REPOBLIKAN'I MADAGASIKARA
FITIAVANA - TANINDRAZANA - FANDROSOANA

UNIVERSITE D'ANTSIRANANA

ECOLE NORMALE SUPERIEURE POUR L'ENSEIGNEMENT TECHNIQUE

E.N.S.E.T

DEPARTEMENT : GENIE ELECTRIQUE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU C.A.P.E.N

Certificat d'Aptitude Pédagogique de l'Ecole Normale

CONCEPTION D'UN MINI ÉOLIEN À PARTIR D'UN VENTILATEUR SUR PIED

Présenté par : Monsieur ZAFY Jean Edmond

Président de Jury : Monsieur RANDRIAMAROMILA Richard

Encadreurs : Monsieur SAÏD M'ZE

Monsieur JAOMIARY Antonio

Examinateur : Monsieur MOUSSA

Soutenue, le 20 juillet 2012

Promotion

MIRANA : Mauelle des Intellectuels Rayonnants pour l'Avenir des Normaliens Actifs

Année Universitaire 2010-2011

REMERCIEMENTS

Avant de commencer, j'exprime mes vifs et sincères remerciements à Dieu tout puissant de m'avoir donné la force et le courage pour l'accomplissement de ce mémoire.

Qu'il me soit, ici permis d'exprimer toute ma gratitude à :

Monsieur SAÏD M'ZE et JAOMIARY Antonio, qui m'ont proposé ce sujet de mémoire et qui n'ont pas cessé de donner les consignes nécessaires pour le bon déroulement de mon travail.

Mes remerciements s'adressent également :

- à monsieur le président de jury et tous les membres de jury qui vont examiner et juger ce travail ;
- à tous les professeurs de l'ENSET, particulièrement ceux de la filière Génie électrique qui m'ont aidé à développer ma connaissance.

Mes vifs remerciements s'adressent aussi à mes collègues qui m'ont aidé pour la saisie et m'a donné la morale pour finir mon mémoire. Je tiens à exprimer mes profondes gratitudes en vers mes parents qui m'ont apporté soutiens spirituel et moral, aide matérielle et encouragement pendant mes études.

Enfin, mes remerciements s'adressent à tous ceux qui m'ont aidé, de près ou de loin, à l'accomplissement de ce travail.

Mercie à vous tous !!!

20 Juillet 2012

ZAFY Jean Edmond.

LISTE DES PRINCIPAUX SYMBOLES UTILISEES :

P_{disp} : La puissance disponible; [W]

S : surface balayée par les pales; [m^2]

ρ : Masse volumique de l'aire; [$g.m^{-3}$]

V : Vitesse du vent ; [$m.s^{-1}$]

P_T : La puissance captée par la turbine; [W]

C_j : La consommation journalière ; [Wh]

P_{total} : Puissance totale ; [W]

t_j : Durée d'utilisation journalière [h]

C_m : Consommation mensuelle; [Wh]

D : diamètre du rotor tripale; [m]

P_{vent} : Puissance du vent; [W]

P_{max} :Puissance maximale; [W]

K:Le rapport de multiplication;

$N_{éol}$: Vitesse de rotation de l'éolienne ; [tr/min]

$N_{gén}$: Vitesse de rotation du générateur ; [tr/min]

α: Angle de portance; [en °]

α_o : Angle de portance nulle; [en °]

i: Angle d'incidence du profil; [en °]

F : force résultante oblique;

M : moment de la distance par rapport au bord d'attaque et l la largeur ;

f : Le coefficient de la portance ;

H: Pas d'une hélice ;

$P_{U:}$ La puissance utile; [W]

λ : vitesse spécifique

I : l'angle d'inclinaison [en °]

R : rayon de l'hélice ; [m]

l : la largeur de la pâle [m]

$C_{bateterie}$:La capacité des batteries ; [Ah]

T_d:Taux de décharge

$\eta_{onduleur}$: rendement de l'onduleur

θ: Angle de décalage [en °]

h(t,θ) : Somme des champs tournants; [A/m]

H_{max} : Amplitude de la f.f.m ;

$h_1(t,\theta)$: le champ tournant dans le sens direct ; [A/m]

$h_2(t,\theta)$: le champ tournant dans le sens inverse ; [A/m]

i_P : Courant qui circule dans l'enroulement principal ; [A]

i_a: Courant qui circule dans l'enroulement auxiliaire ; [A]

F (t,θ) : La force magnétomotrice pulsatoire d'un enroulement monophasé.

N_a : nombre de spire de l'enroulement auxiliaire.

I_a : Courant efficace qui circule dans l'enroulement auxiliaire ; [A]

N_P : nombre de spire de l'enroulement principal ;

n_s : vitesse synchrone ; [tr/min]

f : fréquence ; [Hz

INTRODUCTION

De nos jours, l'énergie électrique est un élément incontournable dans la vie des sociétés et des entreprises. La plupart des communes à Madagascar connaissent un problème énergétique aigu dû à l'insuffisance des sources conventionnelles d'énergie. Or, un pays ne sera pas développé s'il ne possède pas une grande source d'énergie qui peut répondre constamment aux besoins des clients. L'énergie éolien est une énergie « renouvelable» la plus fiable et la plus efficace et permet une production énergétique décentralisée sans émission de pollution, sans gaz à effet de serre.

Dans le cadre de travail de ce mémoire, on s'intéresse à l'étude d'une éolienne, plus exactement « La conception d'un mini éolien à partir d'un ventilateur sur pied » ; c'est-à-dire un aérogénérateur est connecté avec une génératrice asynchrone pour transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique, puis en énergie électrique. Toutes les machines électriques sont réversibles.

Ce mémoire a pour but de transformer un moteur asynchrone à cage monophasé en générateur pour avoir un mini éolien et d'aider les populations rurales qui n'ont pas le moyen d'avoir l'électricité de la JIRAMA, surtout dans les zones isolées.

Dans ce mémoire les thèmes suivants seront traités :
En premier lieu la généralité sur l'énergie éolien, en second lieu la conception d'un éolien, en troisième lieu la conception d'un mini éolien à partir d'un ventilateur sur pied et en fin, pour justifier mon titre de mémoire fait dans une école normale, le travail se termine par une implication pédagogique.

CHAPITRE I : GENERALITES

I.1 L'ENERGIE EOLIENNE :

Avec la diminution du stock mondial d'hydrocarbure, la demande énergétique ne cesse de croître. 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'action des différences de pression atmosphériques continuellement variable sur la terre, provoque le déplacement d'air en permanence. Le courant correspondant à ce déplacement constitue le vent. Entre les pôles et l'équateur, le soleil réchauffe le globe terrestre de manière fort inégale. L'écart de température qui en résulte provoque des différences de densité des masses d'air qui se traduisent par des variations de pression atmosphérique. Dès lors se crée un vaste mouvement des masses d'air des zones à haut pression vers les zones à basses pression. C'est ce mouvement qui constitue le phénomène général des vents à la surface de la planète. Le vent est donc une masse d'air en mouvement qui transforme l'énergie thermique que cette masse a retiré du rayonnement solaire en énergie cinétique.

1.1 .1 : Principe de fonctionnement d'un système éolien.

Un système éolien, quel que soit sa technologie, convertit l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. Cette conversion se fait en deux étapes :

- La conversion d'une partie de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique ; ceci se fait au niveau de la turbine.
- La conversion de l'énergie mécanique en énergie électrique au niveau de la génératrice.

Ce principe général de conversion est illustré par la figure suivante :

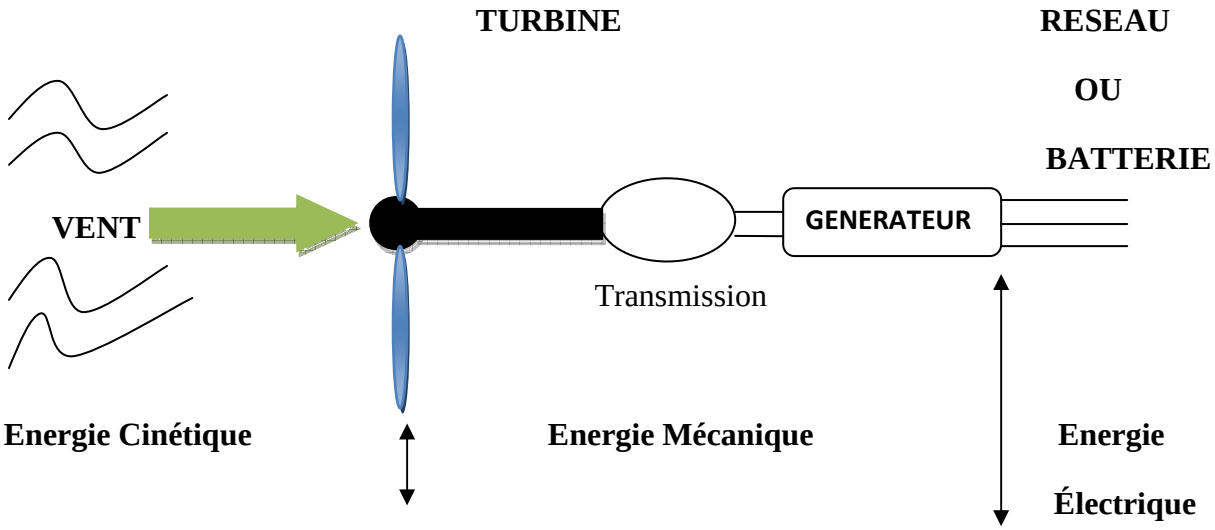


Figure .1.1.Principe de conversion de l'énergie éolienne.

C'est une énergie plus respectueuse de l'environnement que les combustibles fossiles ou l'énergie nucléaire, car elle cause moins de pollution. Les installations peuvent être réalisées sur terre, mais également de plus en plus en mer (fermes éoliennes offshore) où la présence du vent est plus régulière.

On distingue trois catégories d'éoliennes selon leur puissance nominale à savoir :

Tableau 1 : Différents catégories d'éolienne [2]

Eolienne de forte puissance	supérieure à 1MW
Eolienne de moyenne puissance	de 100 à quelque centaines de KW
Eolienne de petite puissance	1 à 100 KW
Le mini-éolien	est de 500 à 1K W

1.1.2 Les éléments constitutifs d'une installation éolienne.

Il existe plusieurs configurations d'une éolienne, mais en général, Elle est constituée de trois éléments principaux : le mât, la nacelle et le rotor.

- Le mât est fabriqué à partir d'un tube d'acier ou d'un treillis métallique, doit être le plus haut possible pour éviter les perturbations près du sol.

- La nacelle regroupe tous les éléments mécaniques permettant de coupler le rotor éolien au générateur électrique : arbre lent et rapide, roulement, multiplicateur, le frein à disque, diffèrent du frein aérodynamique, et qui permet d'arrêter le système en cas de surcharge.
- Le rotor convertit l'énergie du vent en énergie mécanique par l'entraînement de son arbre. Le rotor peut être 1 à 3 pales, le rotor tripale étant le plus répandu car il représente un bon compromis entre le coût, le comportement vibratoire, la pollution visuelle et le bruit.

Selon les caractéristiques de leur vitesse, le rotor est classé en deux types :

D'une part, les rotors à vitesse fixe sont les premiers à avoir été développés. Ils sont souvent utilisés une génératrice asynchrone à cage d'écureuil connectée directement au réseau. D'autre part, les rotors à vitesses variable sont basés sur la machine asynchrone à double alimentation.

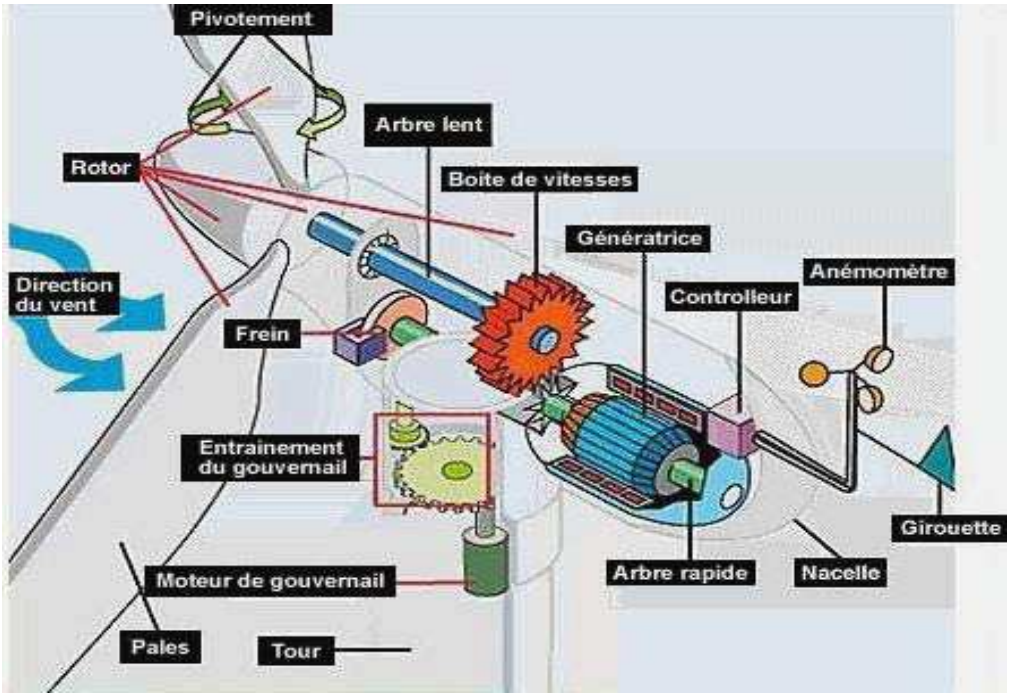


Figure 1.2 : Eléments constitutifs d'une éolienne

1.2 La turbine.

La majorité des éoliennes ont une turbine généralement constituée de trois pales (parfois deux pour les éoliennes de petite taille). Ces pales ont un profil aérodynamique identique à celui des ailes d'avion. Elles exploitent donc la différence de pression qui crée une force de portance pour mettre en rotation la turbine et ainsi extraire une partie de l'énergie cinétique du vent.

La puissance disponible sur une surface S s'exprime par la dérivation de l'énergie cinétique de la masse d'air traversant cette surface [3]:

$$P_{disp} = \frac{1}{2}.S.\rho.V^3[W] \quad (1.1)$$

Avec :

S : surface balayée par les pales en m^2 ;

ρ : Masse volumique de l'aire $g.m^{-3}$;

V : Vitesse du vent $m.s^{-1}$

La turbine ne récupère qu'une fraction de cette puissance. Cette fraction est définie par la surface balayée par les pales $S = 2.\pi.R^2$, le coefficient de puissance C_P qui caractérise chaque turbine et qui dépend à la fois de la position angulaire de l'axe de la pale caractérisée par son angle de calage β et du rapport de vitesse λ .

La puissance captée par la turbine s'écrit alors [3]:

$$P_T = \frac{1}{2}.S.\rho.V^3.C_P(\lambda,\beta) \quad (1.2)$$

Le contrôle de la conversion effectuée au niveau de la turbine peut se faire par celui de l'angle de calage β (Pitch Control). Cette technologie autorise une variation de β de 0° à 30°. Elle permet en fonction de sa position de réduire ou d'augmenter la puissance captée par la turbine.

1.2.1. Zone de fonctionnement.

En fonction de la vitesse de vent, on distingue quatre zones de fonctionnement d'une turbine éolienne.

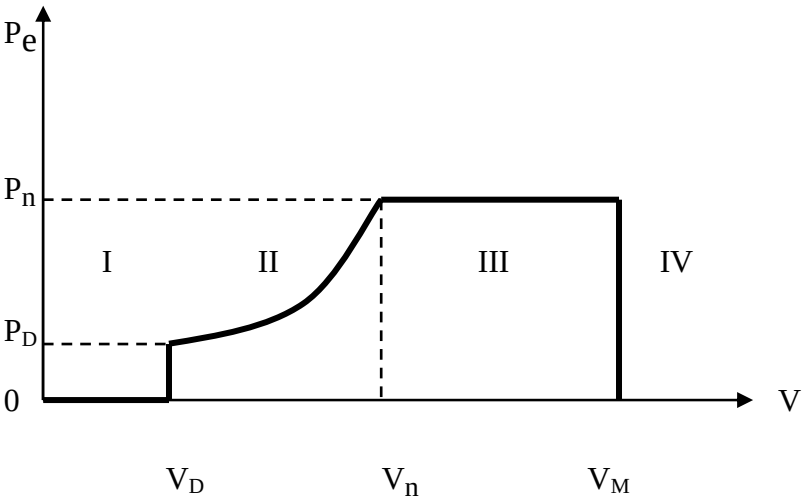


Figure .1.3: Diagramme de la puissance utile sur l'arbre en fonction de la vitesse du vent.

- Zone I : Pour des vitesses plus petites que la vitesse de démarrage (V_D), l'énergie contenue dans le vent n'est pas suffisante pour entrainer la turbine et la puissance captée est nulle,
- Zone II : Pour des vitesses supérieures à celle de démarrage, et inferieures à celle de nominale (V_n), la puissance extraite augmente proportionnellement avec la vitesse du vent. Cette zone correspond au régime de charge partielle ;
- Zone III : Pour des vitesses supérieures à celle de la nominale et plus petites que celle de la maximale (V_M), la puissance captée est limitée à la nominale.
- Zone IV : Pour des vitesses supérieures à la vitesse extrême d'opération (V_M), la turbine éolienne s'arrête, la puissance fournie s'annule.

1.2.2. Classement des Turbines Eoliennes.

Les turbines éoliennes sont constituées un rotor qui capte l'énergie cinétique du vent et la transforme en énergie de rotation, un système d'engrenage pour multiplier la vitesse de rotation, une machine électrique pour convertir l'énergie mécanique en électricité. Il existe différentes façons de classer les turbine éoliennes mais celles-ci appartiennent principalement à deux groupes selon l'orientation de leur axe de rotation : celle à l'axe horizontal et celle à l'axe vertical.

1.2.3. Turbines Eoliennes à Axe Horizontal (EAH).

Une turbine à axe de rotation horizontal demeure face au vent, comme les hélices des avions et des moulins à vent. Elle est fixée au sommet d'une tour, ce qui la permet de capter

une quantité plus importante d'énergie éolienne. La plupart des éoliennes installées sont à axe horizontal. Ce choix présente plusieurs avantages, comme la faible vitesse d'amorçage et un coefficient de puissance (rapport entre la puissance obtenue et la puissance de la masse d'air en mouvement) relativement élevé. Toutefois, la boite de vitesse et la machine électrique doivent être installées en haut de la tour, ce qui pose des problèmes mécaniques et économiques. Par ailleurs l'orientation automatique de l'hélice face au vent nécessite un organe supplémentaire.

1.2.4 Turbines Eoliennes à Axe Vertical (EAV).

L'axe de rotation de ce type de turbine est vertical par rapport au sol et perpendiculaire à la direction du vent. Ce type de turbine est peut recevoir le vent de n'importe quelle direction, ce qui rend inutile tout dispositif d'orientation. Le générateur et la boite d'engrenage sont disposés au niveau du sol, ce qui est plus simple et donc économique. La maintenance du système est également simplifiée dans la mesure où elle se fait au sol. Ces turbines ne disposent pas de commande d'angle de pale comme certaines turbines à axe horizontale.

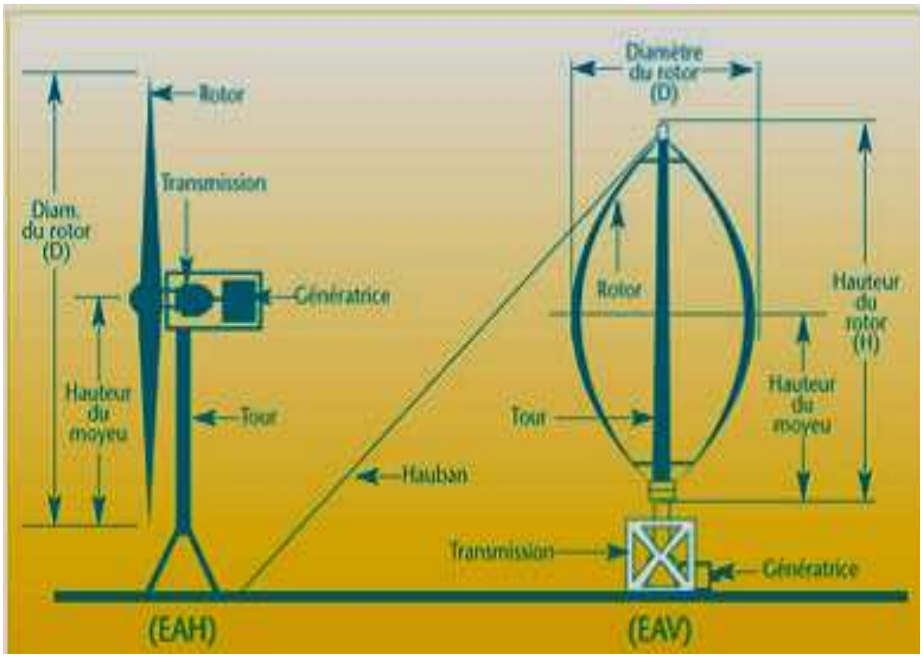


Figure.1.4 : Schéma d'une éolienne à axe verticale et horizontale.

1.3. Générateur.

L'utilisation d'une machine électrique est indispensable pour la production d'électricité, on l'applique la plus fréquente des turbines éoliennes. Les générateurs habituellement rencontrés dans les éoliennes sont présentés dans ce qui suit.

Différents types de machines électriques peuvent être utilisés pour la génération de puissance éolienne. Des facteurs techniques et économiques fixent le type de machine pour chaque application. Pour les petites puissances (< 20 KW), la simplicité et le coût réduire des générateurs synchrones à aimants permanents explique leur prédominance. Dans les applications de plus forte puissance, jusqu'à 2 MW environ, le générateur asynchrone est plus courant et économique.

1.3.1. Les différents types des générateurs.

- **Générateur Asynchrone.**

Le générateur à induction est largement utilisé dans les turbines éoliennes de moyenne et grande puissance en raison de sa robustesse, sa simplicité mécanique et son coût réduit. Son inconvénient majeur est la consommation d'un courant réactif de magnétisation au stator.

- **Générateur Asynchrone à Cage d'Ecureuil.**

Jusqu'à présent la génératrice asynchrone à cage est la plus utilisée dans la conversion d'énergie éolienne à cause de sa simplicité, son bon rendement et sa maintenance réduite. La demande de puissance réactive est compensée par la connexion d'un groupe de condensateurs en parallèle avec le générateur, ou par la mise en œuvre d'un convertisseur statique de puissance. Elle est souvent utilisée dans des sites isolés.

- **Générateur Asynchrone à Rotor Bobiné.**

Les éoliennes utilisent aussi les générateurs asynchrones à rotor bobiné, surtout dans la production de masse. Grâce à un système de bagues et balais, la tension appliquée au rotor peut être commandée par un convertisseur électronique de puissance. De l'énergie pouvant ainsi être appliquée où extraire du rotor, le générateur peut se magnétiser par le rotor comme par le stator.

- **Générateur synchrone.**

L'avantage de la génératrice synchrone est l'absence de courant réactif de magnétisation. Le champ magnétique de cette génératrice peut être obtenu par des aimants ou par un bobinage d'excitation conventionnel. Et si le générateur possède un nombre suffisant de pôles, il peut s'utiliser pour les applications d'entrainement direct qui ne nécessite pas de boite de vitesse.

- **Générateur synchrone à rotor bobiné.**

La connexion directe au réseau de puissance implique que la génératrice tourne à vitesse constante, laquelle est fixée par la fréquence du réseau et le nombre de pôles de la machine. L'excitation est fournie par le système de bagues et balais ou par un système " brushless " avec un redresseur tournant.

- **Générateur synchrone à aimant permanant.**

La caractéristique d'auto-excitation de celui-ci permet de fonctionner avec un facteur de puissance élevé et bon rendement, ce qui rend propice à l'application des systèmes de génération éolienne. En faite, dans la catégorie des petites turbines, son coût réduit et sa simplicité en font le générateur le plus employé. Cependant, dans les applications de plus grande puissance, les aimants et le convertisseur, en font le moins compétitif.

- **Dynamo**

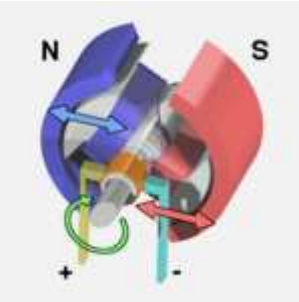


Figure.1.5 : Machine à courant continu

Aussi appelée génératrice de courant continu, se compose de 2 parties :

- L'inducteur est un circuit magnétique (bobine magnétisante) dont le but est de créer un champ magnétique dans l'entrefer.
- L'enroulement d'induit dans lequel on récupère l'énergie électrique produite par la rotation du rotor.

Afin de récupérer l'énergie produite, l'induit comporte un collecteur.

Le courant de sortie est proportionnel à la fréquence de rotation et est directement utilisable pour charger une batterie mais nécessite une conversion continu en alternatif pour une injection du courant le réseau électrique. L'entretien d'une génératrice à courant continu est plus fréquent car il faut changer régulièrement les balais assurant la liaison avec le collecteur rotatif.

1.4 : Fonctionnement d'un ventilateur sur pied.

1.4.1 : Principe de fonctionnement.

Un ventilateur est un appareil destiné, comme son nom l'indique, à créer un vent artificiel, un courant d'air. La chaleur ressentie est fonction de la température mais elle est inversement proportionnelle à la vitesse de l'air, donc le déplacement d'air provoqué par le ventilateur va rafraîchir les personnes.
Les premiers ventilateurs étaient mus par la force humaine ou animale. Dorénavant un moteur électrique entraîne une hélice ou une turbine.
Les ventilateurs peuvent être utilisés pour tous les fluides compressibles ; ils sont utilisés tant pour le confort que pour l'industrie.
Les ventilateurs peuvent être utilisés pour tous les fluides compressibles ; ils sont utilisés tant pour le confort que pour l'industrie.

1.4.2 : Les différents types de ventilateurs.

Il existe deux grands types de ventilateurs :

- les ventilateurs hélicoïdaux (ou axiaux) :

Ils sont constitués de deux parties statiques (le distributeur et le diffuseur) plus une partie mobile (l'hélice propulsée par un moteur). Le fluide arrive par le distributeur et l'hélice projette le fluide par le diffuseur.

- les ventilateurs centrifuges :

Ils sont constitués de deux parties principales : une roue à aube entraînée par un moteur qui tourne dans un stator épousant la roue. Ce stator comporte deux ouvertures, une alimente la partie centrale de la roue en fluide, lequel pénètre par dépression et est soufflé par effet centrifuge par le deuxième orifice. Ils permettent d'atteindre une pression par accélération de l'air dans des roues à aubes en rotation puis par décélération dans les diffuseurs à large rayon de courbure. Ces ventilateurs permettent une régulation modulée du débit d'air en maintenant une pression constante par simple action d'une vanne en aspiration.

1.4.3:Utilité des ventilateurs.

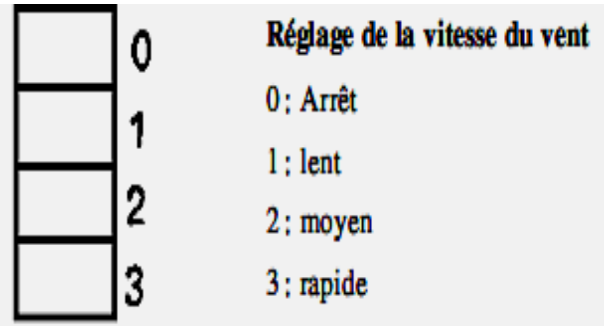
L'été, un ventilateur fournit une sensation de fraîcheur aux êtres humains en facilitant l'évaporation de la transpiration et en homogénéisant la température d'une pièce, mais ne permet pas de baisser la température, les éléments moteurs au contraire dégagent de la chaleur. Certains types de ventilateurs permettent la ventilation des bâtiments, des ouvrages routiers.

On utilise les ventilateurs dans divers domaines en créant un flux d'air permettant de maintenir une température acceptable dans certains environnements, notamment en informatique.

Pour transformer l'énergie électrique en énergie mécanique, le ventilateur utilise un petit moteur asynchrone à cage d'écureuil.

- **Description technique d'un ventilateur sur pied.**

Bouton-poussoir :



- On appui sur le bouton 3 si on veut une vitesse maximale du vent du ventilateur ;
- On appui sur le bouton 2 si on veut une vitesse moyenne du vent du ventilateur ;
- On appui sur le bouton 1 si on veut une vitesse minimale du vent du ventilateur ;
- On appui sur le bouton 0 si on veut arrêter et rendre nulle la vitesse du ventilateur.

CHAPITRE II : CONCEPTION D'UN EOLIEN.

2.1. Procédure à suivre pour la conception d'un système éolienne quelconque.

2.1.1. Evaluation des caractéristiques géographique du site.

Les critères de choix d'une implantation éolienne dépendent de la taille, puissance et du nombre d'unités. Ils nécessitent la présence d'un vent régulier et diverses conditions telles que : proximité d'un réseau électrique pour y raccorder les aérogénérateurs, absence de zones d'exclusion (dont périmètre de monuments historiques, sites classés…), terrain approprié.

- ✓ **Le vent.**

L'efficacité d'une éolienne dépend notamment de son emplacement. En effet, la puissance fournie augmente avec le cube de la vitesse du vent, raison pour laquelle les sites sont d'abord choisis en fonction de la vitesse et de la fréquence des vents présents. Un site avec des vents d'environ 30 km/h de moyenne sera environ huit fois plus productif qu'un autre site avec des vents de 15 km/h de moyenne. Une éolienne fonctionne d'autant mieux que les vents sont réguliers et fréquents.

Figure.2.1.Fondation en béton, avant la construction d'une éolienne

D'autres critères sont pris en compte pour le choix du site.

- La nature du sol : il doit être suffisamment résistant pour supporter les fondations de l'éolienne. Ce critère n'est pas déterminant car dans le cas d'un sol meuble, des pieux seront alors enfoncés sous les fondations de l'éolienne.

- Même si les éoliennes de dernière génération sont relativement silencieuses, une étude de l'impact sonore sur les habitations est effectuée avant l'implantation des parcs éoliens. En fonction du résultat, cette implantation peut être modifiée afin de respecter

la réglementation (émergence maximale de 5 dB le jour et 3 dB la nuit). La distance entre les éoliennes et les habitations est généralement de 300 m. À environ 500 m, elles sont inaudibles ou très peu audibles et leur bruit est généralement couvert par le bruit du vent.

- ✓ **Installation éolienne en pleine mer.**

À la condition qu'elles soient implantées assez loin de la côte, les éoliennes en pleine mer (offshore) entraînent moins d'impact sur le paysage terrestre. L'installation d'éoliennes en mer est beaucoup plus coûteuse qu'à terre.

Figure.2.2.Éolienne en pleine mer

- ✓ **En villes.**

En environnement urbain, où il est difficile d'obtenir de puissants flux d'air, de plus petits équipements peuvent être utilisés pour faire tourner des systèmes basse tension. Des éoliennes sur un toit fonctionnant dans un système d'énergie distribuée permettent d'alléger les problèmes d'acheminement de l'énergie et de pallier les pannes de courant. De petites installations telles que des routeurs wi-fi peuvent être alimentées par une éolienne portative qui recharge une petite batterie.

Malgré qu'il existe pas mal de site où on peut trouver un meilleur gisement éolien à Madagascar, nous allons prendre en guise d'exemple la province d'Antsiranana, y compris la ville de Diego Suarez et ses alentours qui possède un gisement exploitable du vent.

La situation du site se situant sur la pointe Nord de l'île, ce site fait partie des régions qui a un bon gisement éolien. Ce dernier se trouve du cap d'Ambre et descend un peu le long de la côte Nord-est jusqu'à Antalaha, en particulier la région de la SAVA.

2.2. Les potentiels dehors du site en source d'énergie éolien.

Pour déterminer les potentiels en source d'énergie renouvelable comme éolien, il est nécessaire de faire une petite analyse des conditions atmosphériques et climatiques du site à étudier. Cette analyse nous mène à un résultat défini pour l'exploitation des ressources naturelles ou propres existantes considérées comme renouvelable.

En général, pour une superficie d'environ 590 000 [Km^2], notre île jouit d'un climat varié. Il est tropical au Nord et sur les côtes, plutôt tempéré sur les plateaux du centre et semi-aride au sud. On peut globalement diviser l'année en trois saisons, malgré ces particularités régionales : saison sèche d'Avril à Octobre à Décembre et saison cyclonique de Janvier à Mars.

Voici quelques données météorologiques de la station Arachard d'Antsiranana avec leurs tableaux correspondants des vitesses du vent, des températures moyennes et mensuelles durant l'année 2009**[7].**

Tableau 2 : Vitesse moyenne mensuelles du vent en 2009 à 10 (m) d'altitude.

Mois	Vitesse du vent (m/s)
Janvier	3 ,72
Février	1,95
Mars	2,68
Avril	3,57
Mai	3,80
Juin	4,97
Juillet	5,81
Août	5,81
Septembre	6,61
Octobre	7,13
Novembre	8,3
Décembre	3,73

Tableau 3 : Température moyenne mensuelle en 2009.

Mois	**Températures (°C)**
Janvier	26,76
Février	28,00
Mars	27,00
Avril	27,25
Mai	26,00
Juin	24,75
Juillet	24,00
Août	23,75
Septembre	23,75
Octobre	25,50
Novembre	27,25
Décembre	25,75

Tableau 4 : Vitesse du vent du 02 à 09 Septembre 2011à 114 [m] d'altitude :

	SEPTEMBRE 2011															
	Vendredi		Samedi		Dimanche		Lundi		Mardi		Mercredi		Jeudi		Vendredi	
	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir
Vitesse du Vent (m/s)	10,2	8,3	9,7	9,7	8,3	9,4	7,2	7,5	7,2	8,8	9,4	6,1	8	9,4	9,4	10,2

Bien sûr que le choix de la puissance de l'éolien dépendra de la vitesse du vent sur votre site et des besoins en électricité. Mais dans notre étude, un petit éolien ou un mini éolien n'a pas forcément besoin de la vitesse du vent très important pour avoir de l'énergie.

2 .3.Type de système à installer.

L'installation de l'éolienne comprend deux systèmes :

- ✓ Le système connecté au réseau.
- ✓ Le système autonome où isolé.
- ❖ **Le système connecté au réseau.**

Nous savons tous que pour les systèmes de conversion d'énergie éolienne, les machines électriques sont incontournables, comme par exemple : un générateur asynchrone et générateur synchrone.

- ➢ **Générateurs Asynchrones à cage (MAS).**

Les machines électriques asynchrones sont les plus simples à fabriquer et les moins coûteuses. Elles ont l'avantage d'être standardisées, fabriquées en grande quantité et dans une très grande échelle des puissances. Elles sont aussi les moins exigeantes en termes d'entretien et présentent un taux de défaillance très peu élevé. Dans les aérogénérateurs de dimensions conséquentes (grande puissance et rayon de pales important), la vitesse de rotation est peu élevée. Or, il n'est pas envisageable de concevoir une génératrice asynchrone lente avec un rendement correct. Il est donc nécessaire d'insérer entre la turbine et la machine asynchrone un multiplicateur mécanique de vitesse.

- ➢ **Génératrices synchrones.**

Les machines asynchrones présentent le défaut d'imposer la présence d'un multiplicateur de vitesse. Elles sont en effet bien adaptées à des vitesses de rotation relativement importantes et un couple insuffisant pour un couplage mécanique direct sur les voilures éoliennes. Par contre, les machines synchrones sont connues pour offrir des couples très importants à dimensions géométriques convenables. Elles peuvent donc être utilisées en entraînement direct sur les turbines éoliennes. Les systèmes de ce type possèdent aussi leurs défauts. Les machines synchrones à rotor bobiné demandent un entretien régulier de système des bagues et balais. Le circuit d'excitation de l'inducteur demande la présence du réseau et une fourniture de la puissance réactive. Les sites isolés ne sont adaptés à ces génératrices qu'en présence d'une batterie de condensateurs ou d'une source de tension indépendante. Par contre, la possibilité de réglage de l'inducteur de ces machines offre un moyen supplémentaire

d'ajustement du point de fonctionnement énergétique. Le couplage direct sur le réseau est proscrit car étant beaucoup trop rigide. Une électronique de puissance s'impose pour toutes les applications utilisant ce type de machine qui sont donc à vitesse variable.

La plupart des éoliennes sont raccordées au réseau public. La nuit le vent souffle moins fortement que la journée, hors nous savons que c'est la journée que l'on consomme le plus d'électricité. On peut donc dire que les éoliennes sont parfaitement adaptées a la consommation électrique. Il est préférable d'avoir un courant alternatif d'une forme sinusoïdale constante. C'est pour cela que lorsque le vent est trop faible les compagnies électriques déconnectent l'éolienne du réseau et la reconnecte lorsque l'éolienne tourne à sa puissance nominale. Si l'on branchait une éolienne directement sur le réseau électrique, il y aurait des problèmes sur le réseau du a la consommation d'électricité pour magnétisé la génératrice et ensuite la surcharge lorsqu'elle se met en route. Pour éviter ceci des thyristors sont placé pour réguler ces variations.

- **Le système autonome où isolé.**

Un système éolien est un dispositif qui transforme l'énergie du vent en énergie électrique fin d'alimenter en électricité de façon optimale une habitation, un bâtiment, un moteur ou le réseau de distribution électrique. Un système éolien applique à l'habitat domestique peut être présenté de manière suivante :

- **RÉGULATEUR DE CHARGE/DÉCHARGE** :

Le régulateur est un petit appareil qui se place entre la batterie et l'éolienne. Sa fonction première est de contrôler la quantité de courant continu qui arrive ou qui sort de la batterie pour éviter qu'elle s'endommage. Il protège la batterie contre une surcharge de courant pouvant provenir du panneau photovoltaïque, et contre une éventuelle décharge profonde engendrée par le consommateur. , pour éviter que la batterie ne soit endommagée par un courant de charge trop élevé, ou inversement par une décharge trop profonde. Son rôle principal est de réduire le courant continu, lorsque la batterie arrive à sa valeur de charge ou de décharge. Afin de stocker l'énergie électrique produite par l'éolienne lorsque le vent est propice et pouvoir la réutiliser en période de faible vent, on utilise un dispositif de stockage de l'énergie électrique : La batterie. Elle est composée d'unités électrochimiques appelées cellules, qui produisent un voltage en transformant l'énergie chimique qu'elles contiennent en

énergie électrique. Chaque cellule produit une tension variant entre 1 et 2 V selon le type de batterie. En assemblant ces cellules en série/parallèle, on obtient des tensions de batteries suivantes: 12, 24 ou 48 Volt. L'énergie électrique provenant de l'éolienne et stockée dans la batterie se présente sous forme de courant continu CC à faible tension continue CC (12V, 24V, 48V). Cependant, la majorité des appareils est conçue pour être alimentée en courant alternatif CA sous tension alternative élevée CA (110V/120V). Le rôle de l'onduleur est donc de convertir ce courant continu CC en courant alternatif CA utilisable par ces appareils. Le processus de conversion entraîne une perte d'énergie. Par conséquence, il convient de choisir un onduleur ayant une faible perte d'énergie de moins de 10%.

- **CONVERTISSEUR CC/CC :**

Il convertit la tension continue provenant de la batterie en une tension continue différente, qui convient à certains appareils spéciaux comme les chargeurs de téléphone, ou les ordinateurs portables. Il existe deux types de convertisseurs : Les élévateurs de tension qui convertissent par exemple une tension 12V en tension 20V, et les abaisseurs de tension qui convertissent par exemple une tension 12V en une tension de 5V. Le paramètre à surveiller dans le choix d'un convertisseur CC/CC est le rendement. Le rendement standard est de l'ordre 80 à 90% pour les meilleurs.

- **DISPOSITIF DE PROTECTION :**

Un système éolien exige des protections électriques comme celles utilisées dans une application domestique. Cependant, elles doivent être conforment aux normes applicables à une installation électrique.

Les appareils électriques doivent être protégés par une mise à la terre, par des fusibles, disjoncteurs, parafoudres, interrupteurs, sectionneurs contre tous les défauts électriques pouvant survenir dans les circuits de l'application (surtension, surcharge, fuite de courant, court-circuit). CÂBLAGE ÉLECTRIQUE, Câble en cuivre, connecteurs, boite de jonction ou boitier de raccordement constituent le câblage électrique du système à raccorder à l'application. Ils doivent respecter les normes applicables au câblage en courant continu et/ou alternatif suivant l'éolienne et le système choisis. Le câblage doit être dimensionné en

fonction du courant admissible et du pourcentage admissible de la chute de tension induite dans les sections de câbles.

- **CONSOMMATION ÉLECTRIQUE OU CHARGE ÉLECTRIQUE :**

La charge électrique représente tout ce que le système éolien doit alimenter en électricité. Cela peut être le réseau de distribution électrique, une habitation, un bâtiment ou une pompe à eau. Dans le cas d'une habitation domestique, elle est définie comme la somme des puissances de tous les appareils électroménagers et de l'éclairage en présence dans la maison ; Elle représente la consommation électrique par jour ou par année exprimée en Watts par heure ou en kilowatts heure par jour ou par année. La facture d'électricité donne une idée de la charge électrique domestique.

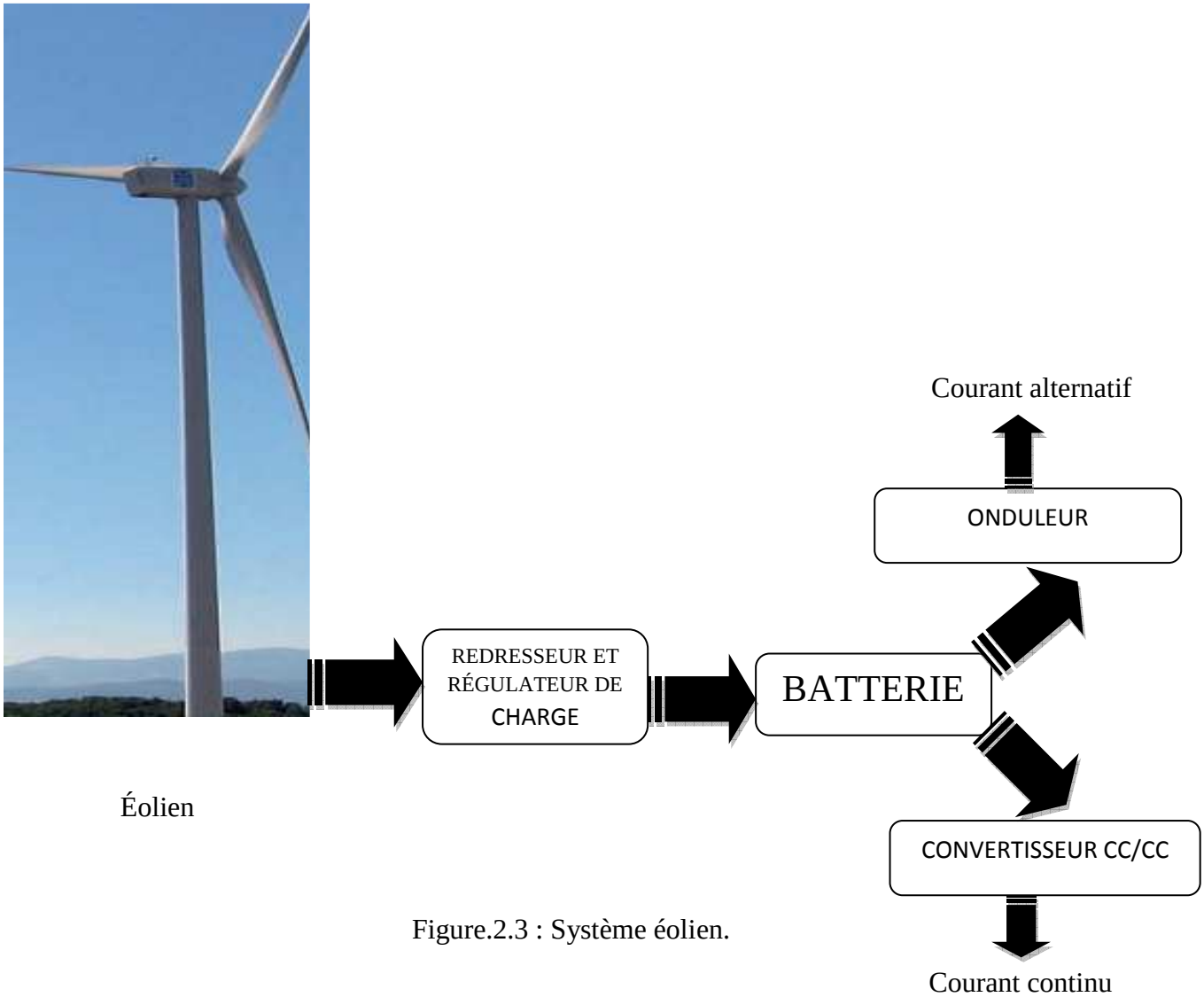


Figure.2.3 : Système éolien.

2.4. Evaluation de la consommation électrique.

L'équilibre entre la production électrique et la consommation est atteint lorsque la somme des injections sur le réseau est égale à la somme des soutirages sur le réseau, plus les pertes par effet Joule réalisée sur les lignes. L'équilibre est essentiel du point de vue de la sécurité du réseau. En effet, un déséquilibre entre la consommation et la production provoque :

Une déviation de la fréquence du réseau vis-à-vis de sa valeur nominale (50 Hz sur la plaque continentale européenne) des modifications des flux de puissance sur le réseau de transport et de distribution. Sur un réseau électrique, la fréquence augmente lorsque la production est supérieure à la consommation plus les pertes, et la fréquence diminue lorsque la production est inférieure à la consommation plus les pertes.

- **Estimation des besoins d'électricité**

Cette estimation est exprimée en [Wh /jour] et [Wh/mois]. Il est important de bien analyser la demande. Cette demande est en fonction de la courbe de charges estimatives ou besoin estimatifs, par exemple :

- Application en courant continu [CC] : éclairage + audiovisuel ;
- Application en courant alternatif [CA] : télévision

- **La consommation journalière :**

La consommation journalière est de **[2]**:

$$C_j = P_{total} \times t_j \qquad (2.1)$$

Remarque :

Les consommations en courant alternatif doivent tenir compte du rendement de l'onduleur (entre 90 et 97°) **[2]:**

$$C_j = \frac{C_{j\ appareil}}{\text{rendement de la batterie}} \qquad (2.2)$$

On en déduit la consommation journalière totale **[2]:**

$$C_j\text{totale} = \sum C_{j\ \text{charge}} \qquad (2.3)$$

Tableau 5 : Donnée et calculs

Charge	Quantité	Durée d'utilisation journalière (t_j)	Puissance totale (P_{totale})	Consommation journalière (C_j)	Estimation de la consommation journalière
Lampes 13 W	3	0 ,5 h	39W	19,5 Wh	20 Wh
Radio	1	2h	5W	10 Wh	10 Wh
Télévision + Onduleur	1	2h	85 W	188,8 Wh	189 Wh
				Consommation journalière totale ($C_{j\ totale}$)	219 Wh

- **La consommation mensuelle.**

La consommation mensuelle est de :

$$C_m = C_j \times 31\ j \qquad (2.4)$$

On en déduit la consommation mensuelle totale :

$$C_{m\ totale} = \sum C_{m\ charge} \qquad (2.5)$$

Tableau 6 : Donnée et calculs

Charge	Quantité	Durée d'utilisation journalière (t_j)	Puissance totale (P_{totale})	Consommation mensuelle (C_m)	Estimation de la consommation mensuelle
Lampes 13 W	3	0 ,5 h	39W	604,5 Wh	605 Wh
Radio	1	2h	5W	310 Wh	310 Wh
Télévision + Onduleur	1	2h	85 W	5852,8 Wh	5853 Wh
				Consommation mensuelle totale ($C_{m\ totale}$)	6768 Wh

2.5. Quantité d'énergie produit par le système.

- **Le « petit éolien » : caractéristique.**

Le « petit éolien » couvre la gamme des puissances de 20W à 100kW réparties en trois catégories **[5]**:

- ✓ micro-éoliennes de 20W à 500W
- ✓ mini-éoliennes de 500W à 1kW
- ✓ petites éoliennes de 1 à 100kW

Au-delà les projets s'apparentent au grand éolien. Aujourd'hui plus de 50 constructeurs proposent plus de 100 modèles différents. Ce secteur correspond à un « marché de niche » au tissu industriel fragile. Alors que la production occidentale s'est portée à 60 000 unités sur les 20 dernières années.

2.6. Choix des composants.

❖ Dimensionnement de l'éolienne.

Les paramètres de l'éolienne sont :

- Puissance de chaque aérogénérateur
- le rendement de l'aérogénérateur
- la masse volumique de l'air en kg/m^3
- le nombre de pâles
- le diamètre des pales en m
- le pas de l'hélice
- la surface balayée en m^2
- l'inclinaison des pâles
- la hauteur du mât en m
- la vitesse nominale du vent en m/s
- la vitesse nominale du rotor en tr/min

❖ Puissance de chaque aérogénérateur.

➢ Puissance du vent et puissance de la turbine.

L'énergie du vent est l'énergie cinétique de l'aire récupérable qui traverse une certaine surface S, la puissance P associée est **[3]**:

$$P_{vent} = \frac{1}{2}.S.\rho.V^3[W] \quad (2.6)$$

Avec :

S : surface balayée par les pales en [m^2] ;

ρ : Masse volumique de l'aire [kg.m^{-3}] ; ρ = 1,25 [kg.m^{-3}]

V : Vitesse du vent [m. s^{-1}]

En réalité, l'énergie récupérable est inférieure à celle du vent car il faut évacuer l'aire qui a travaillé dans les pâles du rotor.

$$P_T = \frac{1}{2}.S.\rho.V^3.C_P(\lambda,\beta) \quad (2.7)$$

C_P = Coefficient de puissance < 16/27 (limite de Bezt)

Selon la loi de Betz, cette puissance ne pourra jamais être extraite dans sa totalité. La puissance maximale pouvant être recueillie par une éolienne est égale à la limite de Betz :

$$P_{max} = \frac{16}{27} P_v = 0{,}59.\ P_v \quad (2.8)$$

Sous cette forme, la formule de Betz montre que l'énergie maximale susceptible d'être recueillie par un aérogénérateur ne peut dépasser en aucun cas 59% de l'énergie cinétique de la masse d'air qui le traverse par seconde. De cette façon le coefficient de puissance maximal théorique est défini **[1]**:

$$C_p = \frac{P_{max}}{P_v} = \frac{2.P_{max}}{\rho.S.V_v^3} = 0{,}59 \quad (2.9)$$

En réalité, jusqu'à présent, seulement 60 à 70% de cette puissance maximale théorique peut être exploitée par les engins les plus perfectionnés. Ce rendement, appelé coefficient de puissance Cp de l'éolienne, est propre à chaque voilure. Ce coefficient lie la puissance éolienne à la vitesse du vent **[1]**:

$$C_p = \frac{2.P_{eol}}{\rho.S.V_v^3} \quad (2.10)$$

Pour décrire la vitesse de fonctionnement d'une éolienne une grandeur spécifique est utilisé : la vitesse réduite λ, qui est un rapport de la vitesse linéaire en bout de pales de la turbine et de la vitesse de vent **[1]**:

$$\lambda = \frac{R.\Omega}{V_v} \quad (2.11)$$

Pour donner un ordre de grandeur : Si λ< 3, l'éolienne est dite lente, si λ>3, l'éolienne est dite rapide. La courbe C_P (λ), spécifique à chaque éolienne permet de classer les différents types d'éoliennes. Outre les efforts aérodynamiques du vent, il faut aussi tenir compte des efforts inertiels et élastiques dus au mouvement des pales : mouvement de battement,

mouvement de traînée, mouvement en torsion. Il y a aussi les effets de la vitesse du vent, de l'écoulement du vent, du gradient du vent. Tous ces efforts sont exercés sur les pales. Ils sont ensuite transmis au moyeu et à la tour. On choisi λ=7 optimale pour une éolienne rapide.
En général, une éolienne est enclenchée à partir de 3 à 4 m/s et est arrêtée approximativement à 25m/s (90 km/h).

- **La surface balayée par les pâles.**

La surface balayée par les pâles est l'un de source de puissance qu'on peut capter sur un système éolien.

$$S = \pi.R^2 = \pi\, D^2/4 \qquad (2.12)$$

- **Le diamètre des pales.**

En appliquant la relation $P_{max} = 0{,}29\, D^2V^3$ (2.13)

Ce qui donne la puissance maximale susceptible d'être fournie par une éolienne rapide, on obtient le diamètre **[1]**:

$$D = \sqrt{\frac{P_{max}}{0{,}29.V^3}} \qquad (2.14)$$

- **Vitesse de rotation.**

Le rendement doit être maximal pour la valeur de λ ce qui correspond à une vitesse **[1]**:

$$N = \frac{\lambda.V}{\pi.D} \qquad (2.15)$$

- **Le rapport de multiplication.**

Le rapport de multiplication est le rapport entre la vitesse de rotation de l'éolienne et le générateur **[1]**:

$$K = \frac{N_{éol}}{N_{gén}} \quad (2.16)$$

$N_{éol}$: Vitesse de rotation de l'éolienne.

$N_{gén}$: Vitesse de rotation du générateur.

- **Choix de nombre de pâles.**

Dans l'optique de réduire les contraintes dues à la précession, les éoliennes modernes ont trois pâles, de sorte qu'une seule pâle est soumise à une précession maximale. Le défaut historique majeur des éoliennes était d'avoir un nombre pair de pâles, de sorte que deux pâles étaient verticales en même temps. Le modèle à deux pâles est celui qui reçoit le plus de contraintes. La plupart des éoliennes artisanales possèdent deux pâles, car elles sont fabriquées à partir d'une seule longue pièce courbée de bois ou de métal, montée sur un générateur de récupération, tel qu'un alternateur de voiture ou un moteur de machine à laver.

Les éoliennes à trois pâles, bien plus efficaces et silencieuses, doivent généralement être montées sur place.

Quand une éolienne puissante possède plus de trois pâles, celles-ci sont perturbées par l'air déplacé par la pâle précédente. Le rendement s'en trouve réduit.

Les vibrations diminuent quand le nombre de pâles augmente. En plus de fatiguer les mécanismes, certaines vibrations sont audibles et provoquent des nuisances sonores. Cependant, les éoliennes possédant moins de pâles, plus grandes, fonctionnent à un nombre de Reynolds plus élevé, et sont par conséquent plus efficaces. Le prix d'une éolienne augmente avec le nombre de pâles, leur nombre optimal semble donc être de trois. Pour un éolienne rapide le nombre de pâles varie de 2 à 4.

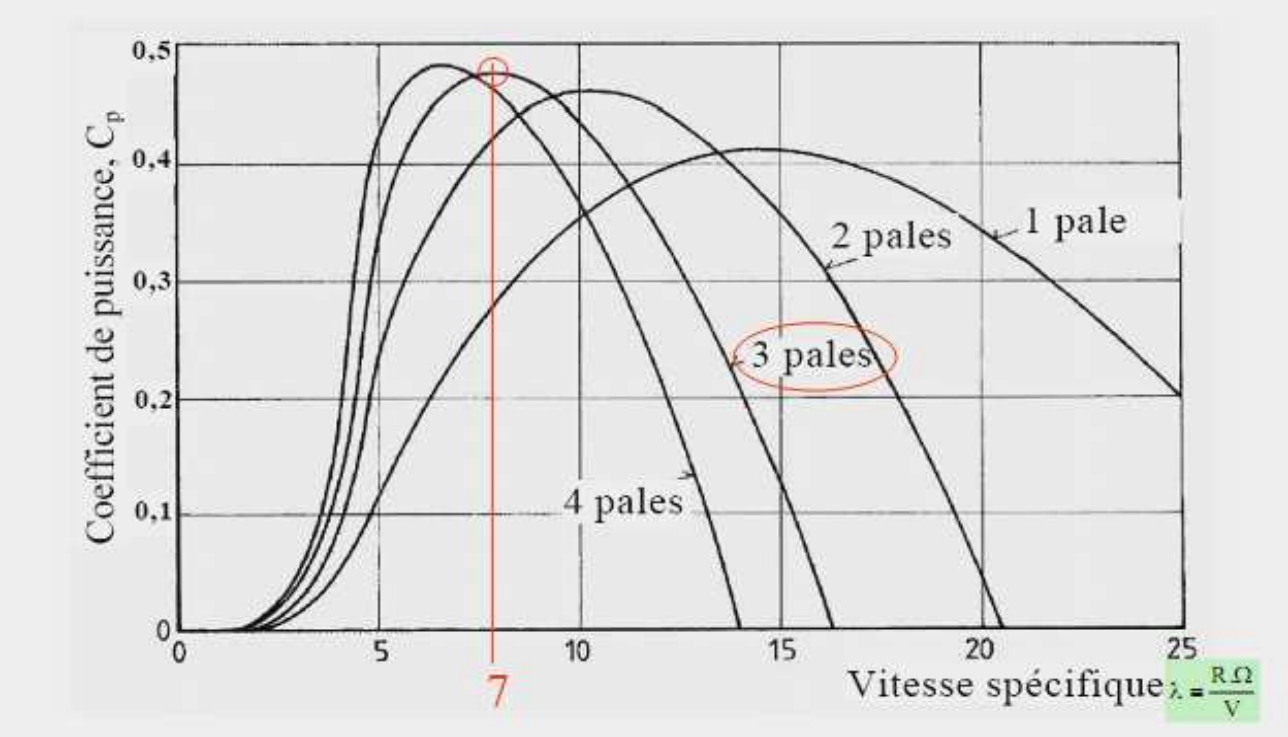


Figure.2.4 : Nombre de pâles

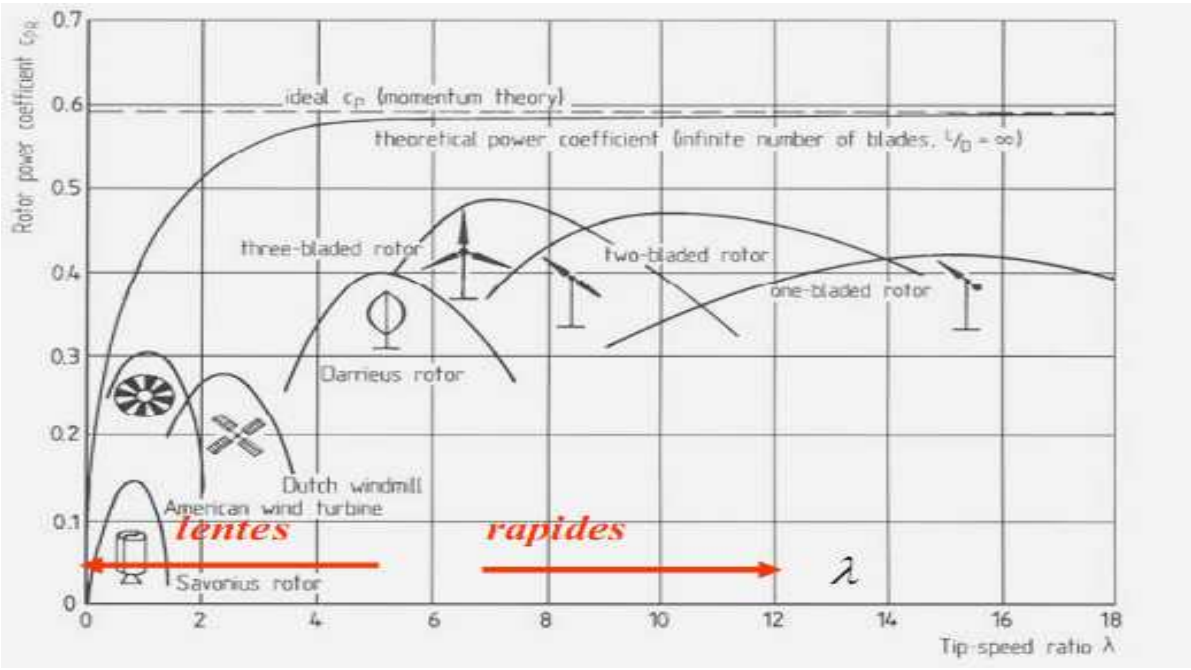


Figure.2.5 : C_P en fonction de λ pour différentes turbines.

❖ **Calcul des pâles.**

➢ **Aérodynamique de l'aile de l'éolienne : définition et caractéristiques géométriques.**

L'élément principal de l'éolienne est l'aile. Il faut bien comprendre son fonctionnement pour pouvoir dimensionner de façon optimale ses principales dimensions.

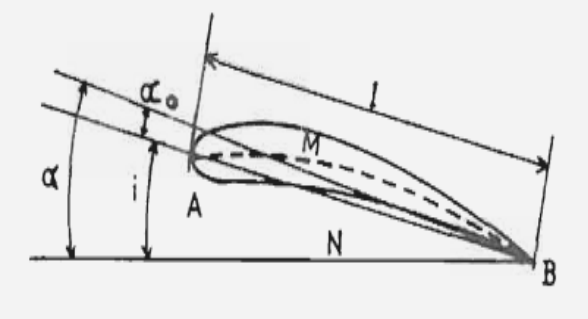


Figure 2.6 : Représentation de l'aile

➢ **Définition.**

- Bord d'attaque : les points les plus éloignés de B
- Bord de fuite : les points les plus proches de B
- AB : corde du profil
- Angle d'incidence du profil : c'est l'angle i formé par la corde de ce profil et la direction de la vitesse relative
- Angle de portance nulle : c'est l'angle α_o pour lequel la portance d'un profil est nulle
- Angle de portance : c'est l'angle α de la vitesse relative avec la direction de portance nulle. $i = \alpha + \alpha_o$ et $\alpha = i - \alpha_o$
- Largeur du profil

Action de l'air sur l'aile se traduit par une force résultante oblique donnée par **[1]**:

F_X – et – (2.17)

ρ : Masse volumique de l'air

C_r : Un coefficient sans dimension appelé coefficient aérodynamique total

S : Surface caractéristique du corps.

En projetant F sur les axes suivant V on a F_X et perpendiculairement à V on obtient F_Z :

F_X – et – (2.18)

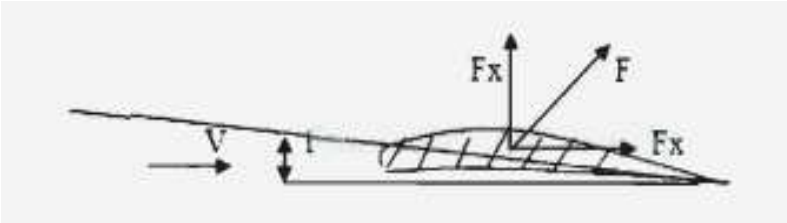


Figure 2.7 : Action sur l'aile

D'après Pythagore :

(2.19)

D'où (2.20)

Le coefficient de moment C_m est donné par **[1]**:

$$M = \frac{1}{2} C_m \rho V^2 S l \qquad (2.21)$$

M : moment de la distance par rapport au bord d'attaque

C_X et C_Z : donnée par les polaire d'ailes en fonction de i (Figure 1.22)

Le coefficient de la portance par la trainée est appelée finesse **[1]**:

— (2.22)

- **Aérodynamique de l'hélice : définition et caractéristique géométriques.**

L'hélice est constituée d'un certain nombre de pâles.

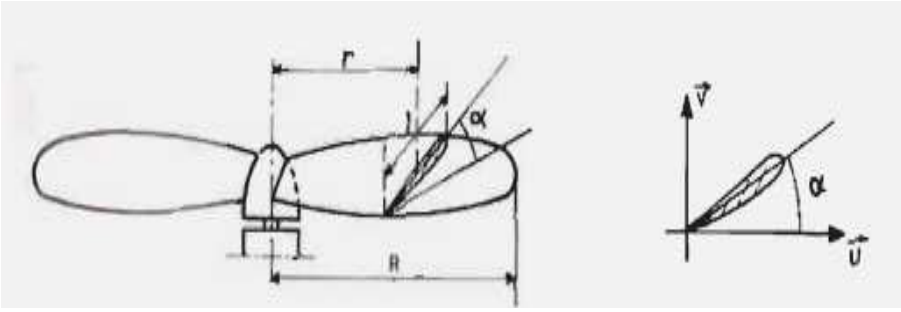


Figure 2.8 : Caractéristique géométriques de l'hélice

➢ **Définition.**

- Axe de l'hélice : axe de rotation de l'hélice
- Diamètre de l'hélice : diamètre du cercle balayé par les pâles.
- Axe d'une pâle : l'axe longitudinal autour duquel on peut varier l'inclinaison de la pâle par rapport au plan de rotation de l'hélice.
- Profil d'une pâle : la section de la pâle par un cylindre ayant pour axe, l'axe de l'hélice. Le profil de la pâle varie avec la distance à l'axe de l'hélice r.
- Angle de calage d'un profil : c'est l'angle α que fait la corde du profil avec le plan de rotation de l'hélice.
- Pas d'une hélice : le pas d'une section ou d'un profil situé à la distance r de l'axe est égal H dont avancerait pour une rotation d'un tour une hélice à pas constant se visant exactement dans l'air **[1].**

$$H = 2\pi\, r\, tg\alpha \qquad (2.23)$$

La partie la plus essentielle d'une éolienne est constituée par les pâles. C'est pourquoi leur dimensionnement pose le problème de l'étude aérodynamique de la pâle, le choix du profil, la largeur du profil, le calage et le nombre de pâles.

Pour construire l'hélice, il faut fixer la largeur du profil des pâles en fonction de leur distance à l'axe de rotation ainsi que l'angle de calage.

On désigne par :

- ✓ P : le nombre de pâles de l'éolienne, dans notre cas p = 3
- ✓ l : la largeur de la pâle en m
- ✓ R : rayon de l'hélice en m
- ✓ α : l'angle de calage du profil en °
- ✓ i : angle d'incidence du profil en °
- ✓ λ_0 : vitesse spécifique à r = R (λ_o= 7)
- ✓ λ : vitesse spécifique à r ($\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{r}{R}$)
- ✓ I : l'angle d'inclinaison en °
- ✓ C_Z : coefficient de portance
- ✓ C_X : coefficient de trainée
- ✓ K : un coefficient lié aux vitesses $K = \frac{V_2}{V_1}$

Les relations donnant les angles d'inclinaison I et la quantité $C_{ZP\ l/r}$ en fonction de ces paramètres sont respectivement **[1]**:

$$Cotgl = \lambda_e = \lambda\frac{1+h}{1+K} \qquad (2.24)$$

$$\frac{C_{ZPl}}{r} = \frac{8\pi(1-K)}{(1+K)\lambda_e\sqrt{1+\lambda_e^2}} \qquad (2.25)$$

Les relations précédentes permettent de calculer $C_{ZP\ l/r}$ et I pour être dans les conditions optimales de fonctionnement. La connaissance de ces quantités permet de fixer à chaque instant la largeur des pâles et l'angle de calage du profil (α = I- i).

Les quantités λ_e, k, h, C_P, $C_{ZP\ l/r}$, et I sont donnée dans le Tableau.7 pour les valeurs de λ variant de 0,1 à 10.

Nous adoptons pour la construction des pâles, le profil NACA 23015. La variation des coefficients de portance et de trainée de ce profil en fonction de l'incidence sont données par les relations suivantes **[1]**:

$C_Z(i) = 0,1+0,11i$ pour $i < 10°$(2.26)

$C_Z(i) = 1,5 – 0,0188(i-14)^2$ pour $10° < i < 15°$ (2.27)

$C_X(i) = 0,0055(C_Z(i) – 0,2)^2$ pour $i < 10°$ (2.28)

$C_X(i) = 0,0125 + 0,16(C_Z(i) – 1,1)^2$ pour $i > 10°$ (2.29)

L'incidence optimale pour ce type de profil est de l'ordre de 6°.

Nous choisirons comme loi de variation de l'angle d'incidence en fonction de la distance de l'axe, l'expression **[1]**:

$$i = 12,75 – 7,5\frac{r}{R} \qquad (2.30)$$

L'angle d'incidence varie donc de 5,25° à l'extrémité de la pâle (r = R), à 12° à la distance r = 0,1R de l'axe. De cette façon, on est assuré d'avoir un rendement convenable du fait que les incidences choisie se situent dans la partie montante de la polaire.

La détermination des angles d'inclinaison I, de la quantité $C_{ZP\ l/r}$ et de la largeur l (m) a été effectuée dans le tableau 7.

Tableau 7 : Calcul de la largeur des pâles [1].

r/R	λ_0	λ	I°	i °	α	C_Z	$C_{ZP\ l/r}$	I en m
0,1	7	0,7	36,672	12	24,672	1,425	4,975	0,3677427
0,2	7	1,4	23,69	11,25	12,44	1,358	2,12	0,3288758
0,3	7	2,1	16,98	10,5	6,48	1,27	1,095	0,2724567
0,4	7	2,8	13,1	9,75	3,35	1,172	0,654	0,2351126
0,5	7	3,5	10,63	9	1,63	1,09	0,431	0,2082508
0,6	7	4,2	8,93	8,25	0,68	1,007	0,305	0,1914201
0,7	7	4,9	7,69	7,5	0,19	0,925	0,226	0,1801485
0,8	7	5,6	6,75	6,75	0	0,842	0,174	0,1741378
0,9	7	6,3	6,01	6	0,01	0,76	0,138	0,1721368
1	7	7	5,42	5,25	0,17	0,677	0,112	0,174259

L'examen du tableau montre que la largeur de la pâle diminue de façon régulière et progressive de l'axe vers l'extrémité. Cependant, on peut noter que l'angle de calage passe par minimum pour r = 0,8R, puis croit ensuite. Pour éviter cette anomalie et faciliter la construction, on prend entre r = 0,8R et l'extrémité de la pâle α = 0, ce qui nous amène à remplacer les deux dernière lignes du tableau 7 par les suivantes.

Tableau 8 : Rectification de la largeur des pâles.

r/R	λ_0	λ	I°	i °	α	C_Z	$C_{ZP\ l/r}$	I en m
0,9	7	6,3	6,01	6,01	0	0,761	0,138	0,1719106
1	7	7	5,42	5,42	0	0,696	0,112	0,1695019

- **Dimensionnement des batteries.**

La capacité des batteries doit pouvoir couvrir les besoins pendant plusieurs jours **[6]** :

$$C_{bateterie} = \frac{W_{jour}\ (Wh).\text{nombre de jours}}{U_{batterie}(V)}(Ah) \qquad (2.31)$$

Relation valable si on considère une décharge totale (néfaste pour les batteries)

En tenant compte du taux de décharge T_d autorisé par le fabricant **[6]:**

$$C_{bateterie} = \frac{W_{jour}\ (Wh).nombre\ de\ jours}{T_d.U_{batterie}(V)}\ (Ah) \qquad (2.32)$$

En tenant compte du rendement de l'onduleur $\eta_{onduleur}$ **[6]**:

$$C_{bateterie} = \frac{W_{jour}\ (Wh).nombre\ de\ jours}{T_d.\eta_{onduleur}.U_{batterie}(V)}\ (Ah) \qquad (2.33)$$

En éolien, le nombre de jour d'autonomie est en moyenne de 3 jours. Le taux de décharge T_d de 25% (pour augmenter la durée de vie).

Exemple : W_{jour}= 1,664 KW

$$C_{bateterie} = \frac{W_{jour}\ (Wh).\ nombre\ de\ jours}{T_d.\ \eta_{onduleur}.\ U_{batterie}(V)} = \frac{1664\ X\ 3}{0{,}25\ X\ 0{,}95\ X\ 24} = 875\ Ah$$

- **BATTERIE.**

Afin de stocker l'énergie électrique produite par l'éolienne lorsque le vent est propice et pouvoir la réutiliser en période de faible vent, on utilise un dispositif de stockage de l'énergie électrique : La batterie. Elle est composée d'unités électrochimiques appelées cellules, qui produisent un voltage en transformant l'énergie chimique qu'elles contiennent en énergie électrique. Chaque cellule produit une tension variant entre 1 et 2 V selon le type de batterie. En assemblant ces cellules en série/parallèle, on obtient des tensions de batteries suivantes: 12, 24 ou 48 Volt.

Voici un tableau qui montre la technologie et l'utilisation de la batterie :

Tableau 9 : la technologie et l'utilisation de la batterie [4].

Technologie		UTILISATION				
Type de plaque	Type d'électrolyte	Servitude	Démarrage	Décharge profonde50%	Décharge Profonde 80%	Décharge complète 100%
Plaque mince	Liquide	- - - inutilisable	+++	- - -	- - -	- - -
Plaque épaisses	Liquide	++	+ -	350 cycles	- - -	- - -
Plaque épaisses	AGM	+++	+ +	450 cycles	275 cycles	200 cycles
Plaques épaisses	GEL	+++ utilisable	-	650 cycles	420 cycles	350 cycles

- **CONVERTISSEUR CC/CC.**

Il convertit la tension continue provenant de la batterie en une tension continue différente, qui convient à certains appareils spéciaux comme les chargeurs de téléphone, ou les ordinateurs portables. Il existe deux types de convertisseurs : Les élévateurs de tension qui convertissent par exemple une tension 12V en tension 20V, et les abaisseurs de tension qui convertissent par exemple une tension 12V en une tension de 5V. Le paramètre à surveiller dans le choix d'un convertisseur CC/CC est le rendement. Le rendement standard est de l'ordre 80 à 90% pour les meilleurs.

2.7 : Estimation des pertes réelles de l'ensemble.

On sait déjà que seulement 59 % de l'énergie donné par le vent qu'on peut exploiter dans un système éolien, C'est la limite de Betz et aussi à cause des pertes au niveau du système. Dans un système éolien, les pertes sont basées sur les domaines mécaniques et sur les lignes :

Les domaines mécaniques.

- Frottement.
- Engrenage (multiplicateur)

L'arbre lent, appelé aussi « arbre primaire » est une pièce en acier sur lequel est placé à une extrémité le moyeu (qui supporte les pales) et est connecté à son autre extrémité au multiplicateur. Même avec un vent très fort, la vitesse de rotation des pales est trop faible pour produire de l'électricité, c'est pourquoi on place entre la génératrice et le moyeu un multiplicateur. Le multiplicateur est un convertisseur de puissance : il multiplie la vitesse d'entrée (rotor de l'éolienne) pour atteindre la vitesse de sortie exigée par la génératrice électrique, en multipliant parfois par 70 la vitesse de rotation initiale. Il est constitué d'un assemblage d'engrenages comme celui-ci.

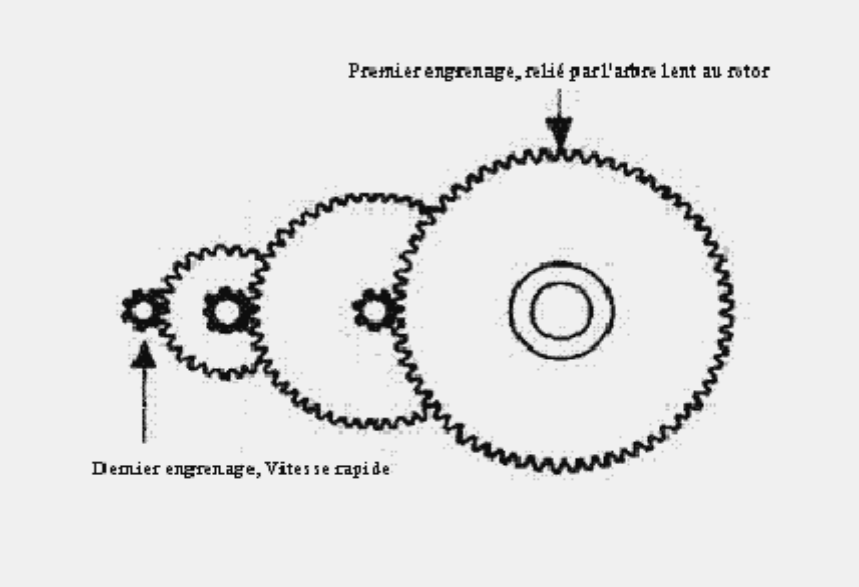


Figure 2.9 : Le multiplicateur

La vitesse de rotation d'une roue à une autre est multipliée par nombre de dents de la plus grande roue sur le nombre de dents de la plus petite :

$$\Delta V = \frac{\text{N grdes dents}}{\text{N petites dents}} \quad (2.34)$$

Le rendement est variable suivant la puissance transmise, mais tourne autour de 97%. La lubrification peut se faire par barbotage ou par injection d'huile forcée. Le refroidissement est souvent à air. Le multiplicateur est monté sur plots élastiques (plots de caoutchouc) pour amortir les vibrations et limiter la transmission du bruit à la structure porteuse.

Notre étude est consacrée sur la conception d'un mini éolien à partir d'un ventilateur sur pied. Donc dans le chapitre suivant, on va s'intéresser plus précisément sur la conception d'un mini éolien à partir d'un ventilateur sur pied.

CHAPITRE III : CONCEPTION D'UN MINI EOLIEN A PARTIR D'UN VENTILATEUR SUR PIED:

3.1 VENTILATEUR SUR PIED.

3.1.1 Prince de fonctionnement.

Le ventilateur sur pied est un appareil destiné à transformer l'énergie électrique en énergie mécanique à partir d'un moteur asynchrone monophasé.

Comme nous le savons dans le chapitre précédent, un ventilateur sur pied est aussi un appareil destiné, comme son nom l'indique, à créer un vent artificiel, un courant d'air. La chaleur ressentie est fonction de la température mais elle est inversement proportionnelle à la vitesse de l'air, donc le déplacement d'air provoqué par le ventilateur va rafraîchir les personnes.

3.1.2 Constitution d'un ventilateur sur pied.

Un ventilateur sur pied constitue les éléments suivants :

- Un moteur asynchrone à cage d'écureuil monophasé
- Les pales
- Le support
- Le Réglage de la vitesse du vent

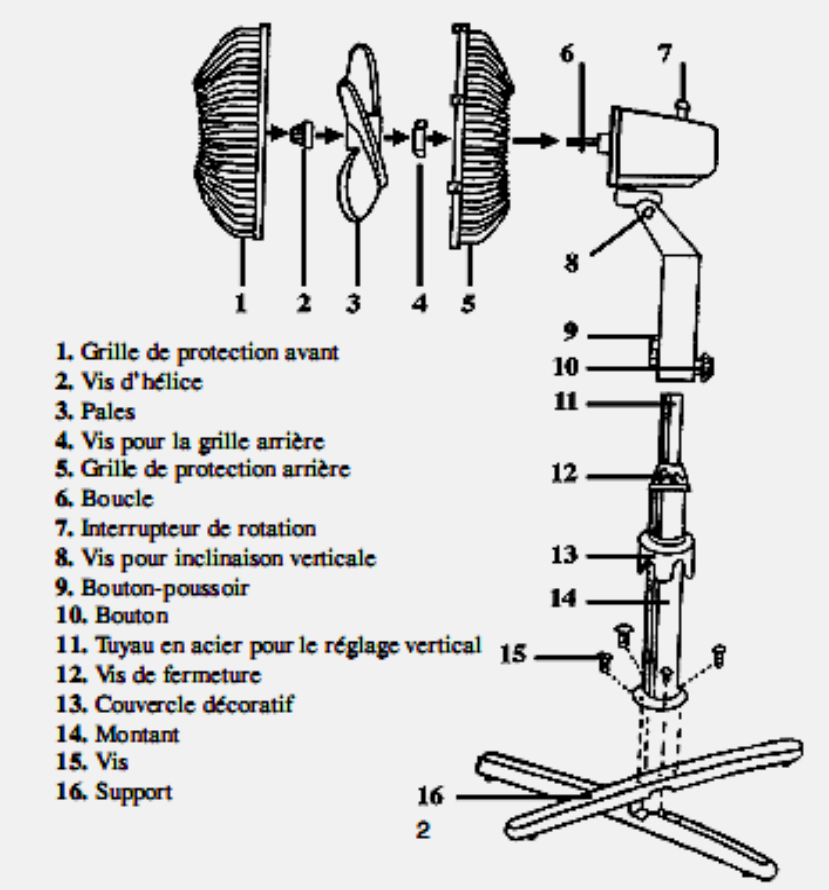


Figure 3.1 : Constitution d'un ventilateur sur pied.

- **Pales.**

C'est comme dans un système éolien, il ya le tripales, les multipales. Mais on va choisir le tripales à raison de ce qu'on a vu dans le chapitre précédant. Les pales d'un ventilateur sur pied dépendent de sa puissance.

Caractéristique du ventilateur sur pied étudié:

Type de courant : Courant alternatif
Tension nominale : 230 V
Fréquence nominale : 50 Hz
Puissance totale : 40 W
Diamètre des pales : 400 mm
Débit de vent : 65 m^3/minute

❖ **Caractéristique physique de la machine :**

- Nombre d'encoche du stator :

N= 16 encoches

- Diamètre d'alésage :

D_a = 30 mm

- Longueur d'empilage :

L = 13 mm

❖ **Caractéristique électrique de la machine :**

▪ Impédance :

D'après la mesure, on connaît les impédances :

Z_1= 728 Ω ; Z_2= 649 Ω

Z_3= 528 Ω ; Z_P=899 Ω

Z_1, Z_2et Z_3 sont des impédances d'enroulement auxiliaire et Z_P pour l'enroulement principal.

▪ Pas d'enroulement :

Pour calculer le pas polaire d'un bobinage à pas diamétral, on utilise la relation :

$$Y = \frac{N}{2P} \qquad (3.1)$$

Y : Pas de l'enroulement ou nombre d'encoche embrassés par une section.

N : nombre d'encoche du stator

2P : nombre de pôles

A.N : N=16,2P = 4

$$Y = \frac{16}{4} = 4 \text{ encoche par pôle}$$

- nombre d'encoche par pôle et par phase :

Si l'on veut connaitre le nombre d'encoche par pôle et par phase, on peut écrire :

$$q = \frac{N}{2Pm} \qquad (3.2)$$

Avec : m=1 pour moteur monophasé

q : nombre d'encoche par pôle et par phase

A.N : m=1 pour moteur monophasé

$$q = \frac{16}{4} = 4 \text{ encoche par pôle et par phase}$$

m : nombre de phase

- nombre de pair de pôles :

2P = 4 pôles

- La vitesse de rotation du champ magnétique :

$$f = n.p \text{ alors } n = \frac{f}{p} \qquad (3.3)$$

A.N :

f=50 Hz, 2P=4 alors P=2

$$n = \frac{50}{2} = 25 \text{ tr/min}$$

- L'inductance.

Par résonance on a :

$L.C.\omega^2 = 0$ (3.4)

$L.C.\omega = 1$ Donc $L = \frac{1}{C.\omega^2}$ (3.5)

L : inductance. [H]

C : Condensateur. [F]

ω:Vitesse angulaire. [rad /s]

On calcul d'abord ω :

$\omega = 2.\pi.n$ (3.6)

A.N : n = 25 tr/min, c = 1,2 µF

$\omega = 2.3,14.25 = 157$ rad/s Donc $L = \frac{1}{1,2.10^{-6}X(157)^2}$

L = 33,8 H

- Résistance des enroulements.

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2} \quad (3.7)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{C\omega} - \frac{1}{C\omega})^2} \quad (3.8)$$

$Z = \sqrt{R^2}$ Donc Z= R (3.9)

A.N: R_1= 728 Ω;R_2= 649 Ω

R_3= 528 Ω; R_P = 899 Ω

- L'intensité nominale.

On calcule d'abord la résistance équivalente

$Re = R_1 + R_2 + R_3$ (3.10)

Re = 728 + 649 +5 28 = 1905Ω

Re est en parallèle avec R_P

$$Req = \frac{R_P \,.\, R_e}{R_P + R_e} \quad (3.11)$$

A.N :

$$Req = \frac{1905.899}{1905+899}$$

Req=610,8 Ω

$U = Req \,.\, I$ Donc $I = \frac{U}{R_{eq}}$ (3.12)

U : tension. [V]

Req : résistance équivalente totale.[Ω]

I : courant nominal.[A]

A.N: $I = \frac{220}{610,8}$

I = 0,36 A

- Le facteur de puissance.

P = U.I.cosφ

Donc $\cos\varphi = \frac{P}{U.I}$

A.N :

$$\cos\varphi = \frac{40}{220.0{,}36}$$

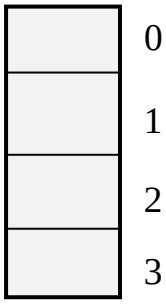
$\cos\varphi = 0{,}50$

Mais les pales d'un ventilateur sur pied ne sont pas optimales pour un mini éolien.

- **Réglage de la vitesse du vent.**

Le ventilateur sur pied a un réglage de la vitesse du vent qui dépend de la vitesse du vent que besoin l'utilisateur.

Bouton-poussoir :



Les quatre commandes 0, 1, 2,3sont reliées à des bobines du stator du moteur pour multiplier et réduire la vitesse du champ tournant actif au niveau de fonctionnement du ventilateur.

0: Arrêt

Arrêt total du ventilateur, aucunes bobines ne sont alimentées.

1: Lent

La vitesse du ventilateur est minimum parce qu'il n'y a qu'une bobine alimenté (bobine D_1).

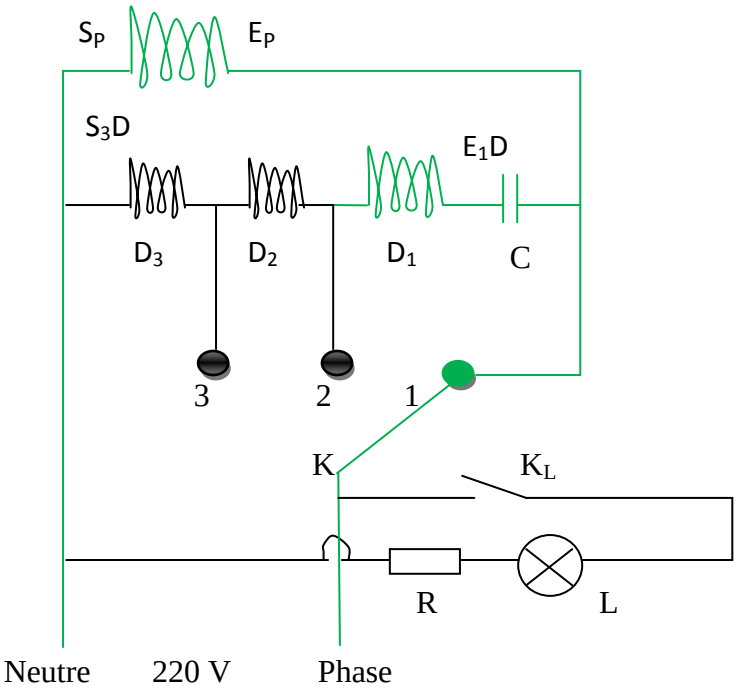


Figure 3.2 : Schéma électrique d'un ventilateur sur pied (a).

2: Moyen

La vitesse du ventilateur est moyenne parce qu'il y a la multiplication par 2 de la vitesse du champ tournant qui fait tourner le rotor du ventilateur, bobine alimenté (bobine D_1 et D_2).

Donc, on a deux bobines alimentées.

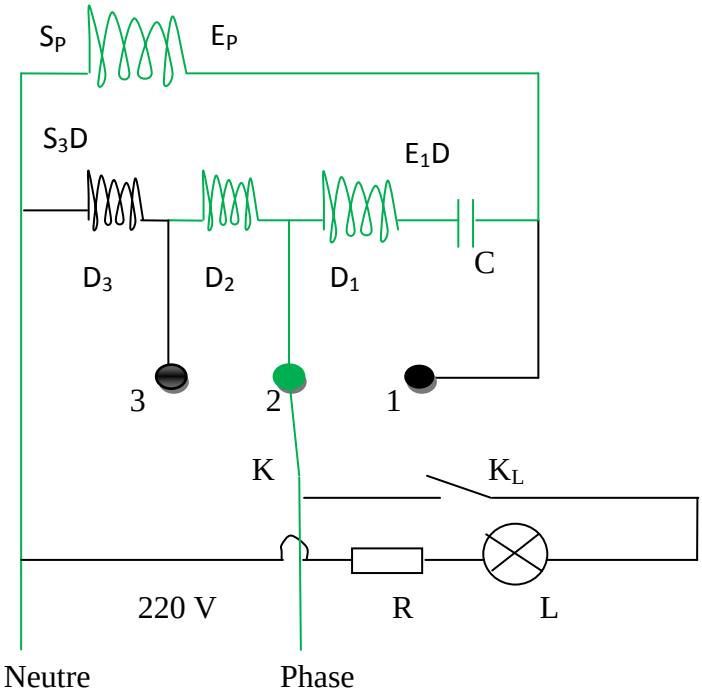


Figure 3. 3 : Schéma électrique d'un ventilateur sur pied (b).

3 : Rapide

La vitesse du ventilateur est rapide parce qu'il y a la multiplication par 3 de la vitesse du champ tournant qui fait tourner le rotor du ventilateur.

Donc, le réglage de vitesse du vent du ventilateur dépend de l'alimentation des bobines du stator et la multiplication du champ tournant, bobine alimenté (bobine D_1, D_2et D_3).

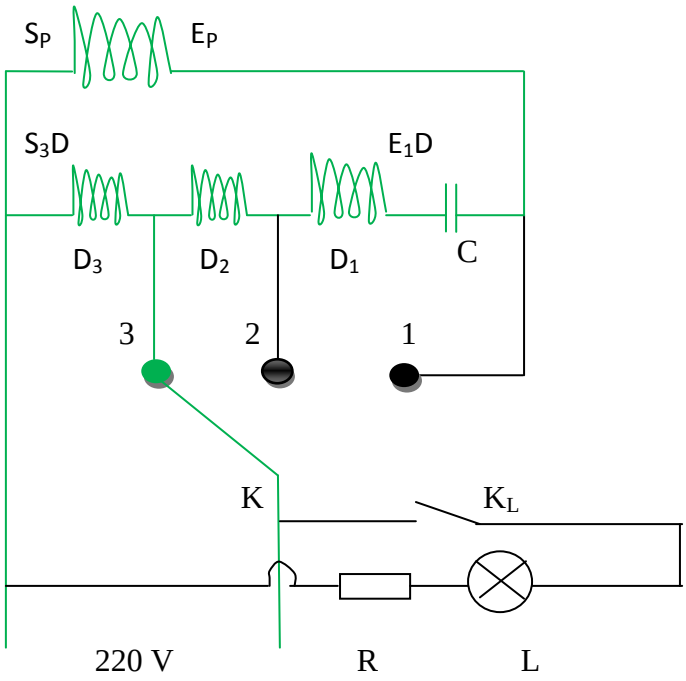


Figure 3.4 : Schéma électrique d'un ventilateur sur pied (c).

Donc l'augmentation de la vitesse du champ tournant dépend des nombres des bobines alimentés.

- On appui sur le bouton 3 si on veut une vitesse maximale du vent du ventilateur ;
- On appui sur le bouton 2 si on veut une vitesse moyenne du vent du ventilateur ;
- On appui sur le bouton 1 si on veut une vitesse minimale du vent du ventilateur ;
- On appui sur le bouton 0 si on veut arrêter et rendre nulle la vitesse du ventilateur.

➢ **Un moteur asynchrone à cage d'écureuil monophasé.**

Le moteur est la première base de fonctionnement d'un ventilateur sur pied, alors que dans un ventilateur, on trouve un moteur asynchrone à cage d'écureuil monophasé.

- **Éléments de construction et principe de fonctionnement**

Le moteur asynchrone à cage d'écureuil monophasé est constitué d'un stator à bobinage monophasé et d'un rotor à cage d'écureuil. Ce moteur souffre d'un handicap majeur : son couple de démarrage est nul.

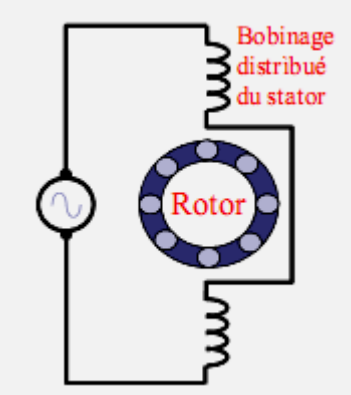


Figure 3.5 : stator à bobinage monophasé.

Le champ magnétique statorique n'est pas tournant mais pulsé. Il ne peut donc y avoir de déplacement relatif entre ce champ et les barres du rotor comme dans le cas d'une machine asynchrone triphasée. Le principe de fonctionnement du moteur asynchrone monophasé en marche normale s'explique par la théorie du double champ tournant. L'expression analytique de la force magnétomotrice (FMM) produite par un bobinage monophasé est donnée par l'expression suivante :

$$h(t,\theta) = H(t)\cos(\theta) = H_{max}\sin(\omega t)\cos(\theta) \quad (3.13)$$

$$\sin(a)\cos(b) = -\sin(a-b) + -\sin(a+b) \quad (3.14)$$

$$h(t,\theta) = -H_{max}\{\sin(\omega t + \theta) + \sin(\omega t - \theta)\} \quad (3.15)$$

$$h(t,\theta) = h_1(t,\theta) + h_2(t,\theta) \quad (3.16)$$

$$h_1(t,\theta) = -H_{max}\sin(\omega t + \theta) \quad (3.17)$$

$$h_2(t,\theta) = -H_{max}\sin(\omega t - \theta) \quad (3.18)$$

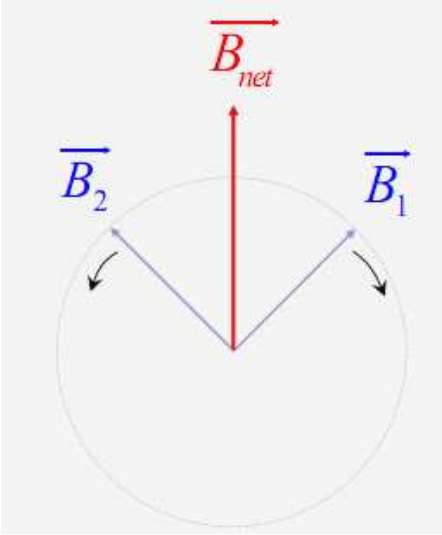


Figure 3.6 : force magnétomotrice.

θ: Angle de décalage entre $h_1(t,\theta)$ et $h_2(t,\theta)$.

$h(t,\theta)$: Somme des champs tournants $h_1(t,\theta)$ et $h_2(t,\theta)$; H_{max} : Amplitude de la f.f.m $h(t,\theta)$.

$h_1(t,\theta)$: le champ tournant dans le sens direct.

$h_2(t,\theta)$: le champ tournant dans le sens inverse.

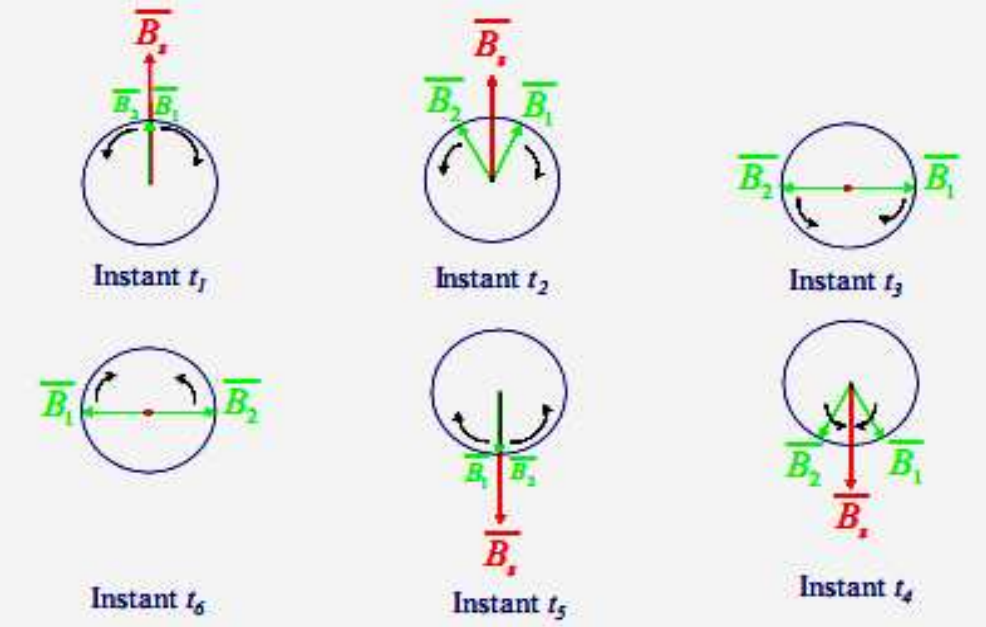


Figure 3.7 : Processus des champs tournant au niveau statorique.

Si la fréquence d'alimentation est de 60Hz, la force magnétomotrice sera pulsatoire à 60Hz. Le moteur asynchrone monophasé souffre d'un handicap : son couple de démarrage est nul. Il ne peut donc, comme dans le cas du moteur synchrone, démarrer tout seul !

Pour démarrer un moteur asynchrone monophasé, on utilise un circuit auxiliaire de démarrage qui, une fois le moteur démarré, est mis hors circuit par un interrupteur centrifuge.

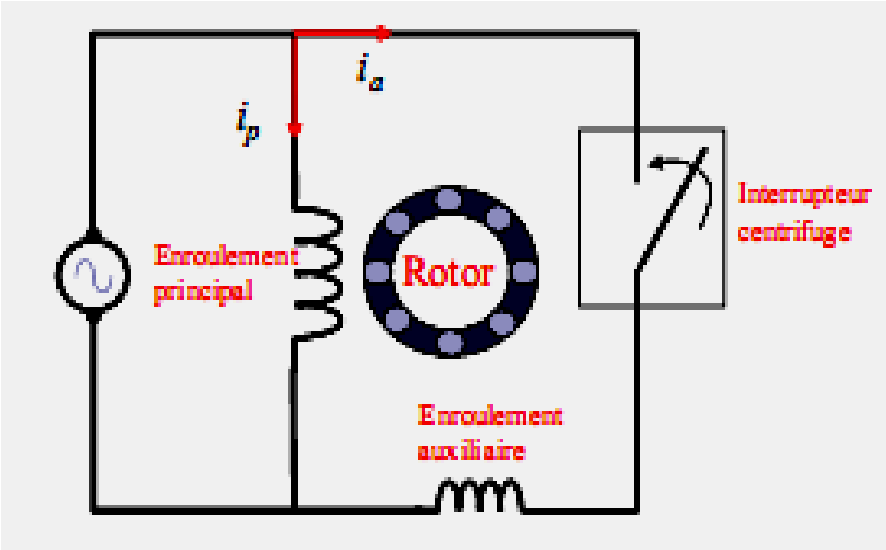


Figure 3.8 : Stator avec un enroulement de démarrage.

3.1.3 Enroulement de démarrage

Dans un moteur asynchrone à cage monophasé, l'enroulement auxiliaire (phase auxiliaire) est appelé : enroulement de démarrage. Comme le montre la figure précédente, les deux enroulements sont physiquement placés à 90 degrés. Cette disposition des deux enroulements fait en sorte que les deux courants i_P et i_a sont déphasés. Ces deux enroulements sont alimentés par une même source et produisent des champs pulsatoires. Puisque les deux enroulements sont déphasés de 90 degrés, les champs qu'ils produisent sont donc orthogonaux. Les deux champs stationnaires (qui sont orthogonaux) produisent un champ tournant qui interagit avec celui du rotor pour produire un couple.

3.1.4 Expression de la force magnétomotrice tournante statorique

- L'enroulement principal possède Np spires
- L'enroulement auxiliaire possède Na spires

$$i_P = \bar{I}_P \cos(\omega t) \qquad (3.19)$$

$$i_a = \bar{I}_a \cos(\omega t + \theta_a) \qquad (3.20)$$

i_P : Courant qui circule dans l'enroulement principal.

i_a: Courant qui circule dans l'enroulement auxiliaire.

La force magnétomotrice (FMM) statorique le long d'une direction repérée par un angle θ rapport à l'axe de la bobine principale est donnée par l'expression suivante:

$$F(t,\theta) = F_P(t,\theta) + F_a(t,\theta) \quad (3.21)$$

$$F_P(t,\theta) = N_P i_P \cos(\theta) \quad (3.22)$$

$$F_a(t,\theta) = N_a i_a \cos(\theta + 90°) \quad (3.23)$$

$$F(t,\theta) = \{N_P\sqrt{2}\, I_P \cos(\omega t)\cos(\theta)\} + \{N_a\sqrt{2}\, I_a \cos(\omega t + \theta_a)\cos(\theta + 90°)\} \quad (3.24)$$

Après quelques manipulations trigonométriques, on obtient finalement

$$F(t,\theta) = \frac{\sqrt{2}}{2}\{(N_P I_P - N_a I_a \sin(\theta_a))\cos(\omega t + \theta) - (N_a I_a \cos(\theta_a))\sin(\omega t + \theta)\}$$

$$+ \frac{\sqrt{2}}{2}\{(N_P I_P + N_a I_a \sin(\theta_a))\cos(\omega t - \theta) + (N_a I_a \cos(\theta_a))\sin(\omega t - \theta)\} \quad (3.25)$$

Les termes en cos (ωt+θ) et sin(ωt+θ) forment le champ tournant dans le sens direct. Les termes en cos (ωt-θ) et sin(ωt-θ) forment le champ tournant dans le sens inverse.

F (t,θ) : La force magnétomotrice pulsatoire d'un enroulement monophasé.

N_a : nombre de spire de l'enroulement auxiliaire.

I_a : Courant efficace qui circule dans l'enroulement auxiliaire.

N_P : nombre de spire de l'enroulement principal.

I_P : Courant efficace qui circule dans l'enroulement principal.

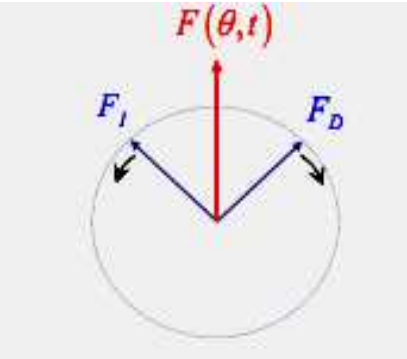


Figure 3.9 : Champ tournant statorique.

3.1.5 Classement des moteurs asynchrones à cage monophasés.

Les moteurs asynchrones monophasés sont classés selon la nature de la phase auxiliaire

- **Phase auxiliaire résistive**

L'enroulement de démarrage est moins réactif (plus résistif) que l'enroulement principal. Le déphasage entre les deux champs est peu important. Le flux résultant prend la forme Elliptique et le couple résultant est relativement faible.

- **Phase auxiliaire capacitive**

En plaçant un condensateur en série avec l'enroulement de démarrage, on obtient un déphasage de 90 degrés entre les courants des deux enroulements. Le couple de démarrage est beaucoup plus important que dans le cas précédent. C'est le cas dans le moteur asynchrone d'un ventilateur sur pied.

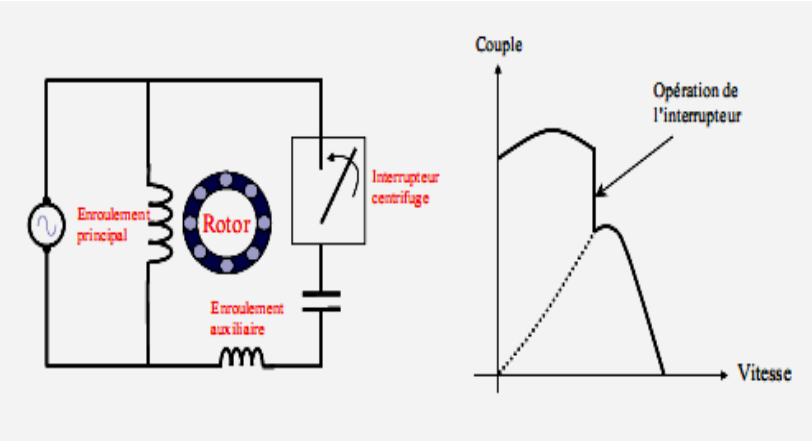


Figure 3.10 : Démarrage avec une phase auxiliaire capacitive.

- **Phase auxiliaire à condensateur permanent.**

Ce type de circuit auxiliaire est utilisé dans des moteurs de 3 hp et plus.

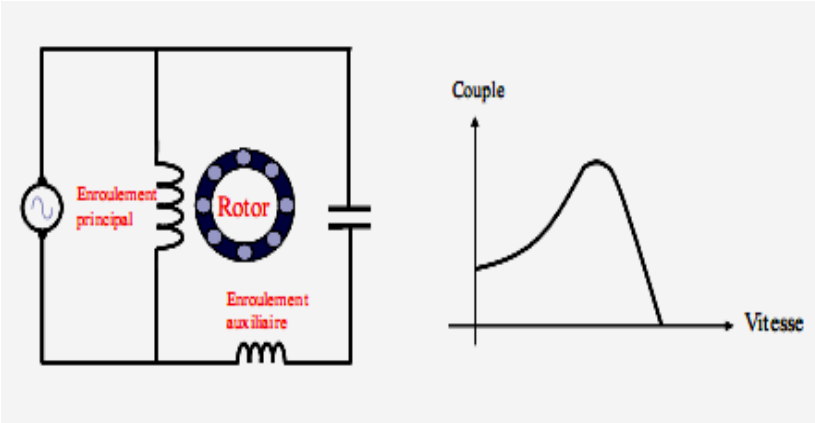


Figure 3.11 : Démarrage avec une phase auxiliaire à condensateur permanent.

- **Phase auxiliaire capacitive et à condensateur permanent.**

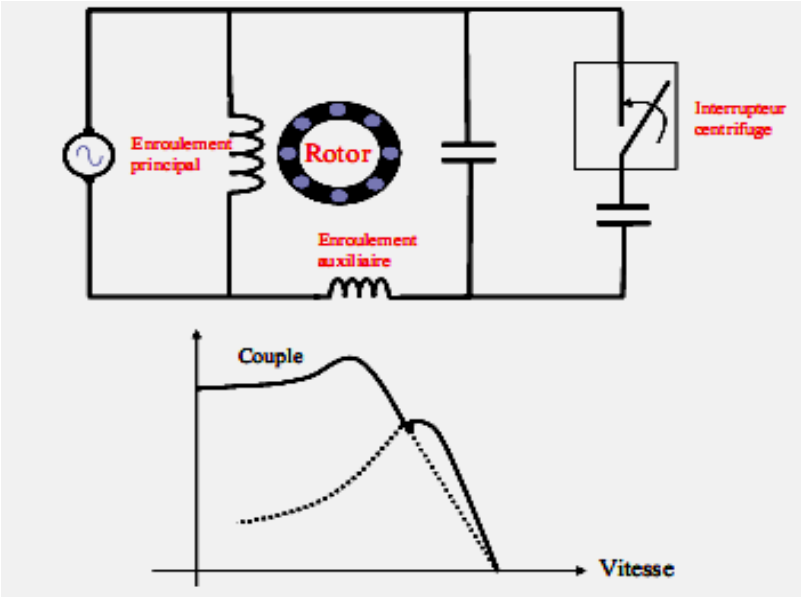


Figure 3.12 : Démarrage avec une phase auxiliaire capacitive et à condensateur permanent.

- **Schéma équivalent d'un moteur asynchrone monophasé**

À l'arrêt, le moteur asynchrone monophasé se comporte comme un transformateur dont le secondaire est en court-circuit.

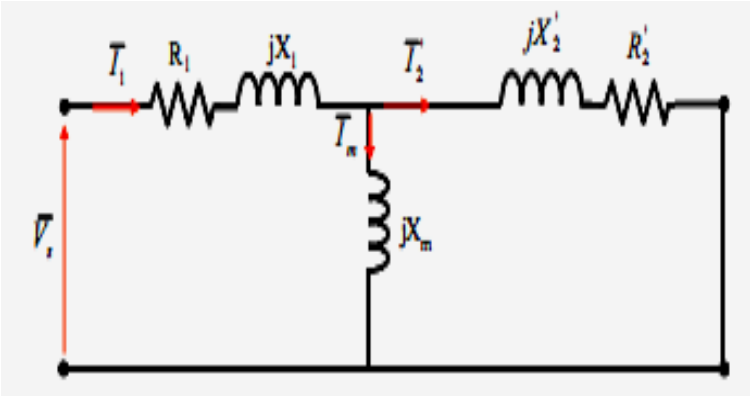


Figure 3.13 : Schéma équivalent d'un moteur asynchrone monophasé.

Comme nous venons de le démontrer, le champ pulsatoire statorique est formé de deux champs de même amplitude et tournants dans des sens différents. L'un tourne dans le sens direct (sens du rotor) et produit un couple direct et l'autre dans le sens inverse en produisant un couple inverse.

À chacun des deux champs tournants, est associé un glissement: glissement direct (g_d). Pour le champ direct et le glissement inverse (g_i) pour le champ inverse.

g_d= ——— — (3.26)

g_i= ——— — (3.27)

Simplification du schéma équivalent

g ≈ (5 à 6%) ⇨ 2(2- g) ≈ 4 ⇨ ——≈ — (3.28)

— — + j—) (3.29)

R'_2: La resistance ohmique du rotor ramenées au nombre des phases du stator et nombre des spires de l'enroulement principal.

X'_2: L'inductance du rotor ramenées au nombre des phases du stator et nombre des spires de l'enroulement principal.

X_m : L'inductance de la phase principale correspondant au flux magnétique d'auto-induction du stator et du rotor.

R'_1: La résistance ohmique de l'enroulement statorique.

X'_1: L'inductance de l'enroulement statorique.

N_r : Vitesse du rotor.

N_S : Vitesse de synchronisme.

D'après le classement qu'on a cité ci-dessus, le moteur asynchrone à cage monophasé d'un ventilateur sur pied utilise la phase auxiliaire capacitive. Le moteur asynchrone à cage monophasé ne peut pas démarrer tout seul donc en plaçant un condensateur en série avec l'enroulement de démarrage, on obtient un déphasage de 90 degrés entre les courants des deux enroulements.

3.1.6 Stator du moteur d'un ventilateur sur pied.

a. Le nombre de pôles.

Le stator du moteur du ventilateur sur pied qu'on étudie constituer quatre paires de pôles (p = 4), c'est-à-dire huit nombre de pôles (2p = 8).

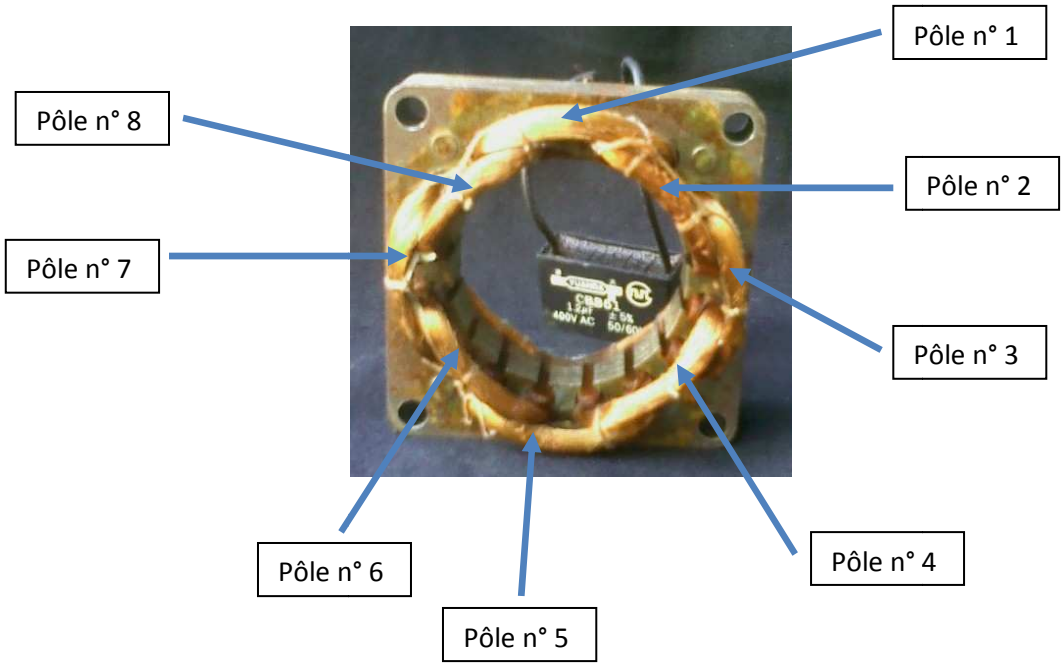


Figure 3.14 : Les pôles du stator d'un ventilateur sur pied.

On a ici P = 4 ; si on calcule la vitesse de synchronisme de ce moteur.

Vitesse synchrone – (3.30)

n_s= vitesse synchrone en tr/min

f = fréquence en Hertz

p = nombre paire de pôles

– (3.31)

n_s = 750 tr/min

On à bien vu que les bobines du stator sont destinées à une tension de 220V, alors qu'on veut stocker de l'énergie à l'aide d'une batterie, donc il faut utiliser un convertisseur pour avoir une tension de 12V et un courant maximum à la sortie.

a. Le nombre des encoches.

Dans un moteur électrique les enroulements sont logés dans les encoches et se répartissent selon le pas polaire.

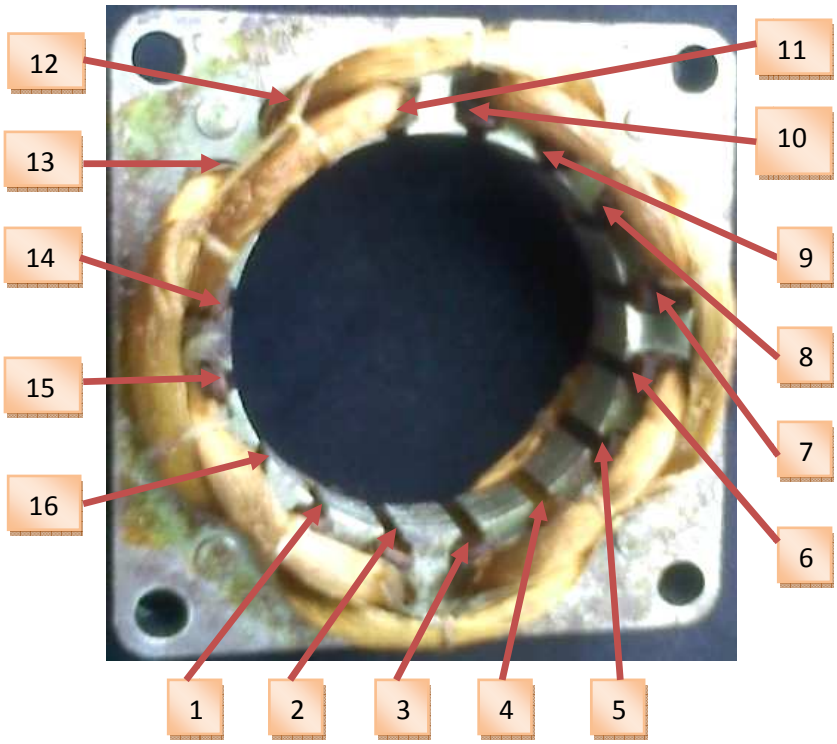


Figure 3.15 : Les encoches du stator d'un ventilateur sur pied.

Donc, on a ici 16 encoches.

3.1.7 Rotor du moteur d'un ventilateur sur pied.

Le rotor d'un ventilateur sur pied est un rotor à cage d'écureuil. Les rotor à cage d'écureuil sont munis d'un enroulement constitué par des barres nues court-circuitées en permanence par des anneaux montés sur les extrémités des barres.

Figure 3.16 : Le rotor d'un ventilateur sur pied.

Si on va revenir à notre objectif de produire de l'énergie électrique à partir d'un ventilateur sur pied ; il est imposable de soutirer de l'énergie avec un rotor à cage d'écureuil.

Pour avoir de l'énergie, l'un de trois conditions suivant doit être exigé :

- Rotor bobiné
- Rotor avec aimant permanent
- Générateur asynchrone (rotor a cage d'écureuil)

Si on prend les deux premières conditions, le cas du rotor du moteur d'un ventilateur sur pied a besoin de modification. Or c'est très difficile surtout au niveau de dimensionnement pour :

- Bobinage du rotor
- Insertion d'un aimant permanent sur le rotor

Donc la dernière possibilité c'est le générateur asynchrone à cage d'écureuil.

La plupart des éoliennes du monde utilisent une génératrice asynchrone triphasée à cage pour produire du courant alternatif, mais dans notre cas on utilise une génératrice asynchrone monophasée à cage. Ce type de génératrice n'est en fait que très rarement utilisé, sauf dans l'industrie éolienne et dans les petites centrales hydrauliques. Un avantage de cette génératrice est qu'elle est très fiable et relativement peu onéreuse par rapport à d'autres types de génératrices.

C'est une machine à induction asynchrone qui transforme de l'énergie mécanique en énergie électrique. Pour réaliser cette transformation elle doit pour cela être entraînée au-delà de la vitesse de synchronisme (variable suivant la charge). Son rotor est généralement à cage d'écureuil ; La puissance nécessaire à sa magnétisation est fournie par une batterie de condensateurs parce qu'on l'utilise dans le cas isolé, l'énergie obtenue est stocké à l'aide d'une batterie de stockage.

3.1.8 Multiplication du nombre des pôles.

Pour le cas d'un moteur du ventilateur sur pied, on à deux moyens possibles pour avoir un générateur asynchrone soit :

- La multiplication du nombre des pôles.
- On utilise un multiplicateur de vitesse

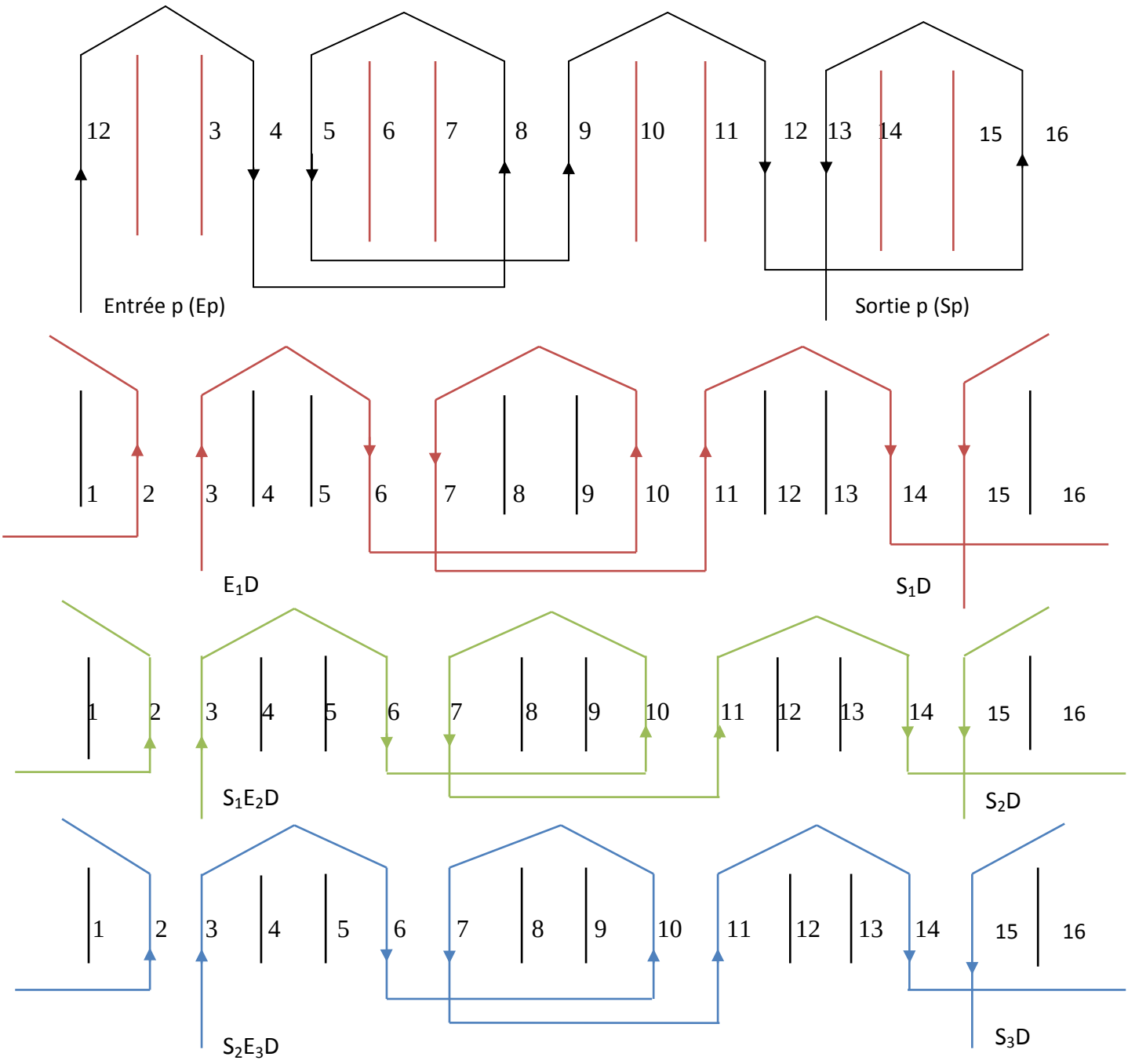


Figure 3.17 : Schémas de bobinage du stator d'un ventilateur sur pied.

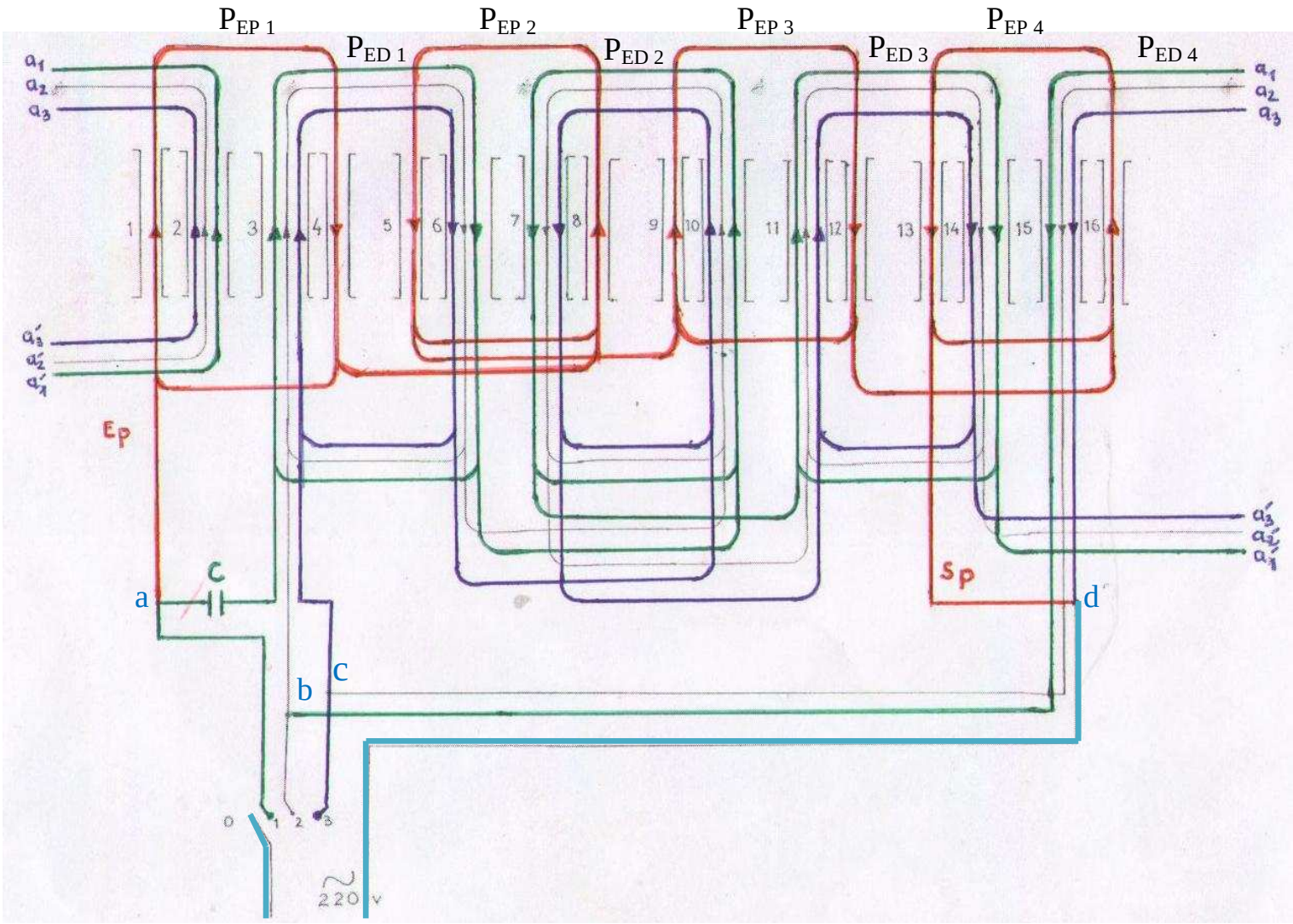


Figure 3.18 : Schémas de bobinage du stator d'un ventilateur sur pied avec condensateur permanent.

P_{EP} : pôles de l'enroulement principal

P_{ED} : pôles de l'enroulement de démarrage

——— : L'enroulement principal

——— : L'enroulement de démarrage 1

——— : L'enroulement de démarrage 2

——— : L'enroulement de démarrage 3

Entrée p (Ep) : L'entrée de l'enroulement principal

Sortie p (Sp) : Sortie de l'enroulement principal

E_1D : L'entrée 1 de l'enroulement de démarrage

S_1D : Sortie 1 de l'enroulement de démarrage

S_1E_2D : Sortie 1 et L'entrée 2 de l'enroulement de démarrage

S_2D : Sortie 2 de l'enroulement de démarrage

S_2E_3D : Sortie 2 et L'entrée 3 de l'enroulement de démarrage

S_3D : Sortie 3 de l'enroulement de démarrage

b.Schémas simplifié au niveau du stator.

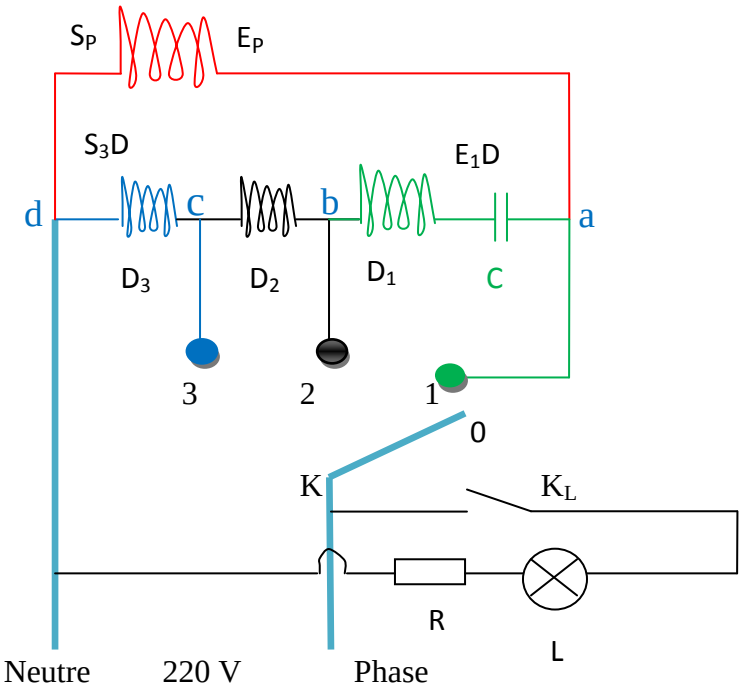


Figure 3.19 : Schémas simplifié au niveau du stator.

c.Nombre de spire du stator.

En comptant, le nombre de spire dans l'enroulement principal n'est la même que dans l'enroulement de démarrage.

N_P = 700 spires x 4 pôles = 2800 spires (nombre de spire dans l'enroulement principal) pour une tension de 220 V alternative.

N_D = 800 spires x 4 pôles = 3200 spires (nombre de spire dans l'enroulement de démarrage)

$N_{D1}= N_D/2$ (nombre de spire dans l'enroulement de démarrage 1) (3.32)

N_{D1}= 3200/2 = 1600 spires

$N_{D2}= N_{D3} = N_D/4$

N_{D2}=3200/4 = 800 spires

N_{D3}= 3200/4 = 800 spires

C = 1,5 µF (condensateur de démarrage)

d.Section du fil.

D'après la mesure qu'on a faite avec un PALMER, on a :

D_P = 0,10 mm (Diamètre du fil de l'enroulement principal)

D_D = 0,09 mm (Diamètre du fil de l'enroulement de démarrage)

$S = \pi \times (D/2)^2$ (section du fil) (3.33)

$S_P = \pi \times (D_P/2)^2 = 3{,}1416 \times (0{,}10/2)^2 = 0{,}007853$ mm^2 (section du fil de l'enroulement principal)

$S_D = \pi \times (D_D/2)^2 = 3{,}1416 \times (0{,}9/2)^2 = 0{,}006361$ mm^2 (section du fil de l'enroulement de démarrage)

3.2. Les étapes à faire pour que ce ventilateur donne un aérogénérateur.

On a déjà fait l'expérience en soufflant ce ventilateur sur un site favorable, avec la vitesse du vent maximum mais ça ne donne rien du tout que 0,50 V (tension alternative).Donc sans modification ce ventilateur ne peut pas être un mini éolien.

Avant tout, il faut savoir quelles sont les conditions pour qu'un moteur asynchrone à cage puisse être transformé en générateur.

Les conditions sont :

- Il faut que la vitesse de synchronisme soit dépassée par la vitesse de rotation du rotor. (Hyper synchronisme)
- Une batterie de condensateur pour donner une puissance réactive suffisante pour le générateur.

❖ **Hyper synchronisme :**

La vitesse de rotation du rotor dépend de vitesse du vent, or pour avoir une vitesse du vent favorable il faut monter jusqu'à 10 m de haut.

On a deux solutions pour atteindre cet objectif :

- Mettre un multiplicateur de vitesse.
- Faire le rebobinage pour augmenter le nombre de pole afin de diminuer la vitesse de synchronisme.

La deuxième solution est le plus facile à faire que la première, donc on va choisir la deuxième.

f. Nombre de pôle possible.

Comme nous le savons avant le stator comporte 16 encoches, l'enroulement principal occupe 2/3 des encoches et l'enroulement de démarrage occupe 1/3 des encoches pour un moteur monophasé or 16 encoches n'est pas divisible par 3 donc la solution est que l'enroulement principal et l'enroulement de démarrage prend la moitié des encoches.8encoches pour l'enroulement principal et 8encoches pour l'enroulement de démarrage. Pour avoir de maximum des pôles, on divise par deux une encoche. Dans ce cas on obtient 2P = 8 (8 paires de pôle) au total 16 pôles.

f. Schémas de bobinage du stator d'un ventilateur sur pied après modification.

❖ Nombre d'encoches Z vaut 16.

- Le moteur possède 2P = 8 (8 paire de pôle)
- Le nombre d'encoches par pôles et par phase q est 1encoche.
- Le nombre d'encoche par pôle est 3.

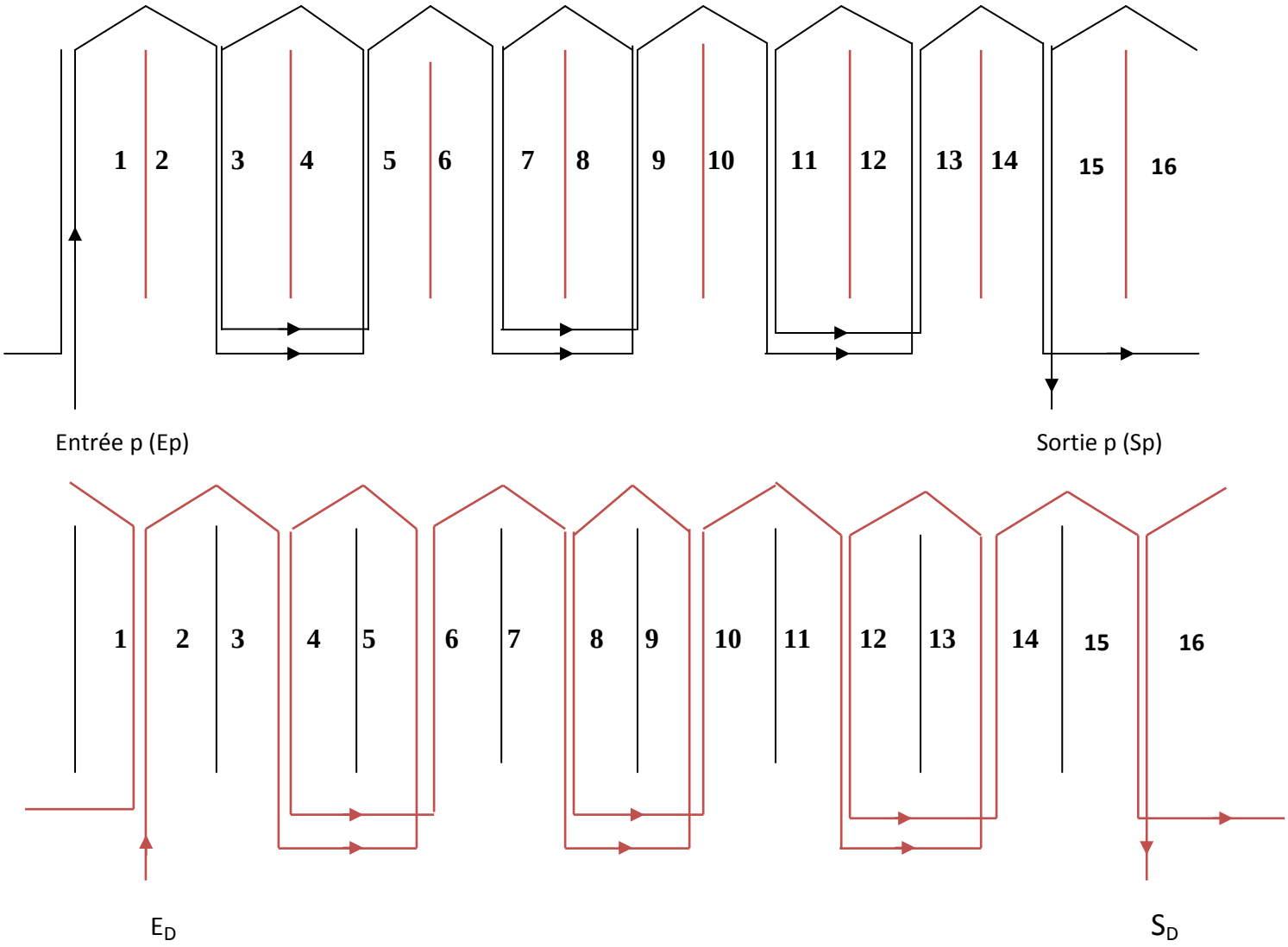


Figure 3.20 : Schémas de bobinage du stator après modification.

g. Nombre de spire du stator.

N_P = 350 spires pour une bobine.

N_P = 350 spires x 8 pôles = 2800 spires (nombre de spire dans l'enroulement principal) pour une tension de 220 V alternative.

N_D = 400 spires x 8 pôles = 3200 spires (nombre de spire dans l'enroulement de démarrage).

Or pour notre cas le nombre de spire = N_D-(N_{D1}+N_{D2})=3200 - (1600 + 800)= 800spires.

On prend seulement une seule vitesse dans l'enroulement de démarrage.

h. Section du fil.

On ne change pas les sections du fil.

D_P = 0,10 mm (Diamètre du fil de l'enroulement principal)

D_{AUX} = 0,09 mm (Diamètre du fil de l'enroulement auxiliaire)

$S = \pi \times (D/2)^2$ (section du fil)

$S_P = \pi \times (D_P/2)^2 = 3{,}1416 \times (0{,}10/2)^2 = 0{,}007853$ mm^2 (section du fil de l'enroulement principal)

$S_{AUX} = \pi \times (D_{AUX}/2)^2 = = 3{,}1416 \times (0{,}9/2)^2 = 0{,}006361$ mm^2(section du fil de l'enroulement auxiliaire)

i. Section des brins actifs pour un moteur asynchrone.

La section dépend exclusivement de la puissance nominale consommée par le moteur et de la température globale où il sera employé.

j. Calcul des sections.

Pour connaître la section des brins, on utilise la notion de densité de courant.

$$D = \frac{I}{s} \text{ (Densité en A/ mm²)} \qquad (3.34)$$

l. Schémas de nombre de pôle possible.

Le stator modifié d'un ventilateur sur pied constitue huit paires de pôles (2p = 8), c'est-à-dire seize nombre de pôles (p = 16).

On divise par deux une encoche, donc on a deux bobines par encoches.

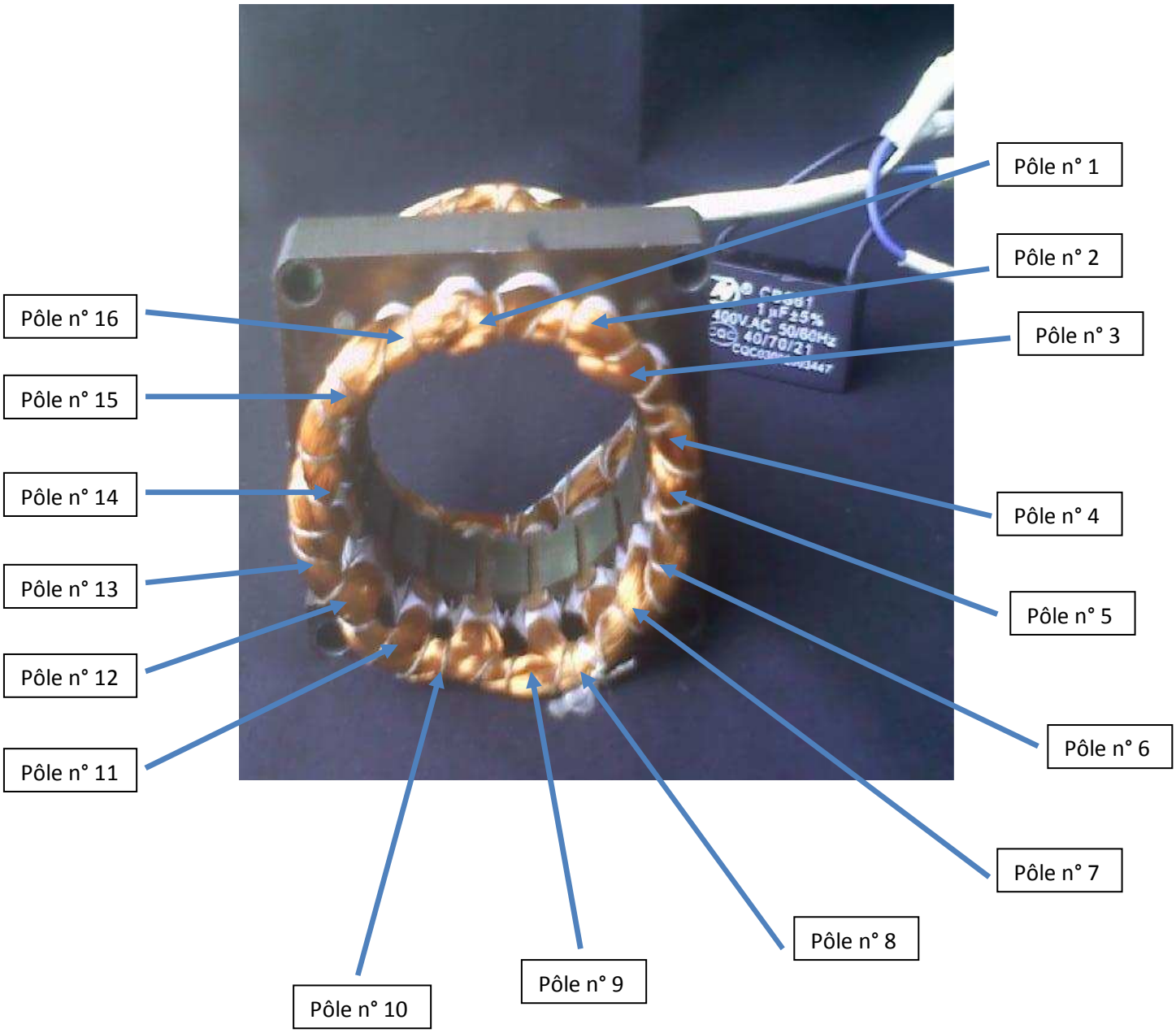


Figure 3.21 : Nombre de pôle possible pour le stator d'un ventilateur sur pied.

Vitesse synchrone $n_s = 60\frac{f}{P}$

$$n_s = 60\frac{50}{8}$$

n_s= 375 tr /min

Donc après le rebobinage la vitesse de synchronisme diminue.

3.2.1: calcule de la batterie de condensateur.

Pour calculer la batterie de condensateur, il faut connaitre la puissance réactive pour la magnétisation de la machine.

On a:

$P = 40\ W,\ P = U.\ I.\ Cos\varphi$ (3.35)

$Cos\varphi = 0{,}50$

Si $Cos\varphi = 0{,}50$ alors $sin\varphi = 0{,}86$

$U = 220V,\ I = P/\ U.\ Cos\varphi = 40/220x\ 0.50 = 0,\ 36\ A$

$I = 0,\ 36\ A$

- **puissance réactive :**

$Q = U.I.\ sin\varphi,\ Q = 220 \times 0,\ 36 \times 0{,}86 = 68{,}11\ var$ (3.36)

- **batterie de condensateur :**

$Q = U^2.C.\omega$ (3.37)

$\omega = 2\pi f = 2 \times 3{,}14 \times 50 = 314$ (3.38)

$C = Q/\ U^2\ .\omega$

$C = 68{,}11/220^2 \times 314 = 68{,}11/15197600 = 0{,}000004481\ F,\ 1\mu F = 10^{-6}\ F$

$C = 4{,}481\ \mu F$

On branche la batterie de condensateur sur l'enroulement le plus résistif, donc on le branche sur l'enroulement auxiliaire qui a le plus petit diamètre de fil et de plus nombreux spires. A noté que la batterie de condensateur magnétise le circuit magnétique et elle est un déphaseur des courants dans le temps.

3.2.2 : Calcul des pâles.

Comme on le savait, L'élément principal de l'éolienne est le pâle. Il faut bien comprendre son fonctionnement pour pouvoir dimensionner de façon optimale ses principales dimensions.

C'est le pâle qui fait tourner le rotor du générateur.

$$P_{max} = \frac{16}{27} P_v = 0{,}59.\ P_v \qquad (3.39)$$

$$P_{vent} = \frac{1}{2}.S.\rho.\ V^3[W] \qquad (3.40)$$

En appliquant la relation $P_{max} = 0{,}29\ D^2V^3$

$P_{max} = 40$ W

- **vitesse du vent maximum :**

$V_{vent} = 8{,}3$ m/s (vitesse du vent)

- **Le diamètre des pales.**

$$D = \sqrt{\frac{P_{max}}{0{,}29.V^3}}$$

A.N:

$$D = \sqrt{\frac{40}{0{,}29.(8{,}3)^3}}$$

$$D = 0{,}50 \text{ m}$$

- **La surface balayée par les pâles.**

La surface balayée par les pâles est l'un de source de puissance qu'on peut capter sur un système éolien.

$S = \pi.R^2 = \pi\ D^2/4 = 3{,}14\ x0{,}50^2/4 = 0{,}1962\ m^2$

$S = 1962\ cm^2$

Notre pale est fabriqué en bois «Pamba» parce qu'il est moins lourd.

❖ **Equilibrage:**

Bien entendu notre tri-pales est solidement fixée sur plaques support axe, nous vérifions tout d'abord son traçage (pales de même longueur) et son traçage de position identique des extrémités de pale. On doit vérifier ATTENTIVEMENT la conformité des angles qui doivent être absolument de 120 degrés de pale à pale. L'équilibrage statique peut être vérifié selon une méthode simple à l'aide d'un niveau à bulles.

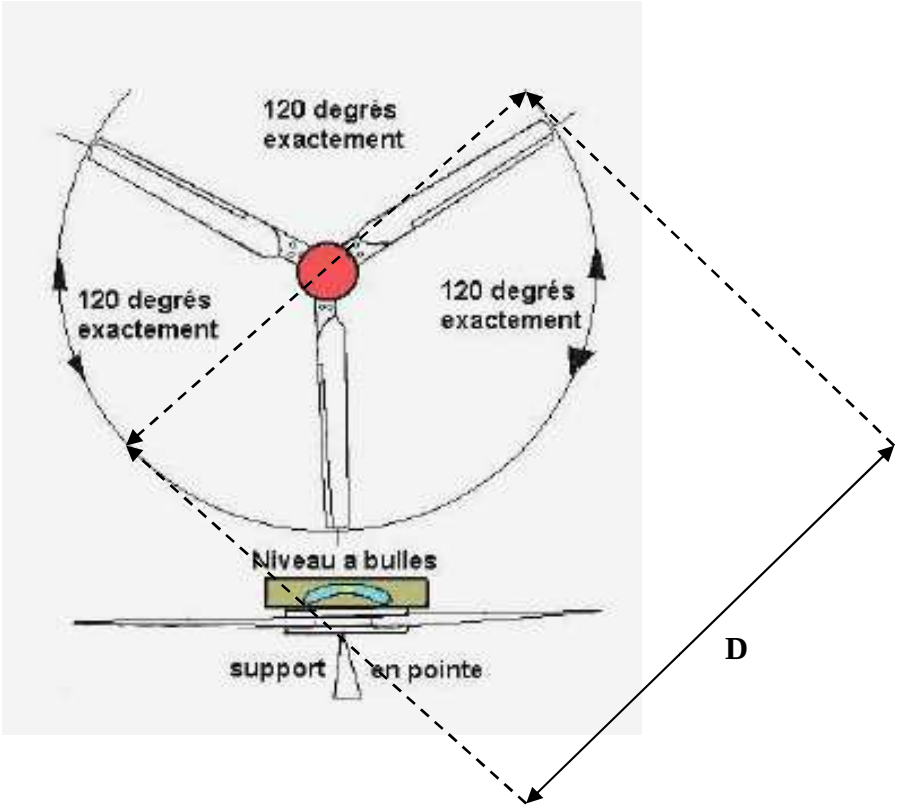


Figure 3.22 : Schémas des tri-pales.

3.3: Caractéristique du mini éolien a étudié :

(a) (b)

Figure 3.23. Le mini éolien à partir d'un ventilateur sur pied.

(a) : Le mini éolien à partir d'un ventilateur sur pied a étudié.

(b) : Le mini éolien à partir d'un ventilateur sur pied a étudié soufflé par le vent.

Notre mini éolien doit avoir les caractéristiques suivantes :

- **Tension nominale** = 220 V (Tension alternative)
- **Fréquence :**

F = 50 H_Z

- **Puissance nominale** : P_n= 40 W

- **vitesse de synchronisme** :n_s= 375 tr /min
- **vitesse de rotation du rotor :**

vitesse de synchronisme + 25% ⟶ 375 tr /min+ 93,75 tr /min

vitesse de rotation du rotor ≥ 468,75 tr /min

- **Nombre de pair de pole :**

2P = 8 (8 paire de pôle)

- **Facteur de puissance :**

Cosφ = 0,50

- **Courant nominal :**

I = 0, 36 A

- **puissance réactive :**

Q = 68,11 var

- **batterie de condensateur :**

C = 4,481 µF

- **vitesse du vent :**

V_{vent} = 8,3 m/s

- **Le diamètre des pales :**

D = 0,50 m

- **La surface balayée par les pâles :**

S = 1962 cm^2

3.4: Résultats pratique du mini éolien a étudié :

D'après les essaies qu'on a fait le mini éolien étudié n'a que 5 V à la sortie.

- **Cause :**

Pas du champ magnétique suffisant au niveau du rotor, or l'objectif est comment induire un champ magnétique au niveau du rotor pour que le moteur devienne générateur.

La plupart des gens utilisent les générateurs asynchrones triphasé parce que ces générateurs sont puissant et ont de tension rémanent assez grand, donc c'est facile pour la batterie de condensateur de la rendre nominale alors que dans notre cas ici le moteur asynchrones a de puissance très petite c'est-à-dire la tension rémanente au niveau du rotor est insuffisante.

- **Solution :**

0n alimente l'enroulement statorique avec un courant alternatif à l'aide d'une source de tension alternative, cette condition est juste l'amorçage de la machine et après quelque seconde, on enlève la source de tension.

A noté bien que l'amorçage est au même moment que le rotor de la machine dépasse la vitesse de synchronisme du moteur.

Dans ce cas le rotor est magnétisé et il induit un courant vers le stator donc on a le courant à la sortie du stator.

Pratiquement, si on veut transformer un moteur asynchrone à cage en générateur asynchrone ; on ne peut pas avoir une même tension et de même puissance que le moteur d'origine, donc la tension à la sortie est inférieure à 220V et la puissance obtenue est inférieure à 40W.

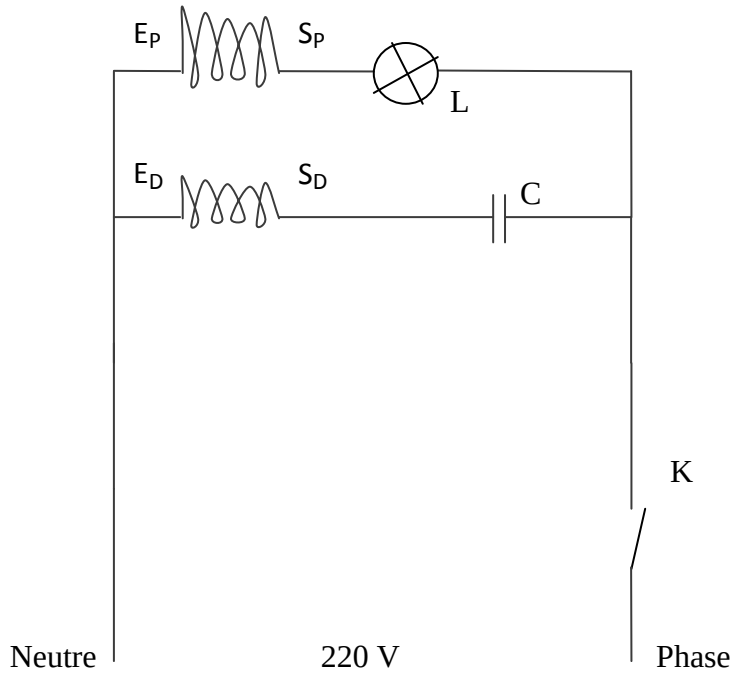


Figure 3.24. Le schéma électrique d'amorçage.

Après l'amorçage du moteur au moment où la vitesse de rotation du rotor dépasse la vitesse de synchronisme, on obtient la tension à la sortie du stator que de 6V (tension alternative).

- **Conclusion :**

D'après tous les études et les expériences qu'on a fait, on ne peut pas obtenir une tension et une puissance satisfaisante à partir d'un moteur asynchrone a cage monophasé du ventilateur sur pied, malgré tout on ne peut pas mesurer la vitesse de rotation du rotor et la vitesse du vent qu'il le souffle comme un triboscope à cause de problème matériel or les limites de fonctionnement de l'éolienne sont obtenues pour g comprise entre 0 et – 0,279. Pour le glissement inferieur à – 0,279 le moteur décroche. En plus Le rotor ne reçoive pas un champ magnétique qu'il faut pour sa magnétisation, il y a aussi le problème de qualité du moteur (facteur de puissance très faible) ; La plupart des gens utilisent les générateurs asynchrones triphasé parce que ces générateurs sont puissant et ont de tension rémanent assez grand et du bon rendement.

CHAPITRE IV : IMPLICATION PEDAGOGIQUE

IV-1 Introduction

L'école Supérieure pour l'Enseignement Technique (ENSET) est une école de formation pour les futurs enseignants de Lycées Technique. Ainsi, les étudiants de cette école doivent avoir une volonté d'entrer dans le domaine d'enseignement et de donner le meilleur d'eux même sur l'amélioration de ce métier durant leur vie.

Aussi, en tant que normalien l'étudiant doit savoir développer et appliquer son travail de mémoire de fin d'études au programme scolaire de lycées techniques. Plus précisément, le travail de l'étudiant doit viser l'amélioration et le développement de l'enseignement en proposant des thèmes ou des techniques d'enseignement au besoin de l'éducation.

Ceci est le devoir prioritaire de l'élève normalien.

En effet, l'introduction de l'implication pédagogique est très importante dans la mémoire de fin d'étude. Un élève normalien ne doit jamais négliger cette partie dans son travail. C'est pourquoi, dans cette dernière partie, on a introduit cette séquence pédagogique.

Dans ce chapitre, nous allons essayer de développer le thème sur le moteur asynchrone monophasé d'un ventilateur sur pied, l'étude pratique de montage d'un mini éolien et Génératrice asynchrone.

Thème 1

IV-2 : **Le moteur asynchrone monophasé d'un ventilateur sur pied.**

Objectif :

- Améliorer l'apprentissage des machines asynchrones au sein des lycées techniques ;
- Savoir déterminer les différentes grandeurs et reconnaître les éléments caractéristiques d'un moteur Asynchrone monophasé ;
- Entraîner les élèves aux différents types d'exercices sur les machines Asynchrones.

Classe : 3eme Année Electrotechnique (E.L) au Lycée Technique.

Durée : 3h de temps

Spécialité : TM en Électrotechnique

Pré requis: les élèves doivent avoir une notion sur les machines asynchrones.

Moyen : tableaux, règles, craies de couleur, polycopiés, moteur.

- **Exercice :**

Un moteur asynchrone monophasé à rotor à cage d'écureuil d'un ventilateur sur pied possède les caractéristiques suivantes :

U= 220 V; F= 50 Hz; P_n= 50 W; C = 1,2 µF

- Caractéristique physique de la machine :

- Nombre d'encoche du stator :

N= 16 encoches

- Diamètre d'alésage :

D_a= 34 mm

- Longueur d'empilage :

L = 13 mm

- Caractéristique électrique de la machine :

- Impédance :

D'après la mesure, on connaît les impédances :

Z_1= 726Ω ; Z_2= 647Ω

Z_3= 526Ω ; Z_P=897Ω

Z_1, Z_2et Z_3 sont des impédances d'enroulement auxiliaire et Z_P pour l'enroulement principal.

- Pas d'enroulement :

Pour calculer le pas polaire d'un bobinage à pas diamétral, on utilise la relation :

$$Y = \frac{N}{2P} \qquad (4.1)$$

Y : Pas de l'enroulement ou nombre d'encoches embrassés par une section.

N : nombre d'encoche du stator

2P : nombre de pôles

- nombre d'encoches par pôle et par phase :

Si l'on veut connaitre le nombre d'encoches par pôle et par phase, on peut écrire :

$$q = \frac{N}{2Pm} \qquad (4.2)$$

Avec : m=1 pour moteur monophasé

q : nombre d'encoches par pôle et par phase

m : nombre de phases

- nombre de paires de pôles :

2P = 4 pôles

Questions :

Calculer :

1) La vitesse de rotation du champ magnétique.
2) Pas de l'enroulement ou nombre d'encoche embrassés par une section.
3) Nombre d'encoche par pôle et par phase.
4) L'inductance.
5) Résistance des enroulements.
6) L'intensité nominale.
7) Le facteur de puissance.

Réponse :

1) La vitesse de rotation du champ magnétique :

$$f = n.p \quad \text{alors } n = \frac{f}{p} \tag{4.3}$$

A.N :

f=50 Hz, 2P=4 alors P=2

$$n = \frac{50}{2} = 25 \text{ tr/min}$$

2) Pas de l'enroulement ou nombre d'encoche embrassés par une section.

$$Y = \frac{N}{2P}$$

A.N : N=16,2P = 4

$Y = \frac{16}{4}$= 4 encoche par pôle

3) Nombre d'encoche par pôle et par phase.

$$q = \frac{N}{2Pm}$$

A.N : m=1 pour moteur monophasé

$$q = \frac{16}{4} = 4 \text{ encoche par pôle et par phase}$$

4) L'inductance.

Par résonance on a :

$L.C.\omega^2 = 0$ (4.4)

$L.C.\omega = 1$ Donc $L = \frac{1}{C.\omega^2}$ (4.5)

L : inductance. [H]

C : Condensateur. [F]

ω:Vitesse angulaire. [rad /s]

On calcul d'abord ω :

$\omega = 2.\pi.n$ (4.6)

A.N : n = 25 tr/min, c = 1,2 µF

$\omega = 2.3,14.25 = 157$ rad/s Donc $L = \frac{1}{1,2.10^{-6}X(157)^2}$

L = 33,8 H

5) Résistance des enroulements.

$$Z = \sqrt{R^2 + (L\omega - \frac{1}{C\omega})^2} \quad (4.7)$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (\frac{1}{C\omega} - \frac{1}{C\omega})^2} \quad (4.8)$$

$Z=\sqrt{R^2}$ Donc Z= R (4.9)

A.N: R_1= 726Ω; R_2= 647Ω

R_3= 526Ω; R_P=897Ω

6) L'intensité nominale.

On calcule d'abord la résistance équivalente

$Re = R_1 + R_2 + R_3$ (4.10)

Re = 726 + 647 +5 26 = 1899Ω

Re est en parallèle avec R_P

$$Req = \frac{R_P \,.\, R_e}{R_P + R_e} \quad (4.11)$$

A.N :

$$Req = \frac{1899.897}{1899+897}$$

Req = 609,2Ω

$U = Req \,.\, I$ Donc $I = \frac{U}{R_{eq}}$ (4.12)

U : tension. [V]

Req : résistance équivalente totale.[Ω]

I : courant nominal.[A]

A.N: $I = \frac{220}{609,2}$

I = 0,36 A

7) Le facteur de puissance.

P = U.I.cosφ

Donc $\cos\varphi = \frac{P}{U.I}$

A.N :

$$\cos\varphi = \frac{50}{220.0{,}36}$$

cosφ = 0,63

Thème 2

IV-3 : **L'étude pratique de montage d'un mini éolien.**

Objectif : A la fin de séance, les élèvent doivent savoir les contenus et de monter un mini éolien.

Matière : Travaux pratique

IV-3.1 : La caractéristique géographique.

Comme nous avons vu dans le chapitre précédent, Les critères de choix d'une implantation éolienne dépendent de la taille, puissance et du nombre d'unités. Il nécessite aussi la présence d'un vent régulier, mais pour notre cas un mini éolien n'a pas besoin beaucoup de condition d'implantation, parce qu'il ne produise pas de grande puissance donc pas besoin de vent trop fort. Il ne produit pas des mauvais impactes aux alentours : ni pour les habitants, ni pour les oiseaux. On peut même produire de l'énergie électrique à partir d'un mini éolien à l'intérieure d'un bâtiment si on le souffle avec un ventilateur sur pied (juste l'expérience à montrer aux élèves).

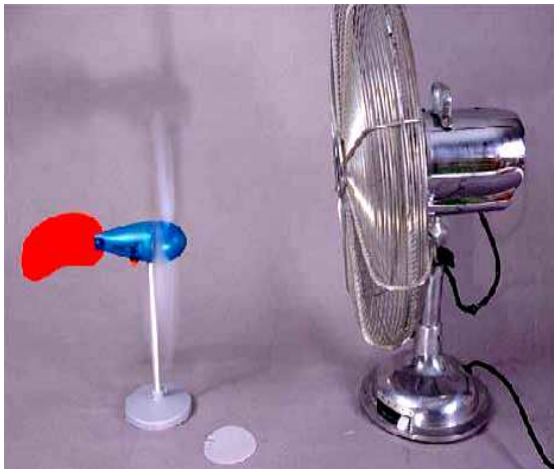


Figure 4.1 : Mini éolien soufflé avec un ventilateur sur pied

IV-3.2 : Type de système à installer.

Le mini éolien et micro éolienne existent depuis plusieurs dizaine d'années et servent à alimenter des particuliers des exploitants agricoles ; leurs productions sont souvent autonomes pour charger des batteries d'accumulateurs, alimenter des pompes

à eau par exemple. Les rotors sont bipales, tripales, mais dans notre cas on va choisir le tripale. L'orientation est faite par une queue girouette, le freinage est électrique par la génératrice et/ou par décrochage aérodynamique, elles ne résistent pas forcement à une tempête. On choisit le tripale parce que les éoliennes à trois pâles sont bien plus efficaces et silencieuses.

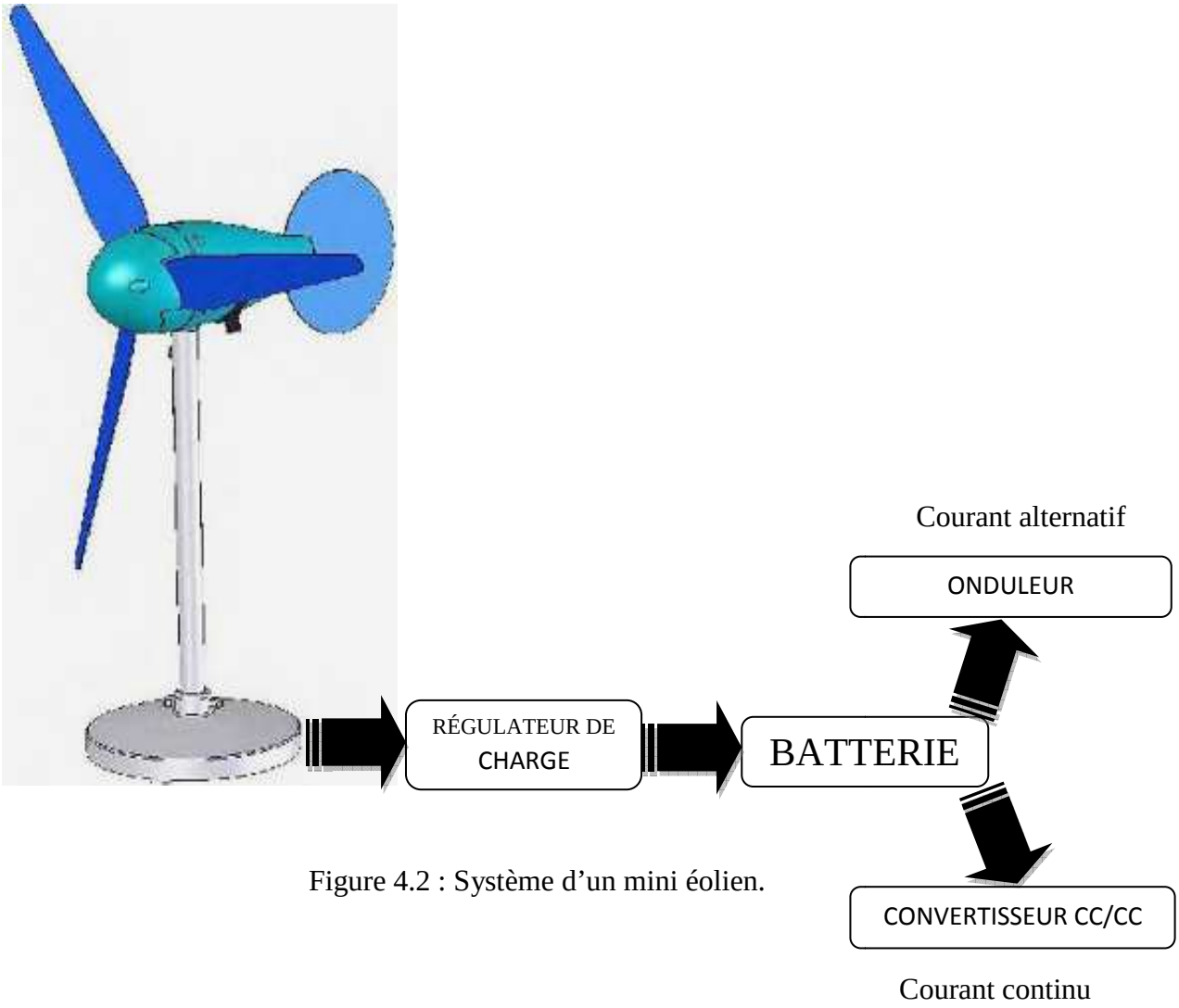


Figure 4.2 : Système d'un mini éolien.

Montage d'un mini éolien.

L'éolienne miniature équipée d'un alternateur et d'une carte électronique de régulation du courant. Associée à différents modules externes, ce matériel permet de reproduire en miniature un système éolien de production d'électricité. Avec ce matériel, on pourra réaliser des tests et mesures pour comprendre les problèmes posés et les solutions techniques actuelles de production et stockage d'énergie électrique à partir de l'énergie du vent.

Intérêts du produit

La similitude avec le réel

Dans sa forme (nacelle pivotante avec empennage) et son principe de fonctionnement (alternateur couplé à un régulateur électronique), ce matériel de laboratoire reproduit fidèlement le fonctionnement des éoliennes de moyennes tailles que l'on utilise pour la production domestique ou à bord des voiliers.

La simplicité pour l'investigation

- Montage et démontage faciles et rapides.
- Connections électriques sur borniers rapides.
- Un simple ventilateur d'intérieur suffit à entraîner l'hélice de l'éolienne.
- Le socle lourd et stable évite d'avoir à maintenir l'éolienne par un support.

Pour la réalisation d'un mini éolien, on n'a pas besoin d'un multiplicateur parce que le mini éolien produit de faible puissance et pas besoin de vitesse du vent plus élevé.

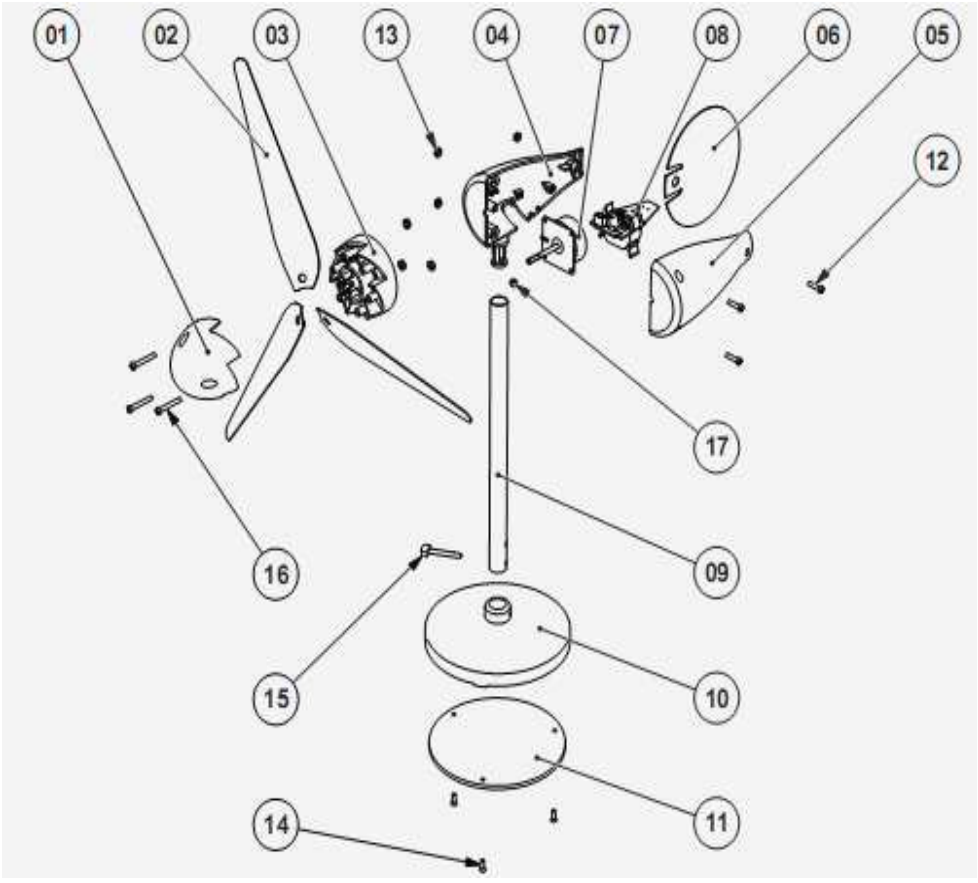


Figure 4.3 :Les pièces sur une vue en éclaté.

REPERE	NOMBRE	DESIGNATION
01	01	Cône d'hélice
02	03	Pales
03	01	Support des pales
04	01	Flan droit
05	01	Flan gauche
06	01	Empennage
07	01	Alternateur
08	01	Module régulateur
09	01	Mât
10	01	Socle
11	01	Poids
12	03	Vis (assemblages des flancs)
13	06	Ecrous
14	03	Vis (assemblages du socle)
15	01	Tenon (blocage du mât)
16	03	Vis (assemblages du cône d'hélice)
17	01	Vis (blocage du mât)

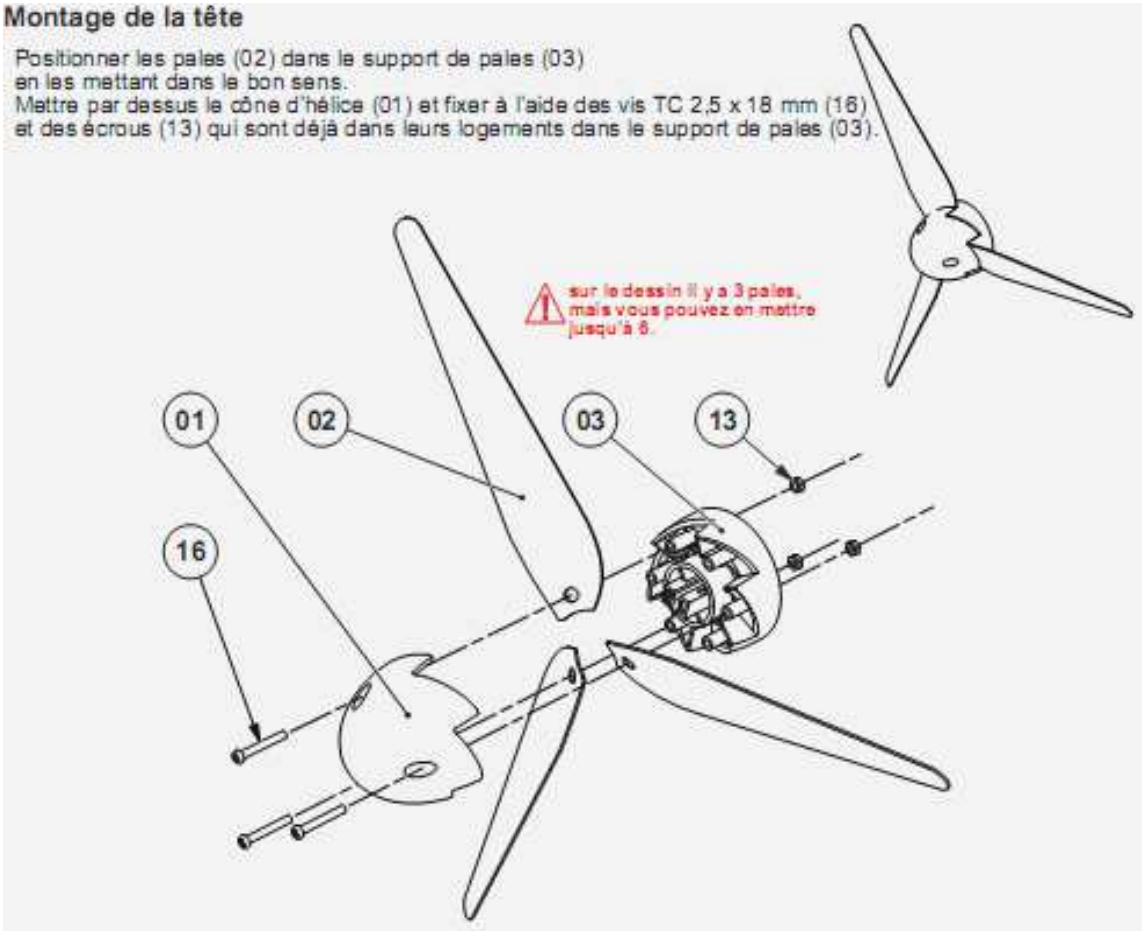


Figure 4.4 : Montage des pales.

Montage du mini alternateur et du module régulateur.

Brancher la prise du mini alternateur (07) sur le module régulateur (08).

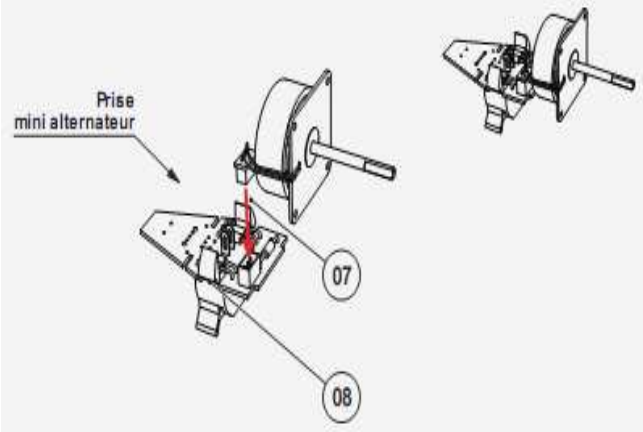


Figure 4.5 : Mini alternateur et du module régulateur.

Montage du corps.

Mettre en place le mini alternateur (07) et le module régulateur (08) dans les encoches à l'intérieur du flanc droit (04).

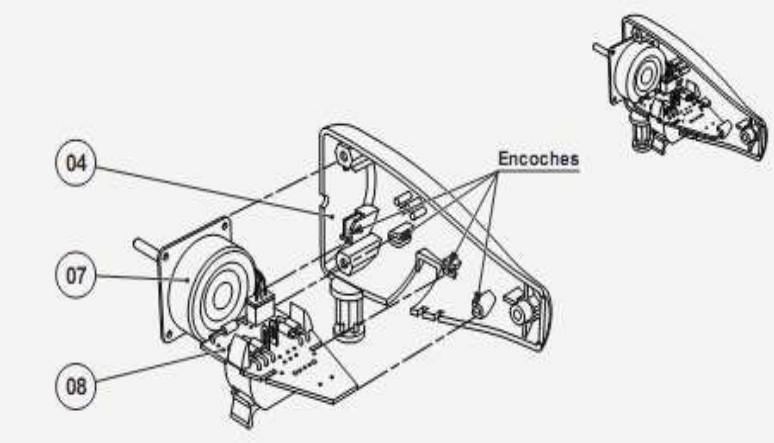


Figure 4.6 : Montage du corps d'un mini éolien.

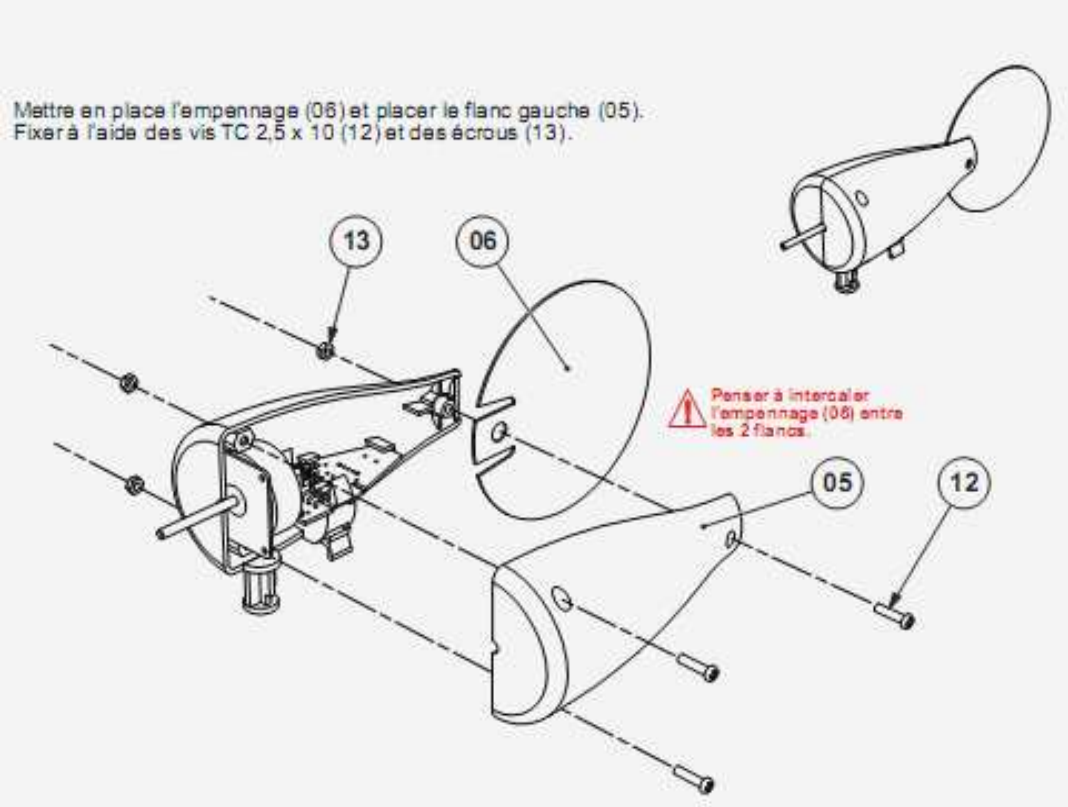


Figure 4.7 : Montage de l'empennage.

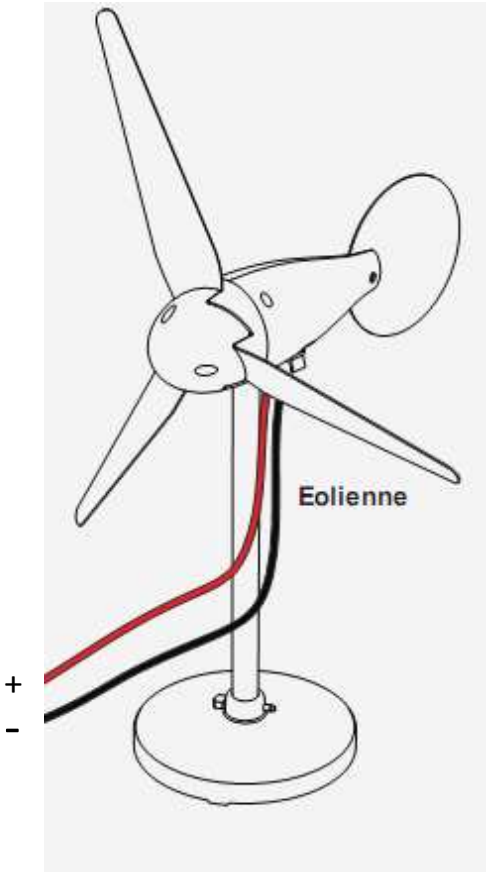


Figure 4.8 : Mini éolien

Thème 3

IV.4 : Génératrice asynchrone

Objectif : A la fin de cette séquence, les élèves devront être capables de classer les différents domaines d'emploi des machines asynchrones.

Niveau : 3ème Anée TMEL ;

Durée : 6 heures dont 4 heures pour l'étude théorique et 2 heures pour l'évaluation.

Matière : Technologie ;

Pré requis : Machine synchrone, Machine asynchrone ;

Plan : 4 – 1 Généralités sur les machines asynchrones ;

4 – 2 Régimes de fonctionnement de la machine asynchrone.

Aide pédagogique : rétroprojecteur, craies, règle, éponge, générateur, etc.….

4 – 1 : Généralités sur les machines asynchrones

Une machine asynchrone est une machine électrique à courant alternatif à deux enroulements dont le premier est alimenté par un réseau électrique de fréquence constante et le second est fermé sur lui-même ou sur des résistances électriques.

4 – 1 – 1 : Morphologie

Les MAS comportent deux armatures ; l'une fixe (stator) et l'autre mobile (rotor).

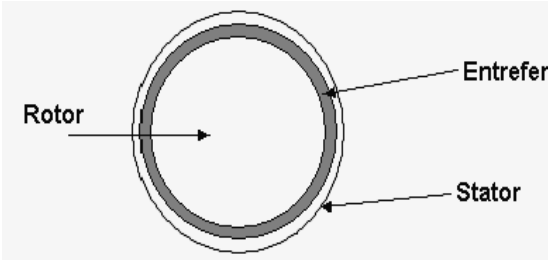


Fig. 4. 9 : Schéma morphologie de la MAS.

Le stator est relié au réseau d'énergie électrique, On distingue deux types de MAS :

- Machine à rotor bobiné ou à bagues ;
- Machine à rotor en court-circuit ou à cage.

4 – 1 – 2 : Machine à rotor bobiné

L'enroulement est logé dans des encoches réparties uniformément sur le périphérique du rotor. Les trois bornes de l'enroulement sont reliées aux trois bagues

sur lesquelles s'appuient trois balais pour avoir accès aux phases rotorique pour court-circuiter ou modifier les caractéristiques de la machine.

4 – 1 – 3 : Machine à rotor à cage

Les encoches sont formées par des cages d'écureuil dans lesquelles sont logées les barres qui jouent le rôle d'un enroulement rotorique. Les barres sont réunies à chaque extrémité par un anneau de court-circuitage.

4 – 1 - 4 : Principe de fonctionnement

Le fonctionnement d'une machine asynchrone est basé sur le principe de l'interaction électromagnétique du champ tournant crée par le courant fourni par le réseau à l'enroulement statorique et du courant induit dans l'enroulement rotorique lorsque les conducteurs de ce dernier sont couplés par le champ tournant. Lorsque le champ tournant est sinusoïdal, sa vitesse de rotation appelée « vitesse de synchronisme » est de formule suivant :

Vitesse synchrone $n_s = 60x\frac{f}{P}$ (4.13)

L'interaction électromagnétique des deux parties de cette machine n'est possible que lorsque la vitesse du champ n diffère de celle du rotor n_r. Dans le où n = n_r, le champ tournant serait immobile par rapport au rotor et aucun courant ne serait induit dans l'enroulement rotorique.

On définit le glissement de la machine par :

$$g = \frac{n_s - n_r}{n_s} \quad (4.14)$$

4 – 2 : Régime de fonctionnement de la machine asynchrone

En fonction de la relation entre vitesse net nr, on peut distinguer les fonctionnements : en moteur et en générateur.

4 – 2 – 1 : Fonctionnement en moteur

Pour ce fonctionnement, le glissement est positif et le rotor tourne à une vitesse légèrement inférieure à celle du champ tournant. Le moteur absorbe de l'énergie active et réactive du réseau.

La puissance réactive est nécessaire uniquement pour son aimantation. Le bilan de puissance active dans le mode de fonctionnement est le suivant :

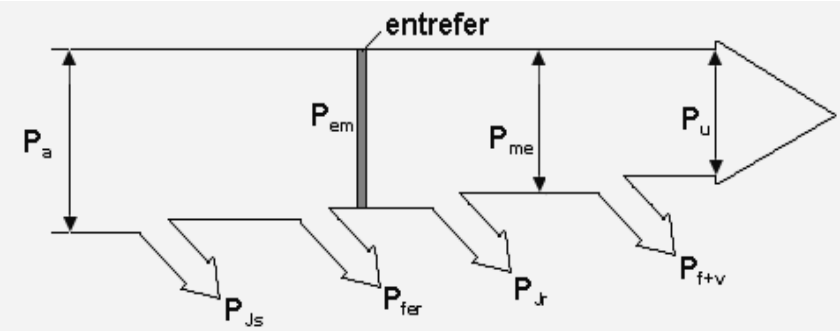


Fig. 4. 10 : Bilan énergétique en fonctionnement moteur d'une MAS.

4 – 2 - 2 : Fonctionnement en génératrice

Dans ce cas, le glissement est négatif et le rotor tourne, dans le sens du champ tournant à une vitesse légèrement supérieur à celle du champ tournant. La machine absorbe une puissance mécanique qui sera restituée, en majeure partie, au réseau sans forme d'énergie électrique ; et voici le bilan de puissance.

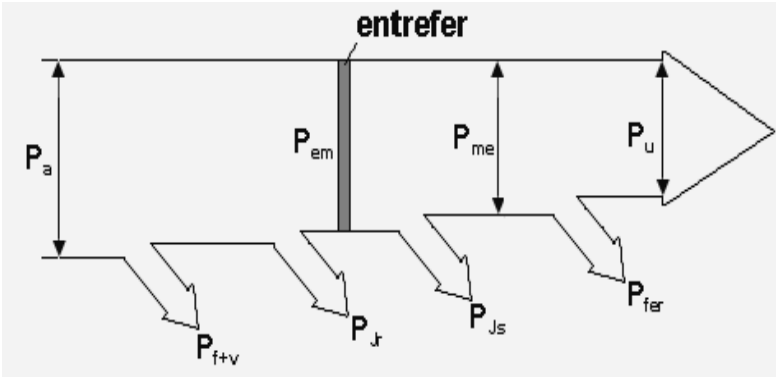


Fig. 4. 11 : Bilan énergétique en fonctionnement génératrice d'une MAS.

4 – 2 – 3 : Génératrice non indépendant

Au lieu de prélever de la puissance mécanique sur l'arbre d'un MAS, nous en fournissons (par exemple à l'aide d'un moteur à courant continu). Le glissement devient alors négatif puisque le rotor entraîne à la vitesse supérieure à la vitesse de synchronisme. La machine absorbe une puissance mécanique dont la majeure partie sera transforme en électrique ; alors la machine débite une puissance active au réseau mais absorbe toujours une puissance réactive Q, qui sert à magnétiser l'entrefer et le fer de la machine.

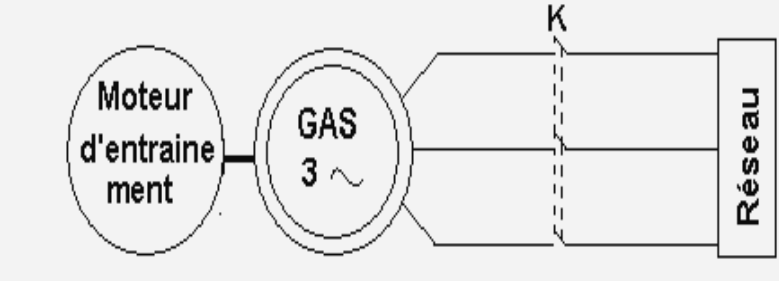


Fig. 4. 12 : Génératrice asynchrone couplée au réseau.

4 – 2 – 4 : Génératrice autonome

L'idée est alors de fournir la puissance réactive Q en branchant aux bornes du stator des capacités convenable choisies, le principe du fonctionnement est analogue à celui de l'amorçage d'une génératrice dérivation.

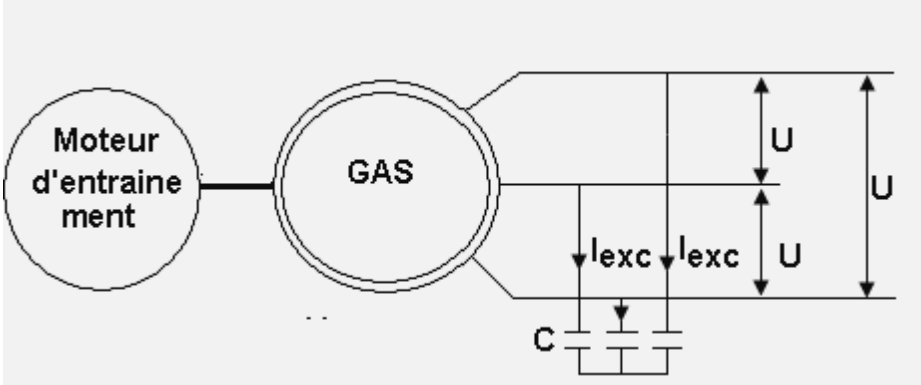


Fig. 4. 13 : Génératrice asynchrone autonome.

La capacité C (l'équivalent de l'enroulement de R inductif) fournit le courant d'excitation i_{exc} (courant magnétisant). Toutefois ; la présence d'un flux ré moment Φ_n dans le rotor est indispensable pour assurer l'auto-excitation de la génératrice. Le flux rémanent Φ_n crée alors dans l'enroulement statorique une certaine f. e. m Vr (tension rémanente) dans laquelle un courant i_{exc} circule dans la batterie de condensateur C renforçant à son tour le flux ré moment et ainsi de suite jusqu'à ce que la génératrice s'amorce.

4 – 2 – 5 : Evaluation

1). Quelle sont les différents types de machine asynchrones ?

2). Quelle est la constitution de la machine asynchrone ?

3). Donner les conditions nécessaires pour qu'une machine asynchrones fonctionne en moteur et en génératrice ?

4). Pourquoi brancher les batteries de condensateur en parallèle de la machine asynchrone ?

4 – 2 – 6 : Solution

1). Les différents types des machines asynchrones sont :

- Moteur à cages ;
- Moteur à bagues.

2). Une machine asynchrone est constituée de :

- Stator partie fixe du moteur, il est foré d'une carcasse ;
- Rotor la partie mobile du moteur, il est placé à l'intérieur du stator.

3). Les conditions nécessaires pour le fonctionnement en moteur et en génératrice sont :

- Pour le fonctionnement en moteur :

Le glissement est positif et le rotor tourne à une vitesse légèrement inférieure à celle du champ tournant. Le moteur absorbe de l'énergie active et réactive du réseau.

- Pour le fonctionnement en génératrice :

Le glissement est négatif et le rotor tourne dans le sens du champ tournant à une vitesse supérieur à celle du champ tournant. La machine absorbe donc une puissance mécanique dont la majeure partie est transmise sous forme électrique.

4). La batterie de condensateur qu'on branche en parallèle de la machine asynchrone permet son excitation en régime autonome.

CONCLUSION GENERALE

Les travaux présentés dans ce mémoire concernent la conception d'un mini éolien à partir d'un ventilateur sur pied, on sait que le moteur d'un ventilateur sur pied est un moteur asynchrone à cage, alors que toutes les machines électriques sont réversibles pour avoir un mini éolien, on l'utilise en mode génératrice.

A la lumière de notre travail, nous avons pu aborder les différentes problématiques liées à l'utilisation de cette machines en fonctionnement génératrice (détermination de la capacité des condensateurs utilisés, l'entraînement en vitesse hyper synchrone, il faut bien déterminer car elle entraîne la dispersion de l'enroulement rotorique grâce à la force centrifuge…). Cette étude montre que, l'insuffisance de la tension rémanente est un problème majeur pour l'amorçage d'une génératrice asynchrone indépendante. Toutefois, les conditions de fonctionnement de la génératrice modifient sa valeur. On a fait aussi le rebobinage au niveau du stator, c'est-à-dire on augmente le nombre de pôle dont l'objet est de diminuer la vitesse de synchronisme. Après l'amorçage du moteur d'un ventilateur sur pied, on a constaté qu'on ne peut pas obtenir une tension et de puissance satisfaisante en mode générateur. Donc ce petit moteur n'est pas efficace en mode générateur comme le moteur triphasé.

Ainsi, si les consommateurs exigent une utilisation continue avec un meilleur rendement, l'installation doit être équipée de quelques accessoires supplémentaires (batterie, système de régulation…). Les génératrices asynchrones sont très fiables, elles ne nécessitent pas d'être protégées contre le courant de court-circuit.

Face à l'insuffisance de production d'énergie électrique à Madagascar, surtout dans les zones rurales, L'éolien est une énergie « renouvelable» la plus fiable et la plus efficace et permet une production énergétique décentralisée sans émission de pollution, sans gaz à effet de serre, je croix qu'un mini éolien comme ceci est à la porter de tout le monde surtout les populations rurales qui n'ont pas le moyen d'acheter de l'énergie électrique trop cher.

BIBLIOGRAPHIE& WEBOGRAPHIE :

[1] Conception d'un container chambre froide alimenté par générateur hybride photovoltaïque et éolien. Projet de fin d'études en vue de l'obtention du diplôme d'ingénieur, réalisé par Dialgui SENE. Ecole Supérieure Polytechnique Centre de THIES en 2008.

[2] Analyse des différentes innovations technologiques pour la production d'électricité renouvelable à Madagascar. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme : Certificat d'Aptitude Pédagogique de l'école Normale, présenté par RABENORO onjamalala Dina Ravomampionona en 2007.

[3] Contrôle de la tension d'un générateur asynchrone dédié à la conversion d'énergie éolienne. Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme : Certificat d'Aptitude Pédagogique de l'école Normale supérieure pour l'enseignement technique, présenté par NOA Willys en 2011.

[4] Cours de production d'énergie et d'électrotechnique, E.N.S.E.T.

Par Monsieur SAÏD M'ZE, année Universitaire (2009-2010)

[5] Etude comparative de chaînes de conversion d'énergie dédiées à une éolienne de petite puissance. Thèse de doctorat de l'Université de Toulouse, présenté par Adam MIRECKI, année 2005.

[6]M. KOSTENKO et PIOTROVSKI
Machines électriques, Tome 2.
Editions MIR – MOUSCOU 1969.

[7]http: // sites – test uclouvainbe / e- lee / FR / réalisation / Energie Renouvelable.

[8] http: // Server as 5000.com/AS 5000/adserver.

TABLE DES MATIERES :

INTRODUCTION……..1

CHAPITRE I : GENERALITE SUR L'ENERGIE EOLIEN

1.1.1 : Principe de fonctionnement d'un système éolien……2

1.1.2 : Les éléments constitutifs d'une installation éolienne…….……..…...3

1.2 : La turbine……..……..…5

1.2.1. Zone de fonctionnement……..……..….5

1.2.2. Classement des Turbines Eoliennes……..…….....6

1.2.3. Turbines Eoliennes à Axe Horizontal (EAH)……...6

1.2.4 Turbines Eoliennes à Axe Vertical (EAV)……...……7

1.3. Générateur……..…..…8

1.3.1. Les différents types des générateurs……...8

1.4 : Fonctionnement d'un ventilateur sur pied……...10

1.4.1 : Principe de fonctionnement……..…10

1.4.2 : Les différents types de ventilateurs……..…10

1.4.3: Utilité des ventilateurs……..11

CHAPITRE II : CONCEPTION D'UN EOLIEN

2.1. Procédure à suivre pour la conception d'un système éolienne quelconque……..……12

2.1.1. Evaluation des caractéristiques géographique du site……12

2.2. Les potentiels dehors du site en source d'énergie éolien……..14

2 .3.Type de système à installer……16

2.4. Evaluation de la consommation électrique……20

2.5. Quantité d'énergie produit par le système……22

2.6. Choix des composants……23

2.7 : Estimation des pertes réelles de l'ensemble…….....35

CHAPITRE III : CONCEPTION D'UN MINI EOLIEN A PARTIR D'UN VENTILATEUR SUR PIED :

3.1 VENTILATEUR SUR PIED…….....36

3.1.1 Prince de fonctionnement……...……36

3.1.2 Constitution d'un ventilateur sur pied…….36

3.1.3 Enroulement de démarrage……..……47

3.1.4 Expression de la force magnétomotrice tournante statorique…….……47

3.1.5 Classement des moteurs asynchrones à cage monophasés……..49

3.1.6 Stator du moteur d'un ventilateur sur pied…….53

3.1.7 Rotor du moteur d'un ventilateur sur pied……..55

3.1.8 Multiplication du nombre des pôles…….……56

3.2. Les étapes à faire pour que ce ventilateur donne un aérogénérateur……..…60

3.2.1: calcule de la batterie de condensateur…….……65

3.2.2 : Calcul des pâles……..66

3.3: Caractéristique du mini éolien a étudié…….68

3.4: Résultats pratique du mini éolien a étudié…….……70

CHAPITRE IV : IMPLICATION PEDAGOGIQUE

IV-1 Introduction……..72

IV-2 : Le moteur asynchrone monophasé d'un ventilateur sur pied……73

IV-3 : L'étude pratique de montage d'un mini éolien……...79

IV- 3.1 : La caractéristique géographique…….79

IV-3.2 : Type de système à installer……79

IV.4 : Génératrice asynchrone…….....85

4 – 1 : Généralités sur les machines asynchrones……85

4 – 1 – 1 : Morphologie……..85

4 – 1 – 2 : Machine à rotor bobiné……...85

4 – 1 – 3 : Machine à rotor à cage……86

4 – 1 - 4 : Principe de fonctionnement……..86

4 – 2 : Régime de fonctionnement de la machine asynchrone……..86

4 – 2 – 1 : Fonctionnement en moteur……..……86

4 – 2 - 2 : Fonctionnement en génératrice…… 87

4 – 2 – 3 : Génératrice non indépendant…….87

4 – 2 – 4 : Génératrice autonome……88

4 – 2 – 5 : Evaluation…….....88

4 – 2 – 6 : Solution……..89

CONCLUSION GENERALE…….....90

BIBLIOGRAPHIE & WEBOGRAPHIE…….91