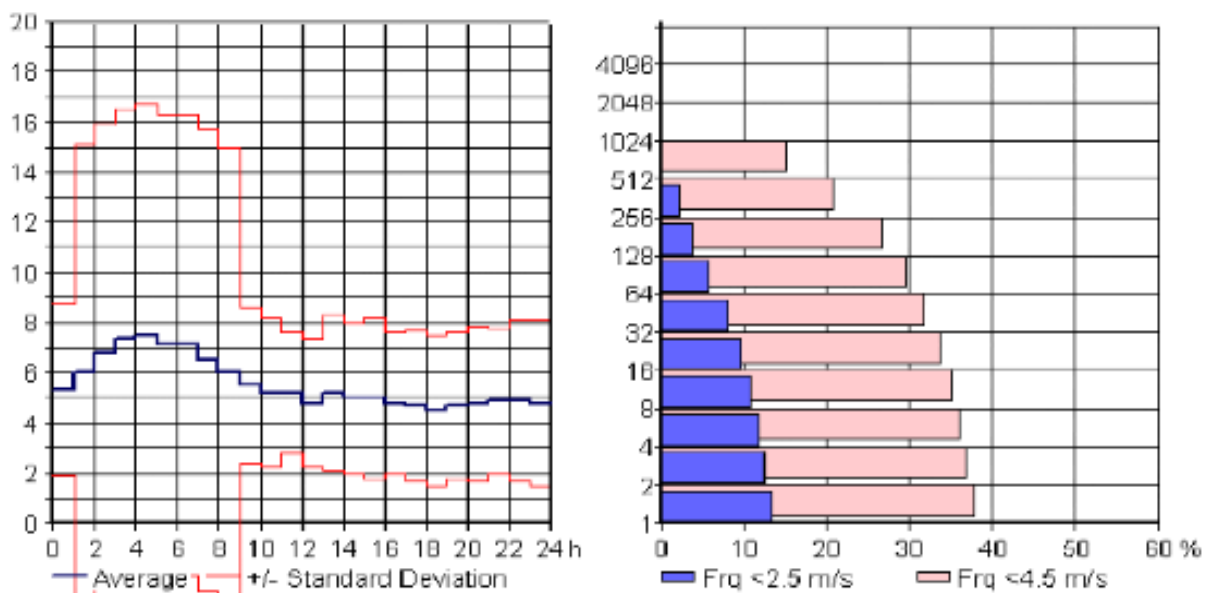
Start meas

température : 28,0°C

O1.03.01.00.00

No, of averages : 31 jours (44840

à 1min)



**Figure III.5. Modèle journalier / courbe de calme**

L'analyse de la turbulence du vent dans le site, à travers la courbe du modèle journalier permet de voir s'il y a une continuité de service (production de l'électricité permanente) au niveau de la station. D'autre part, la courbe de calme de station sous formes de bâtons présenté sur la figure 2

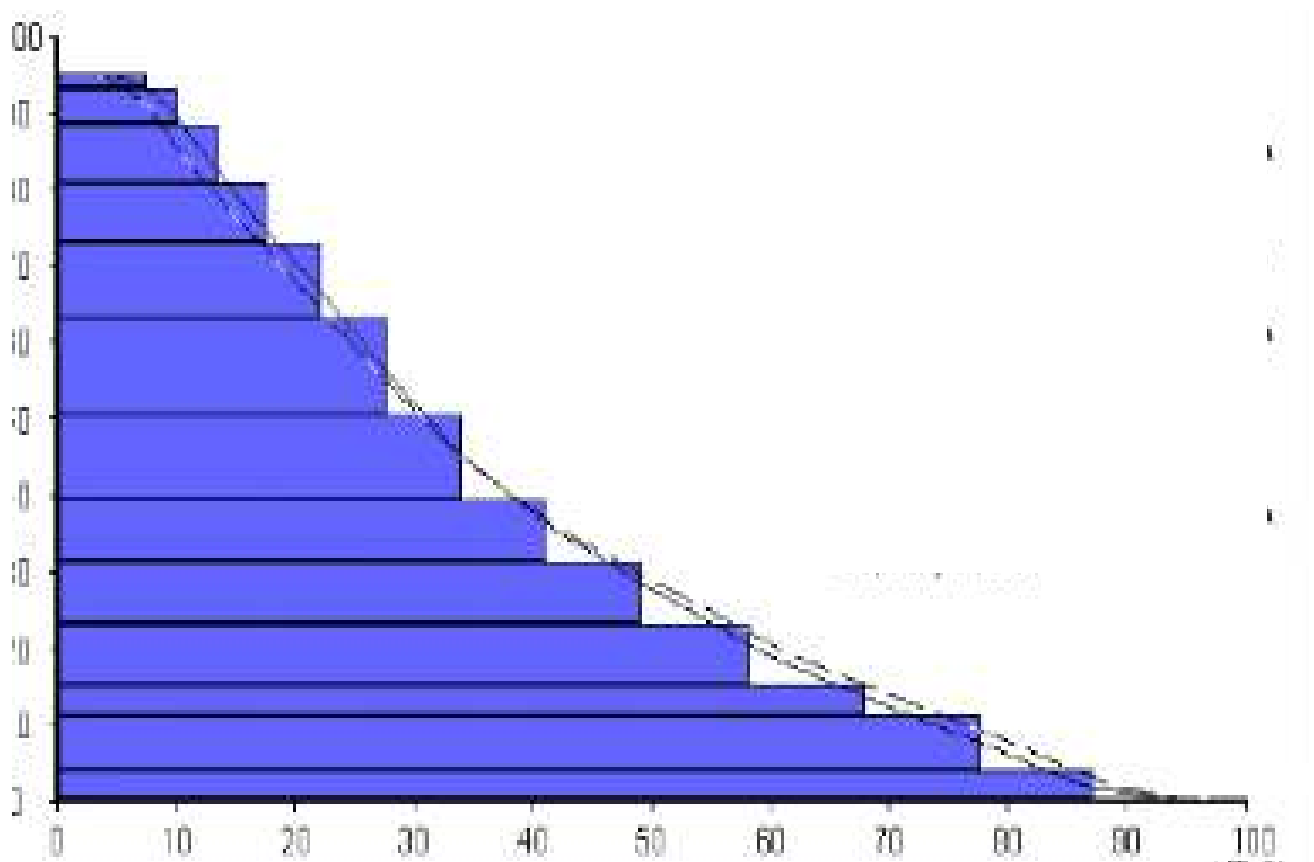
Indique le pourcentage des fréquences cumulées pour des vitesses inférieures à 4,5m/s et qui demeurent pendant un certain temps de calme, la détermination de la fréquence de calme est nécessaire pour connaître la vitesse de démarrage de la machine qui sera utilisée ainsi que pour la détermination de la capaciter de stockage des batteries intégrés dans les systèmes d'électrification isolés (autonomes), pour assurer la continuité du service.

### III.3.3. PREDICTION DE L'ENERGIE ANNUELLE PRODUITE PAR LA CENTRALE EOLIENNE BASE SUR LE CHOIX ADEQUAT DE L'AEROGENERATEUR

Time : 01,12.00.0000 mBas Height 100m Heib Height 54,0m

Attitude : 140m température 22,8°C conversion facteur (1/3- lave : 1,272).

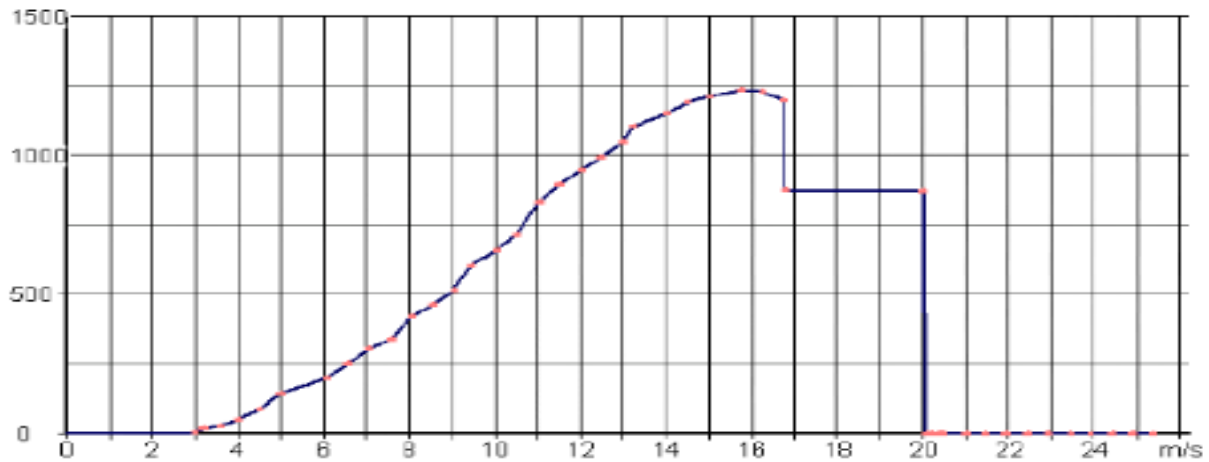
Figure 3 :



( $V_m = 7.89 \text{ m/s}$ ) Weibull A. ( $g = 9,81 \text{ m/s}$ ,  $C = 1,91$ )

#### III.3.3.1. COURBE DE LA PREDICTION DE L'ENERGIE

Puissance en KW



**Figure 4 : Courbe de puissance caractéristique de la machine NORDEX**

- ✓ Le choix de la machine de marque « NORDEX N 54/1000 », de puissance nominale  $P_n = 1\text{mw}$  permet de produire une énergie de 3,69GWh annuellement par chaque aérogénérateur.
- ✓ Sachant que la puissance installée est de 140mw, soit 140 aérogénérateurs, l'énergie annuelle du site est de 516,6GWh.

### III.3.4 RESULTATS DE L'ORIENTATION DES EOLIENNES

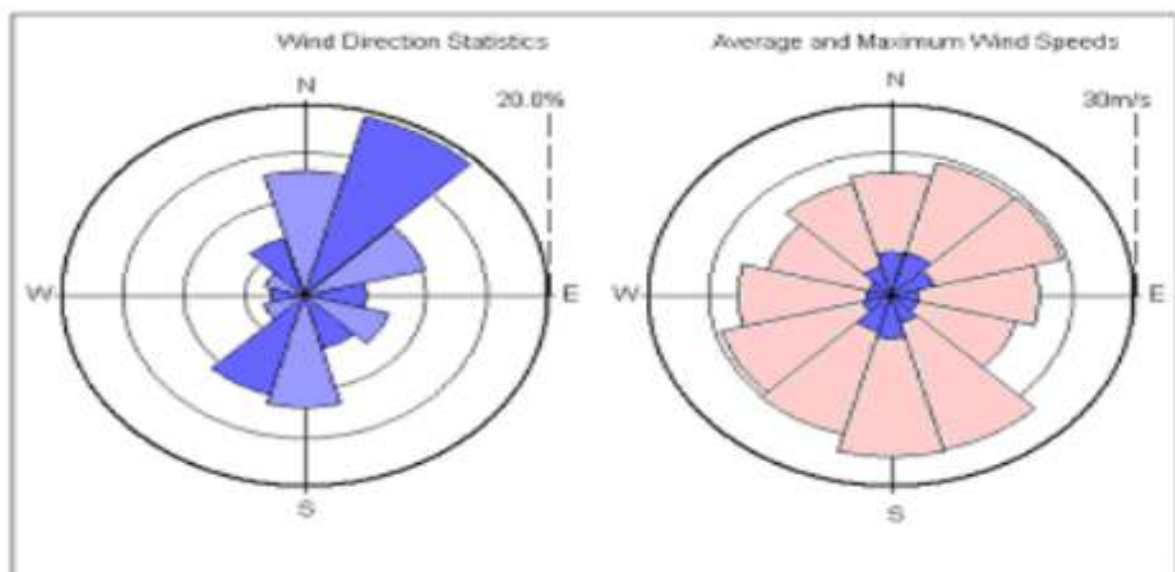
**Start Mears 01.12.00 00 00**

**Attitude 140m**

**Direction de vent statique 20.0**

**Température 22.8°C**

**La vitesse moyenne et maximum de vent 30m/s**





### Figure III.5.3. La rose du vent de notre site KST

Le bilan annuel permet d'opter pour le nord-est, et plus précisément une inclinaison par rapport au nord d'un angle géométrique variant le premier et la troisième secteur (15° et 45°).

#### ➤ Coefficient de la vitesse réduite des aérogénérateurs

Le coefficient (ou vitesse réduite) est un facteur spécifique des aérogénérateurs. Il est défini comme le rapport de la vitesse tangentielle en bout de pales  $\Omega R$ , sur la vitesse instantanée du vent  $V_v$  (voir fig. I.4). Alors

$$\lambda = \frac{\Omega R}{V_v}$$

$V_v$  : vitesse du vent

$\Omega$  : vitesse de rotation

$R$  : rayon de la voiture

$\Omega R$  : vitesse tangentielle

Fig. I. 4 vitesse du vent  $V_v$  et vitesse tangentielle  $\Omega R$

#### ➤ Le coefficient de puissance (power coefficient)

Comme nous l'avons souligné précédemment, on ne peut pas capter en totalité la puissance fournie par la masse d'air ( $P$ ), cela supposerait une vitesse de vent nulle après l'organe capté. On a défini le coefficient de puissance comme suit :

$$C_p = \frac{P_{eol}}{P} = \frac{P_{eol}}{\frac{1}{2} \rho S V_v^3} \quad \text{Avec :}$$

$P_{eol}$  : puissance captée par la turbine éolienne (W)

$S$  : surface balayée par la turbine éolienne ( $m^2$ )

$\rho$  : masse volumique de l'air ( $Kg\ m^{-3}$ ), dont la vitesse dépend de la hauteur où est installée la turbine.

Ainsi, la puissance éolienne est déterminée analytiquement par la formule suivante :

$$P_{eol} = \frac{1}{2} \rho C_p S V_v^3$$

#### ➤ Coefficient de couple (torque coefficient)

Le coefficient de couple est fort utile afin de calculer la valeur des couples produits pour différents points de fonctionnement notamment à vitesse de rotation  $\Omega$  nulle. En effet, au démarrage, il y a bien un couple sur l'arbre dû à la force du vent sur les pales, tandis que la puissance est nulle, ce qui correspond à une valeur de  $C_p$  nulle. L'expression du couple est la suivante :

$$C_{\text{éol}} = \frac{P_{\text{éol}}}{\Omega} = \frac{Rv P_{\text{éol}}}{\lambda} = \frac{C_p}{\lambda} \frac{1}{2} \rho \pi R^3 V_v^2$$

Et alors, la valeur du coefficient de couple  $C_T$  est déterminée par la formule suivante :

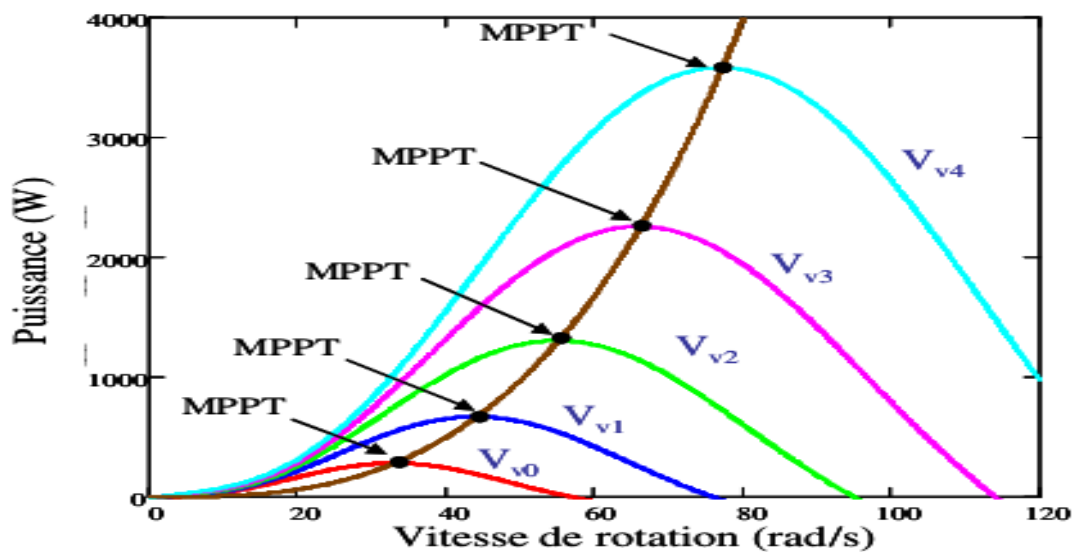
$$C_T = \frac{C_P}{\lambda} = \frac{C_{\text{éol}}}{\frac{1}{2} \rho \pi R^3 V_v^2}$$

Le coefficient  $C_T$  s'exprime, comme le coefficient  $C_{p3}$  en jonction de la vitesse du vent  $V_v$  et la vitesse de rotation de la turbine  $\Omega$ , donc en jonction de la rotation de vitesse d.

### III.4. STRATEGIE DE MAXIMISATION DE LA PUISSANCE (MPPT) :

(maximal power point tracking).

Un dispositif « MPPT », de l'angle maximum power point tracking correspond à une stratégie de gestion permettant de suivre le point de puissance maximale d'un générateur électrique non linéaire. Les systèmes MPPT sont généralement associés avec les générateurs éoliens à travers une électronique de puissance permettant de maximiser l'efficacité énergétique du système à travers la variation de la vitesse du vent.



**Fig. III.6 point de MPPT d'une éolienne tripale avec la vitesse du vent**

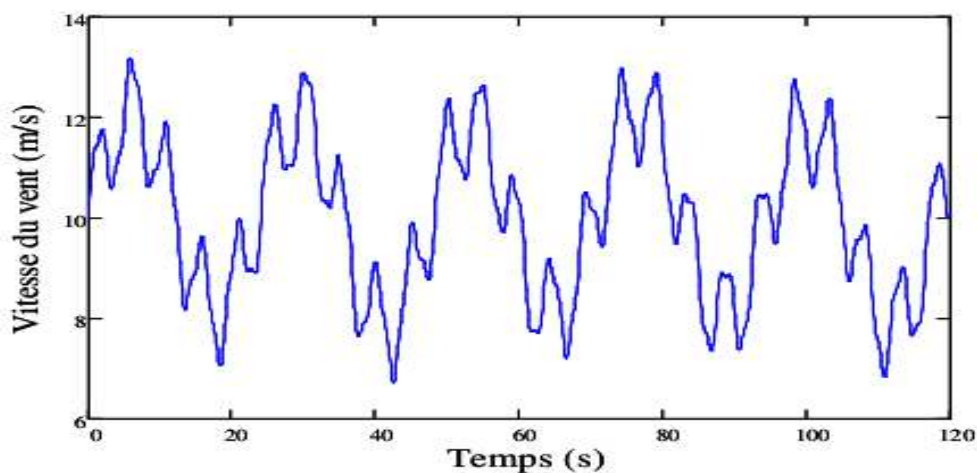
Par exemple la fig. I.6, montre les extrema que poursuit la MPPT d'une éolienne de type tripale à vitesse du vent variable : la courbe de puissance en forme de cloche, typiques des éoliennes et donnée pour chaque vitesse du vent, présente un point de puissance maximale. De plus en plus souvent, les génératrices sont donc reliées à un convertisseur électronique de puissance contrôlé qui permet de réaliser cette fonction.

De nombreux concepts ont été introduits pour parvenir à poursuivre efficacement le point de puissance maximum pour les « grands éoliens ». Nous proposons cependant dans ce mémoire de nous focaliser sur l'efficacité énergétique des systèmes éoliens de petite puissance avec, puis sans dispositif MPPT.

### III.4.1. MODELISATION DU VENT

Le vent est le facteur énergétique d'entrée d'une chaîne éolienne, déterminant pour le calcul de la production de l'électricité donc la rentabilité. Les propriétés dynamiques du vent sont capitales pour l'étude de l'ensemble du système de conversion d'énergie. Car la puissance éolienne, dans les conditions optimales, et au courbe de la vitesse du vent (c, f formule (1,5)).

Mathématiquement, la vitesse du vent est un vecteur tridimensionnel. Néanmoins, la direction du vecteur de vitesse pour la petite éolienne tripale n'est pas en compte dans le modèle de la voilure car elle est réglée par la dérivée sur la queue de la turbine.



### Fig III.7. Vitesse de vent modèle analytique

#### III.4.2.MODELISATION DE LA TURBINE

##### III.4.2.1. caractéristiques de la turbine

La turbine éolienne est représentée par une partie mécanique et une partie aérodynamique. Il existe plusieurs types des turbines éoliennes dont les caractéristiques sont les coefficients de puissance sont illustrés. Fig. 1.5

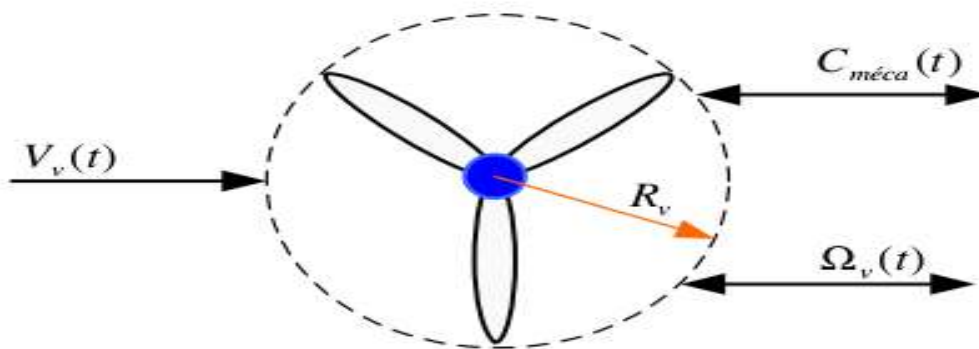


Fig III.7.1. Turbine tripale (  $R_v = 1,25 \text{ m}$  )

#### III.4.3. MODELE DU MULTIPLICATEUR

Le multiplicateur adapte la vitesse (lente) de la turbine à la vitesse de la génératrice. Ce multiplicateur est modélisé mathématiquement par les équations suivantes :

$$C_g = \frac{C_{aer}}{G} (R_2)$$

$\Omega$  turbine : vitesse de la turbine

$C_{aer}$  : couple aérodynamique

$G$  : générateur

$$\Omega \text{ turbine} = \frac{\Omega_{mec}}{G}$$

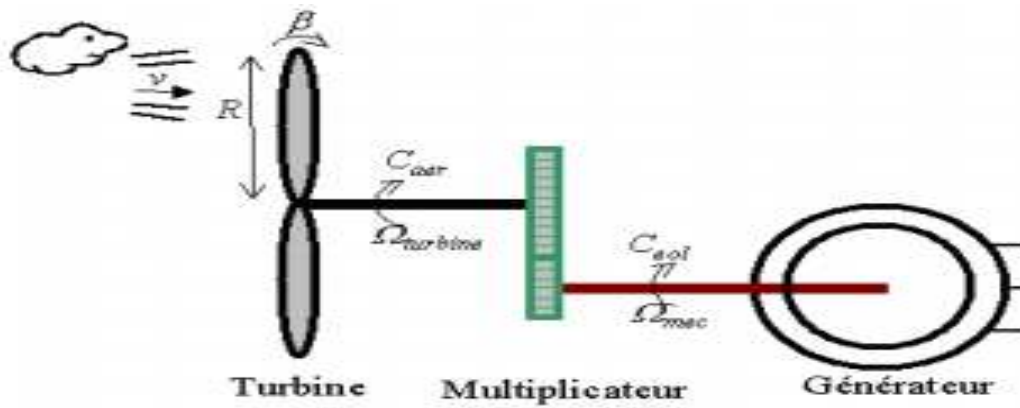
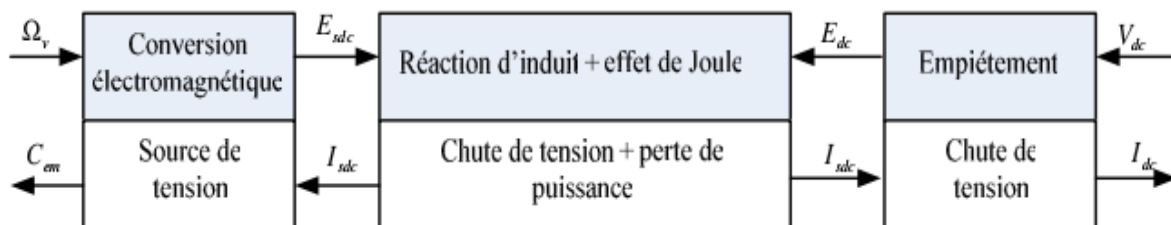


Fig III.7.2. Schéma de la turbine éolienne

### III.4.4. MODELISATION DE LA CONVERSION MECANIQUE ET ELECTRIQUE

Plusieurs modèles « équivalant bc » ont été proposées et comparés de (ABD07) ; nous considérons ici le « modèle mixte » pour lequel le mode électrique est négligé, cad que le courant équivalent DC est calculé analytiquement à partir des tensions, tandis que le modèle mécanique, dû à l'inertie de voilure, est pris en compte. Les travaux extérieurs du laboratoire ont montré que ce « modèle mixte » est suffisamment pertinent vis-à-vis des critères et contrainte (énergétique en particulier) pris en compte dans le problème d'optimisation sachant que ce niveau de modélisation offre un gain substantiel en temps de calcul, seul le mode mécanique et, comme nous le verrons ensuite, le mode thermique étant simulés.

Le synoptique du modèle développé est donné la causalité est indiquée par des flèches spécifiant quelles variables physiques (effort ou flux) sont imposées à chaque sous système.



#### III.4.4.1 SCHEMA EQUIVALENT DE LA MACHINE A COURANT CONTINU EQUIVALENT

Cette modélisation tient compte de phénomènes suivants :

- ✓ De la réaction d'induit dans la génératrice ;
- ✓ De l'effet de joule dû à la résistance stator ;
- ✓ Du phénomène d'empiètement dans le redresseur à diodes : ce phénomène est défini par :

$$R_{\text{emp}} = \frac{3}{\pi} L_{\text{sw}}$$

Selon la chute de tension due à l'empiètement est déterminée par la relation suivante :

$$E_{\text{dc}} = V_{\text{ds}} + R_{\text{emp}} I_{\text{sdc}}$$

En outre, la réaction magnétique d'induit et l'effet joule dû à la résistance stator sont représentés par l'équation suivante :

$$E_{\text{dc}} = \sqrt{E^2 - (wL_{\text{dc}} I_{\text{dc}})^2} - R_{\text{dc}} I_{\text{sdc}}$$

En combinant (II.15) et (II.17) nous obtenons :

$$E_{\text{dc}} = \sqrt{E^2 - (wL_{\text{dc}} I_{\text{sdc}})^2} - (R_{\text{dc}} + R_{\text{emp}}) I_{\text{sdc}}$$

Nous pouvons réécrire cette relation sous une autre forme permettant analytiquement (mode électrique négligé) la détermination du courant  $I_{\text{sdc}}$  à partir des autres paramètres :

$$I_{\text{sdc}}^2 = \left[ \frac{V_{\text{dc}}(R_{\text{dc}} + R_{\text{emp}})}{(R_{\text{dc}} + R_{\text{emp}})^2 + (wL_{\text{dc}})^2} \right] I_{\text{sdc}} + \left[ \frac{V_{\text{dc}}^2 - E_{\text{sdc}}^2}{(R_{\text{dc}} + R_{\text{emp}})^2 + (wL_{\text{dc}})^2} \right] = 0$$

La résolution de cette équation du second degré conduit à :

$$I_{\text{sdc}} = \sqrt{b^2 - c - b}$$

$$\text{Avec :} \quad b = \left[ \frac{V_{\text{dc}}(R_{\text{dc}} + R_{\text{emp}})}{(R_{\text{dc}} + R_{\text{emp}})^2 + (wL_{\text{dc}})^2} \right] \text{ et } c = \left[ \frac{V_{\text{dc}}^2 - E_{\text{sdc}}^2}{(R_{\text{dc}} + R_{\text{emp}})^2 + (wL_{\text{dc}})^2} \right]$$

En fin, de façon de respecter le principe de la conservation de puissance, imposé par l'empiètement, nous imposons la contrainte suivante :

$$E_{\text{dc}} I_{\text{sdc}} = V_{\text{dc}} I_{\text{dc}}$$

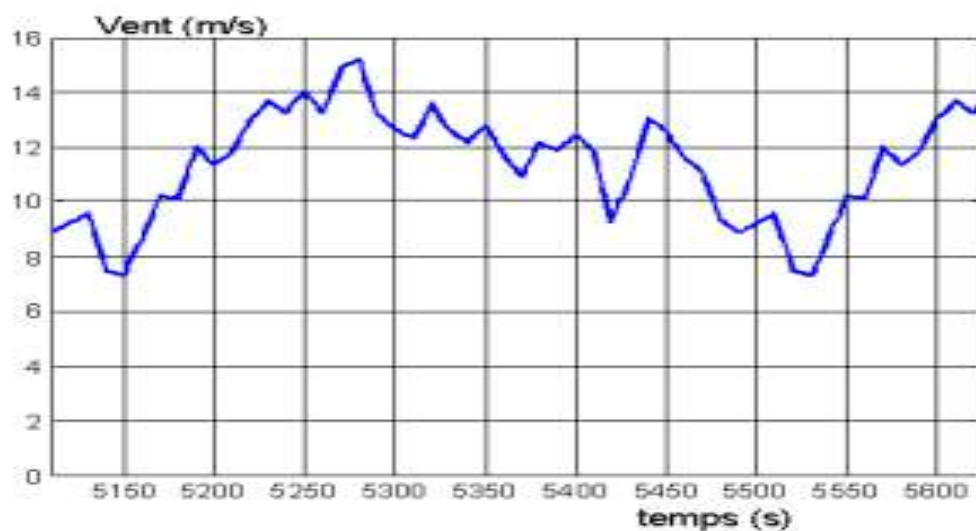
En remplaçant (II.16) dans (II.21) nous pouvons finalement établir l'expression du courant à la sortie redresseur :

$$I_{\text{dc}} = I_{\text{sdc}} + \frac{R_{\text{emp}} I_{\text{sdc}}^2}{V_{\text{dc}}}$$

## RESULTAT DE SIMULATION

Nous avons simulé le modèle de profil de vent considéré comme représenté à la figure (III.2). Les résultats de simulation des figures (III.11, 12, III, 13) présentant respectivement la tension du bus continu. La vitesse de rotation de la puissance optimisée par le dispositif MPPT, et la puissance optimale correspond à la puissance optimale avec insertion de deux types de charge (continue et alternative).

Et pour valider le système de régulation de l'angle, Nous avons appliqué à la turbine un profil de vent variable autour de 13m/s avec des rafales allant jusqu'à 16m/s (valeur permettant d'avoir environ 1,55 MW). (Figure 2.39). Le régulateur PI avec anticipation.

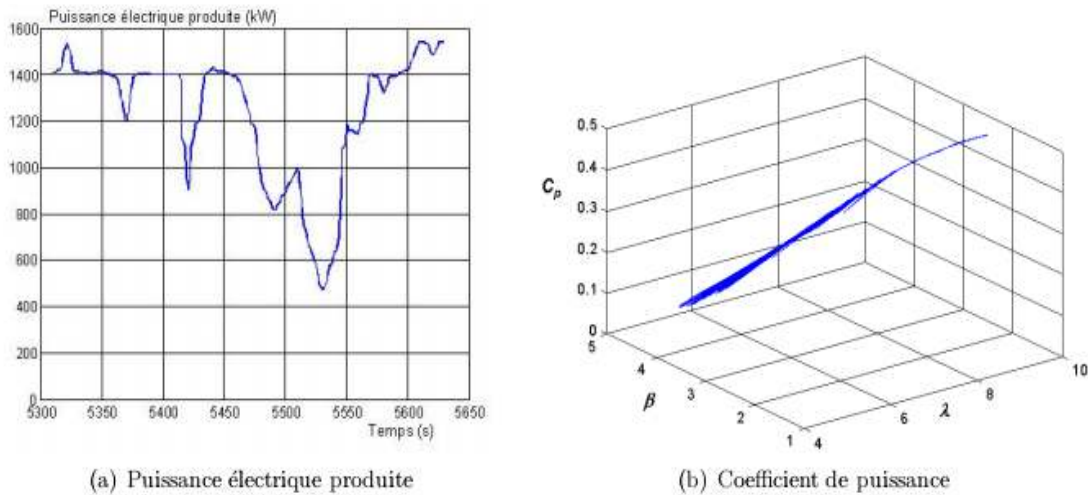


FigIII.7.3. Résultat de simulation

## MODELISATION DU SYSTEME D'ORIENTATION DES PALES

Nous présentons sur la figure 2.40 l'évaluation temporelle de la puissance électrique et celle du coefficient de puissance en fonction du ratio de vitesse et de l'angle de calage. On constate notamment que la puissance du vent, avec une valeur maximale pour la puissance de 1555KW.

Lorsque le vent est supérieur à 1.5m/s (à  $t=5310s$  et à  $t=[5610, 5625]$ ) (figure 2.40-a). Le coefficient de puissance décroît en fonction du ratio de vitesse lorsque la puissance est limitée (figure 2.40-b).



**Fig III.8. Résultats obtenus pour le système d'orientation des pales**

## MODELISATION GLOBALE DE LA CHAÎNE DE CONVERSION DE L'ÉOLIENNE

### INTRODUCTION

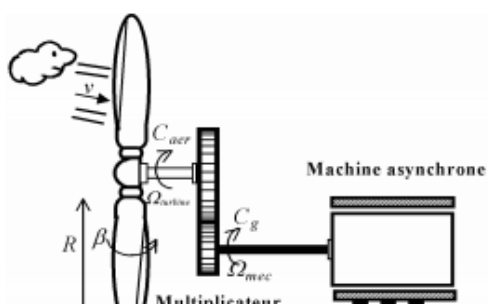
Dans cette partie, on modélise la chaîne de conversion éolienne alimentée par le rotor au moyen de deux convertisseurs de puissance fonctionnant en MLI (figure 3.5). Nous présentons dans un premier temps le modèle de la chaîne asynchrone dans le repère de parc. Ces derniers seront modélisés d'abord dans le repère de parc sera ensuite développé.

Le modèle complet de l'éolienne à vitesse variable est ensuite présenté. Enfin, nous présentons les simulations de cet ensemble, en utilisant une commande vectorielle classique de la machine asynchrone.

### MODELE DE LA MACHINE ASYNCHRONE

#### Modèle généralisé de la machine asynchrone dans le repère naturel.

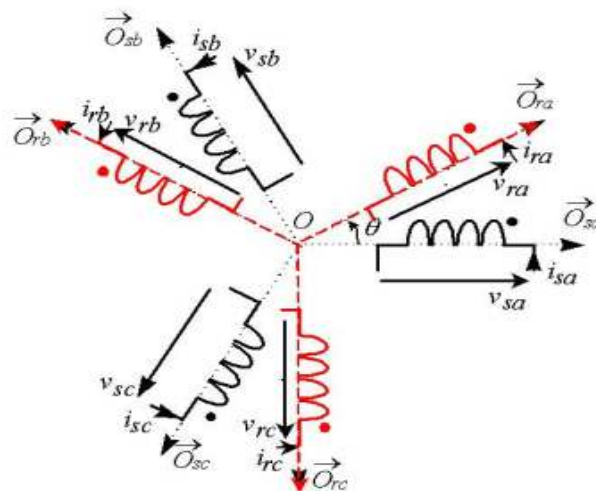
La machine asynchrone triphasée est formée d'un stator fixe, et d'un rotor cylindrique mobile. Le stator a 3 enroulements couplés en étoile d'un champ magnétique glissant dans l'entrefer de la machine (Théorème de FERRARIS). La vitesse de glissement de ce champ par rapport au stator est :  $\Omega_s = \omega_s/p$ , où  $\omega_s$  désigne la pulsation du réseau d'alimentation triphasé sinusoïdal et  $p$  est le nombre de bobines de chaque bobinage et également le nombre de paires de pôles du champ magnétique apparaissant.





**Fig III.9. Eolienne basée sur une génératrice Asynchrone à cage alimentée au stator par deux convertisseurs MLI**

- Eolienne basée sur une génératrice asynchrone à cage alimentée au stator par deux convertisseurs MLI au stator. Le rotor de la machine supporte un bobinage triphasé avec un même nombre de pôles que celui du stator couplé en étoile. Ce type de rotor est dit bobiné mais on peut envisager un rotor plus sommaire constitué de barres conductrices court-circuitées par un anneau conducteur à chaque extrémité. Ce second type de machines est appelé machines asynchrone à cage. Le rotor tourne par rapport au stator à la vitesse  $\Omega_{mec} = d\Theta/dt$  (figure 3.6),  $\Theta$  étant l'angle entre le repère statorique et le repère rotorique.
- La figure 3.6 rappelle la position des axes des phases statoriques et rotoriques dans l'espace électrique (l'angle électrique est égal à l'angle réel multiplié par le nombre  $p$  de paires de pôles par phase). Le sens des enroulements de phase est conventionnellement repéré par un point (.) ; Un courant positif  $i$  entrant par ce point crée un flux  $\Phi$  compté positivement selon l'orientation de l'axe de l'enroulement.



### Fig III.9.1. Représentation de la machine asynchrone triphasé dans l'espace électrique

#### LE COEFFICIENT DE VITESSE REDUITE

Le coefficient de vitesse réduite est un facteur spécifique des aérogénérateurs, il est défini comme le rapport de la vitesse tangentielle en bout de pales  $\Omega R$ , sur la vitesse instantanée du vent  $V_v$  (voir figure). Alors : vitesse tangentielle

$$\lambda = \frac{\Omega R_v}{V_v}$$

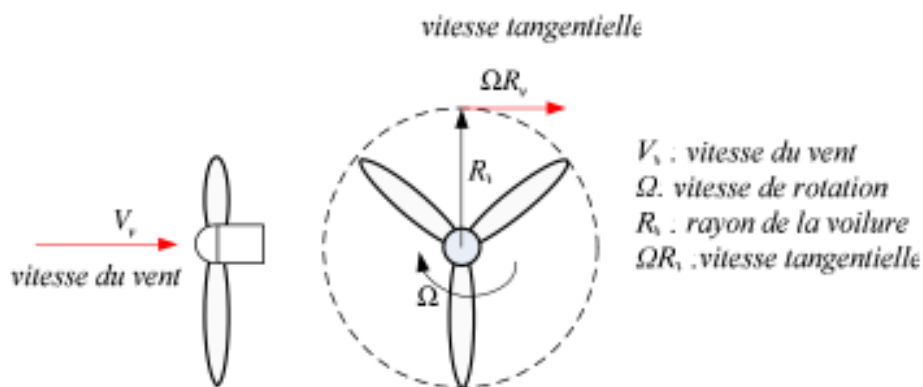


Fig III.9.2. vitesse du vent  $V$  et vitesse tangentielle

#### SCHEMA BLOC DE LA COMMANDE MPPT

Schéma globale de simulation

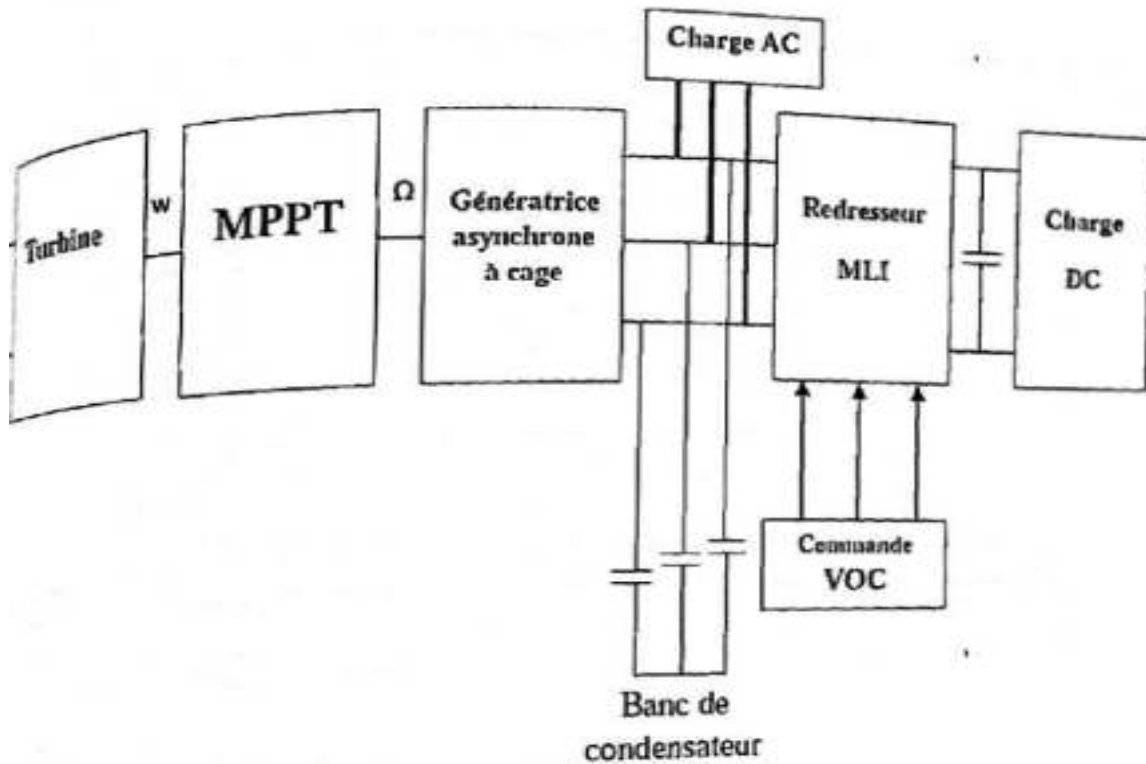


Fig III.10. Schéma global de simulation

### Conversion d'énergie aérodynamique en énergie électrique

Les systèmes de conversion d'énergie éolienne transforment l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique sur la turbine éolienne puis en énergie électrique via un aérogénérateur. L'énergie  $dE$  d'une colonne d'air de longueur  $dl$ , de section  $S$ , de masse volumique  $\rho$  animée d'une vitesse  $V_v$  (voir figure) peut s'écrire HANO 8] :

$$dE = \frac{1}{2} \rho S dl V_v^3$$

Image

### Conversion aérodynamique en énergie électrique

En supposant que  $dl = V_v dt$ , on tire l'expression de la puissance  $P$  de la masse d'air traversant la section  $s$  et se délassant à la vitesse  $V_v$  :

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \rho S V_v^3$$

En réalité, la puissance récupérée par une voilure éolienne est seulement un pourcentage de cette puissance.

Pour cela, nous allons présenter des notions fondamentales sur la conversion aérodynamique dans les parties suivantes.

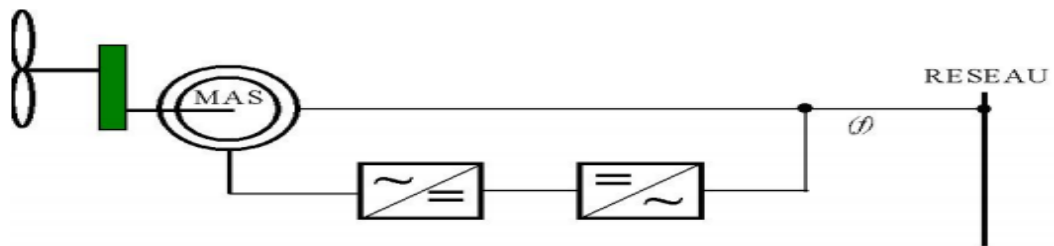
### Modélisation des pertes du système

Dans ce paragraphe, nous présentons le modèle de calculs des pertes du système. Ce calcul doit tenir compte de toutes les pertes dans les éléments de la chaîne éolienne « passive » en régime de fonctionnement dynamique. Les pertes de puissance dans le système sont représentés ci-dessous. On distingue notamment :

- Les pertes mécaniques dans la voilure
- Les pertes fer et les pertes de joules dans la génératrice
- Les pertes par condition dans les redresseurs à diode

### Modèle du convertisseur éolien

La turbine génère un couple aérodynamique transmis au multiplicateur. Ce dernier peut être calculé à partir des valeurs de la vitesse du vent, de la vitesse de rotation de la turbine. Le multiplicateur transforme la vitesse de la turbine et le couple aérodynamique respectivement en vitesse mécanique et couple du multiplicateur.



**Fig III.11. Machine asynchrone à double bobinage statorique**

Vitesse du vent est considérée comme une perturbation.

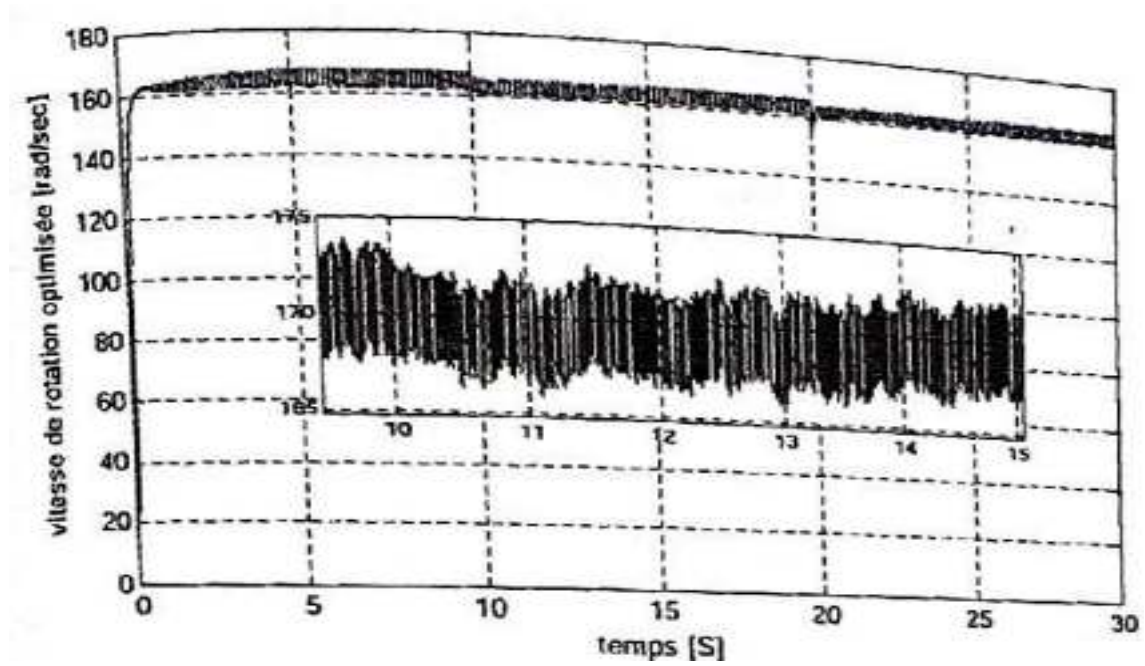


Schéma bloc de la commande MPPT

Schéma globale de simulation

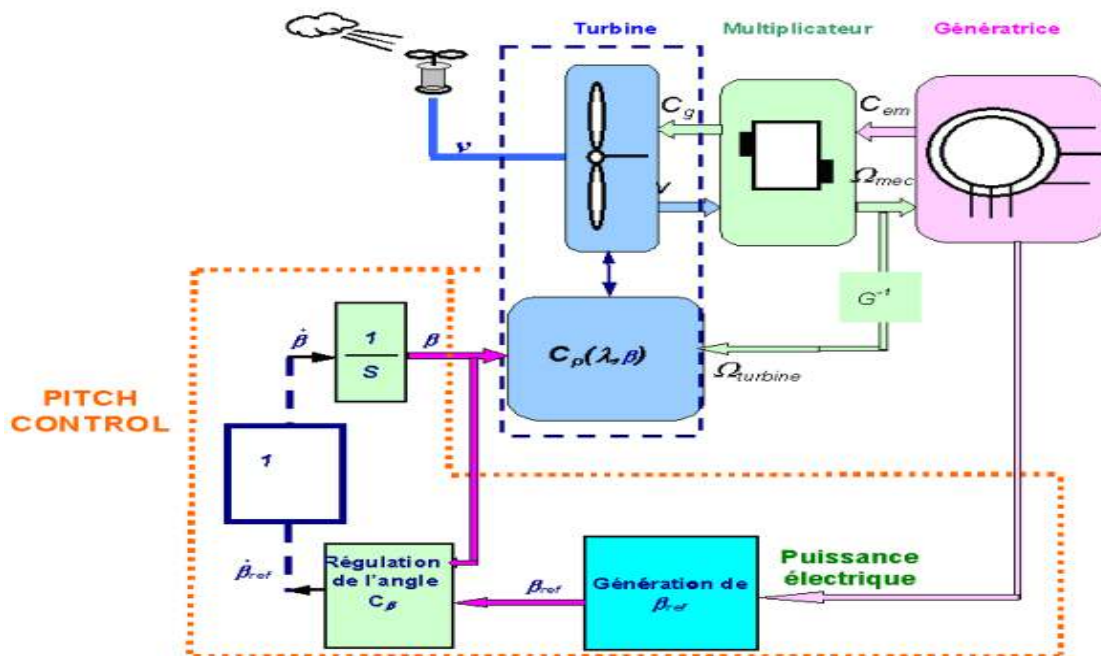
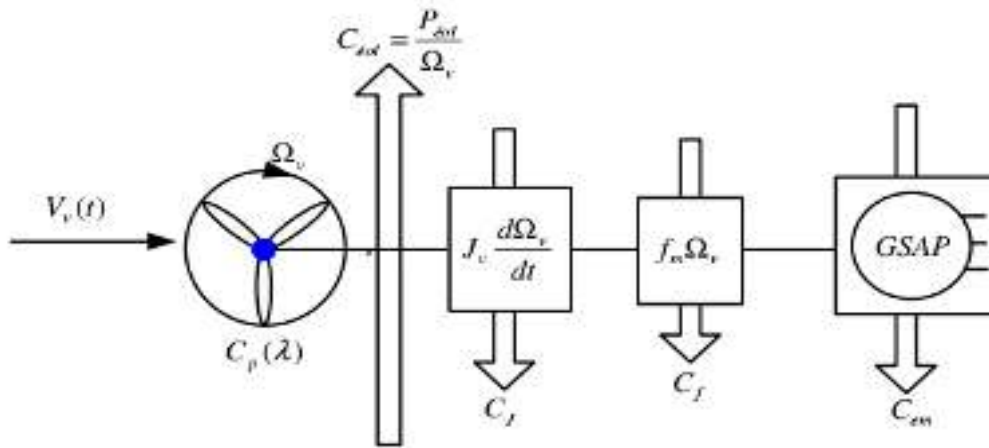


Fig.III.12. Schéma bloc de l'orientation des pales en boucle fermée

Conversion d'énergie aérodynamique en énergie électrique

Les systèmes de conversion de l'énergie éolienne transforment l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique sur la turbine éolienne puis en énergie électrique via un aérogénérateur. L'énergie  $dE$  d'une colonne d'air de longueur  $dl$ , de section  $S$ , de masse volumique  $\rho$  animé d'une vitesse  $V_v$  (voir figure) peut s'écrire [HANO8] :

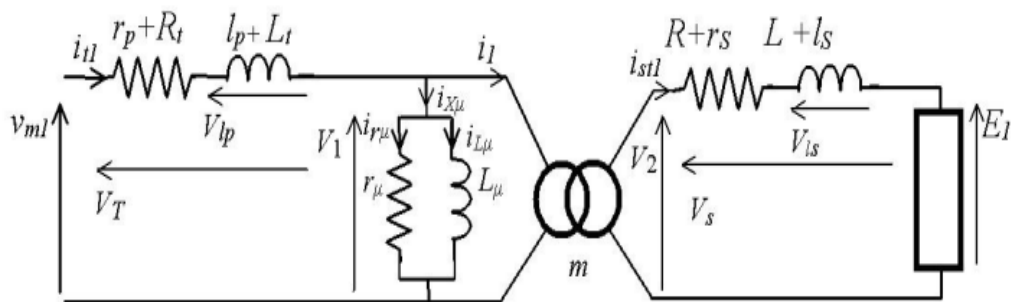


**Fig III.13. Mada alimentée par deux onduleurs à MLI**

Conversion d'énergie aérodynamique en énergie électrique

En supposant que  $dl = V_v dt$ , on tire l'expression de la puissance  $p$  de la masse d'air traversant la section  $S$  et se déplaçant  $V_v$  :

$$P = \frac{dE}{dt} = \frac{1}{2} \rho S V_v^3$$



**Fig .III.14. Schéma électrique de l'ensemble selfs + transformateurs + réseau**

En réalité la puissance récupérée par une voilure éolienne est seulement un pourcentage de cette puissance. Pour cela nous allons présenter des notions fondamentales sur la conversion aérodynamique dans les parties suivantes.

## CONCLUSION

L'énergie éolienne constituera un rapport majeur dans la voie de l'indépendance énergétique du site KASHAMATA. Le recours à une telle énergie se justifie par l'importance des potentialités qu'elle offrirait mais aussi par son aspect écologique conforme aux conventions du site de sauvegardes de l'entreprise au sein de lui-même.

En premier lieu de ce travail, nous nous sommes basés pour le dimensionnement de ce site éolien, nous avons mise en évidence tous les graphiques servant à atteindre notre objectif final ; la détermination du potentiel éolien. La production de l'énergie électrique produite par un site et la détermination de notre dite centrale éolienne.

En effet nous avons voulu intégrer notre site au réseau, mais nous nous sommes limités parce que ça peut introduire des perturbations sur le réseau électrique ; a travers une étude des différentes machines qu'on utilise pour l'installation éolienne, tel que : la machine synchrone, la machine asynchrone normale et la machine asynchrone à double

alimentation. Nous avons choisi à d'utiliser la machine asynchrone normale qui prends le nom de la « MADA »

En outre cette machine rassemble les avantages de la machine asynchrone, à savoir ; le contrôle de l'énergie réactive et ceux de la machine asynchrone à l'occurrence la robustesse.

Pour la valeur, la MADA se situe entre les deux machines, elle est plus chère que la machine asynchrone normale, et elle est moins que la machine synchrone. Donc c'est au niveau du prix Kilo watt heures, elle est la machine la plus adéquate.

Après avoir détaillé les normes qui gèrent les raccordements de la production éolienne, nous avons abordé une étude de faisabilité d'intégration du site éolien de KASHAMATA de 140MW, sur le stade 2014-2015. Par la suite nous pouvons confirmer que l'intégration du site éolien KASHAMATA est de grande importance et qu'elle n'a pas l'impact sur le réseau cause de perturbations. En effet, l'optimisation de cette exploitation est la maintenance des sites éoliens nécessite une surveillance et une télégestion fiable. Il existe des systèmes qui correspondent parfaitement à cette fonctionnalité à condition bien sur de choisir les partenaires et les matériels de télégestion les mieux adaptés aux spécifications du problème. Mais nous, n'aurons pas à utiliser ses matériels. Et nous avons proposés des systèmes de transmissions des données et des surveillances de l'éolienne et de même une présentation des solutions qu'on pourra appliquer à notre site éolien KASHAMATA.



# Bibliographie

- [Ack 99] T. Ackermann, K. Garner, A. Gardiner , "Embedded Wind Generation in Weak Grids - Economic Optimisation and Power Quality Simulation", Renewable Energy, 1999, Vol. 18, pp. 205 - 221.
- [Ack 02] T. Ackermann, L. Söder, " An overview of Wind Energy-status 2002 ", Renewable and sustainable Energy reviews, 2002, Vol. 6, pp. 67 - 128.
- [Akh 02] V. Akhmatov, M.Sc., "Modelling of variable -speed wind turbines with doubly-fed induction generators in short-term stability investigation", 3rd International Workshop on transmission Networks for offshore Wind Farms, April 11-12, 2002, Stockholm, Sweden.
- [Akh 03] V. Akhmatov, "Analysis and Dynamic Behaviour of Electric Power Systems with Large amount of Wind Power", Phd Thesis, Electric Power Engineering, Orsted-DTU, Technical University of Denmark, April 2003. ISBN Softbound 87-91184-18-5, ISBN CD-ROM 87-91184-19-3.
- [Ame 02] J. L. Rodriguez-Amenedo, S. Arnalte, J. C. Burgos, "Automatic generation control of a wind farm with variable speed wind turbines", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.17, No.2, June 2002.
- [Arr 03a] Arrêté du 4 juillet 2003 relatif aux prescriptions techniques de conception et de fonctionnement pour le raccordement au réseau public de transport d'une installation de production d'énergie électrique, publié au Journal Officiel de la république française n° 201 du 31 août

## TABLE DES MATIERES

|   |            |
|---|------------|
| <b>EPIGRAPHE .....</b>                                  | <b>I</b>   |
| <b>DEDICACE.....</b>                                    | <b>II</b>  |
| <b>REMERCIEMENT .....</b>                               | <b>III</b> |
| <b>INTRODUCTION ET OBJECTIF GENERAL .....</b>           | <b>1</b>   |
| <b>CHAPITRE I. PRESENTATION DE LA FERME ESPOIR.....</b> | <b>2</b>   |
| <b>I.1. INTRODUCTION .....</b>                          | <b>2</b>   |
| <b>I.2.DOMAINE D’EXPLOITATION .....</b>                 | <b>2</b>   |
| <b>I.3. STRUCTURE.....</b>                              | <b>5</b>   |
| <b>I.4. FONCTIONNEMENT .....</b>                        | <b>6</b>   |
| <b>I.5. CATALOGUE PRODUITS .....</b>                    | <b>6</b>   |
| <b>I.5.1. De la viande pour tous les goûts.....</b>     | <b>6</b>   |
| <b>I.5.2. SUCCURSALES .....</b>                         | <b>8</b>   |
| <b>I.6. HISTORIQUE DE LA FERME ESPOIR .....</b>         | <b>8</b>   |
| <b>I.7. PRODUCTION DE LA FEME ESPOIR.....</b>           | <b>8</b>   |
| <b>I.8. LES FERMES D’ESPOIR .....</b>                   | <b>8</b>   |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>I.8.1. SITUATION GEOGRAPHIE DE LA FERME .....</b>   | <b>9</b>  |
| <b>I.8.2. LA CARTE GEOGRAPHIQUE .....</b>  | <b>9</b>  |
| <b>I.9. COMPORTEMENT DU VENT DANS LE SITE KASHAMATA.....</b>   | <b>10</b> |
| <b>I.9.1. Caractéristique de l'éolienne de la ferme espoir Kashamata.....</b>                              | <b>10</b> |
| <b>I.9.2. Echelle des vitesses.....</b>  | <b>11</b> |
| <b>CHAPITRE II. PRESENTATION DES CENTRALES EOLIENNES EXISTANT.....</b>                                     | <b>13</b> |
| <b>II.1 GENERALITES SUR LES CENTRALES EOLINNE.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>II.2 LA DEFFINITION D'UNE EOLIENNE .....</b>  | <b>15</b> |
| <b>II.3 LES SOURCES D'ENERGIE PRIMAIRE D'UNE EOLIENNE.....</b>   | <b>15</b> |
| <b>II.4 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE EOLIENNE .....</b>  | <b>16</b> |
| <b>II.5 LES ELEMENTS COSTITUTIFS D'UNE EOLIENNE.....</b>   | <b>17</b> |
| <b>II.5.1 LE ROTOR OU L'HELICE .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>II.5.2 LE MAT .....</b>   | <b>17</b> |
| <b>II.5.3 LA NACELLE .....</b>   | <b>18</b> |
| <b>II.5.4 LA PARTIE ELECTRIQUE.....</b>  | <b>19</b> |
| <b>II.6 PRODUIRE L'ELECTRICITE GRACE A UNE EOLIENNE .....</b>  | <b>19</b> |
| <b>II.7 TYPES DES CENTRALES EOLIENNE.....</b>  | <b>21</b> |
| <b>II.7.1 L'EOLIENNE HORIZONTALE.....</b>  | <b>21</b> |
| <b>II.7.2 L'EOLIENNE VERTICALE .....</b>   | <b>22</b> |
| <b>II.7.2.1 L'éolienne Darrieus :.....</b>   | <b>22</b> |
| <b>II.7.2.2 L'éolienne savonius :.....</b>   | <b>23</b> |
| <b>II.7.3 L'EOLIENNE OFFSHORE.....</b>   | <b>23</b> |
| <b>II.8 L'EOLIENNE DOMESTIQUE .....</b>  | <b>25</b> |
| <b>II.9 TYPE D'EOLINNES LES PLUS REPANDUS .....</b>  | <b>26</b> |
| <b>II.10 TECHNIQUE DE MONTAGE DES EOLIENNES.....</b>   | <b>27</b> |
| <b>II.10.1 NOTE TECHNIQUE .....</b>  | <b>27</b> |
| <b>II.10.1.1 BRUITS AERODYNAMIQUES.....</b>  | <b>27</b> |
| <b>II.10.1.2 BRUITS MECANQUES .....</b>  | <b>28</b> |
| <b>II.11 LES POTENTIELS D'EOLIENNE.....</b>  | <b>29</b> |
| <b>II.12 CALCUL .....</b>  | <b>29</b> |
| <b>II.13 UTILISATION .....</b>   | <b>30</b> |
| <b>II.14 CARACTERISTIQUES TECHNIQUES.....</b>  | <b>30</b> |
| <b>II.15 INTERMITTENCE DU VENT.....</b>  | <b>31</b> |
| <b>II.16 PREVISIBILITE .....</b>   | <b>31</b> |
| <b>CHAPITRE III. ETUDE SUR LA FAISABILITE FONCTIONNELLE DE LA CENTRALE<br/>EOLIENNE DE KASHAMATA .....</b> | <b>34</b> |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>III.1. INTRODUCTION ET OBJECTIF GENERAL .....</b>  | <b>34</b> |
| <b>III.2. TECHNIQUE DE DIMENSIONNEMENT .....</b>  | <b>35</b> |
| <b>III.2.1. PUISSANCE EOLINNE .....</b>   | <b>35</b> |
| <b>III.2.2. L'ENERGIE FOURNIE PAR UN AEROGENERATEUR.....</b>                                | <b>35</b> |
| <b>III.2.3. FACTEUR DE CAPACITE.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>III.2.4. MODELISATION MATHEMATIQUE DE LA DISTRIBUTION DE FREQUENCE<br/>DU VENT .....</b> | <b>35</b> |
| <b>III.3. REPRESENTATION DES RESULTATS DU DIMENTIONNEMENT.....</b>                          | <b>38</b> |
| <b>III.3.1 POTENTIEL EOLIEN DU SITE DE KASHAMATA.....</b>                                   | <b>38</b> |
| <b>III.3.2. COURBE DE CALME.....</b>  | <b>40</b> |
| <b>III.3.3.1.COURBE DE LA PREDICTION DE L'ENERGIE.....</b>                                  | <b>41</b> |
| <b>III.3.4 RESULTATS DE L'ORIENTATION DES EOLIENNES .....</b>                               | <b>42</b> |
| <b>III.4.1. MODELISATION DU VENT.....</b>   | <b>45</b> |
| <b>III.4.3. MODELE DU MULTIPLICATEUR.....</b>   | <b>46</b> |
| <b>III.4.4. MODELISATION DE LA CONVERSION MECANIQUE ET ELECTRIQUE .....</b>                 | <b>47</b> |
| <b>III.4.4.1 SCHEMA EQUIVALENT DE LA MACHINE A COURANT CONTINU<br/>EQUIVALENT .....</b>     | <b>47</b> |
| <b>CONCLUSION.....</b>  | <b>57</b> |