

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE d'ADRAR

FACULTE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE

DEPARTEMENT DES SCIENCES DE LA MATIERE



**MEMOIRE DE FIN D'ETUDE EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME DE
MASTER PHYSIQUE ENERGITIQUE**

Thème

**IMPACT SONORE D'UN AEROGENERATEUR SUR LE
MILIEU AMBIANT**

Soutenu le : Mai 2016

Présenté par :

M^{elle} MALOUKI FATMA ZOHRA

M^{elle} BEN FADIL FATMA

Membres de jury :

Président :

Mr. OMARI BOUMADIEN Univ. ADRAR

Promoteur :

Mr BOUSSOUKAIA TAHAR (Encadreur)

Univ. ADRAR

Examineurs :

Mr. GUENFOUD MOHAMMED Univ.

ADRAR

Année universitaire 2015/2016

Remerciements

Avant tous, il apparaît opportun de commencer ce Mémoire par des remerciements à Allah qui donne la santé et courage pour finir de ce travail. Nous tenons à exprimer notre sincère gratitude à Monsieur J A H A R B O U S S O U K A I A l'enseignant à l'Université D' A D R A R pour avoir proposé, suivi et dirigé ce travail mais également pour sa disponibilité, et on remercie M. O M A R Q. B pour avoir accepté de présider et d'honoré de sa présence le Jury de soutenance, qu'il trouve ici l'expression de notre reconnaissance et de notre respect.

Nous tenons aussi à remercier Messieurs G U F N F O U D. M et pour l'intérêt qu'ils ont témoigné à l'égard de ce travail par leurs nombreuses et enrichissantes remarques et observations. Enfin pour nous avoir fait l'honneur d'examiner ce mémoire au titre de membre de jury.

Nous le remercions pour nous avoir fait profiter de son expérience ainsi que ses orientations constructives et ses encouragements qui nous ont étaient précieux, et nous ont permis de mener à bien ce travail

J A J M A B F N F A D I J

J A J M A Z O H R A M A J B O U K I

A D R A R. 2016

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

- *Àux êtres les plus chers à mon cœur, ma mère et mon père, qui m'ont beaucoup soutenu durant mon cursus d'étude et à qui je serai éternellement reconnaissant ;*
- *À mes chères sœurs;*
- *À mes chers frères;*
- *À mon encadreur Monsieur M. J. Boussoukaia pour son amabilité et sa disponibilité;*
- *À tous les enseignants qui m'ont aidé de près ou de loin à obtenir mon master en physique énergétique ;*
- *À tous mes amies ;*
- *Enfin à tous ceux et celles qui m'ont encouragé et soutenu.*

FAJMAZOUHA MAJOUK

ADRAR. MAI 2016

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

- *Aux êtres les plus chers à mon cœur, ma mère et mon père, qui m'ont beaucoup soutenu durant mon cursus d'étude et à qui je serai éternellement reconnaissant ;*
- *A mes chères sœurs;*
- *A mes chers frères;*
- *A mon encadreur Monsieur M. J. Boussoukaia pour son amabilité et sa disponibilité;*
- *A tous les enseignants qui m'ont aidé de près ou de loin à obtenir mon master en physique énergétique ;*
- *A tous mes amis ;*
- *Enfin à tous ceux et celles qui m'ont encouragé et soutenu.*

FATMA BEN FADIL

ADRAR, MAI 2016

الملخص

بعض الحقائق المثيرة للقلق التي أبلغ عنها السكان القاطنين بجانب مزارع الرياح بان مستوى الضوضاء مرتفع جدا

في حقل الرياح مع وجود عدد من التوربينات نستطيع تحديد وضعية شفرات المروحة ا في لحظات معينة ، المارة امام التوربينات ، وتوليد ضجيج متداخل ناتج عن كل جهاز. دوران هذه الآلات متزامن وزاوية الطور بين اللوالب مستقرة على مدى فترة زمنية كبيرة.

الظروف الخارجية (سرعة واتجاه الرياح، سرعة الصوت من اجل الشروط النظامية: درجة الحرارة والضغط اللحظي) يتبع تحديد وقت انتقال هذا الضجيج بين كل الآلات ومكان العيش والمعتبر وتراكم هذه الشروط سببه الضوضاء الناتجة من عدة مركبات، إن لم يكن كلها تصل في نفس الوقت ؛ وبعبارة أخرى أن الضوضاء المتناثرة الناتجة عن عدة، أو كل الآلات موجودة ونتيجة عن ذلك جاءت الأصوات المترابطة.

إذا . ما هو تأثير الضوضاء الناتجة عن آلات الرياح في الحياة اليومية ؟

RESUME

Des faits troublant sont rapportés par les populations soumises au bruit qui s'en plaignent. Il apparait que, certains jours, ces populations constatent un niveau de bruit très intense, beaucoup plus important que celui auquel elles sont soumises habituellement.

Sur un site éolien comprenant plusieurs aérogénérateurs le hasard déterminent les instants ou les pales d'hélices, passant devant les tours, génèrent les bruits impulsifs de chaque machine. La rotation de ces machines sont synchrones et les déphasages entre les hélices restent stable sur un temps important. Les circonstances extérieures (vitesse et direction du vent, célérité du son pour les conditions de température et de pression du moment) déterminent ensuite les temps de transmission de ces bruit entre chaque éolienne et lieu de vie considéré. il peut se faire que la superposition de ces conditions fasse que les bruits impulsif de plusieurs engins, voire de tous, arrivent au même instant au lieu de vie en question ; en d'autres termes que les bruits impulsifs de plusieurs, ou de tous les engins, se retrouvent en phase en ce lieu de vie. Ils se comportent alors come des bruits corrélés.

Donc. Quelle est l'impact du bruit des aérogénérateurs sur un lieu de la vie ?

ABSTRACT

Some disturbing facts reported by the populations subjected to noise who complains. It appears that, on some days, these people find a very intense noise level much higher than that to which they are usually submitted.

On a wind farm with multiple turbines chance determine the moments or the propeller blades, past the towers, generate impulse noise of each machine. The rotation of these machines is synchronous and phase angles between helices are stable over a significant time. External circumstances (speed and wind direction, speed of sound for the temperature and pressure of the moment) follows determine the time of transmission of such noise between each turbine and place of living considered. it may be that the superposition of these conditions is that the impulsive noise of several vehicles, if not all arrive at the same time instead of life in question; in other words that the impulsive noise of several, or all gears, find themselves in line in place of life. They then have come correlated noises.
so . What is the noise impact of wind turbines on a place of life?

MOTS CLES

L'énergie, la puissance, aérogénérateur, éolienne à axe horizontal, les machines asynchrones, choix du site, le son, onde sonore, bruit sonore.

NOMENCLATURE

\vec{V}_0	Vitesse axiale du vent en amont de l'éolienne	m/s
Ω	Vitesse de rotation du vent des pales	rad/s
R	Rayon de la pale	m
\vec{U}	Vecteur unitaire tangentielle à la pale	
P	Masse volumique d'air	kg/m ³
v	Vitesse instantanée du vent	m/s
E _c	Energie cinétique	joule
P _m	Puissance mecanique	watt
v ₁	Vitesse de vent	m/s
v _{ax}	Vitesse axial	m/s
a	Induction axial	
T	Forces de poussé	joule
m	Masse d'air	kg
\dot{m}	Débit massique	l/s
P _{act}	Puissance actuel (mécanique)	watt
P _{th}	Puissance théorique	watt

Ω_t	Vitesse de rotation avant le multiplicateur	rad/s
R_t	Rayon de la surface balayée par les pales	m
C_p	Coefficient de puissance	
C_m	Coefficient du couple	
Q_t	Couple de la turbine éolienne	N.m
α	Angle d'incidence	rad
B	Angle de calage	rad
Ψ	Angle d'attaque	rad
\vec{W}	Résultante du vent (apparent)	rad
dL	Force de portance	N
dD	Force de traînée	N
C_L	Coefficient de portance	
C_D	Coefficient de traînée	
C	Corde de pale	m
w	Module du vent apparent	m/s
Ω_s	Vitesse de synchronisme	m/s
f	Fréquence de champ tournant	Hz

P	Nombre de pair de pole	
g	Glissement de la machine	
Ω_r	Vitesse de rotation de rotor	rad/s
$f(V)$	Distribution en fréquences des vitesses mesurées	
K	Facteur de forme sont dimension ($k>0$) qui caractérise la forme de distribution de fréquence	
A	Facteur d'échelle et $A>0$	m/s
ff_0	Fréquence de vents calmes	Hz
V	Vitesse de propagation de l'onde	m/s
d	Distance parcourue par l'onde	m
Δt	Durée de propagation de l'onde	s
N_s	Niveau sonore	dB
N_{sB}	Niveau sonore B	dB (B)
N_{sA}	Niveau sonore A	dB (A)
N_{sC}	Niveau sonore C	dB (C)
L_{Aeq}	Niveau sonore moyen équivalent de class A	dB (A)
L_{A50} et L_{A50}	Niveaux sonores statistique de class A	dB (A)

LISTE DES ABREVIATIONS

URERMS : Unité de Recherche en Energies Renouvelable dans Milieux Saharien.

dB : décibel.

ASSC : Association Sanitaire Canadian.

ASSFET : Association Sanitaire Française de l'Environnement de Travail.

LREE : Laboratoire de Recherche en Energie Eolienne en France.

LISTE DES FIGURES

Figure I. 1	Conversion de l'énergie cinétique du vent	(Frédéric POITIERS 2003)	1
Figure I. 2	Eolienne en amont et en aval.....	(LECONTE, 2006)	4
Figure I. 3	L'orientation des pales.....	(A. Abdelli, 2006)	4
Figure I. 4	Les composants d'une éolienne.....	(BENMEDJAHED Miloud 2013).	6
Figure I. 5	Les éléments d'une nacelle.....	(LECONTE, 2006)	8
Figure I. 6	Colonne d'air animée d'une vitesse v	(LECONTE, 2006)	10
Figure I. 7	Modèle axial du tube du courant.....	(Benlamoudi AZEDDINE2013)	13
Figure I. 8	Tube de courant autour d'une éolienne...	(Mayouf Messaoud. (2008)	14
Figure I. 9	Coefficient de puissance.....	(Frédéric POITIERS 2003)	17
Figure I.10	Classement des types d'éoliennes.....	(LECONTE,2006)	17
Figure I.11	La vitesse spécifique ou nominale λ	(Mayouf Messaoud ,2008)	18
Figure I.12	Débit de puissance et les pertes.....	(Bouhedda, Ali	19

		2011)		
Figure I.13	Action de vent sur les pales.....	(Bouhedda, 2011)	Ali	20
Figure I.14	Mise en place des éléments géométriques selon la direction du vent sur une pale.....	(Bouhedda, 2011)	Ali	20
Figure I.15	Les forces appliquées sur la pale.....	(Bouhedda, 2011)	Ali	21
Figure I.16	Glissement d'une génératrice asynchrone...	(AZEDDINE, B13)		25
Figure I.17	Rose de vent pour le site d'Adrar.....	(G.Solari, 2004)		28
Figure II. 1	Les types l'unité de mesure du niveau sonore.....	(Pietquin, 2008)		33
Figure II. 2	Echelles du bruit (dB).....	(Gonzague VUILLIER, ENERGIE EOLIENNE)		34
Figure II. 3	Niveau sonore en fonction de la distance parcourue par l'onde acoustique.....	(ASSC, 2012)		35
Figure II. 4	Niveau sonore en fonction de la distance parcourue par l'onde acoustique.....	(ASSC, 2012)		37
Figure II. 5	Evolution sonore en fonction de la distance.....	(ASSC, 2012)		38

Figure II. 6	Perception acoustique sans visibilité d'un parc éolien	(BERENGIER, 2011)	39
Figure II.9	Origine du bruit mécanique.....	(Miloud, Novembre 2013)	43
Figure II. 10	Niveau sonore par élément d'éolienne.....	(Miloud, Novembre 2013)	45
Figure III. 1	Banc d'essai.....		46
Figure III. 2	niveaux sonores L_{Aeq} (1m) [dBA] au Point « 206 » en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 minute (m/s)	(dasse, 18 mars 2014)	55
Figure III. 3	niveau sonores L_{Aeq} (1m) [dBA] au Point « 207 » en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 minute (m/s)	(dasse, 18 mars 2014)	56
Figure III. 4	niveaux sonores L_{Aeq} (1m) [dBA] au Point « 279 » en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 minute (m/s)	(dasse, 18 mars 2014)	56

Figure III. 5	niveaux sonores L_{Aeq} (1m) [dBA] au Point « 15281 » en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 minute (m/s)	(dasse, 18 mars 2014)	57
Figure III. 6	niveaux sonores L_{Aeq} (1m) [dBA] au Point « 208 » en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 minute (m/s)	(dasse, 18 mars 2014)	57
Figure III. 7	Niveau statistique $L_{A90}(1\ min)[dBA]$ en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 min- à hauteur de microphone (m/s) au Point « 206 »	(dasse, 18 mars 2014)	58
Figure III. 8	Niveau statistique $L_{A50}(1\ min)[dBA]$ en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 min- à hauteur de microphone (m/s) au Point « 206 »	(dasse, 18 mars 2014)	59
Figure III. 9	Niveau statistique $L_{A90}(1\ min)[dBA]$ en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 min- à hauteur de microphone (m/s) au Point « 15281 »	(dasse, 18 mars 2014)	59
Figure III. 10	Niveau statistique $L_{A50}(1\ min)[dBA]$ en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 min- à hauteur de microphone (m/s) au Point « 15281 »	(dasse, 18 mars 2014)	60

Figure III. 11	Niveau statistique $L_{A90}(1\text{ min})[dBA]$ en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 min- à hauteur de microphone (m/s) au Point « 208»	(dasse, 18 mars 2014)	61
Figure III. 12	Niveau statistique $L_{A90}(1\text{ min})[dBA]$ en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 min- à hauteur de microphone (m/s) au Point « 208»	(dasse, 18 mars 2014)	61

LISTE DES TABLEAUX ET DES PHOTOS

Tableau II.1	Les classes de spectre acoustique.....	(Educlever, 2016)	30
Tableau III.1	les conditions et les paramètres du mesure.....	(dasse, 18 mars 2014)	53
Photo I.1	Les éoliennes à axe vertical type Darrieues	(Fédéric poitiers, 2003)	2
Photo I.2	Les éoliennes à axe vertical type savniouss...	(CHERFIA NAÏM 2010)	3
Photo I.3	Les éoliennes tripales et multi pale.....	(Fédéric poitiers ,2003)	3
Photo I.4	Les appareils de la mesure	(CHERFIA NAÏM 2010)	8
photo III. 1	face au futur champ éolien et au sud de l'autoroute.....	(dasse, 18 mars 2014)	50
photo III. 2	face au futur champ éolien et au sud et l'est de l'autoroute	(dasse, 18 mars 2014)	50
photo III. 3	face au futur champ éolien et au nord de l'autoroute	(dasse, 18 mars 2014)	50
photo III.4	face au futur champ éolien et au nord de l'autoroute	(dasse, 18 mars 2014)	51
photo III. 5	face au futur champ éolien et au nord et à l'ouest de l'autoroute	(dasse, 18 mars 2014)	50
photo III. 6	Ecran avec couronnement en Té installé à Roanne	(dasse, 18 mars 2014)	

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS.....	
RESUME.....	
MOTS CLES.....	
NOMENCLATURE.....	
LISTE DES ABREVIATIONS	
LISTE DES FIGURES.....	
LISTE DES TABLEAUX ET DES PHOTOS	
INTRODUCTION GENERALE	
CHAPTRE I: RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN EOLIENNE	
<i>1.INTRODUCTION.....</i>	<i>1</i>
<i>2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE EOLIENNE.....</i>	<i>2</i>
<i>3. DIFFERENTS TYPES DES EOLIENNES.....</i>	<i>2</i>
<i>4.1 Turbines à axe vertical.....</i>	<i>2</i>
<i>4.2 Turbines à axe horizontal.....</i>	<i>3</i>
<i>5. PRINCIPAUX COMPOSANTS D'UNE EOLIENNE A AXE HORIZONTAL.....</i>	<i>5</i>
<i>5.1. Rotor.....</i>	<i>5</i>
<i>5.2 Un mat (tour).....</i>	<i>6</i>
<i>5.3 Nacelle.....</i>	<i>7</i>

6.	<i>LES OUTILE DE MESEURS</i>	9
7.	<i>CONVERSION DE L'ENERGIE EOLIENNE</i>	9
7.1.	<i>Conversion de l 'énergie cinétique en énergie mécanique</i>	9
8.	<i>AERODYNAMIQUE DES AEROGENERATEURS A AXE HORIZONTAL</i>	11
8.1.	<i>Théorie du moment</i>	13
9.	<i>LOI DE BETZ</i>	14
10.	<i>LE COEFFICIENT DE PUISSANCE C_p</i>	16
11.	<i>COEFFICIENT DE PUISSANCE DE DIFFERENT DE ROTORS</i>	18
12.	<i>LA VITESSE SPECIFIQUE OU NOMINALE λ</i>	18
13.	<i>LE COEFFICIENT DE COUPLE C_M</i>	19
14.	<i>CARACTERISTIQUES DE LA PUISSANCE DE ROTOR</i>	20
15.	<i>LES MACHINES UTILISEES DANS LA CONVERSION DE L'ENERGIE EOLIENNE</i>	24
16.	<i>ETUDE SUR LA GENERATRICE ASYNCHRONE</i>	24
16.1	<i>Principe de fonctionnement</i>	24
17.	<i>CRITERES DE CHOIX DES SITES EOLIENS</i>	26
17.1.	<i>Modèles d'ajustement de distribution des vitesses du vent</i>	27
17.2.	<i>Distribution de Weibull :</i>	27
17.3.	<i>Distribution hybride de Weibull</i>	28
17.4.	<i>Distribution de Rayleigh</i>	28
18.	<i>LA ROSE DES VENTS</i>	29
19.	<i>CONCLUSION</i>	30

CHAPITRE II: L'ETUDE DE BRUIT GENERE PAR L'AEROGENERATEUR

<i>INTRODUCTION</i>	31
2. LE SON.....	31
2.1. <i>Les ondes sonores</i>	31
2.1.a <i>Domaine de fréquences</i>	31
3. <i>LE BRUIT</i>	33
4. <i>UNITES DE MESURE</i>	33
4.1. <i>Décibel (dB)</i>	33
4.2. <i>Les types de Décibel (dB(A), dB(B), dB(C))</i>	34
5. <i>NIVEAUX DE BRUIT</i>	34
6. <i>LES MECANISMES D'INFLUENCE SUR LA PROPAGATION DES</i>	36
<i>ONDES SONORES</i>	36
6.1. <i>La divergence géométrique</i>	36
6.2. <i>L'absorption atmosphérique</i>	38
6.3. <i>Effet du sol</i>	38
6.3. 1. <i>la nature du sol</i>	38
6.3. 2. <i>La topographie du sol</i>	40
6.3. 3. <i>Les effets météorologiques</i>	41
6.3. 3.a. <i>Gradient de température</i>	41

6.3.3. b. Gradient de vent.....	42
6.3. 5. La turbulence.....	43
7. <i>LA PRESSION ACOUSTIQUE AU RECEPTEUR</i>	43
8 <i>IMPACT SONORE</i>	44
9. <i>ORIGINES DES BRUITS SONORES</i>	44
9. 1. <i>Bruits d'origine mécanique</i>	45
9. 2. <i>Bruits d'origine aérodynamique</i>	46
10. <i>CONCLUSION</i>	47

CHAPITRE III: RESULTATS ET DISCUSSION

1. <i>INTRODUCTION</i>	48
2. <i>METHODOLOGIE</i>	48
3. <i>LA SITUATION ACTUELLE</i>	49
4. <i>LES MESURES DE BRUIT</i>	49
4.1. <i>Période et durée des mesures de bruit</i>	49
4.2 <i>Localisation des mesures de bruit</i>	50
5. <i>LES 5 POINTS DU MESURE</i>	51
6. <i>LES CONDITIONS ET LES PARAMETRES DE MESURE</i>	53
7. <i>RESULTATS GLOBAUX</i>	55
8. <i>L'INFLUENCE DU VENT (NIVEAU DE BRUIT FOND)</i>	59
9. <i>CONCLUSION</i>	62
<i>CONCLUSION GENERALE</i>	63

1. <i>PERCEPTION</i>	
----------------------------	--

2. *LEGISLATION LIMITANT LE BRUIT INDUSTRIEL*.....

3. *RECOMMANDATIONS*.....

3.1 *Les protections anti-bruit*.....

3.2 *Les trois catégories pour but de réduction du bruit éolienne*

3.2 *Ajout de brosses*

BIBLIOGRAPHIE.....

ANNEXE I.....

ANNEXE II

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

Avec l'augmentation de la pollution à cause de l'industrialisation croissante de la majorité des pays, et la surpopulation sur l'ensemble du globe, la demande sur l'énergie électrique est de plus en plus croissante et les sources d'énergie traditionnelles de moins en moins nombreuses. L'Homme s'est alors orienté vers des énergies renouvelables mais surtout propres et sans danger.

De nos jours les efforts s'orientent tous vers le développement de la production de l'énergie solaire et éolienne soit à caractère local soit pour la production à grande échelle, suivant le potentiel du site exploité. Du fait de l'abondance de ces ressources et de leur caractère écologique (aucune émission de gaz ni déchets), elles sont considérées comme étant les énergies de l'avenir.

Lors du passage d'une pale devant la tour, les veines d'air sont déviées par la présence de cette tour sur laquelle elles occasionnent une augmentation passagère de pression qui crée un choc acoustique, lequel génère un bruit impulsionnel. C'est ce bruit impulsionnel qui est très majoritairement perçu comme a gêne principale de voisinage causé par le bruit éolien.

Les hélices tripales tournant à une vitesse d'environ 28 tours par minute, la fréquence de ce bruit impulsionnel sera voisin de 1.4 Hz ; sa durée sera d'ordre de 0.1 seconde. Le bruit émis et donc, principalement, un bruit impulsionnel de durée égale à environ 0.1 seconde. Se répétant environ toutes les 0.7 seconde. Compte tenu de sa durée, ce bruit aura un spectre énergétique très riche en

fréquence basses, donc susceptible se propager sans grande pertes par absorption et d'incommoder de personnes vivant à grande distance des machine. Le bruit d'une éolienne est très semblable à celui produit par un hélicoptère : ici les pales de l'hélice, également tripale le plus généralement, passant au-dessus de la partie arrière du fuselage, produisent ce même bruit impulsionnel caractéristique ; la vitesse de rotation de l'hélice étant plus élevée, la fréquence de répétition du bruit impulsionnel est plus élevée que dans le cas d'un aérogénérateur. (Abalain, juin 2007)

Dans le premier chapitre de ce mémoire une recherche bibliographique sur l'énergie éolienne sera présentée. Il s'agit d'une étude assez détaillée du système éolien et des différentes structures existantes .On approche la définition de la vitesse du vent à travers les équations et les concepts physiques, ainsi que les différents types des génératrices utilisées dans la chaîne de conversion et les différentes architectures possibles.

Le deuxième chapitre sera consacré pour l'étude des différents impacts environnementaux de ces éoliens, en montrant les effets directs et indirects de plus un intérêt particulier est porté à l'impact sonore des éoliennes. On termine notre étude par quelques mesures d'atténuation des Impacts à prendre en considération.

Le troisième chapitre sera réservé pour les résultats qu'on vient d'avoir de la littérature. Un banc d'essai est proposé, mais vu le temps réservé pour

L'expérimentation n'est pas pris en compte nous avons fait appel aux résultats de certains auteurs.

Le présent travail s'achève par une conclusion générale tout en donnant la législation qui permet de régulariser le bruit généré par l'éolien.

Chapitre I

Recherche bibliographique sur le principe de fonctionnement d'une éolienne

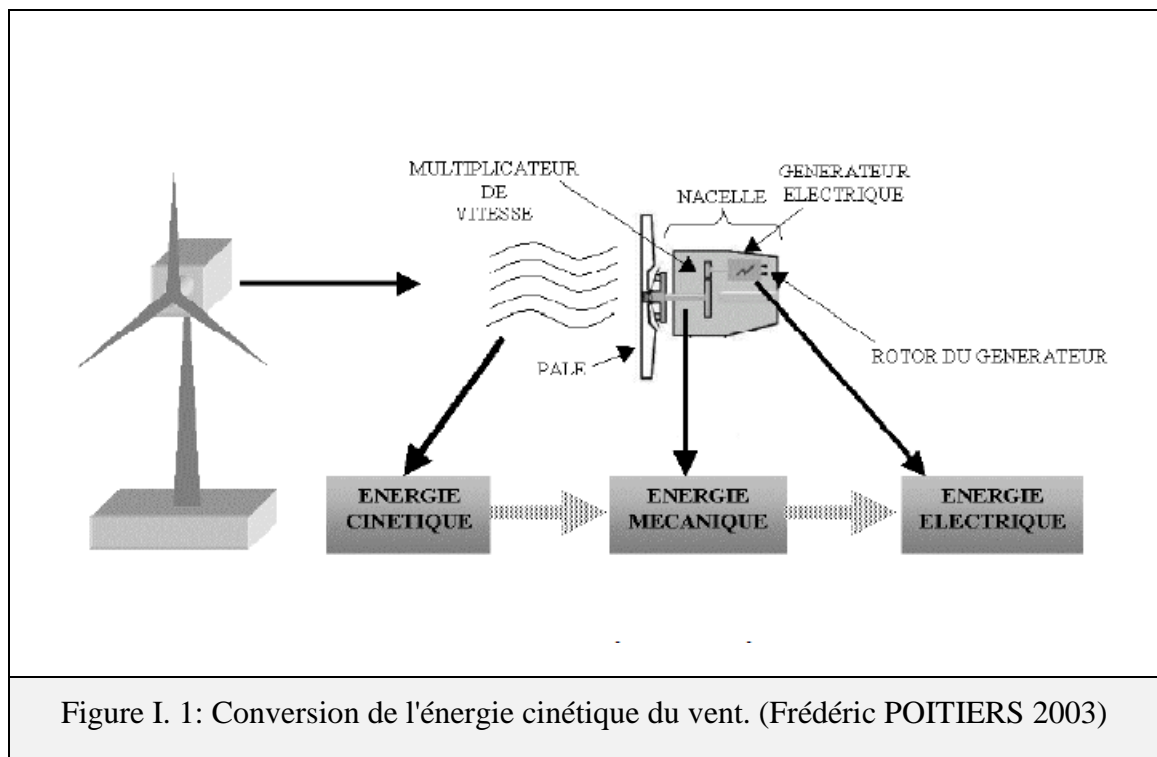
1. INTRODUCTION

Les ressources éoliennes provient du déplacement des masses d'air qui due indirectement à l'ensoleillement de la terre. Par le réchauffement de certaines zones de la planète et le refroidissement d'autres, une différence de pression est créée et les masses d'air sont en perpétuel déplacement. Cette énergie a connu depuis environ 30 ans un essor sans précédent qui est du notamment aux premiers chocs pétroliers. A l'échelle mondiale, l'énergie éolienne depuis une dizaine d'années maintient une croissance de 30 par as. (Mayouf Messaoud 2008)

Une éolienne est un dispositif qui transforme une partie de l'énergie cinétique de vent (fluide en mouvement) en énergie mécanique disponible sur un arbre de transmission puis en énergie électrique par l'intermédiaire d'un générateur. (Frédéric POITIERS 2003).

Les éoliennes produisant de l'électricité sont appelées aérogénérateurs.

(CHERFIA NAÏM 2010).



2. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UNE EOLIENNE

Une éolienne est constituée d'une partie tournante, le rotor, qui transforme l'énergie mécanique, en utilisant des profils aérodynamiques. Le flux d'air crée autour du profil une poussée qui entraîne le rotor et une traînée qui constitue une force parasite. La puissance mécanique est ensuite transformée soit en puissance hydraulique par une pompe, soit en puissance électrique par une génératrice

3. DIFFERENTS TYPES DES EOLIENNES

Il existe principalement deux types de turbines éoliennes:

3.1 Turbines à axe vertical

Elles présentent certains avantages : machineries au sol, pas besoin d'orientation en fonction de la direction du vent, construction souvent simple. Elles tournent à faible vitesse et sont de ce fait peu bruyantes. Elles présentent par contre des difficultés pour leur guidage mécanique, le palier bas devant supporter le poids de l'ensemble de la turbine.

Il existe principalement trois technologies de ce type d'éoliennes.

- Les turbines Darrieus classiques.
- Les turbines Darrieus à pales droites (type-H).
- Les turbines Savonius.



Turbine Darrieus



turbine Darrieus type H

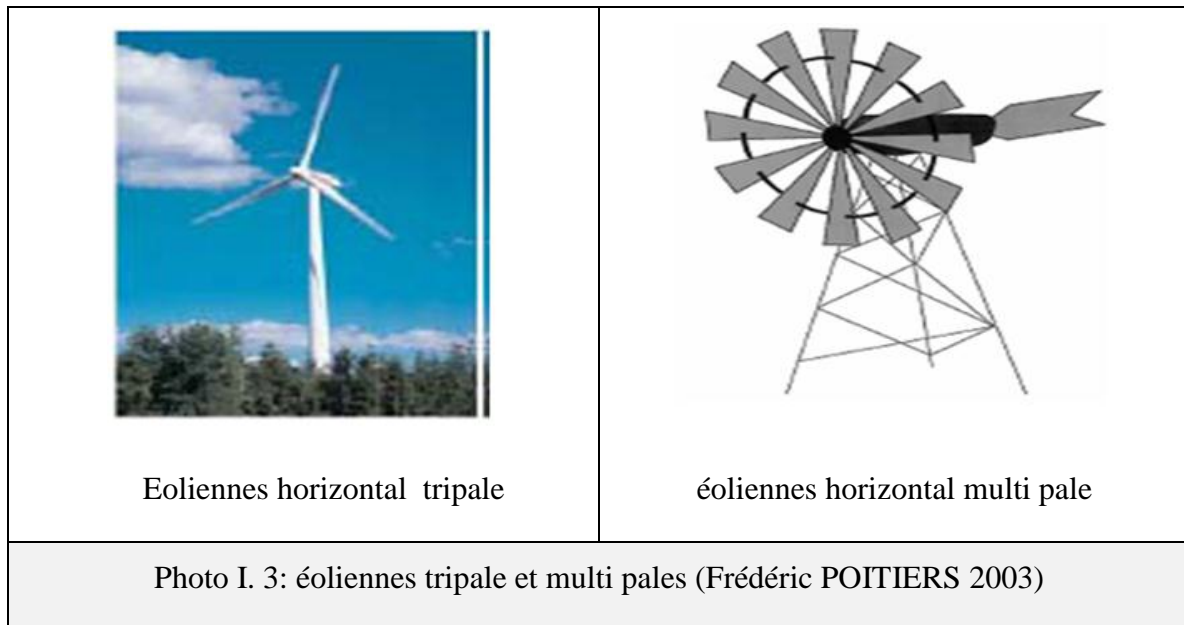
Photo I. 1: les éoliennes à axe vertical type Darrieus. (Frédéric POITIERS 2003)



Photo I.2 : les éoliennes à axe vertical type savnious. (CHERFIA NAÏM 2010)

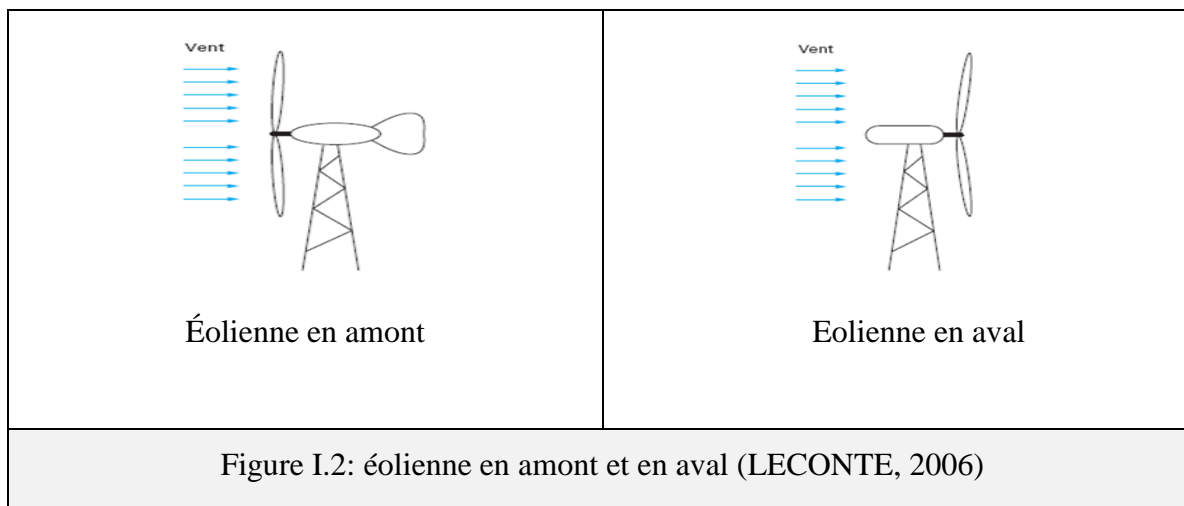
3.2 Turbines à axe horizontal

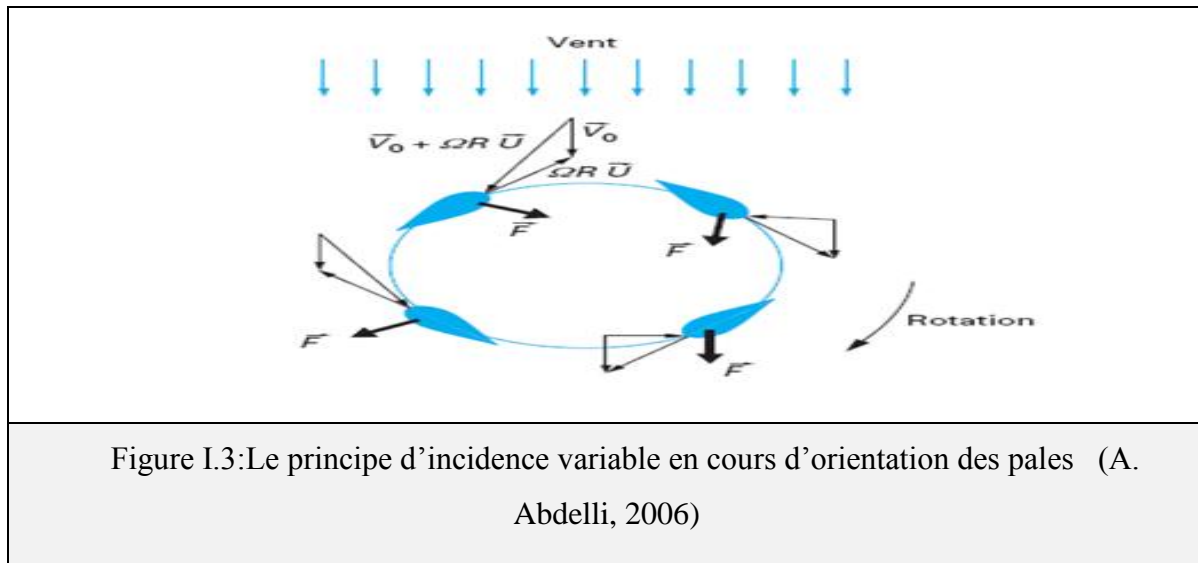
Pratiquement toutes les turbines éoliennes installées ou à installer prochainement sont de type tripale celles-ci sont plus stables car la charge aérodynamique est relativement uniforme et elles présentent le coefficient de puissance le plus élevé actuellement.



Suivant leur orientation en fonction de vent, les éoliennes à axe horizontal sont dites en amont (up-Wind) ou en aval (down-Wind) la figure montre les deux types mentionnés.

Les premières ont le rotor face au vent; puisque le flux d'air atteint le rotor sans obstacles le problème de (l'ombre de la tour) (tower shadow) est bien moindre. Néanmoins, un mécanisme d'orientation est essentiel pour maintenir en permanence le rotor face au vent. Les éoliennes à rotor en aval ne besoins pas ce mécanisme d'orientation mais le rotor est placé de l'autre côté de la tour : il peut donc y avoir une charge inégale sur les pales quand elles passent dans l'ombre de la tour. De ces deux types d'éoliennes, celles en amont est largement prédominante. (Bouhedda Ali 2011) .





\vec{V}_0 : vitesse axiale du vent en amont de l'éolienne

Ω : vitesse de rotation du vent des pales

R : rayon de la pale

\vec{U} : Vecteur unitaire tangentielle à la pale

4. PRINCIPAUX COMPOSANTS D'UNE EOLIENNE A AXE HORIZONTAL

Une éolienne à axe horizontal se compose des éléments suivants :

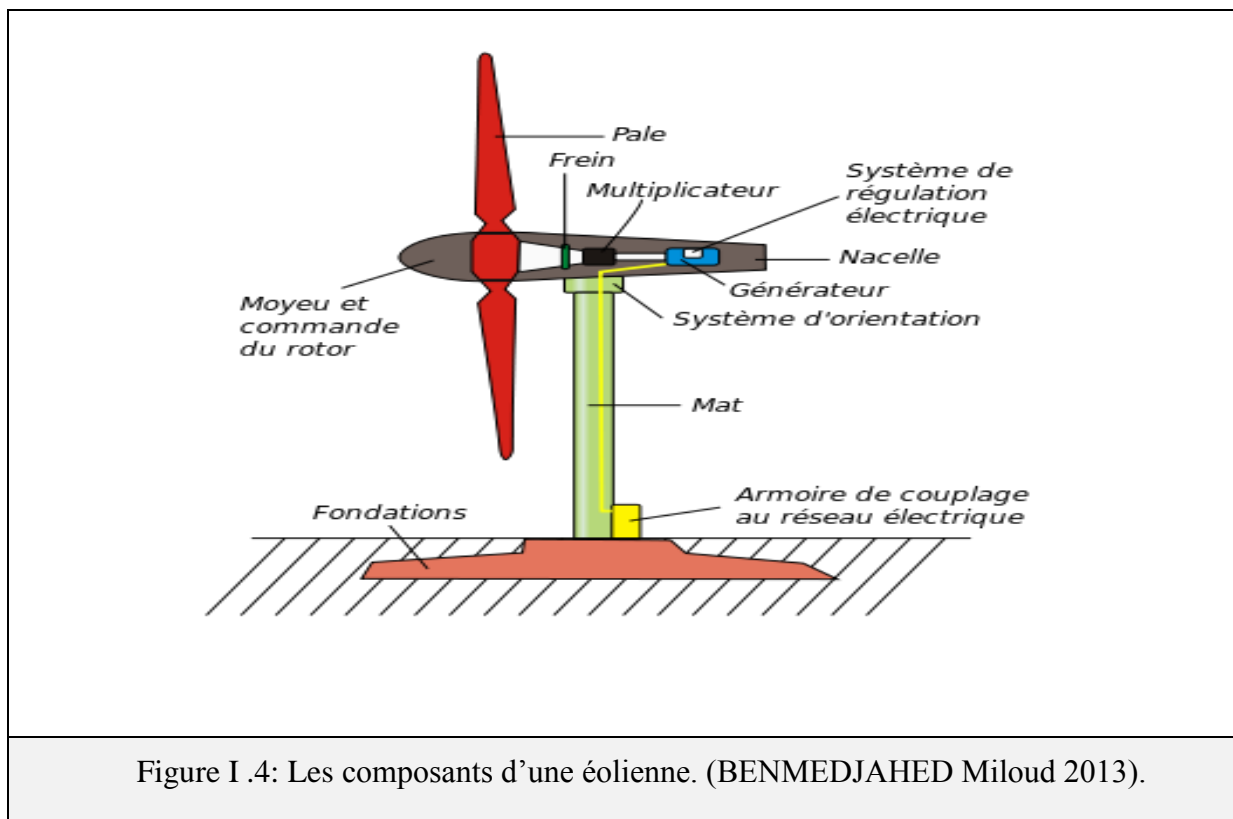
4.1. Rotor

C'est le capteur d'énergie qui transforme l'énergie de vent en énergie mécanique. le rotor est un ensemble constitué de pales et de l'arbre primaire, la liaison entre ces éléments étant assurée par le moyeu. Sur certaines machines, l'arbre primaire qui tourne à faible vitesse comporte un dispositif permet de faire passer des conduites hydrauliques entre la nacelle (repère fixe) et le moyeu (repère tournant).

Cette installation hydraulique est notamment utilisée pour la régulation du fonctionnement de la machine (pas des pales variables, freinage du rotor...).

4.2 Un mat (tour)

Son rôle est d'une part de supporter l'ensemble rotor, nacelle pour éviter que les pales ne touchent le sol, mais aussi de placer le rotor à une hauteur suffisante, de manière à sortir autant que possible le rotor du gradient de vent qui existe à proximité de sol, améliorant ainsi le captage de l'énergie. Certains constructeurs proposent ainsi différentes hauteurs de tour pour un même ensemble (rotor, nacelle) de manière à s'adapter au mieux aux différents sites d'implantation.



4.3 Nacelle

Son rôle est d' abriter l'installation de génération de l'énergie électrique ainsi que ses périphériques. Différentes configurations peuvent être rencontrées suivant le type de machine. La figure (I.4) présente une coupe d'une nacelle avec différents composants :

- ***Le multiplicateur de vitesse***

il sert à élever la vitesse de rotation entre l'arbre primaire et l'arbre secondaire qui entraîne la génératrice électrique. En effet la faible vitesse de rotation de l'éolienne ne permet pas de générer le courant électrique dans de bonnes conditions avec les générateurs de courants classiques.

- ***L'arbre secondaire***

Comporte généralement un frein mécanique qui permet d'immobiliser le rotor au cours des opérations de maintenance et d'éviter l'emballement de machine.

- ***La génératrice***

Différents types de génératrices peuvent être rencontrée.

- ***Un contrôleur électrique***

Chargé à surveiller le fonctionnement de l'éolienne il s'agit en fait un ordinateur qui peut gérer le démarrage de la machine lorsque la vitesse de vent est suffisante (de l'ordre de 5m/s) gérer le pas des pales, le freinage de la machine, l'orientation de l'ensemble rotor, nacelle face au vent de manière à maximiser la récupération d'énergie et réduire les efforts in stationnaires sur l'installation. Pour mener à bien ces différentes taches le contrôleur utilise les données fournies par un anémomètre (vitesse de vent), girouette (direction de vent) habituellement situé à l'arrière de nacelle. Enfin le contrôleur assure également la gestion des différentes pannes éventuelles pouvant survenir.

- **Les divers dispositifs de refroidissements**

(Génératrice, multiplicateur) par ventilateurs, radiateurs d'eau, ou d'huile.

- **Le dispositif d'orientation de la nacelle**

Il permet la rotation de la nacelle à l'extrémité supérieure de la tour, autour de l'axe vertical. L'orientation est généralement assurée par des moteurs électriques, par l'intermédiaire d'une couronne dentée. De nombreuses éoliennes comportent un système de blocage mécanique de la position de la nacelle suivant une orientation donnée ; cela évite de solliciter constamment les moteurs et permet aussi de bloquer l'éolienne durant les opérations de maintenance. (Mayouf Messaoud 2008)

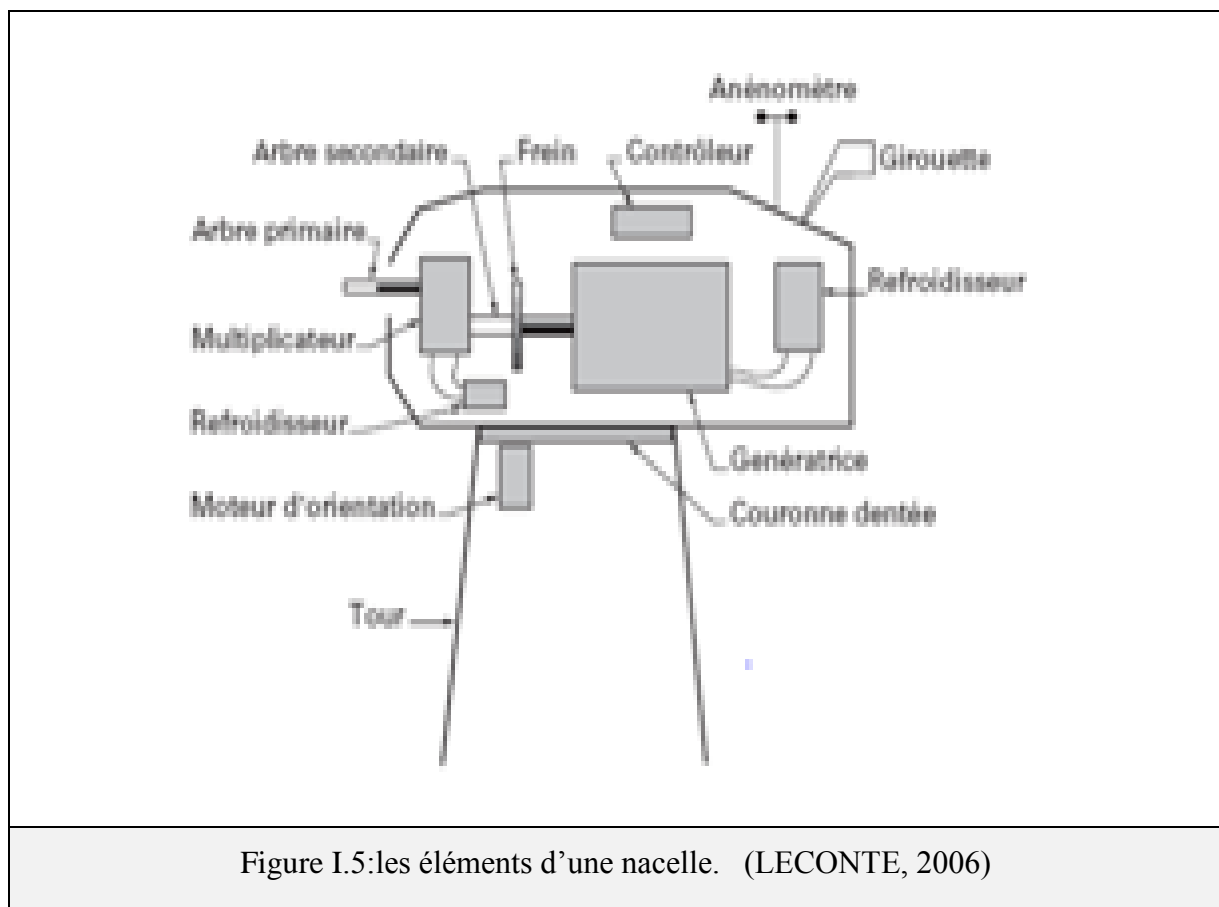
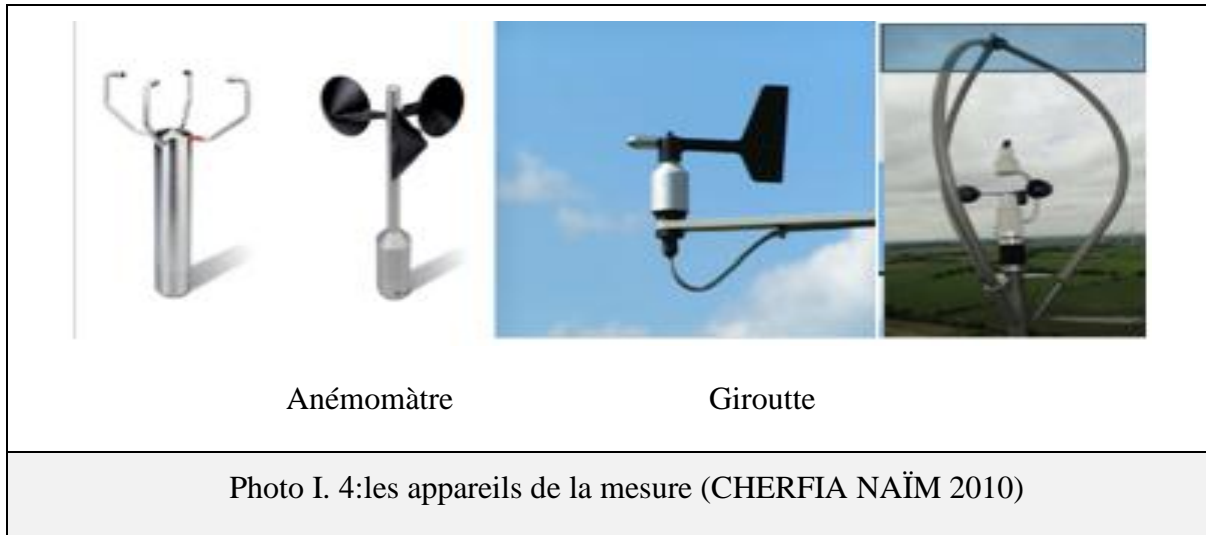


Figure I.5:les éléments d'une nacelle. (LECONTE, 2006)

5. LES OUTILS DE MESURES

- Anémomètre (vitesse du vent)
- Girouette (direction du vent)

En lien permanent avec le système de contrôle commande.



6. CONVERSION DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

6.1. Conversion de l'énergie cinétique en énergie mécanique

L'énergie cinétique d'une colonne d'air de longueur dx , de section s , de masse volumique ρ , animée d'une vitesse v , s'écrit :

$$E_c = \frac{1}{2}mv^2 \quad (I.1)$$

Et on a :

$$\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow m = \rho V \quad (I.2)$$

Encore :

$$V = s \cdot x \quad (I.3)$$

En remplaçant V par son expression dans (I.2) :

$$m = \rho s x \quad (I.4)$$

Que (I.1) et (I.4) :

Alors (I.1) devient :

$$E_c = \frac{1}{2} \rho s x v^2 \quad (I.5)$$

En dérive l'experssion (I.5) on obtien :

$$\frac{dE_c}{dx} = \frac{1}{2} \rho s v^2 \quad (I.6)$$

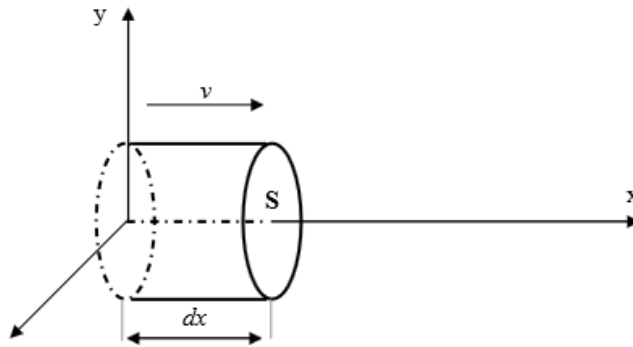


Figure I . 6: colonne d'air animée d'une vitesse v. (Benfadil, 2014)

La puissance p_m extraite du volume d'air en mouvement est la dérivée de l'énergie cinétique par rapport au temps en supposant $dx=vdt$, en déduit l'expression de p_m :

$$p_m = \frac{dE_c}{dt} = \frac{1}{2} \rho s \frac{dx}{dt} v^2 = \frac{1}{2} \rho s v^3 \quad (I.7)$$

ρ : masse volumique d'air (en kg/m^3).

v : vitesse instantanée du vent (en m/s).

E_c : en joule.

p_m : le puissance mecanique .

7. AERODYNAMIQUE DES AEROGENERATEURS A AXE HORIZONTAL

Le rotor d'un aerogenerateur est un convertiseur d'energie qui transforme l'energie cinetique de l'air mouvant en energie mecanique récupérable au niveau de l'arbre de rotor , puisque l'energie cinetique est un massese deplacant avec une certaine vitesse,l'extraction de l'energie mecanique signifiée que le vent est freinée .

Comme le volume est la masse sur la densité ,cei implique que le volume du vent affecté augmente. Par conséquent l'air sortant, a une prèssion statistique inferieure à la prèssion atmosphérique. L'air en aval donc possède une vitesse et pression réduites . l'air à partir duquel l'energie est extraite rt traversant le rotor forme une tube (forme de bouteille).

Le comportement aérodynamique des aérogenerateurs est décrit en tenant compte du débit massique qui doit etre identique partout dans le tube . quand l'énergie cinétique est extraite à partir du vent au niveau des pales ,la vitesse du vent est ralentit .

La masse d'air en mouvement traversant la surface S balayée par les pales en une seconde est :

$$m = \rho S v \quad (I.8)$$

Ou v est la vitesse d'ecoulement d'air .

Puisque le débit massique d'air , traversant le tube de courant , doit etre identique partout au long du tube, on a l'égalité suivante :

$$m = S_1 v_1 \rho = S_2 v_2 \rho = S v \rho$$

Le disque qui est formé par la surface balayée par les pales provoque une variation de vitesse qui doit être superposée à la vitesse du vent v_1 en amont de l'aérogénérateur. La composante induite de cette variation au niveau du disque actionneur est av_1 , ou a s'appelle facteur d'induction de l'écoulement axial ou facteur de l'écoulement d'entrée. Donc, au niveau du disque la vitesse nette est :

$$av_1 = v_1 - v_{ax} \quad \Rightarrow \quad v_{ax} = v_1(1 - a) \quad (\text{I.9})$$

Ou

v_1 : la vitesse de vent .

v_{ax} : la vitesse axial.

a : induction axial .

On a :

$$v_{ax} = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (\text{I.10})$$

De (I.9) et (I.10)

$$v_1(1 - a) = \frac{v_1 + v_2}{2}$$
$$2(v_1 - av_1) = v_1 + v_2$$

Donc :

$$v_2 = v_1(1 - 2a) \quad (\text{I.11})$$

7.1. Théorie du moment

L'air qui traverse le disque subit un changement globale de vitesse, de $v_1 - v_2$ et un taux de changement du moment égal au changement globale de la vitesse fois le débit massique de l'écoulement d'air. Pour avoir la force exercée par le rotor de l'éolienne sur le vent, appliquant l'équation de la quantité de mouvement au volume de contrôle.

$$T = m \frac{dv}{dt} = \dot{m} \Delta v = \rho S v (v_1 - v_2) \quad (\text{I.12})$$

T : forces de poussé en joule

m : masse d'air en kg

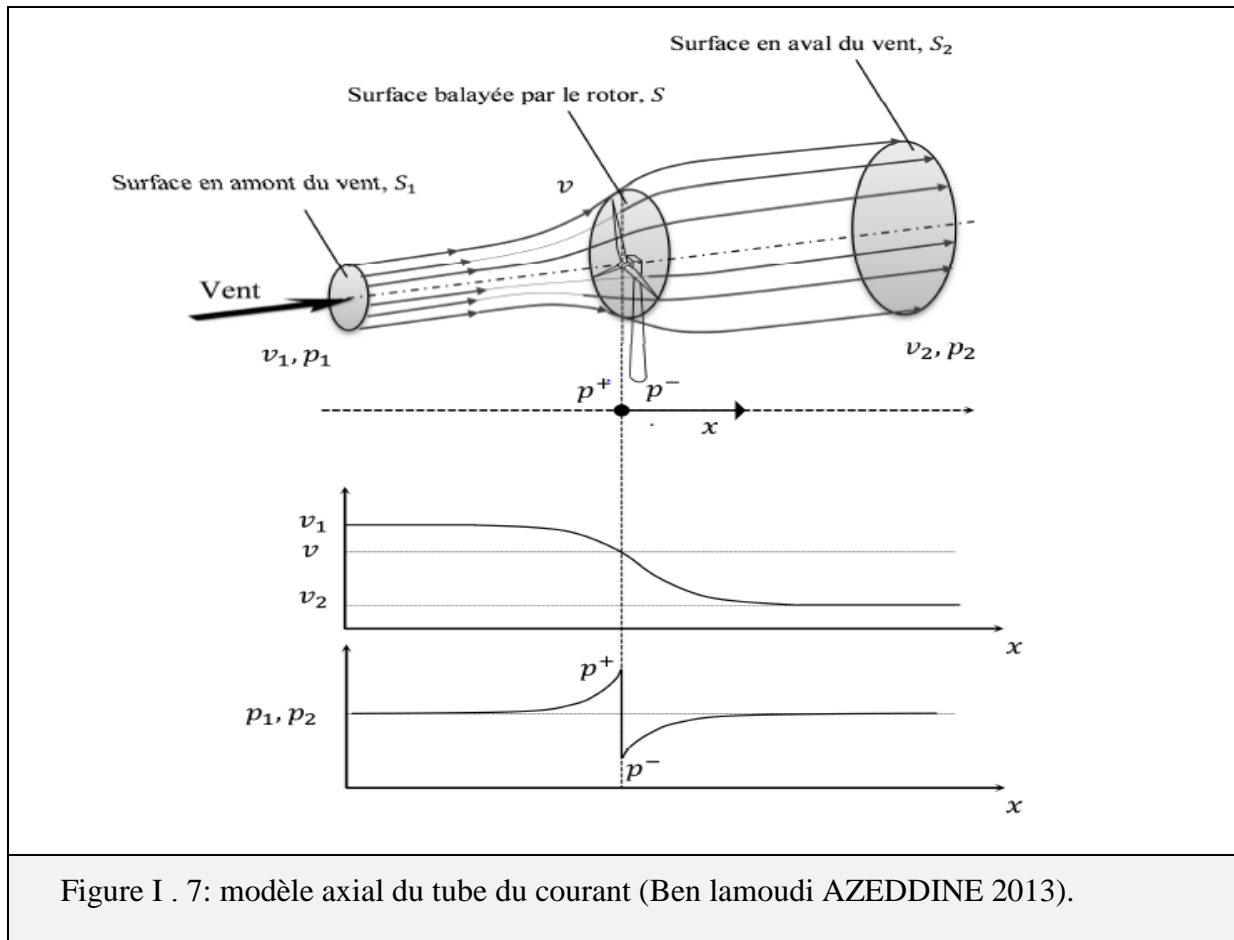
\dot{m} : débit massique l.s^{-1}

T est une force résultante provenant de force de différence de pression, on peut exprime T comme :

$$T = S(p^+ - p^-) = \rho S v (v_1 - v_2) = (v_1 - v_2) \rho S v_1 (1 - a) \quad (\text{I.13})$$

Pour avoir la différence de pression ($p^+ - p^-$), appliquant l'équation de Bernoulli séparément en amont et en aval du tube d'air ; les équation séparées sont nécessaire parce que , dans les conditions permanentes, toute l'énergie d'écoulement , comportant l'énergie cinétique , l'énergie de pression statique et l'énergie potentielle de la gravité , demure constante aucun travail n'est développé sur ou par le fluide.

L'écoulement est supposé parfait et stationnaire, on néglige le champ de pesanteur et on suppose le fluide incompressible, ainsi pour une unité de volume d'air on a :



8. LOI DE BETZ

Considérons le système éolienne à axe horizontal représenté sur la figure (I .8) sur lequel on a représenté la vitesse du vent V_1 en amont de l'aérogénérateur et la vitesse V_2 en aval.

En supposant que la vitesse du vent traversant le rotor est égale à la moyenne entre la vitesse du vent non perturbé à l'avant de l'éolienne V_1 et la vitesse de vent après le passage à travers le rotor V_2 :

$$V = v_{ax} = \frac{V_1 + V_2}{2}$$

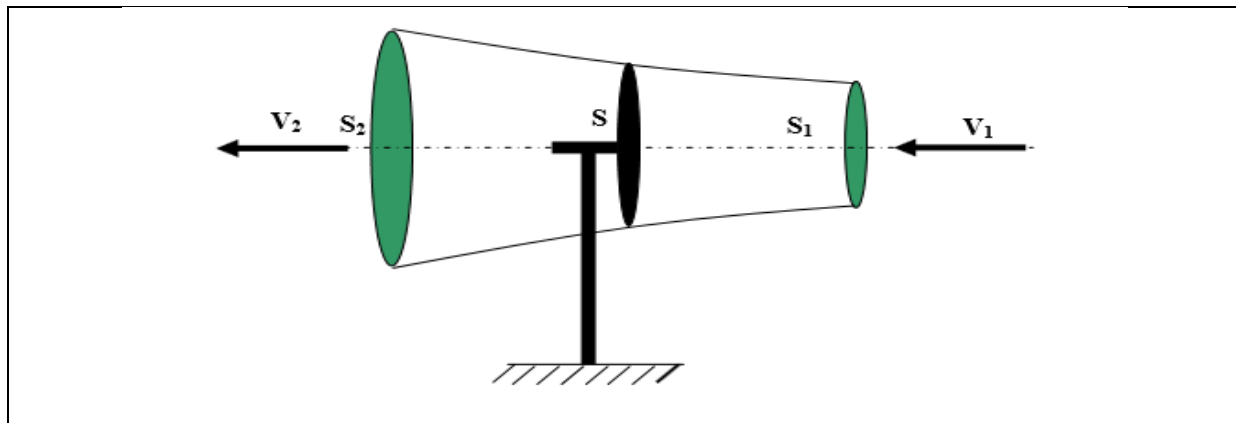


Figure I. 8: Tube de courant autour d'une éolienne. (Mayouf Messaoud. 2008)

La masse d'air en mouvement de densité ρ traversant la surface S des pales en une seconde est donnée par le produit de la densité d'air, la surface et la vitesse moyenne :

$$m = \frac{\rho s(V_1+V_2)}{2} \quad (\text{I.14})$$

La puissance p_m alors extraite s'exprime par la moitié du produit de la masse et de la diminution de la vitesse du vent (seconde loi de Neuton) :

$$p_m = \frac{m (V_1^2 - V_2^2)}{2} \quad (\text{I.15})$$

En remplaçant (I.8) dans (I.9) :

Donc :

$$p_m = \frac{\rho s (V_1+V_2)(V_1^2 - V_2^2)}{4} \quad (\text{I.16})$$

Un vent théoriquement non perturbé traversait cette même surface S sans diminution de vitesse, soit à la vitesse V_1 , puissance p_{mt} correspondante serait alors :

$$p_{mt} = \frac{\rho s V_1^3}{2} \quad (\text{I.17})$$

9. LE COEFFICIENT DE PUISSANCE C_P

Le coefficient de puissance c_p doit être défini par le rapport entre :

$$C_P = \frac{P_{act}}{P_{th}} \quad (\text{I.18})$$

Tel que :

P_{act} : la puissance actuelle (mécanique) .

P_{th} : la puissance théorique.

$$C_P = \frac{\frac{\rho s (V_1 + V_2)(V_1^2 - V_2^2)}{4}}{\frac{\rho s V_1^3}{2}}$$
$$C_P = \frac{\frac{1}{2}(V_1 + V_2)(V_1^2 - V_2^2)}{V_1^3} = \frac{\frac{1}{2}V_1^3 \left(1 + \frac{V_2}{V_1}\right) \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2\right)}{V_1^3}$$

$$C_P = \frac{1}{2} \left[\left(1 + \frac{V_2}{V_1}\right) \left(1 - \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2\right) \right] \quad \text{et on pose} \quad \frac{V_2}{V_1} = x$$

Alors C_P devient :

$$C_P = \frac{1}{2}(1+x)(1-x^2) \quad (I.19)$$

On dérive C_P par rapport à x on trouve ;

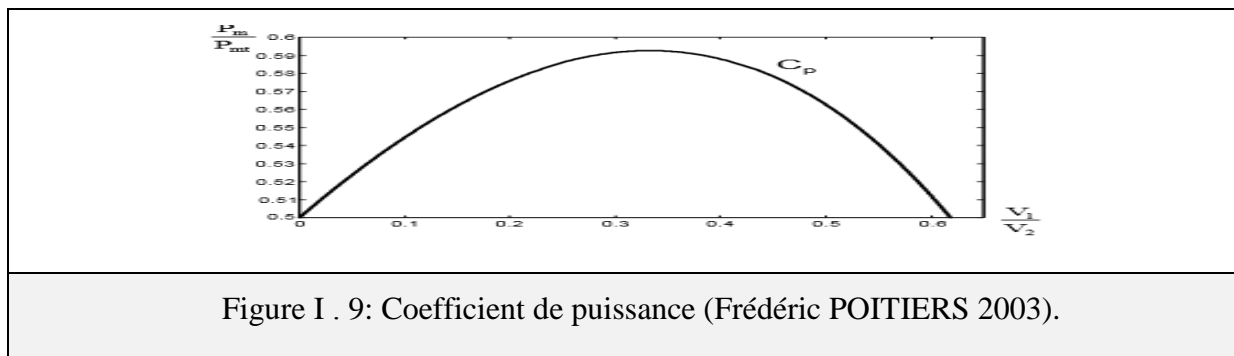
$$\frac{C_P}{dx} = \frac{1}{2}(1+x)[1-x-2x]$$

$$\frac{C_P}{dx} = 0 \Rightarrow \begin{cases} 1+x=0 \\ 1-3x=0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x=-1 \text{ reject} \\ x=\frac{1}{3} \end{cases} \Rightarrow \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{3}$$

$$x = \frac{V_2}{V_1} = \frac{1}{3} \Rightarrow V_2 = \frac{1}{3}V_1$$

Donc

$$C_P = \frac{\left(1+\frac{1}{3}\right)\left(1-\frac{1}{9}\right)}{2} = \frac{16}{27} \simeq 0.593 \quad (\text{C'est la limite de Betz}) \quad (I.20)$$



10. COEFFICIENT DE PUISSANCE DE DIFFERENTS ROTORS

La figure ci-dessous représente les différents coefficients de puissance suivant différents rotors.

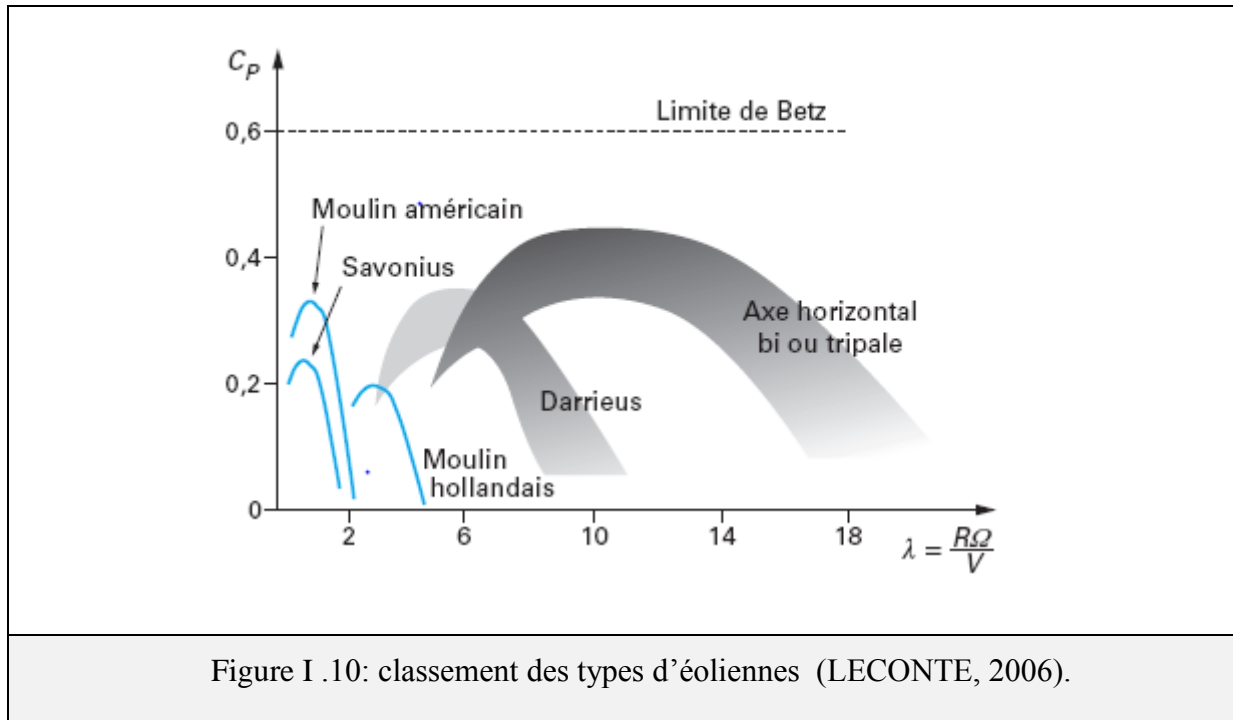


Figure I .10: classement des types d'éoliennes (LECONTE, 2006).

11. LA VITESSE SPECIFIQUE OU NOMINALE λ

On définit la vitesse spécifique ou nominale λ comme étant le rapport de la vitesse linéaire en bout de pales de la turbine $\Omega_t R_t$ sur la vitesse de vent V la figure (I.11) est donner par l'expression suivant :

$$\lambda = \frac{\Omega_t R_t}{V}$$

Ω_t : La vitesse de rotation avant le multiplicateur (rad/s).

R_t : Le rayon de la surface balayée par les pales (m).

V : la vitesse du vent (m/s).

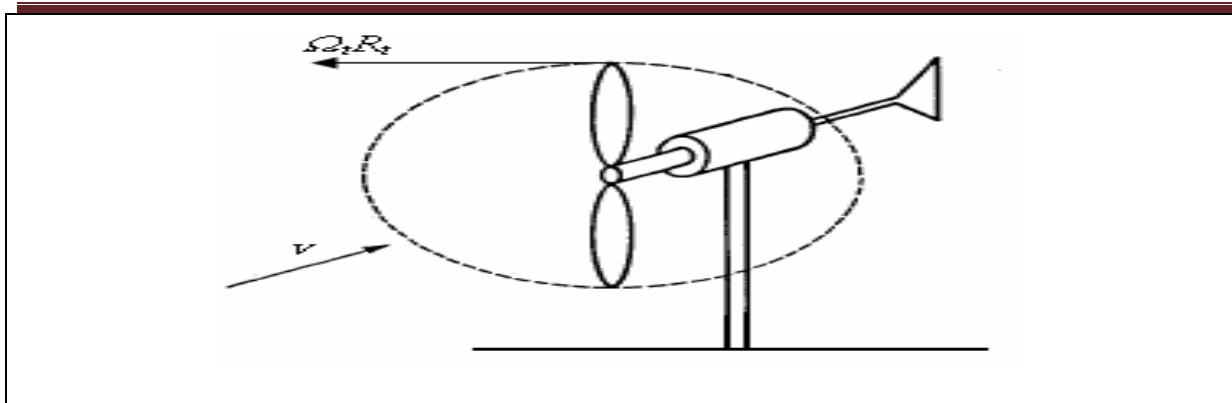


Figure I.11: La vitesse spécifique ou nominale λ (Mayouf Messaoud 2008)

12. LE COEFFICIENT DE COUPLE C_M

Le coefficient de couple C_m est assez proche de coefficient de puissance C_p il est fort utile afin d'estimer la valeur des couple pour différents points de fonctionnement, notamment à la vitesse de rotation Ω_t nulle, ce qui correspond à une valeur de C_p nulle pour une valeur de C_m non nulle.

En combinant les équations (17), (18), et (19) :

La puissance mécanique p_m disponible sur l'arbre d'une aérogénérateur peut s'exprimer par :

$$p_m = \frac{1}{2} C_p(\lambda) \rho S V_1^3 \quad (I.21)$$

Avec :

$$\lambda = \frac{\Omega_t R_t}{v}$$

D'où l'expression du couple de la turbine éolienne donnée par :

$$Q_t = \frac{p_m}{\Omega_t} = \frac{R_t p_m}{\lambda v} = \frac{C_p}{\lambda} \frac{1}{2} \rho R_t S v_1^2 \quad (I.22)$$

La valeur du coefficient du couple est déterminé par :

$$C_m = \frac{C_p}{\lambda} = \frac{Q_t}{\frac{1}{2}\rho R_t S_t V^2} \quad (I.23)$$

Où $V=V_1$

Avec : Q_t : couple de la turbine éolienne.

13. CARACTERISTIQUES DE LA PUISSANCE DE ROTOR

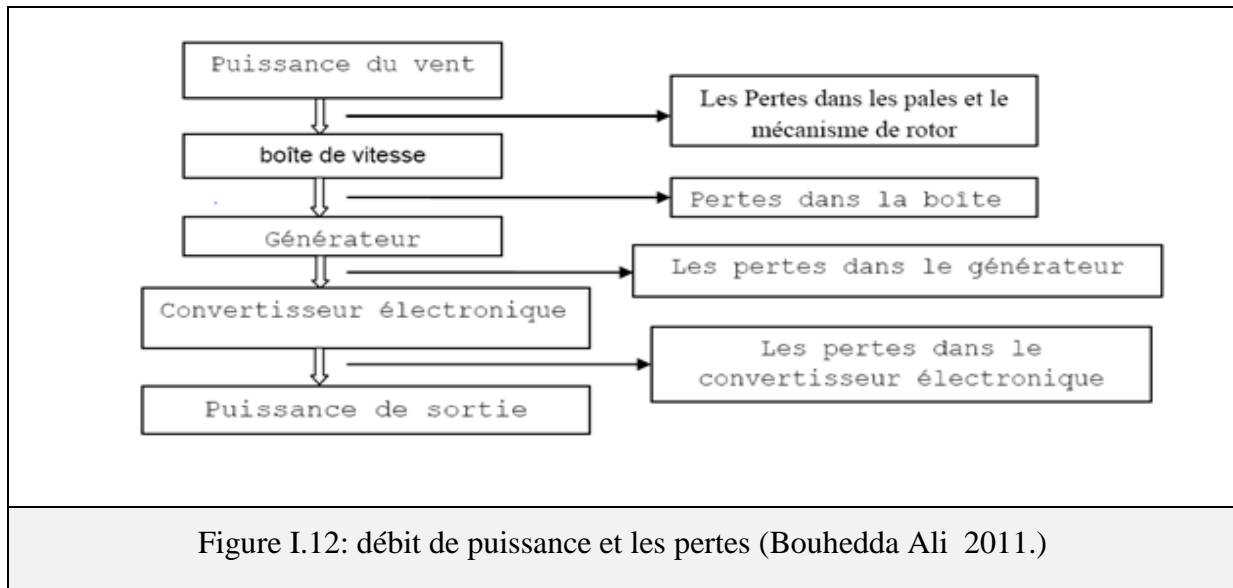


Figure I.12: débit de puissance et les pertes (Bouhedda Ali 2011.)

L'action de l'air en mouvement va se traduire par des forces appliquées en chaque point de la surface. Les pales ont un profil aérodynamique présenté sur le schéma de la figure (I . 13)

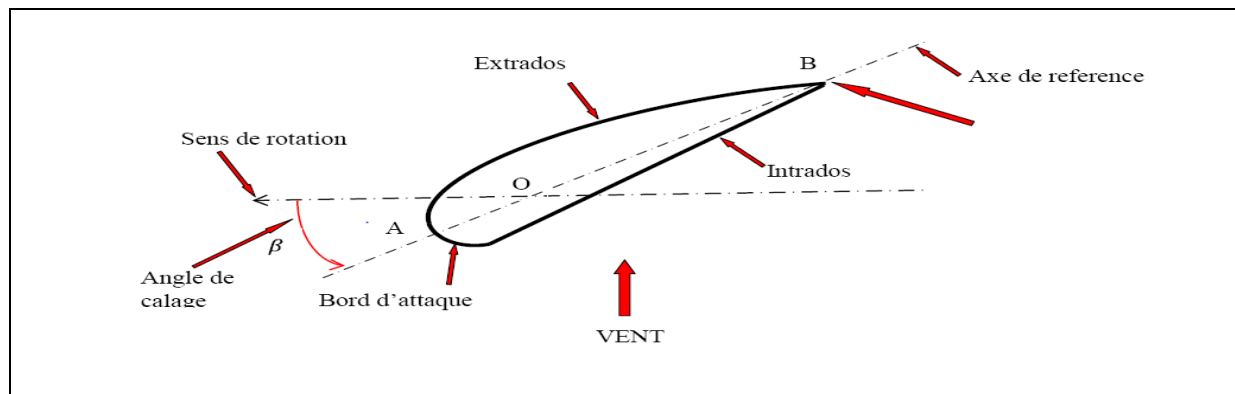


Figure I . 13: Action du vent sur une pale (Bouhedda Ali 2011.)

Les Éléments caractéristiques d'une pale

Extrados : dessus des pales .

Intrados :dessous des pales.

Les profils sont généralement de type plan-convexe (l'intrados est plan alors que l'extrados est convexe) ou alors biconvexe (l'intrados et l'extrados sont convexes). Ils sont normalisés et les paramètres sont bien définis.

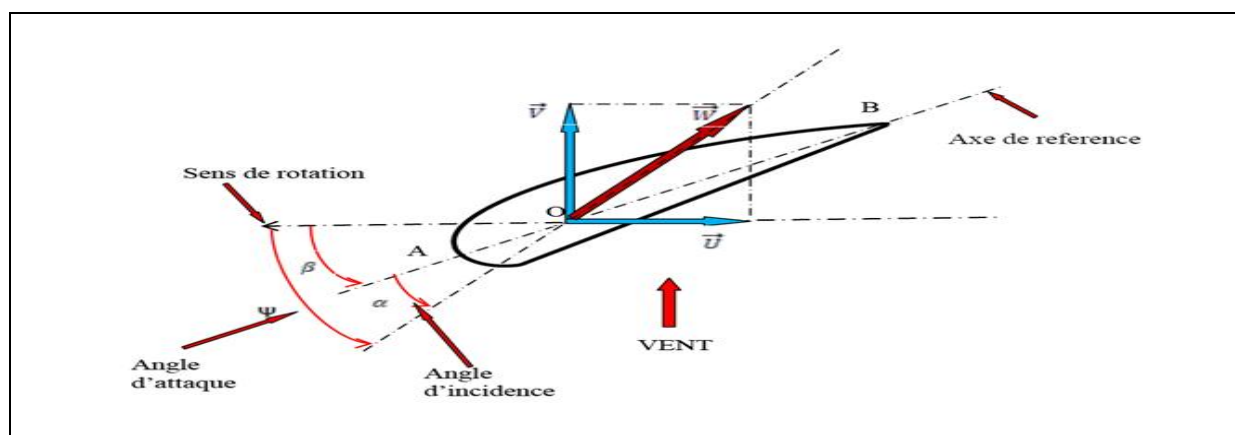


Figure I . 14: Mise en place des éléments géométriques selon la direction du vent sur une pale (Bouhedda Ali 2011).

La résultante du vent (apparent) \vec{W} :

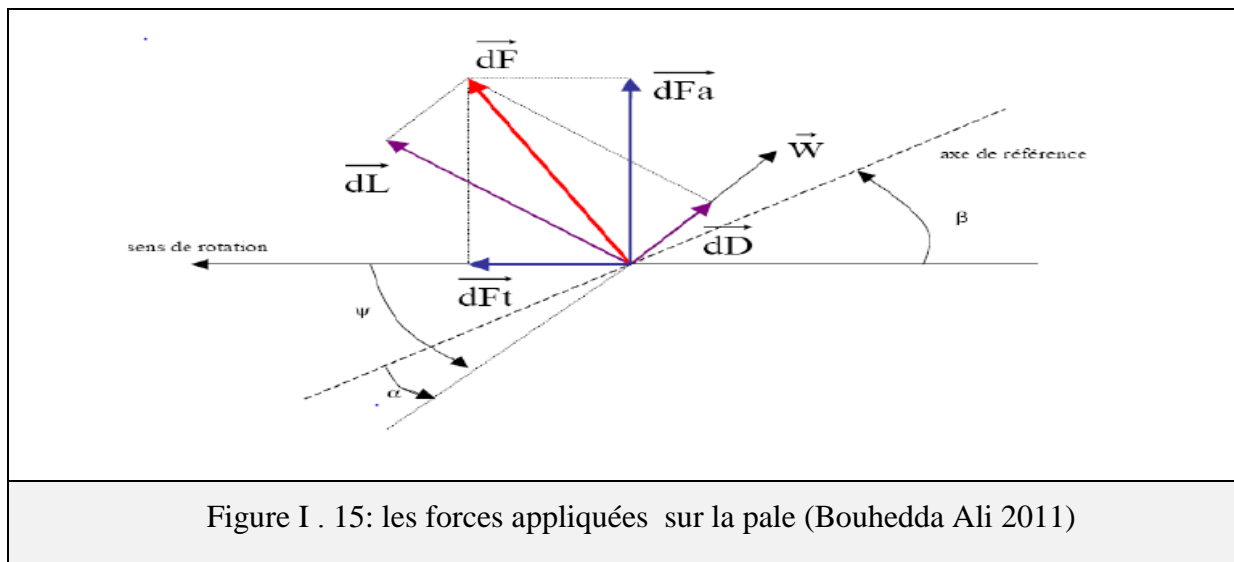
$$\vec{W} = \vec{V} + \vec{U} \quad (\text{I. 24})$$

La vitesse du vent apparent \vec{W} fait un angle d'attaque Ψ avec le plan de rotation. Cet angle s'écrit :

$$\Psi = \arctg\left(\frac{v}{u}\right) \quad (\text{I. 25})$$

α est l'angle d'incidence est situé entre l'axe de référence de la pale et la direction de vent apparent :

$$\alpha = \Psi - \beta \quad (\text{I. 26})$$



La force résultant \vec{dF} elle compose en deux forces :

- La force de portance \vec{dL} , normale à la direction du vent apparent.
- La force de trainée \vec{dD} , parallèle à la direction du vent .

D'autre manière :

- La poussée axiale \vec{dF}_a , perpendiculaire au plan de rotation.
- La poussée tangentielle \vec{dF}_t , dans la direction de rotation.

Les expressions de la poussée axiale et tangentielle en fonction de la portance et de la trainée sont :

$$\vec{dF}_t = dL \sin(\Psi) - dD \cos(\Psi) \quad (\text{I . 27})$$

$$\vec{dF}_a = dL \cos(\Psi) + dD \sin(\Psi) \quad (\text{I . 28})$$

Les modules des forces dL et dD sont :

$$dL = \frac{1}{2} \rho C_L w^2 C dr \quad (\text{I . 29})$$

$$dD = \frac{1}{2} \rho C_D w^2 C dr \quad (\text{I . 30})$$

Avec : $C dr = dA$

dL : le force de portance .

dD : le force de trainée .

C_L : le coefficient de portance

C_D : le coefficient de trainée.

C : la corde de pale .

w : le module du vent apparent.

Les coefficients C_L , C_d dépendant de α , β , Ψ et de type de profils.

14. LES MACHINES UTILISEES DANS LA CONVERSION DE L'ENERGIE EOLIENNE

Il existe plusieurs types de machines électriques qui peuvent jouer le rôle de génératrice dans un système aérogénérateur qui demande des caractéristiques très spécifiques. Le cahier des charges pour une génératrice éolienne varie selon le type et les dimensions géométriques de la voilure. (AZEDDINE, B 2013)

15. ETUDE SUR LA GENERATRICE ASYNCHRONE

La plupart des génératrice utilisées par les éoliennes sont des génératrices asynchrone triphasées . celles-ci ont plusieurs avantages : elles sont robustes, leur cout est faible et ont une simplicité mécanique. Par ailleurs, leurs inconvénients se trouvent au niveau de la consommation d'énergie réactive, qu'elle tirent soit du réseau , soit elles sont compensées par une batterie de condensateurs d'où la possibilité de fonctionnent autonome. (AZEDDINE, B2013)

15.1 Principe de fonctionnement

Pour que la machine fonctionne en génératrice, il faut que le rotor tourne dans le sens du champ tournant à une vitesse supérieur à la vitesse de synchronisme (vitesse du champ tournant) exprimée par l'équation suivante :

$$\Omega_s = \frac{60f}{P} \quad (I.31)$$

Avec :

Ω_s : vitesse de synchronisme.

f : La fréquence de champ tournant.

P : Nombre de pair de pole.

Le rotor développe ainsi son propre champ magnétique. Lorsque cette génératrice est connectée au réseau, il se met à tourner à une vitesse légèrement inférieure à la vitesse de rotation du champ magnétique dans le stator (fonctionnement de type « moteur »).

Si la vitesse de rotation du rotor devient égale (synchrone) à celle du champ magnétique, aucune induction n'apparaît dans le rotor, et donc aucune interaction avec le stator. Enfin, si la vitesse de rotation est légèrement supérieure à celle du champ magnétique du stator, il se développe alors en force électromagnétique similaire à celle obtenue avec un générateur synchrone.

La différence (adimensionnée) entre la vitesse de rotation de rotor et la vitesse de rotation du champ magnétique est appelée glissement, sa valeur ne dépassant pas en pratique quelque pour-cent. Pour une augmentation limitée de la vitesse de rotation de l'éolienne, le couple et donc la puissance fournie sont proportionnels au glissement.

Toutes fois, à partir d'une certaine vitesse de rotation, une diminution sensible du flux dans la génératrice se produit, ce qui nécessite plus de courant pour une même couple équivalent. Passée une valeur maximale de couple, une diminution du couple et donc de la puissance est observée figure (I.16). Il est dangereux que l'éolienne soit amenée à fonctionner dans cette zone, car d'une part la diminution du couple résistant pourrait entraîner une survitesse de la machine et d'autre part la dissipation de puissance dans la génératrice risquerait d'endommager certains éléments par surchauffe. Il faut souligner l'intérêt de ce type de fonctionnement de la génératrice asynchrone car il permet à l'éolienne de subir de faibles variations ponctuelles de la vitesse du vent (rafales) sans solliciter exagérément la transmission (multiplicateur notamment)

Dans ce cas, le glissement g de la machine définie par :

$$g = \frac{\Omega_s - \Omega_r}{\Omega_s} \quad (\text{I. 32})$$

Le glissement est négatif. (Cas génératrice)

Avec :

g : Glissement de la machine.

Ω_s : vitesse de synchronisme.

Ω_r : vitesse de rotation de rotor.

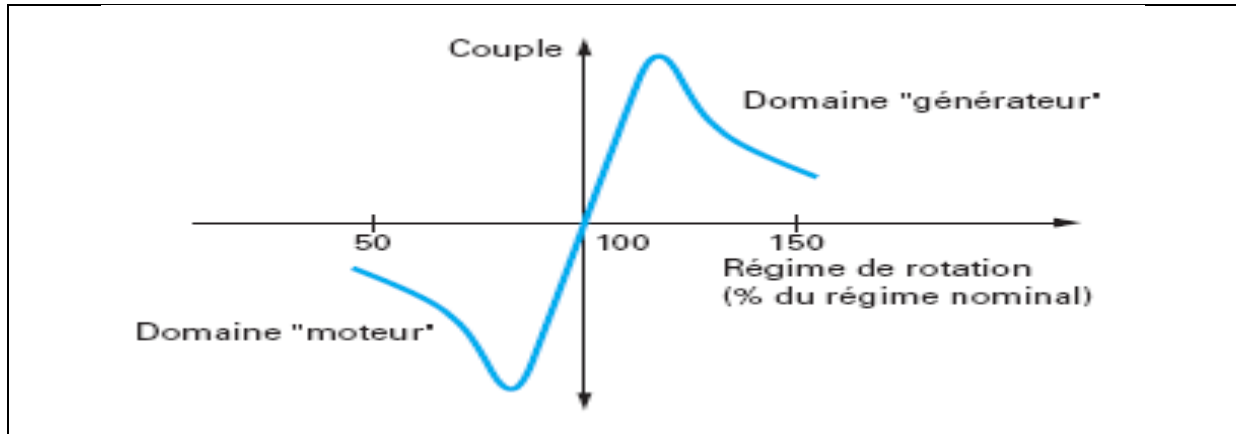


Figure I.16: glissement d'une génératrice asynchrone. (AZEDDINE, B. 2013)

16. CRITERES DE CHOIX DES SITES EOLIENS

Avant d'implantation une ou plusieurs éoliennes, l'observation du potentiel éolien, c'est-à-dire l'histoire des vents du site, depuis au moins une décennie, est fondamentale. De plus,

pour avoir une idée des variations durant l'année, une étude de la répartition du vent est réalisée sur place pendant cette période.

En général, un lieu en hauteur et éloigné des habitations est privilégié pour la mise en place de l'éolienne car son efficacité dépend grandement de son emplacement.

En effet, la puissance fournie augmente avec le cube de la vitesse de vent, et les sites seront d'abord choisis en fonction de la permanence de vents de force suffisante. Un site avec des vents d'environ 30Km/h en moyenne sera toujours bien meilleur (de l'ordre de 8 fois) qu'un autre site avec des vents de 15Km/h en moyenne.

Un autre critère important pour le choix du site est la constance de la vitesse et de la direction de vent, autrement dit la turbulence dû vent. En effet, en règle générale, les éoliennes sont utilisables quand la vitesse du vent est supérieure à une valeur comprise entre 10 et 20Km/h, sans toutefois atteindre des valeurs excessives qui conduiraient soit à la destruction de l'éolienne, soit à des coûts de construction et de maintenance prohibitifs. La vitesse du vent doit donc être comprise le plus souvent possible entre ces deux valeurs pour un fonctionnement optimal de l'éolienne. De même, l'axe de rotation de l'éolienne doit rester le plus clair du temps parallèle à la direction du vent. Même un système d'orientation de la nacelle performant, il est donc préférable d'avoir un vent le moins fluctuant possible dans sa direction pour obtenir un rendement optimal. (G.Solari, 2004)

16.1. Modèles d'ajustement de distribution des vitesses du vent

Les études de modélisation de la distribution des vitesses du vent ont été orientées associant puissance et exponentielle. Les modèles usuels étant :

- La distribution de Weibull ;
- La distribution hybride de Weibull ;
- La distribution de Rayleigh ;

16.2. Distribution de Weibull

La distribution de Weibull à été utilisée pour l'étude statistique des données mesurées au sol. La densité de probabilité et la fréquence cumulée de cette distribution est donnée par :

$$f(V) = \left(\frac{V}{A}\right) \left(\frac{V}{A}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{A}\right)^k\right) \quad (\text{I. 33})$$

Avec :

$f(V)$: La distribution en fréquences des vitesses mesurées.

K : facteur de forme sans dimension ($k>0$) qui caractérise la forme de distribution de fréquence.

A : facteur d'échelle (m/s) et $A>0$.

16.3. Distribution hybride de Weibull

La distribution hybride de Weibull, est utilisée lorsque la fréquence des vents calmes enregistrée, sur un site donné, est supérieure ou égale à 15%. En effet, cette proportion ne peut pas être négligées et doit être prise en compte lors de la caractérisation d'un site du point de vue éolien. Cette distribution s'écrit :

$$f(V) = (1 - ff_0) \left(\frac{V}{A}\right) \left(\frac{V}{A}\right)^{k-1} \exp\left(-\left(\frac{V}{A}\right)^k\right) \quad (\text{I. 34}) \quad \text{Pour } V>0$$

$$f(V) = ff_0 \quad \text{Pour } V=0$$

ff_0 : Fréquence de vents calmes.

16.4. Distribution de Rayleigh

La distribution de Rayleigh est un cas particulier de la distribution de Weibull pour le cas où le facteur de forme k égal à 2.

Sa densité probabilité est donnée par :

$$f(V) = 2 \frac{V}{A} \exp\left(-\left(\frac{V}{A}\right)^2\right) \quad (\text{I. 35})$$

L'utilisation de ces paramètres permet l'évaluation d'un nombre important de propriétés de la distribution, d'où une meilleure caractérisation des sites. (G.Solari, 2004)

17. LA ROSE DES VENTS

Une rose du vent est un peu comme un compas de navigation qui divise l'horizon en secteurs angulaires. Pour chaque secteur, sont présentés :

- La fréquence du vent, c'est à dire le pourcentage du temps durant lequel le vent souffle dans ce dernier
- La vitesse moyenne multiplié par la fréquence.
- La puissance disponible dans le vent.

La rose des vents joue un rôle très important dans la localisation de sites appropriés à l'installation d'éoliennes. Si une grande partie de l'énergie contenue dans le vent provient d'une direction particulière, il faut chercher à avoir aussi peu d'obstacles et un terrain aussi peu perturbé que possible dans cette direction

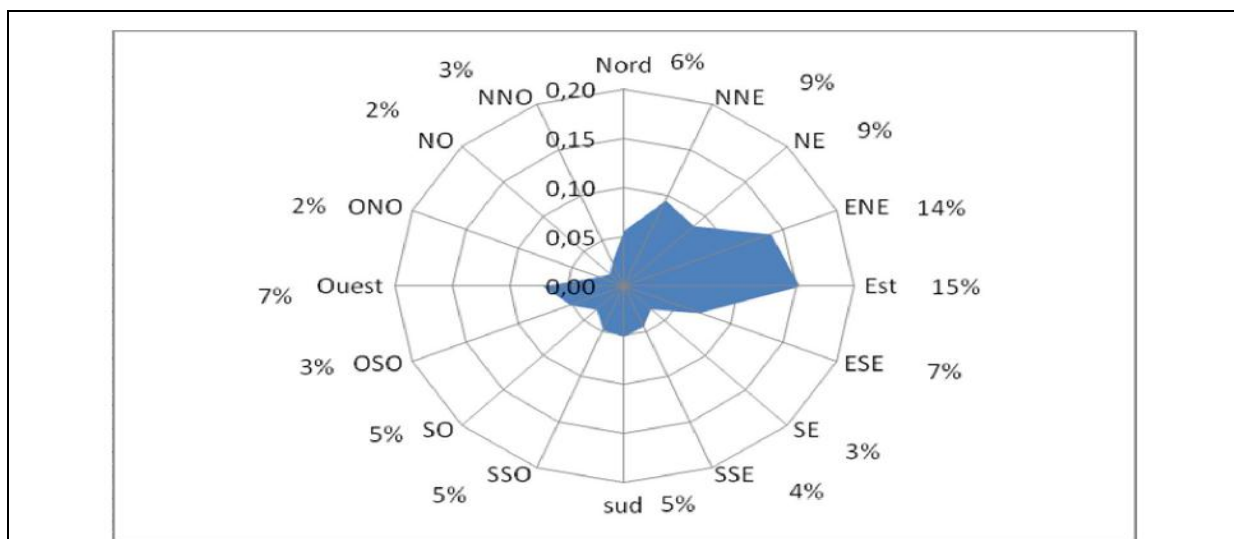


Figure I. 17: rose de vent pour le site d'Adrar. (G.Solari, 2004)

Les *secteurs prédominants* sont :

- Les secteurs Nord Nord Est(NNE) et Nord Est avec un pourcentage de 9% pour chaque direction.
- Les secteurs Ouest et Est Sud Est (ESE) compte 7% pour chaque secteur et 6% pour le secteur Nord.
- Le secteur Sud, Sud- Ouest et Sud Sud -Ouest (SSO) avec 5% des observations.

Les *secteurs dominant* sont :

- Les secteurs Est et Est Nord Est (ENE) compte respectivement 15% et 14%.

Les *faibles secteurs* sont :

- Le Sud Sud -Est (SSE) repasant 4% de vent et Sud Est, Ouest Sud-Ouest(OSO) et Nord.
- Nord-Ouest (NNO) avec un pourcentage de 3% pour chaque direction.

18. CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons présenté l'essentiel sur l'énergie éolienne à savoir les principales théories qui régissent l'interaction entre le vent et la turbine éolienne, ensuite la différence structures qui composent les chaînes de conversion éolienne existantes ainsi que les machines utilisés pour la conversion électromécanique.

L'énergie éolienne y a un bon rendement par rapport les autres énergies renouvelables, le bruit résulte par ces éoliennes causée a beaucoup des effets sur les milieux ce sera l'objet de chapitre suivant.

Chapitre II
L'étude des bruits sonores
générés par l'aérogénérateur

1. INTRODUCTION

Les projets éoliens doivent être réalisés de manière à prévenir les atteintes aux paysages, au patrimoine et à la qualité de vie des riverains. Dans cette perspective, l'étude d'impact constitue le seul moyen de fonder la décision. Elle facilite l'élaboration de projets prenant en compte les enjeux environnementaux et contribue au développement durable. (Miloud, Novembre 2013)

2. LE SON

Le son est une onde produite par la vibration mécanique d'un support fluide ou solide et propagée grâce à l'élasticité du milieu environnant sous forme d'ondes longitudinales à l'aide d'un émetteur sonore.. Par extension physiologique, le son désigne la sensation auditive à laquelle cette vibration est susceptible de donner naissance.(Merzouk, 2014)

2.1. Les ondes sonores

2.1.a Domaine de fréquences

Les ondes sonores sont émises par une source (voix humaine, instrument de musique, diapason) et mises en évidence par un récepteur tel que l'oreille humaine ou animale, un sonomètre. Elles sont caractérisées par leur fréquence. Elles se répartissent en 3 classes « spectre acoustique » :

Infrasons	Basses fréquences	Moyennes fréquences	Hautes fréquences	Ultrasons
< 20 HZ	20-200 Hz	200-2 000 Hz	2 000-20 000 Hz	> 20 000 Hz
	Sons audibles par l'humain			
	20 à 20 000 Hz			
	Fréquences de la parole			
	100 Hz à 6 000 Hz			

Tableau II. 1:les classes de spectre acoustique (EduClever, 2016)

- **Les infrasons** : ont une fréquence inférieure à 20 Hz. Ils sont audibles par certains animaux comme les éléphants qui leur permettent de communiquer.
- **Les sons** : audibles par l'oreille humaine sont compris entre 20 Hz et 20 000 Hz. Les sons de basse fréquence sont les sons graves, moyennes fréquence, et les sons aigus sont des sons de haute fréquence.
- **Les ultrasons** : ont des fréquences supérieures à 20 000 Hz. Ils sont audibles par les chauves-souris, les chats, les dauphins. (EduClever, 2016)

2.1. b. Mode de propagation

Une onde sonore se propage comme une vibration de proche en proche par compression puis dilatation du milieu matériel dans lequel elle se trouve. (Ce milieu est soit solide, liquide ou gazeux).(environnementale, Mars 2013)

Le son a donc besoin de matière pour se propager : il ne se propage pas dans le vide.

2.1. c. La vitesse de propagation

La vitesse de propagation est donnée par la relation suivante :

$$v = \frac{d}{\Delta t}$$

v : vitesse de propagation de l'onde (m/s)

d : distance parcourue par l'onde(r

Δt : durée de propagation de l'ond(environnementale, Mars 2013)

3. LE BRUIT

C'est un son indésirable (spectre audible « 20 Hz à 20000 Hz »), qui dérange ou crée des dommages aux récepteurs. Une émission sonore est composée de nombreuses fréquences(Hz) qui constituent son spectre.

La tendance pour les éoliennes futures est à l'augmentation de leur taille, ce qui va dans le sens d'un renforcement du contenu basse fréquence du spectre de bruit.(travail, 2008)

4. UNITES DE MESURE

4.1. Décibel (dB)

Le décibel est l'unité de mesure du niveau sonore. L'oreille humaine détecte les variations de pression allant de 2×10^{-5} à 100 pascals (Pa) environ. L'utilisation d'une échelle logarithmique, en décibel (dB), permet de réduire cette échelle étendue de pression acoustique. L'oreille répond aux stimuli sur un mode logarithmique et non sur un mode linéaire. Pour une même fréquence, plus une onde sonore a une grande amplitude, plus sa mesure en dB sera élevée. Une mesure exprimée en dB (ou dB(L)) équivaut à une mesure sans pondération.

En général, pour l'humain et à une fréquence de 1 000 Hz, les sons audibles se situent entre 0 dB (seuil d'audibilité moyen) et 130 dB (seuil de la douleur et au-delà). Une augmentation de 3 dB correspond à un doublement de l'intensité acoustique. Cependant, cela diffère de la perception auditive humaine puisqu'un son dont l'intensité augmente de 10 dB est perçu comme étant deux fois plus fort et vice-versa.

Le plus faible changement audible est de l'ordre de 1 dB. Généralement, un changement de 1 dB serait à peine perceptible par l'oreille humaine, une modification

de 3 dB est perceptible, un changement de 6 dB est net et une modification de 10 dB est flagrante. (travail, 2008)

4.1. Les types de Décibel (dB(A), dB(B), dB(C))

Afin de faire correspondre aux mieux les mesures, des courbes de pondérations ont été créées. Ces pondérations vont permettre de tenir compte approximativement de la variation de la sensibilité de l'oreille en fonction de la fréquence et de l'intensité.(Pietquin, 2008)

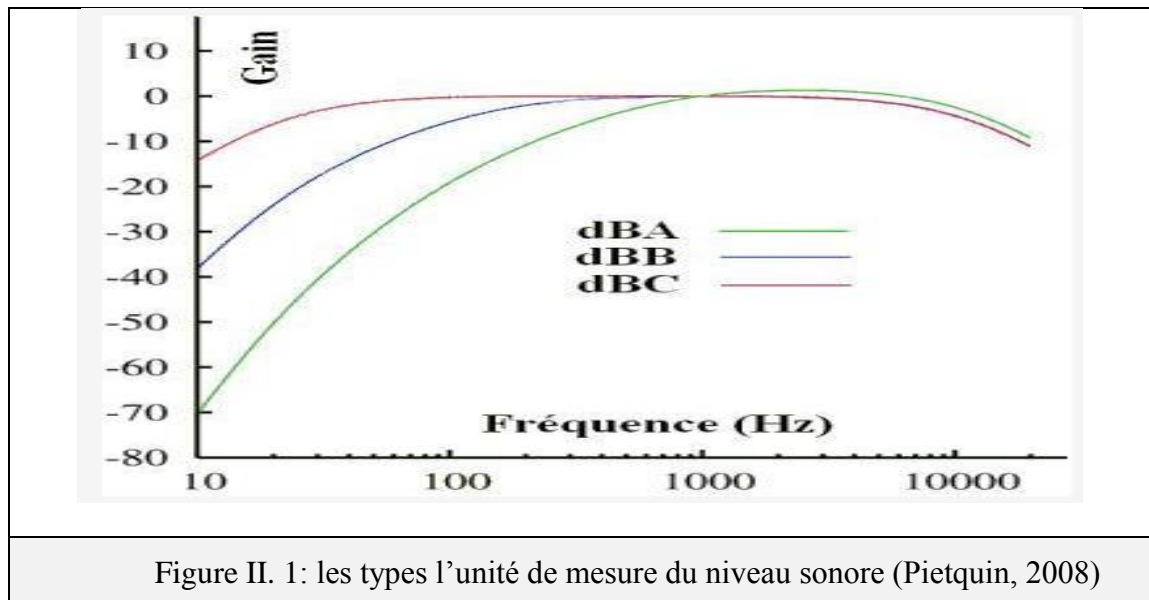


Figure II. 1: les types l'unité de mesure du niveau sonore (Pietquin, 2008)

- Pondération A dB(A) : pour des niveaux de 25 à 55 dB.
- Pondération B dB(B) : pour des niveaux de 55 à 85 dB.
- Pondération C dB(C) : pour des niveaux supérieurs à 85 à 55 dB.

(Pietquin, 2008)

5. NIVEAUX DE BRUIT

Les niveaux de bruit des machines évoluent en fonction de leur puissance électrique.

Chaque valeur de bruit correspond à la moyenne de plusieurs machines des constructeurs différents pour la même puissance électrique

Les données dont nous disposons sur les plus grosses machines, d'une puissance

Supérieure à 2,5 MW, sont des données estimées par le constructeur, non certifiées encore et peut être encore pénalisantes. Ceci peut expliquer l'importante augmentation apparente des niveaux sonores par comparaison aux machines de puissances électriques inférieures.

Si l'on regarde l'évolution entre 660 et 2500 kW nous constatons que l'augmentation des niveaux de bruit des machines est faible en comparaison de celle des puissances électriques.

Globalement, quelle que soit la vitesse du vent, nous constatons une augmentation moyenne de 4 dB (A) du bruit de la machine (ce qui correspond à un peu plus du doublement du bruit

émis) pour une multiplication par 4 de la puissance électrique de la machine.(Gonzague VUILLIER, ENERGIE EOLIENNE, Mars 2009)

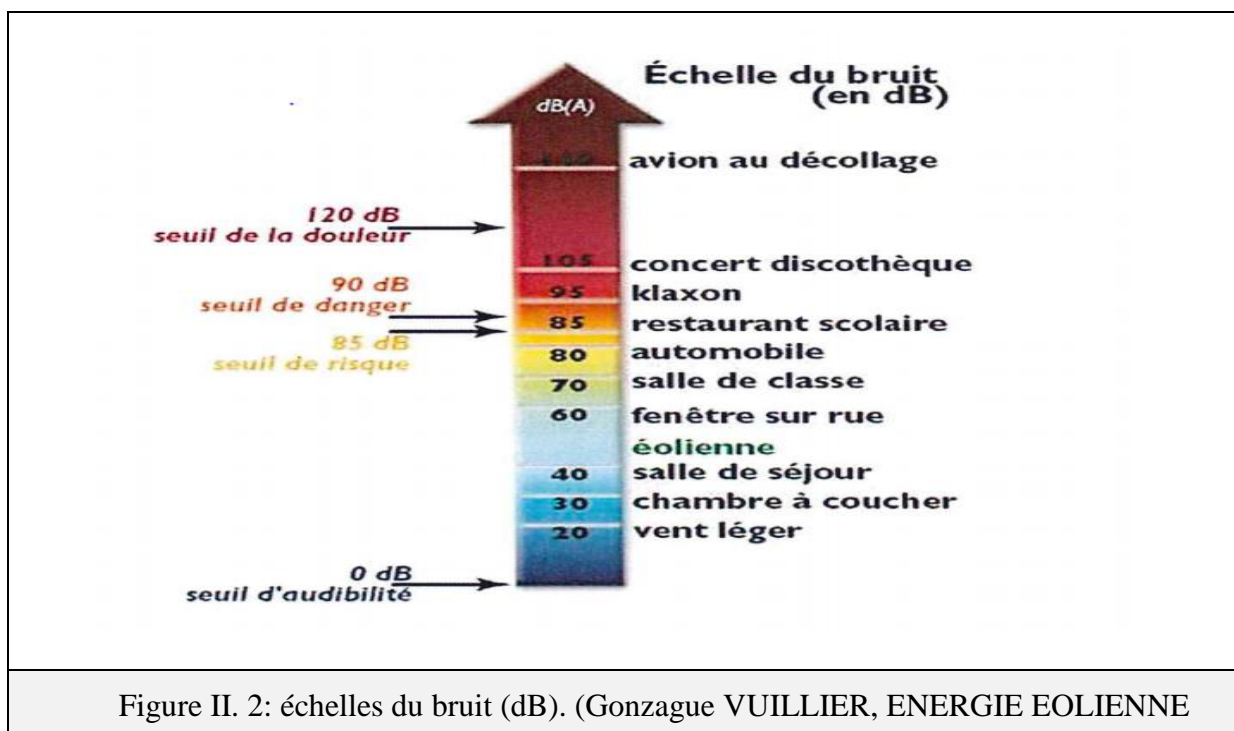


Figure II. 2: échelles du bruit (dB). (Gonzague VUILLIER, ENERGIE EOLIENNE

6. LES MECANISMES D'INFLUENCE SUR LA PROPAGATION DES ONDES SONORES

Les divers mécanismes assurant les connaissances requises du milieu de propagation sont donc :

- La divergence géométrique
- L'absorption atmosphérique
- L'effet de sol
- Topographie du sol

L'ensemble de ces facteurs possèdent plus ou moins d'impacts sur la propagation des

ondes acoustiques, variant avec la distance de la source du bruit au récepteur qui l'écoute et de toutes les caractéristiques qui peuvent évoluer avec le temps; comme la température, la pression ou les obstacles intempestifs.(ASSC, 2012)

6.1. La divergence géométrique

Plus précisément, ce phénomène représente la dispersion géométrique des ondes acoustiques dans l'espace. On sait que par nature le niveau de bruit va décroître avec la distance.

L'éolienne présente du bruit de façon aérodynamique engendré par le passage de l'air dans l'hélice et de façon mécanique, par la rotation de certains éléments et de diverses vibrations. On peut assimiler le niveau sonore venant d'une seule éolienne à une source de bruit ponctuelle localisée au centre du rotor qui émet dans toutes les directions de propagation de la même manière. La dispersion géométrique engendrera une atténuation d'environ 6 dB par doublement de la distance.

On peut observer à travers le schéma suivant l'atténuation par la divergence géométrique de l'onde sonore pour une éolienne classique :

(ASSC, 2012)

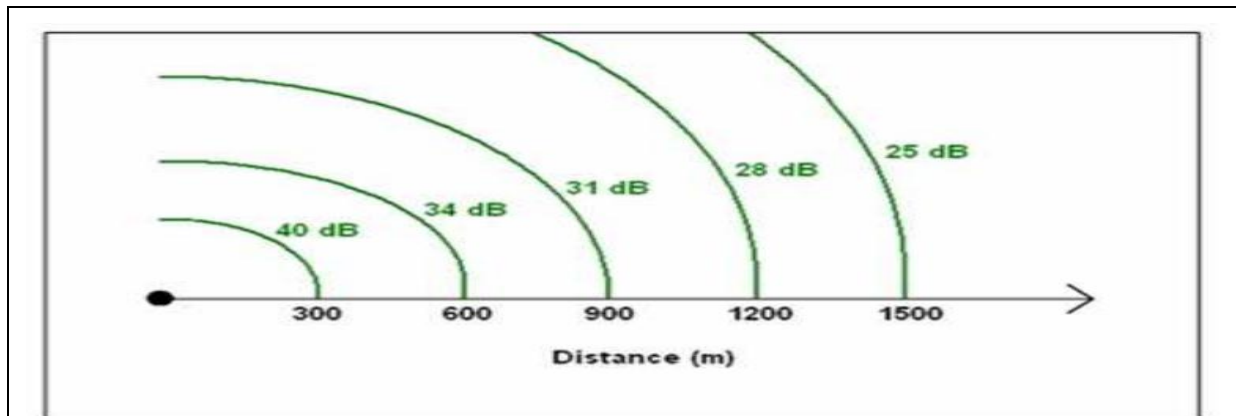


Figure II. 3: Niveau sonore en fonction de la distance parcourue par l'onde acoustique (ASSC, 2012)

On peut avoir un résultat plus précis si on le souhaite à l'aide de la formule de Zouboff qui permet le calcul d'un niveau sonore en un point précis connaissant certaines données.

Pour un point A de mesure sonore et de distance à la source connues, le niveau acoustique au point B connaissant sa distance à la source est défini par :

$$\text{Niveau sonore B} = \text{Niveau sonore A} - 23 \log (\text{distance source à B} / \text{distance source à A}) \quad (\text{II.1})$$

En revanche, on utilisera une formule légèrement différente si la distance entre A et B est inférieure à 50 mètres :

$$N_s B = N_s A - 20 \log (d_{SB} / d_{SA}) \quad (\text{ASSC, 2012}) \quad (\text{II.2})$$

6.2. L'absorption atmosphérique

L'absorption atmosphérique est un facteur influençant que l'on doit prendre en compte pour la propagation du bruit sur les grandes distances. La dissipation de l'énergie acoustique englobe plusieurs phénomènes d'atténuation atmosphérique:

- Absorption par les effets de viscosité du fluide.
- Absorption par diffusion thermique.
- Absorption engendrée par un processus de relaxation moléculaire.

Tous ces phénomènes varient en fonction de la température et de l'humidité de l'air.

La baisse de la température et de l'humidité entrainera une hausse de l'atténuation sonore. Toutes ces données sont réglementées et enregistrées dans des normes internationales comprenant des tableaux de valeurs les plus utiles aux études acoustiques. (ASSC, 2012)

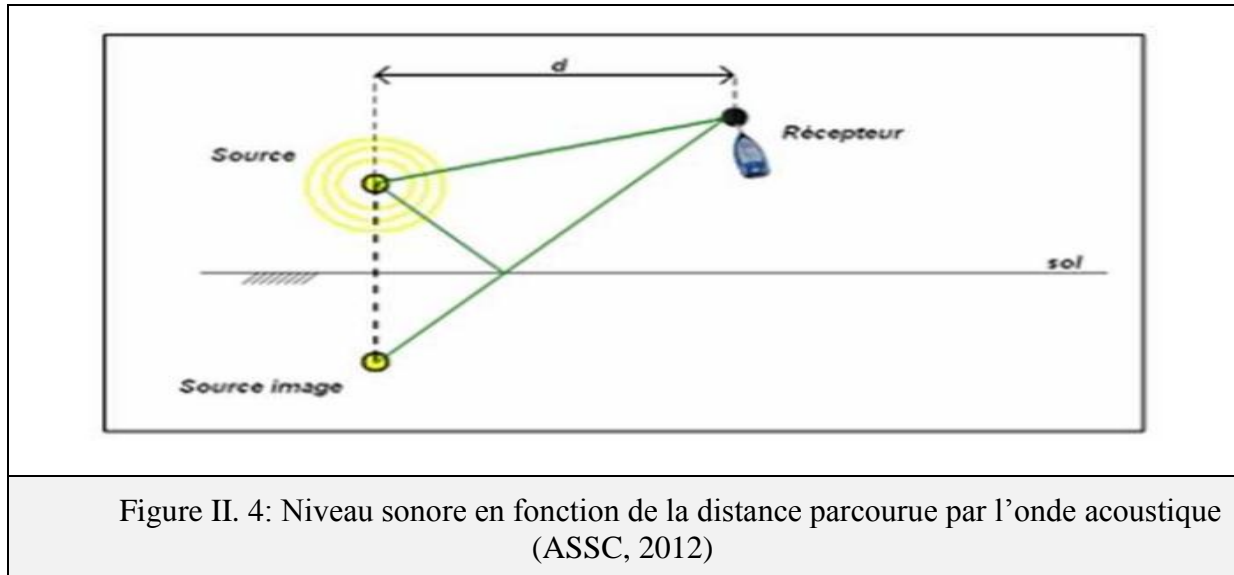
6.3. Effet du sol

6.3.1. la nature du sol

La nature du sol, selon les caractéristiques de sa composition, à une grande influence sur les ondes sonores. En effet, le sol permet d'atténuer l'onde sonore le long du champ de propagation selon deux paramètres principaux : l'angle d'incidence entre l'onde sonore et le sol ainsi que la fréquence de cette onde. Si l'onde est d'une manière générale sensiblement parallèle au sol et que la fréquence est haute (son aigus), alors l'atténuation sera importante.

En émettant l'hypothèse d'un sol et d'une atmosphère homogène, on obtient un schéma général réunissant trois ondes différentes :

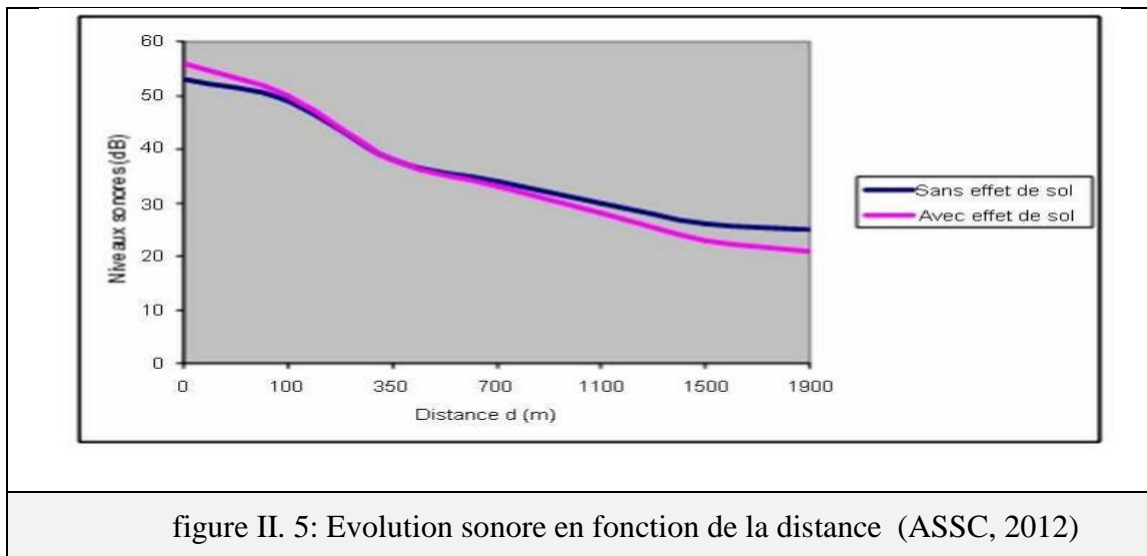
- Onde directe entre la source et le récepteur onde réfléchié sur le sol entre la source-image et le récepteur .
- Onde de surface (ASSC, 2012)



L'interférence entre les deux premières ondes mentionnées est responsable de

L'atténuation des niveaux sonores par le sol. Elle varie en fonction de plusieurs facteurs :

- Les propriétés du sol, si celui-ci est très absorbant l'atténuation sera forte
- Plus la hauteur de la source sonore s'éloigne du sol, plus l'atténuation diminue
- La variation du niveau sonore selon la distance d suit un modèle particulier représenté schématiquement ci-dessous (ASSC, 2012):



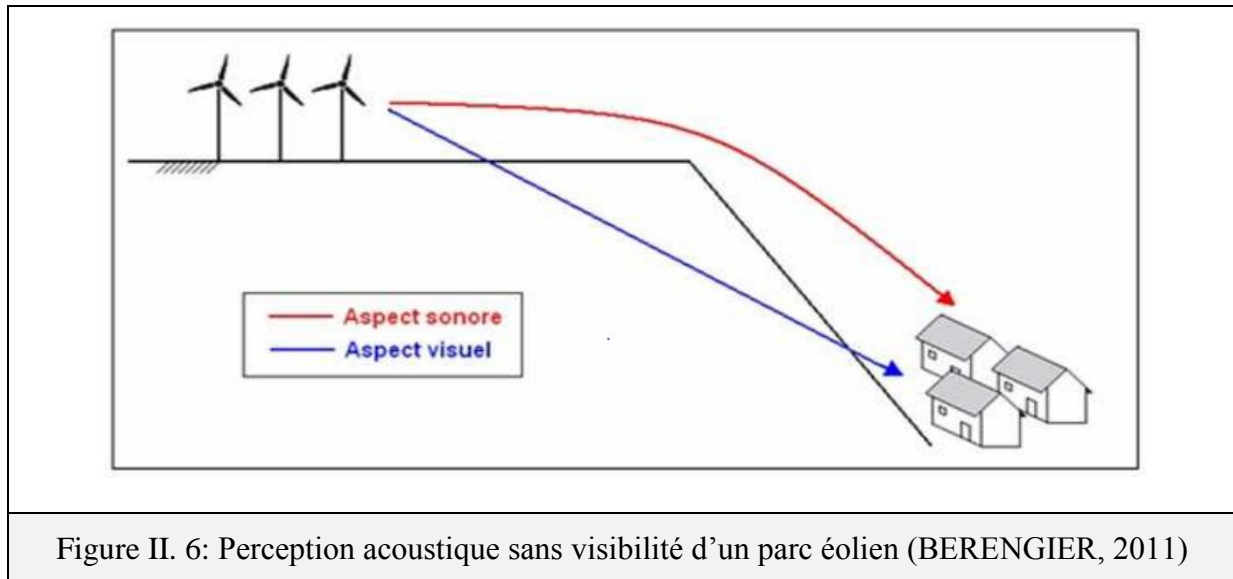
On peut voir à travers ce graphique que pour une distance inférieure à environ 100 mètres, les angles d'incidences des ondes sonores et les réflexions du sol sont importantes et entraînent une augmentation acoustique. L'éloignement réduira les angles d'incidences, par conséquent les réflexions du sol et donc l'atténuation par effet de sol augmentera. (ASSC, 2012)

6.3. 2. La topographie du sol

La topographie du sol influence grandement la propagation acoustique et sa prise en compte ne peut pas être négligée pour les grandes distances. En effet le relief provoquera des zones de diffraction par obstacles, c'est-à-dire que l'onde sonore sera diffusée autour de l'obstacle. On évoque ici une diminution allant jusqu'à une dizaine de décibels par une simple butte d'une hauteur conséquente.

On peut apercevoir sur le schéma suivant, pour un ensemble de conditions réunies tels que des facteurs météorologiques propices, la disposition d'un site éolien pour

percevoir les ondes sonores sans pour autant voir le parc éolien (BERENGIER, 2011).

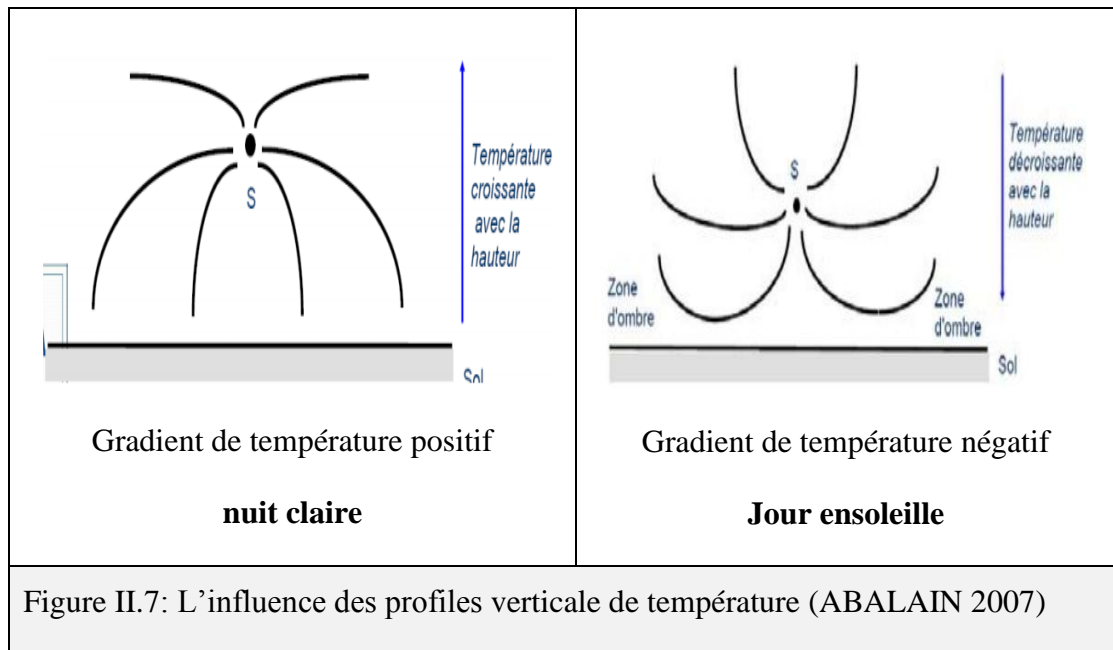


6.3. 3. Les effets météorologiques

6.3. 3.a. Gradient de température

Ainsi que pour la topographie du sol, les conditions météorologiques influence la propagation sonore pour des grandes distances. Ces effets ont pour résultat la modification des trajectoires des ondes sonores. En effet, la vitesse du son étant proportionnelle à la racine carrée de la température absolue, les trajectoires des ondes sonores changeront donc leur incurvation selon le signe du gradient de température.(BERENGIER, 2011)

L'influence du profile vertical de température qui va modifier la célérité du son et occasionner, au lieu d'une propagation du ligne droit, une courbure des rayons sonores.



6.3.3. b. Gradient de vent

Le vent possède lui des propriétés qui sont capables de modifier la propagation du son.

Le vent portant engendre une courbure des rayons des ondes sonores vers le sol tandis que le vent contraire provoque une courbure des rayons vers le ciel .

Comme pour la température, on peut noter des changements en fonction du temps. Il existe de manière générale moins de vent la nuit qu'au milieu de la journée. En revanche, la vitesse du vent reste relativement stable à partir d'une certaine hauteur. (BERENGIER, 2011)

On à :

Un gradient vertical de vitesse du vent entrainera une autre courbe des rayons sonores.

Un gradient de température positif ou un vent portant vers l'observateur incurvera les rayon sonores vers le sol et réciproquement

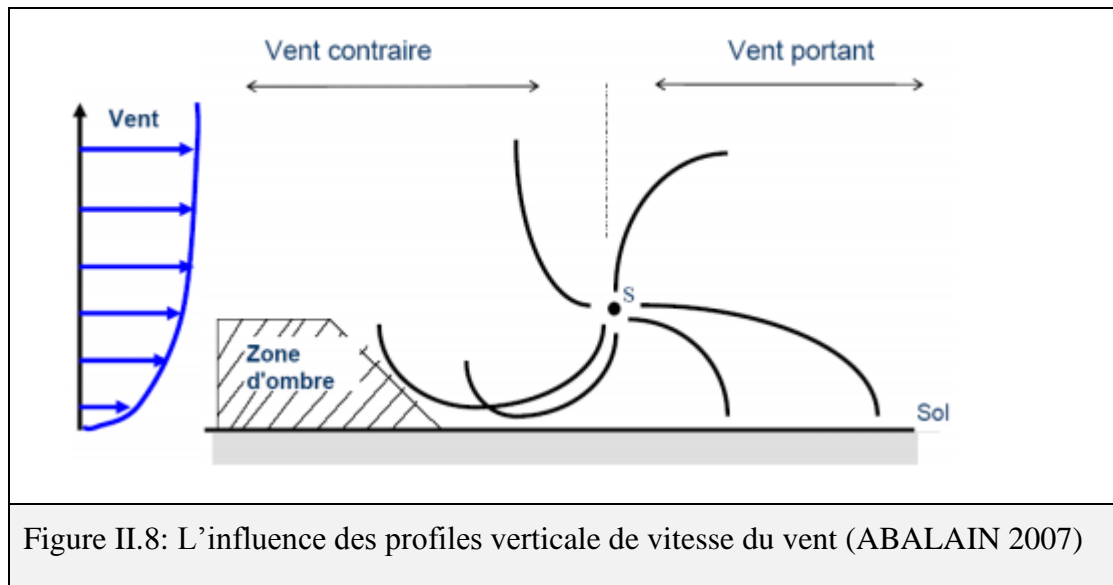


Figure II.8: L'influence des profils verticale de vitesse du vent (ABALAIN 2007)

6.3. 5. La turbulence

Les variations du gradient de température et du vent entraînent un phénomène appelé *turbulence atmosphérique* qui se décompose en deux parties : la turbulence thermique et cinétique. Les différences de température à différentes altitudes engendrent des ascendances thermiques, c'est le phénomène de turbulence thermique (BERENGIER, 2011)

7. LA PRESSION ACOUSTIQUE AU RECEPTEUR

Les principaux phénomènes entrant en jeu dans la propagation acoustique en milieu extérieur étant définis, il est maintenant possible d'écrire de façon analytique le niveau de pression (en dB) en un point récepteur sous la forme suivante :

$$L_P = L_W - Att_{div} - Att_{abs} - Att_{sol} - Att_{dif} - Att_{météo}$$

L_P : est le niveau de pression au récepteur,

L_W : est le niveau de puissance de la source ;

Att_{div} : est l'atténuation due à la divergence géométrique,

Att_{abs} : est l'atténuation due à l'absorption par l'air et les surfaces verticales,

Att_{sol} : est l'atténuation due à l'effet de sol,

Att_{dif} : est l'atténuation due à la diffraction par un obstacle,

$Att_{météo}$: est l'atténuation due aux effets météorologiques (il est à noter que dans certains cas, l'atténuation due aux effets météorologiques est déjà incluse dans Att_{sol} et Att_{div} , il ne faut alors pas considérer $Att_{météo}$

8. IMPACT SONORE

Le niveau sonore induit par un parc éolien dépend d'un nombre important de facteurs :

- intrinsèques à la source (puissance acoustique des éoliennes, taille du parc,...) ;
- liés à la configuration du terrain (topographie, nature du sol, géométrie éolienne-récepteur) ;
- liés aux conditions météorologiques ;
- liés au milieu environnant (zone rurale, zone industrielle, proximité d'axes routiers, présence de végétation...).

9. ORIGINES DES BRUITS SONORES

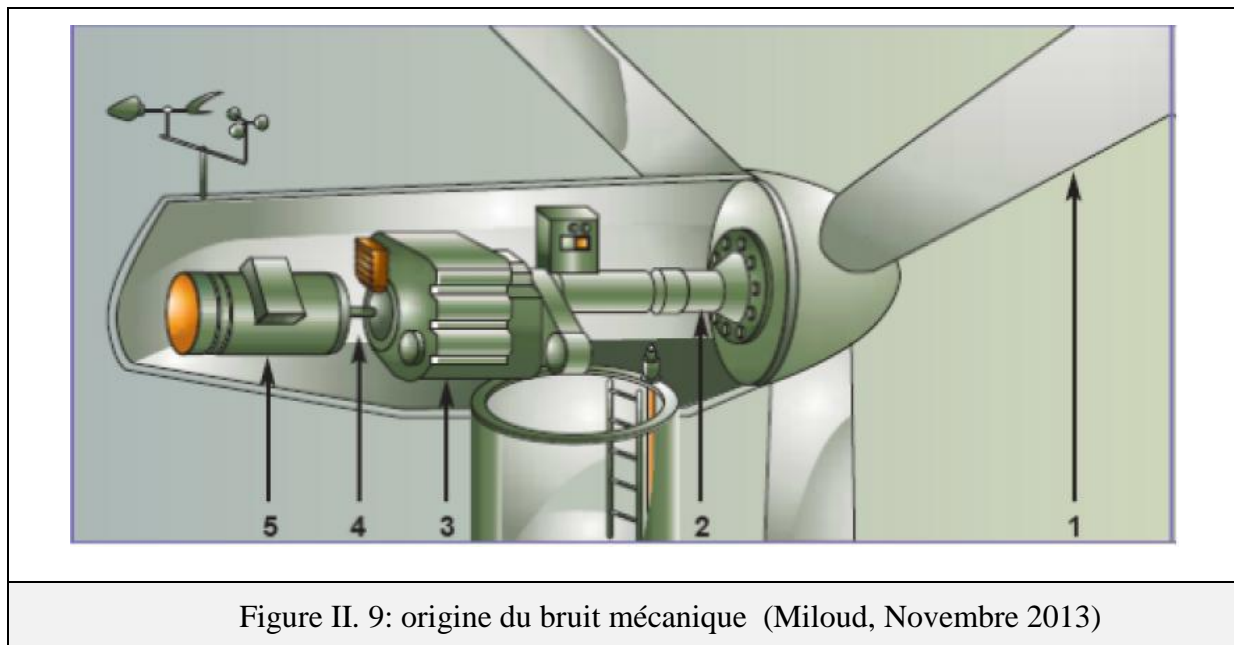
L'appréhension des niveaux sonores dus aux éoliennes va donc être orientée vers une prise en compte des émergences, comme c'est généralement le cas pour des bruits modérés.

Le bruit généré par une éolienne a deux origines : le bruit mécanique et le bruit aérodynamique. (Miloud, Novembre 2013)

9. 1. Bruits d'origine mécanique

Le bruit mécanique provient du fonctionnement de tous les composants présent dans la nacelle, les principaux émetteurs de bruit sont le multiplicateur de vitesse les arbres, la génératrice et les équipements auxiliaires. Le bruit émis est en large bande

mais contient également des tons purs en relation avec les parties tournantes. (Miloud, Novembre 2013)



1 : les pales.

2 : un premier arbre (lent).

3 : un multiplicateur. (Une sorte de boîte de vitesse).

4 : la vitesse d'un nouvel arbre.

5 : la génératrice.

9. 2. Bruits d'origine aérodynamique

Tout obstacle placé dans un écoulement d'air émet du bruit. La tonalité de ce bruit dépend de la forme et des dimensions de l'obstacle ainsi que de la vitesse de l'écoulement. Plus l'obstacle est vif, plus la tonalité est marquée L'écoulement d'air peut également faire vibrer les surfaces. Dans l'industrie automobile, les exemples sont multiples (rétroviseur, portière, toit, capot, ...)

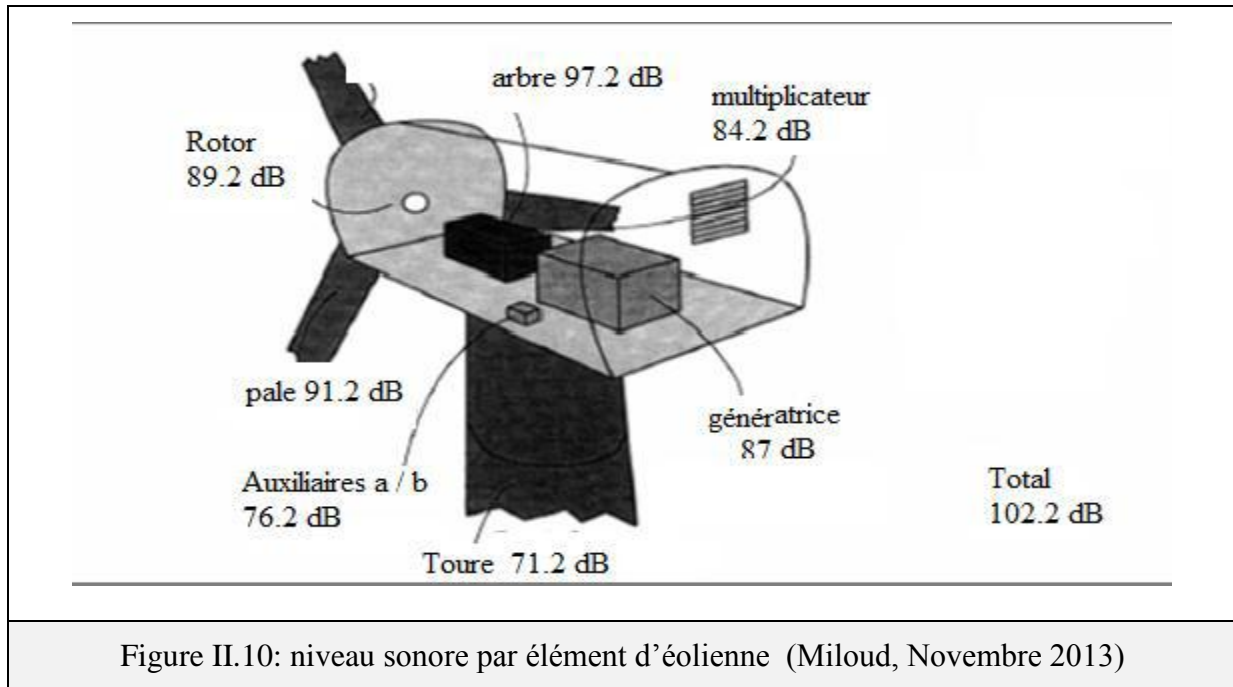
De nombreuses études ont été menées pour mettre en relation la vitesse de l'écoulement avec le bruit émis. Tous les autres paramètres restant égaux, la pression sonore augmentera avec la puissance cinquième de la vitesse de la pale par rapport à l'air ambiant.

C'est pourquoi la vitesse de rotation des éoliennes modernes, avec de grands diamètres de rotor, est très lente.

Tous ces bruits aérodynamiques sont dus à la présence de turbulences ou tourbillons dont les origines sont multiples :

- Présence de salissures ou imperfections sur le profil de la pale (trous, aspérités, fissures, ...) ;
- Turbulences liées au passage de l'air sur le côté intrados et extrados de la pale qui se rejoint pour créer des turbulences sur le bord de fuite ;
- Tourbillons en bout de pale dus aux surpressions /dépressions présentes dans cette zone.

Au niveau de la turbine de l'éolienne, le bruit n'est pas de 45 dB mais de 102 dB de puissance (voir Figure I- 10 et tableau I-2) à la source, le niveau de puissance sonore total d'une éolienne est de l'ordre de 102dB.(Miloud, Novembre 2013)



10. CONCLUSION

Les premières générations d'éoliennes avaient un bruit relativement important. Les plus récentes ont bénéficié de nombreuses améliorations, ce qui a permis de réduire leurs émissions sonores. Des recherches pour la conception d'éoliennes moins bruyantes se poursuivent. Le bruit des éoliennes repose sur une problématique de propagation acoustique à Grande distance.

Chapitre III

Résultats et discussion

1. INTRODUCTION

Pour bien préciser la notion de bruit éolien il doit respecter une méthodologie qui construise par l'analyse de ces bruits.

2. METHODOLOGIE

Dans notre étude. On va essayer de faire des étapes pour réaliser notre objectif

- Tout d'abord, *réaliser le montage suivant* pour dresser un état des lieux, un constat de la « *situation actuelle* » pour disposer une « *photo* », d'une évaluation précise de l'ambiance sonore qui règne actuellement autour du site.
- Ensuite, faire des mesures périodiques de bruit générées par l'hélice et enregistrer comme des fichiers sons à l'aide de banc d'essai illustré sur la figure (III. 1).
- Traiter ces fichiers par des fonctions d'analyse en Matlab (Amplitude, fréquence, spectre, corrélation, convolution...).

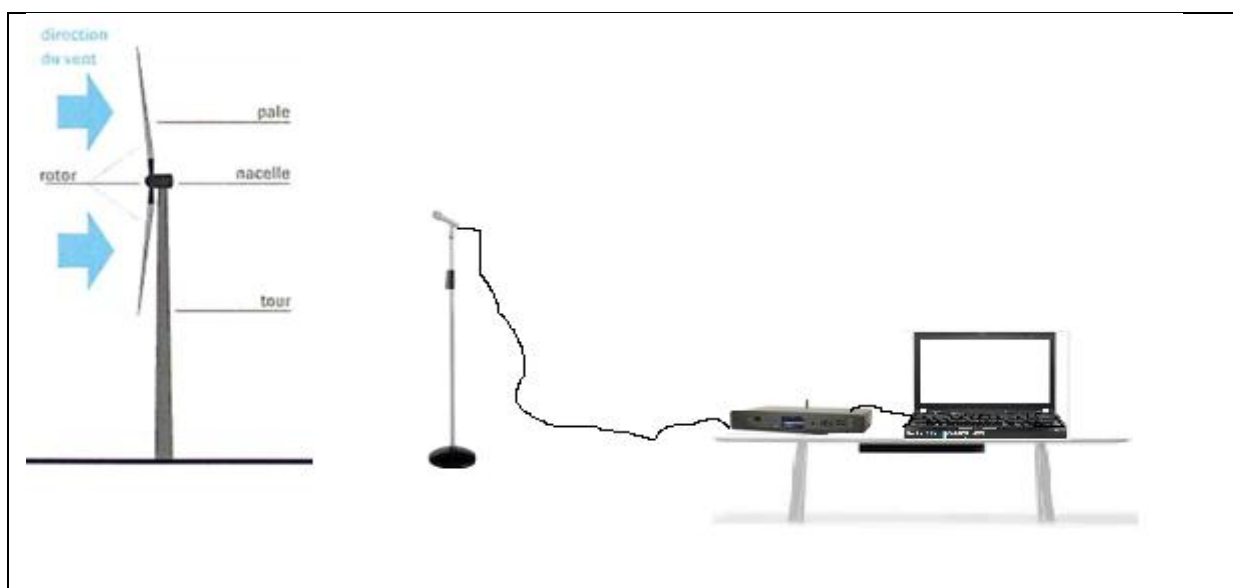


Figure III. 1: Banc d'essai

3. LA SITUATION ACTUELLE

Ponctuellement à Melle et Mourcourte qui se situent en zone d'habitat à caractère rural, la condition supplémentaire de bruit à 40 dBA la nuit en période estivale devra être vérifiée. (dasse, 18 mars 2014)

4. LES MESURES DE BRUIT

4.1. Période et durée des mesures de bruit


Afin de caractériser l'ambiance sonore actuelle autour du site, des mesures de bruit ont été réalisées :

- ✚ *Pendant une semaine en continu (7 jours entiers au total) :*
 - Pour être représentatif de toutes les plages horaires,
 - W-E et nuit compris,
- ✚ *En 5 endroits répartis autour du site*
 - C.-à-d. au droit des habitations directement les plus proches des futures éoliennes,
- ✚ *Et pendant une période représentative :*
 - De l'ambiance sonore normale du site,
 - C.-à-d. hors cagnée solaires,
 - Du Dimanche 9- septembre-2012 au mardi 18- septembre 2012 inclus et sans interruption,

De sorte que les *niveaux sonores élémentaires* ont été mesurés, à chaque endroit et pour toute la durée des mesures, *chaque seconds* en continu, 24H/24, pour disposer d'un échantillon représentatif du bruit ambiant actuel autour du site. Parallèlement et simultanément, la force et la direction du vent ont été mesurées à chaque endroit, pour toute la durée des mesures, *chaque minute* en continu 24H/24, pour disposer de la relation « bruit-vent » a chaque endroit du mesure. (dasse, 18 mars 2014)

4.2 Localisation des mesures de bruit

Comme illustré aux pages qui suivent, la localisation et le nombre des points de mesure ont été choisis :

 Pour couvrir l'ensemble de la zone géographique du site (qui est assez vaste),


 Et pour représentatifs des zones habitées les plus proches,


- Le point « **206** » est situé rue Couture de Breuze **n°68** à Melles, avec vue directe sur les futures éoliennes et à **581 mètres** de la plus proche (n°4).
- **Le point « 207 »** est situé rue, de la Fleur de Bouquette n°8 à Melles, avec vue direct sur les futures éolienne et à 680 mètres de la plus proche (la n°5),
- **Le point « 279 »** est situé rue Vert Marais n°7 à Velaines avec vue direct sur les éoliennes et à 495 mètres de la plus proche (la n°3),
- **Le point « 15 281 »** est situé au droit de la ferme isolée, route Velaines n°81 à Mourcourt, avec vue direct sur les futures éolienne et à 413 mètres plus proche (la n°2),
- **Le point « 208 »** est situé route de Velaines n°79 à Mourcourt, avec vue direct sur les futures éolienne et à 493 mètres plus proche (la n°2),


L'implantation de ces 5 points de mesure permet de couvrir l'ensemble des zones bâties de Mercourt, de Melle et de Velaines, tout en se situant au plus près des futures éolienne et au en droit des habitations les plus proches. (dasse, 18 mars 2014)


5. LES 5 POINTS DU MESURE

Caractérisation du bruit ambiant-site « Mourcourt »


	<p>Point : « 206 »</p> <p>Adresse : rue couture de Breuze 68 7540 Melles</p> <p>Sonomètre : svantek type 957 classe I-N° 23206</p> <p>L_{Aeq} (1s) en continu</p> <p>Du dimanche 09 sept 2012 Au mardi 18 sept 2012</p>
<p>photo III. 1 : face au futur champ éolien et au sud de l'autoroute (dasse, 18 mars 2014)</p>	

	<p>Point : « 207 »</p> <p>Adresse : rue de la fleur de Bouquette 87540 Melles</p> <p>Sonomètre : svantek type 957 classe I-N° 23207</p> <p>L_{Aeq} (1s) en continu</p> <p>Du dimanche 09 sept 2012 Au mardi 18 sept 2012</p>
<p>photo III. 2 : face au futur champ éolien et au sud et l'est de l'autoroute (dasse, 18 mars 2014)</p>	

	<p>Point : « 279 » Adresse : rue Vert Marais 7760 Velaines Sonomètre : svantek type 957 classe I-N° 23297 L_{Aeq} (1s) en cotinu</p> <p>Du dimanche 09 sept 2012 Au mardi 18 sept 2012</p>
<p>photo III. 3 : face au futur champ éolien et au nord de l'autoroute (dasse, 18 mars 2014)</p>	

	<p>Point : « 15 281 » Adresse : route de velaines 81 7543 Mourcourt Sonomètre : svantek type 955 classe I-N° 15281 L_{Aeq} (1s) en continu</p> <p>Du dimanche 09 sept 2012 Au mardi 18 sept 2012</p>
<p>photo III.4: face au futur champ éolien et au nord de l'autoroute (dasse, 18 mars 2014)</p>	

--	--

	<p>Point : « 208 »</p> <p>Adresse : Route de velaines 79 7543 Mourcourt</p> <p>Sonomètre : svantek type 957 classe I-N° 232008</p> <p>L_{Aeq} (1s) en continu</p> <p>Du dimanche 09 sept 2012 Au mardi 18 sept 2012</p>
<p>photo III. 5 : face au futur champ éolien et au nord et à l'ouest de l'autoroute (dasse, 18 mars 2014)</p>	

6. LES CONDITIONS ET LES PARAMETRES DE MESURE

1	Endroit de mesure	5 points de la mesure simultanée et synchrone (voir photo ci-avant)
2	Conditions de mesure	Conformes aux termes de l'arrête du Gouvernement de la région wallonne du 4 juillet 2002 fixant les conditions générales d'exploitation.
3	Dates et heures des mesures	Du dimanche 09 sept 2012 après- midi Au mardi 18 sept 2012 après- midi
4	Période d'observation	Pour les 5 points de la mesure simultanée Du lundi 10 sept 2012 0h00

		Au mardi 18 sept 2012 0h00
5	Paramètres mesures	L_{Aeq} (1s) + spectre en continu.
6	Conditions atmosphériques	Temps sec pendant les périodes d'observation Vent maximum toujours < 5m/s
7	Matériels utilisés	<p>« 206 » : Sonomètre de classe I, de marque : svantek type 957 N° 23206, équipé de son microphone ACO 7052E 46916 et de son préamplificateur SV12L n°24279.</p> <p>« 207 » : Sonomètre de classe I de marque : svantek type 957 N° 23207, équipé de son microphone ACO 7052E 46895 et de son préamplificateur SV12L n°24279.</p> <p>« 279 » : Sonomètre de classe I, de marque : svantek type 957 N° 23297, équipé de son microphone ACO 7052E 47415 et de son préamplificateur SV12L n°25419</p> <p>« 15281 » : Sonomètre de classe I, de marque : svantek type 957 n°15281, équipé de son microphone ACO 7052E n° 43100 et de son préamplificateur SV12L n°19510.</p>
8	Méthode et circonstance des	Conformes aux termes de l'arrête du Gouvernement de la région Wallonne du 04 juillet

	mesures	2002, fixant les conditions générales d'exploitation
9	Calibration des appareils de contrôle	Tous les sonomètres ont systématiquement été étalonnés avant et après les mesures ; la différence « avant-après » étant partout inférieure à 0.2Db.
10	Condition générales de mesure	Représentative d'une semaine normale d'activité-bruit ambiant représentatif.

Tableau III. 1: les conditions et les paramètres de la mesure (dasse, 18 mars 2014)

7. RESULTATS GLOBAUX

Le fait de mesurer simultanément, en même temps, les niveaux sonores aux cinq endroits différents permet justement de comparer les ambiances sonores entre elles et de disposer, au même moment, d'une photo, d'un état des lieux de la situation.

Les graphes qui suivent contiennent respectivement pour les 5 points de mesure l'évolution du bruit, minute par minute, en fonction du temps, du lundi 10 sep. 2012 au mardi 18 sep.

Au vu de ces graphes, on constate :

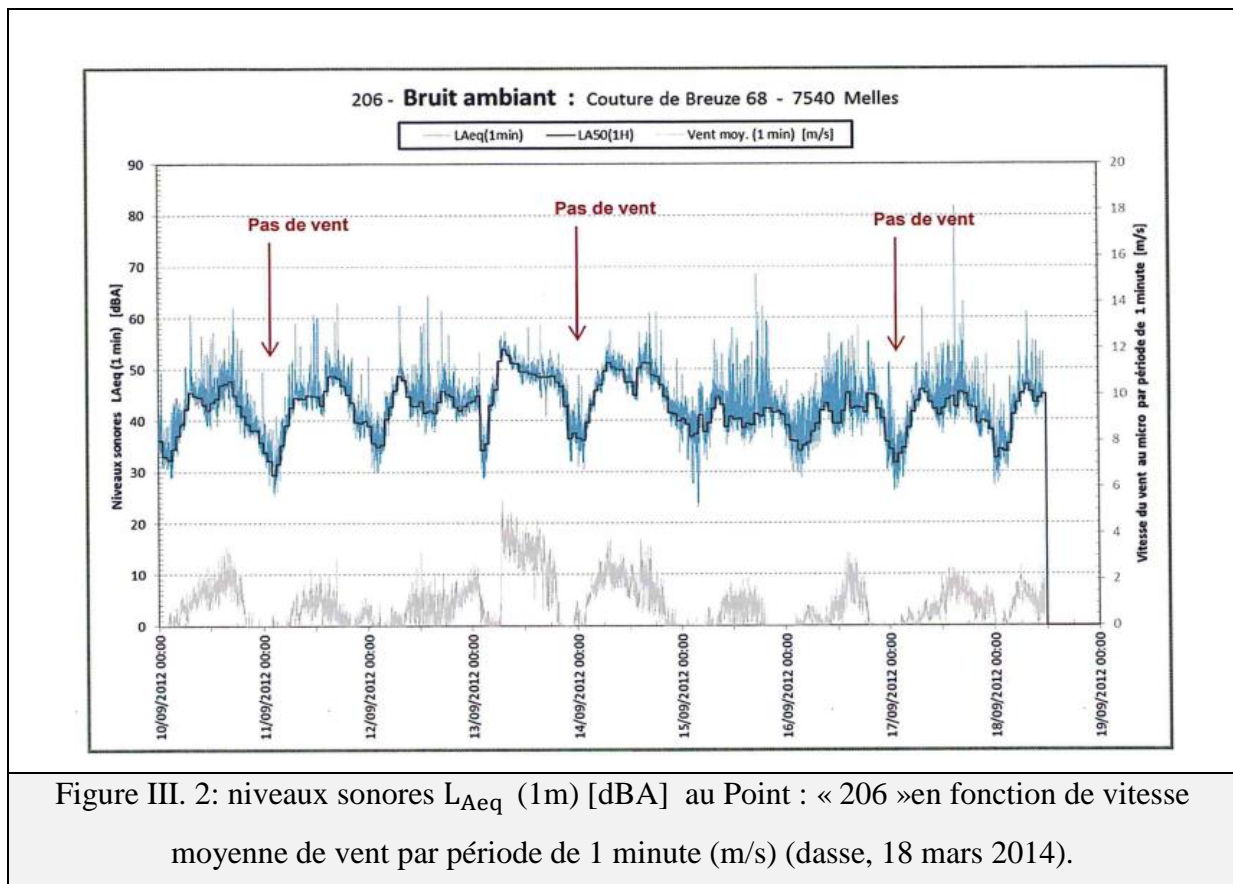
- ✚ Que, en fonction de la direction et de la force du vent :
 - Les niveaux sonores sont assez variables, les journées les plus calmes étant celles du samedi 15 et du dimanche 16 sept.
 - Que, en journée, les niveaux sonores sont de l'ordre de 45 à 50 dB, voire plus au point 207 (rue de la fleur de Bouquette) où l'ambiance sonore est marquée par un trafic local de la rue (voyez le graphe sur lequel le bruit de l'autoroute se marque au travers de la courbe noire et celui du trafic local de la rue au travers de la courbe bleue).
 - Que, la nuit, lorsque le vent tombe et est quasiment nul (c.-à-d. lorsque les éoliennes ne tournent pas).

- ✚ C.-à-d., lorsque le vent est suffisant pour que les éoliennes démarrent c.-à-d. un vent de 2m/s et plus au niveau du micro (un vent de 2m/s à 1.7 m de haut, correspond à un vent de 4 à 5 m/s à 100 m de haut, au niveau de la nacelle d'une éolienne, soit la vitesse de vent à partir de laquelle une éolienne commence à tourner.

Les niveaux de bruit ambiant sont systématiquement supérieurs à 40-45 dB. (dasse, 18 mars 2014)

Note Sur les graphes :

- La courbe noire représente les valeurs de l'indicateur $L_{Aeq}/1h$, c-a-d le niveau sonore qui est statiquement atteint ou dépassé pendant 50% du temps, soit pendant 30 minutes pour chaque heure considérée.
- La courbe grise représente l'évolution en fonction du temps de la force du vent (valeur moyenne par minute) telle que mesurée au niveau du microphone.



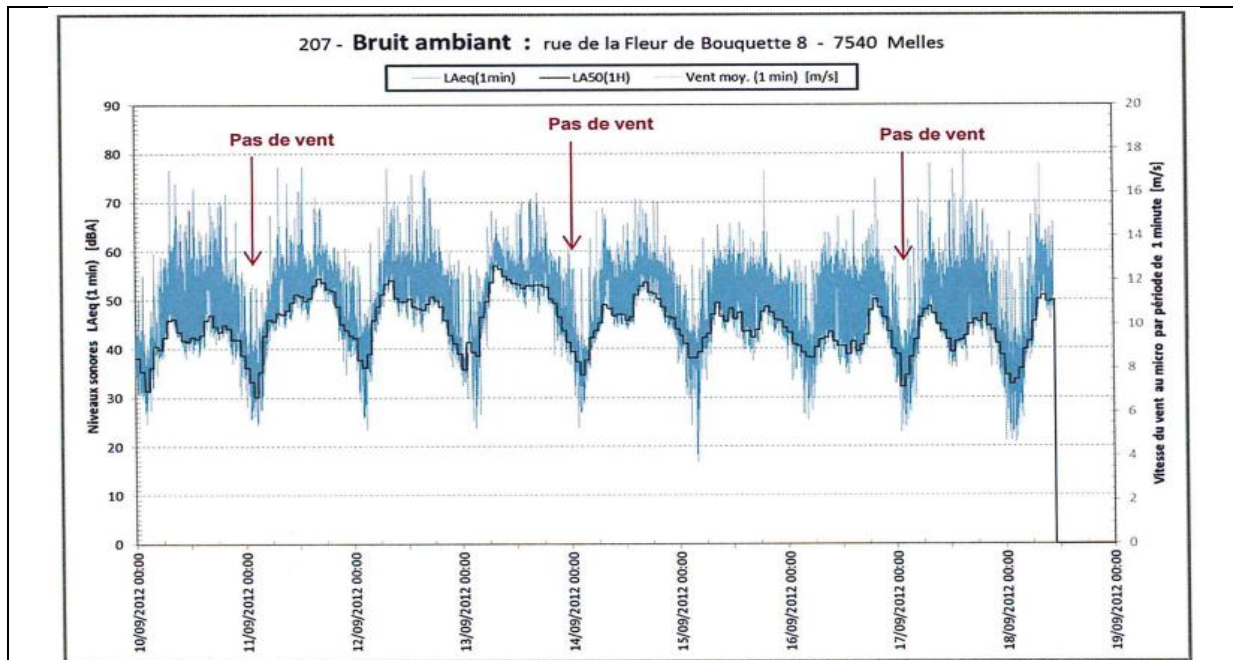


Figure III. 3 : niveau sonores L_{Aeq} (1m) [dBA] au Point : « 207 » en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 minute (m/s) (dasse, 18 mars 2014)

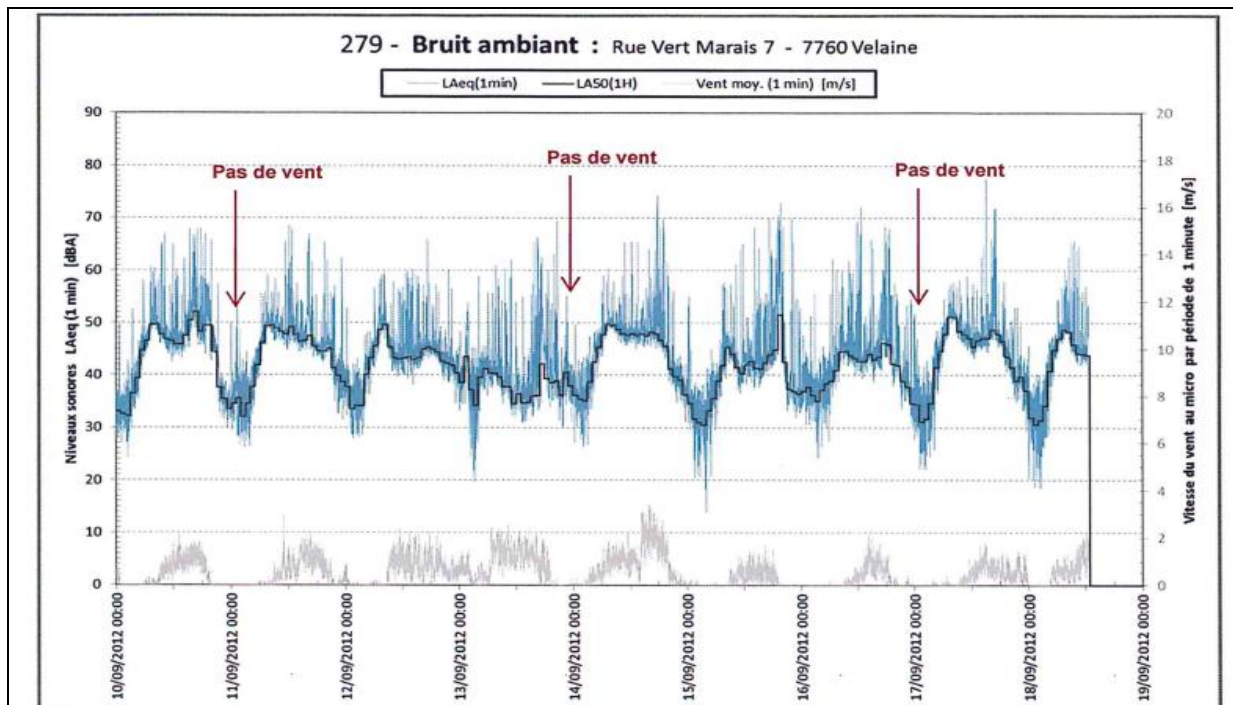
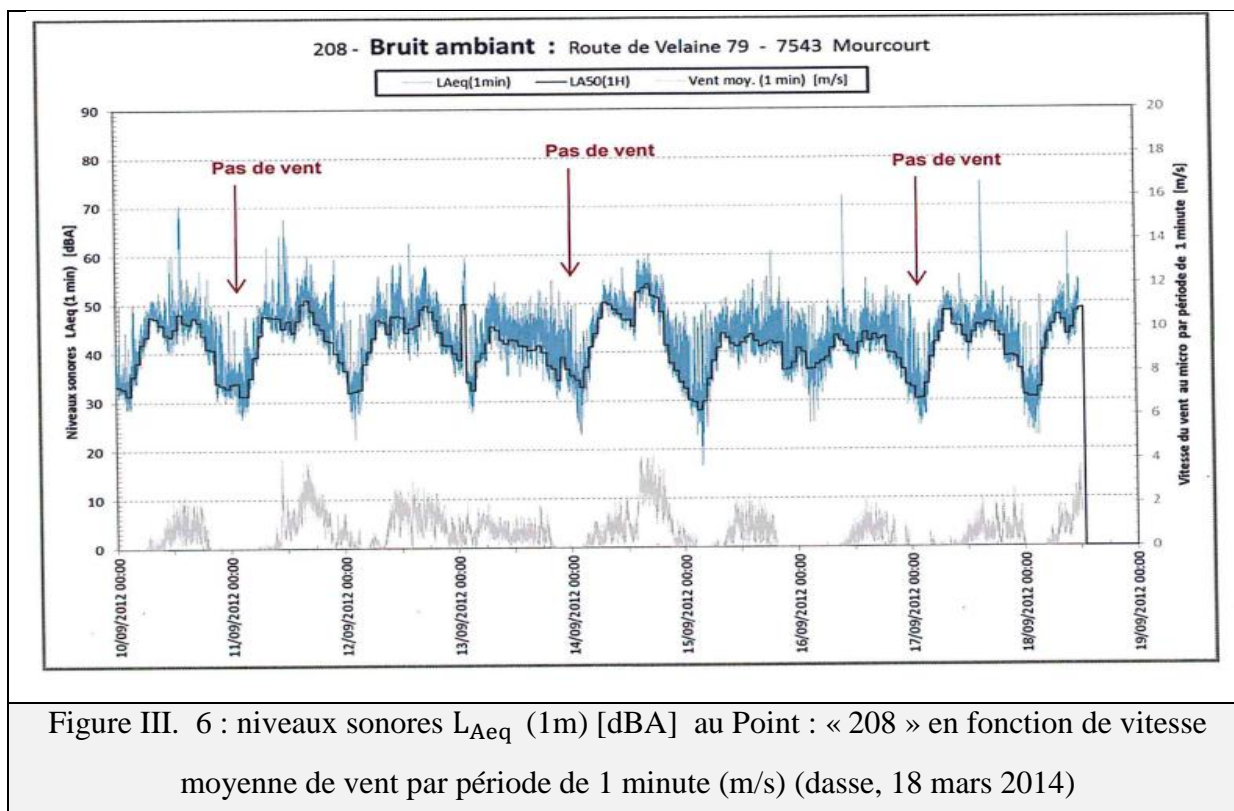
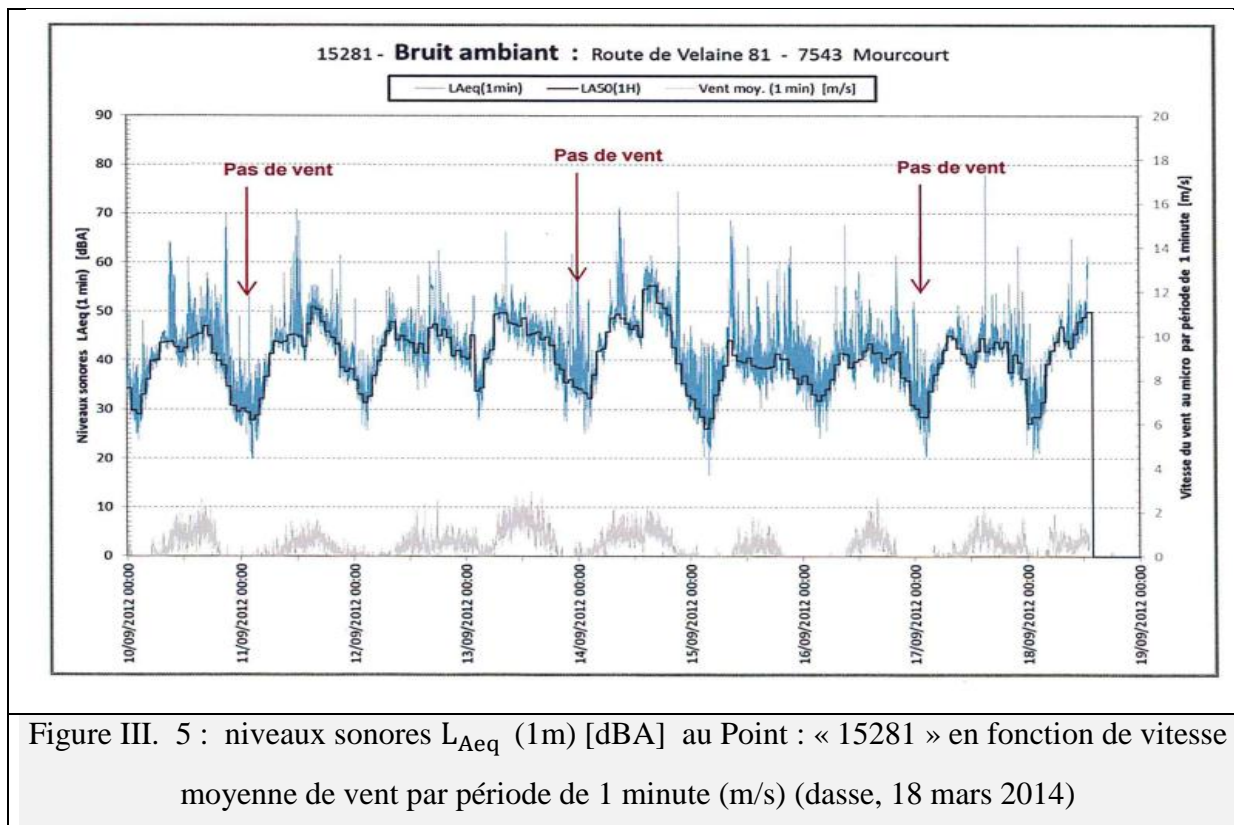


Figure III. 4 : niveaux sonores L_{Aeq} (1m) [dBA] au Point : « 279 » en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 minute (m/s) (dasse, 18 mars 2014)



8. L'INFLUENCE DU VENT (NIVEAU DE BRUIT FOND)

L'augmentation du bruit fond avec la vitesse du vent se confirme à l'analyse des graphes ci-dessous, ou l'on constate :

- Que les indicateurs traditionnels de bruit de fond [tant le L_{Aeq} (min)] Atteignent et dépassent, à tout les points de mesure, 42-43 dB et plus lorsque la vitesse moyenne du vent devient suffisant pour que les éoliennes commencent à tourner. (dasse, 18 mars 2014)

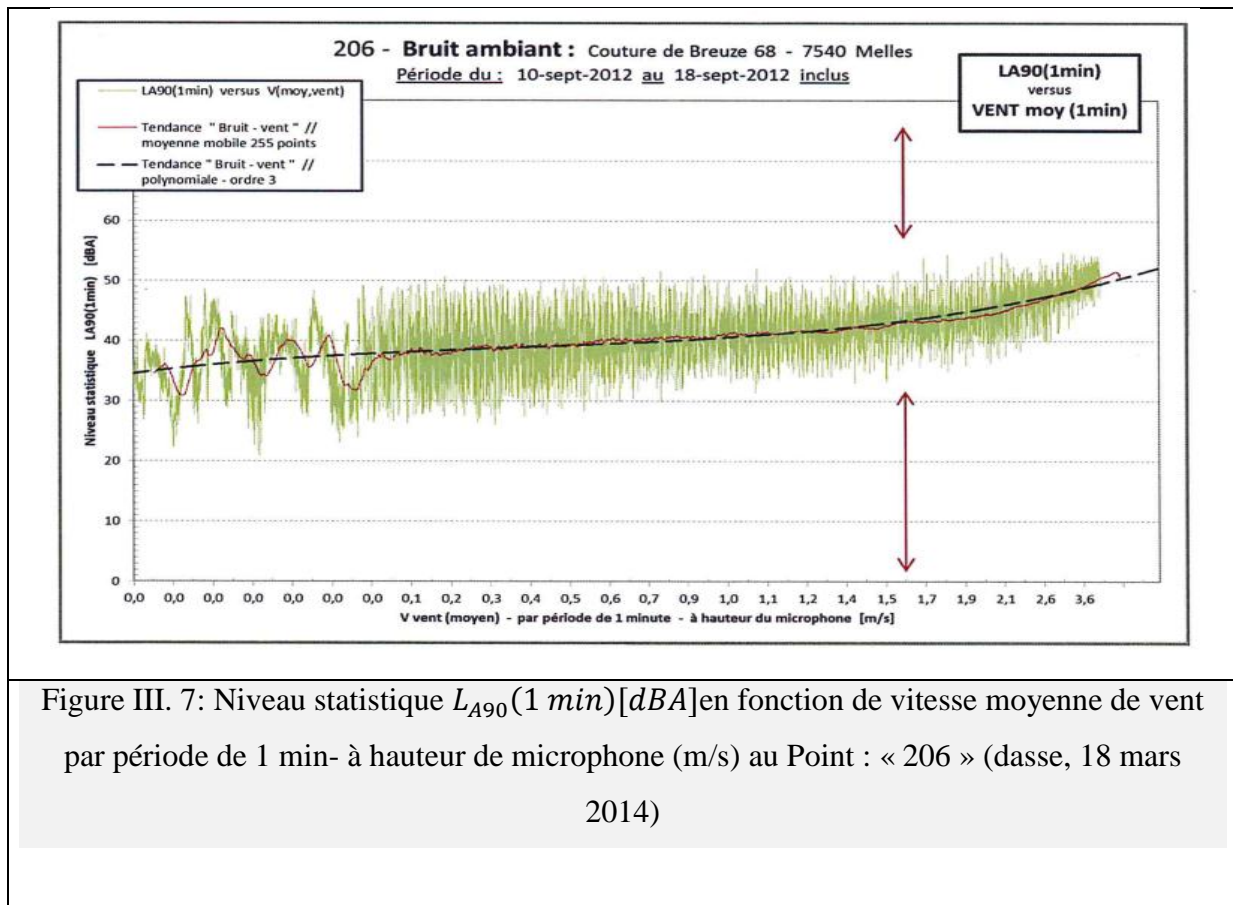


Figure III. 7: Niveau statistique $L_{A90}(1\text{ min})$ [dBA] en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 min- à hauteur de microphone (m/s) au Point : « 206 » (dasse, 18 mars 2014)

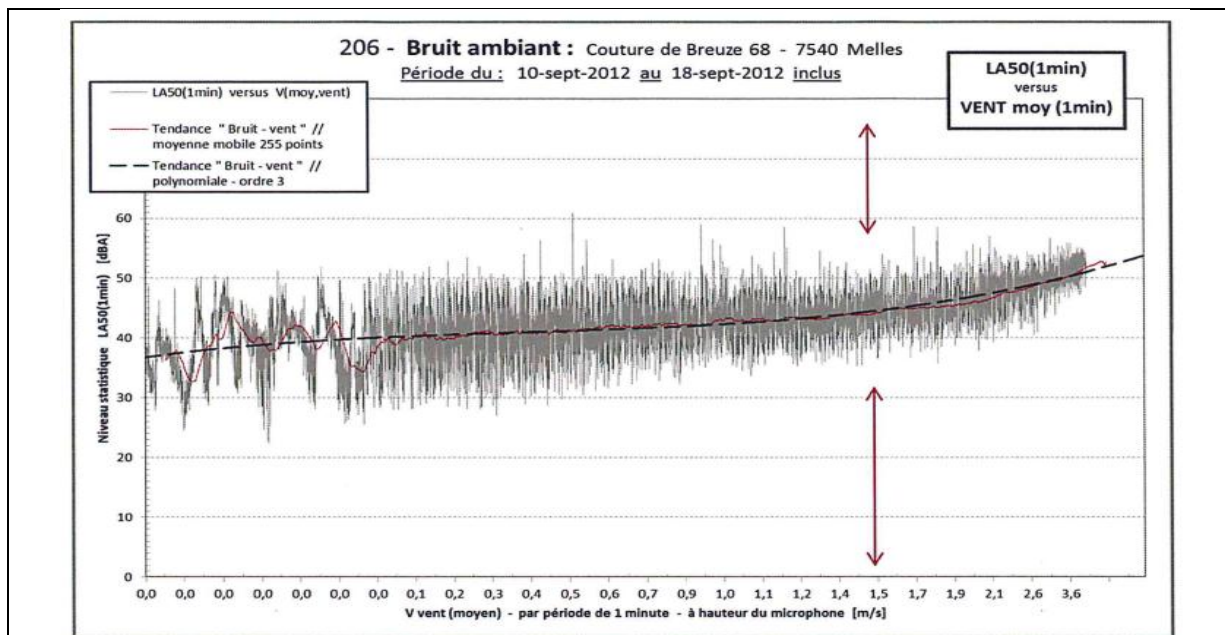


Figure III. 8: Niveau statistique $L_{A50}(1\text{ min})[dBA]$ en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 min- à hauteur de microphone (m/s) au Point : « 206 » (dasse, 18 mars 2014)

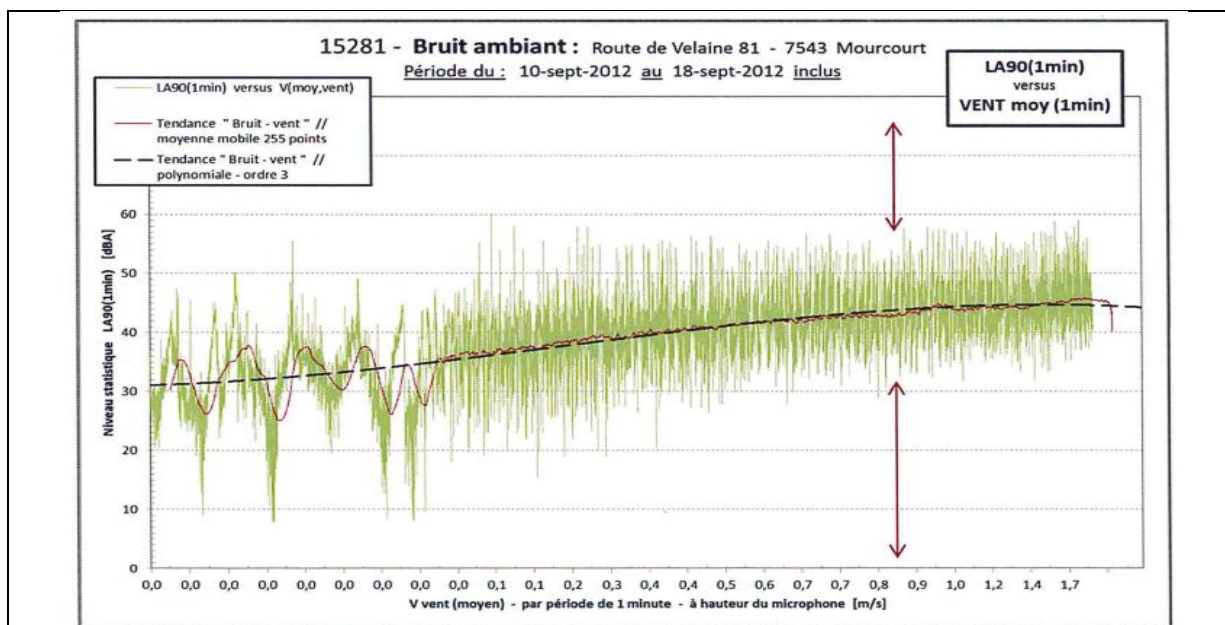


Figure III. .9: Niveau statistique $L_{A90}(1\text{ min})[dBA]$ en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 min- à hauteur de microphone (m/s) au Point : « 15281 » (dasse, 18 mars 2014)

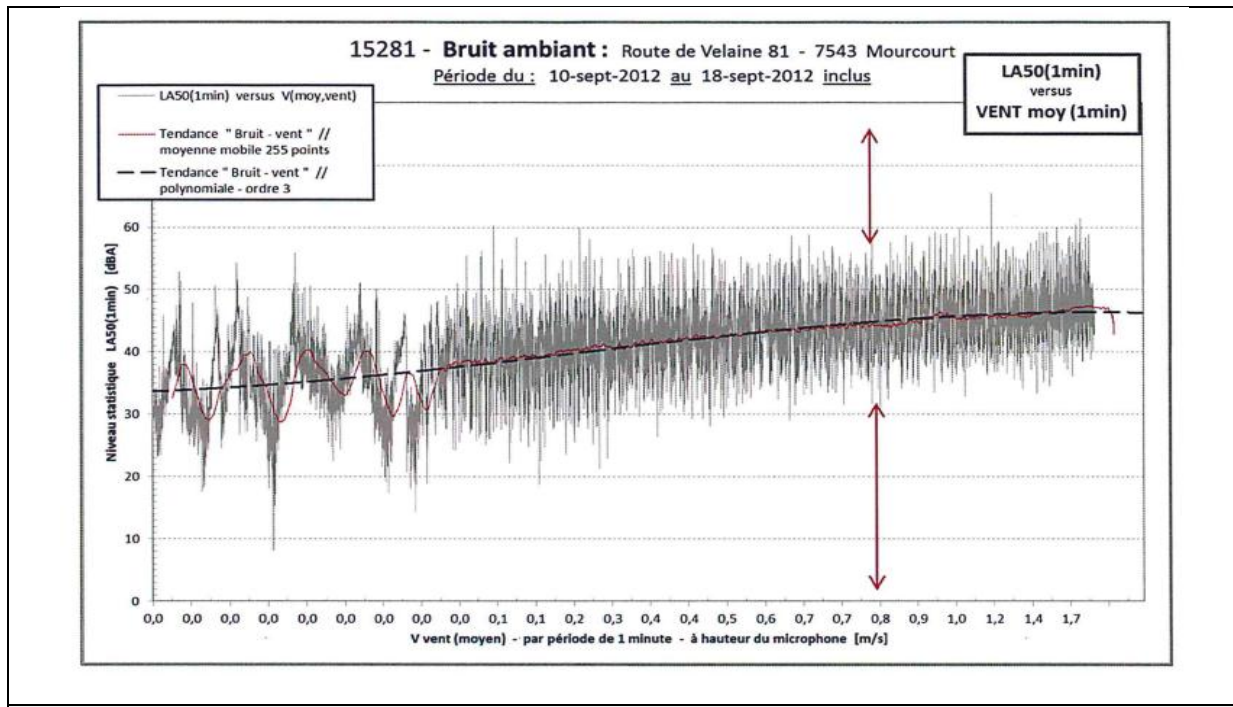


Figure III. 10: Niveau statistique $L_{A50}(1 \text{ min})$ [dBA] en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 min- à hauteur de microphone (m/s) au Point : « 15281 » (dasse, 18 mars 2014)

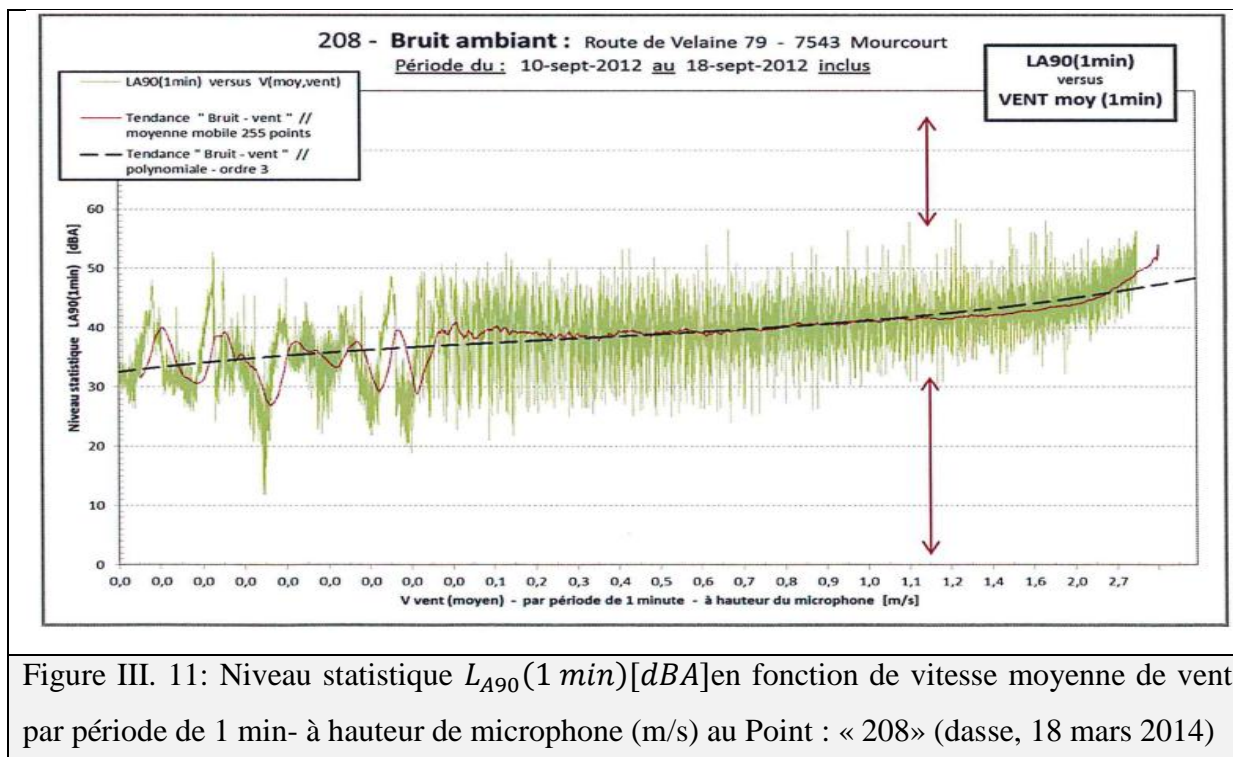


Figure III. 11: Niveau statistique $L_{A90}(1 \text{ min})$ [dBA] en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 min- à hauteur de microphone (m/s) au Point : « 208 » (dasse, 18 mars 2014)

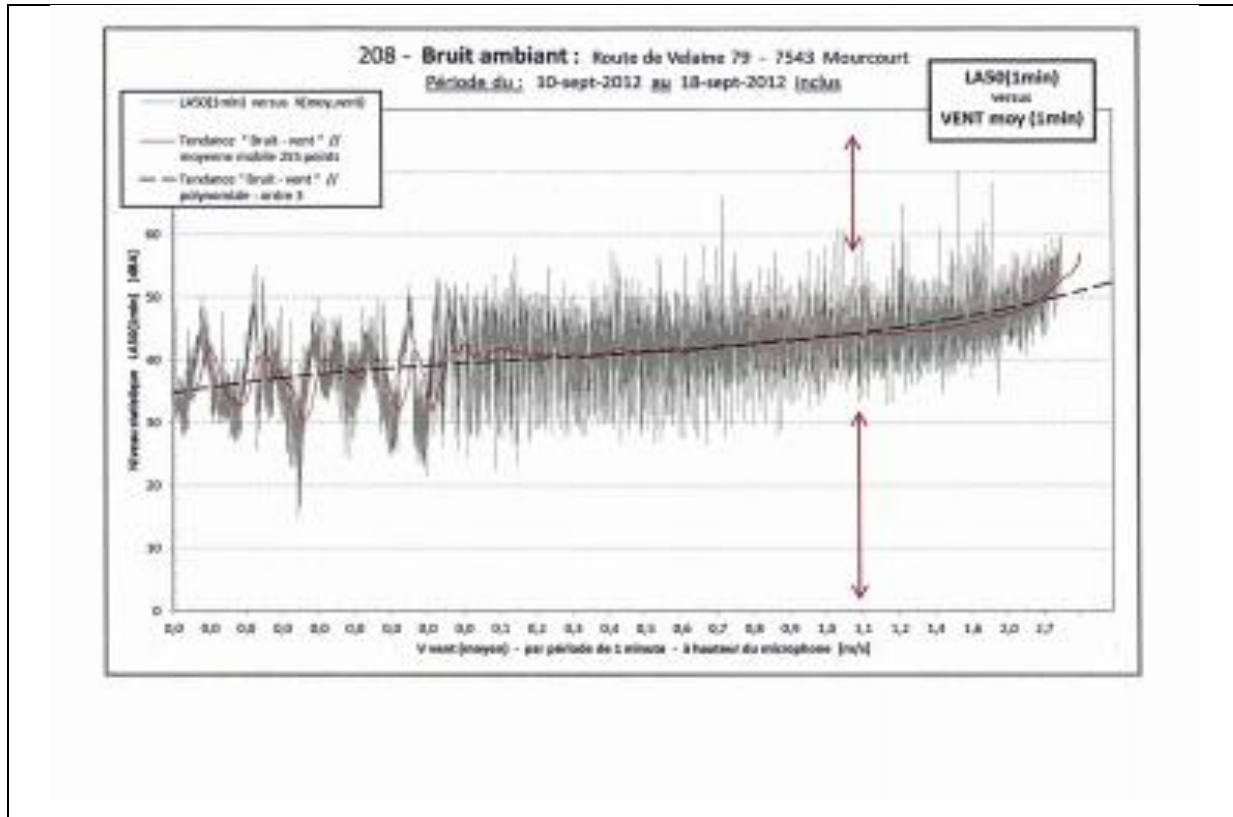


Figure III. 12: Niveau statistique $L_{A90}(1 \text{ min})[dBA]$ en fonction de vitesse moyenne de vent par période de 1 min- à hauteur de microphone (m/s) au Point : « 208 » (dasse, 18 mars 2014)

9. CONCLUSION

D'après les analyses de son qui résulte par la construction et l'implantation des éoliennes, donc, Il faudra alors privilégier les installations privées, de taille plus compatibles avec la configuration des lieux et envisage afin de réduire la prolifération des projets et des problèmes, il faut regrouper les éoliennes dans des Zones de Développement de l'Eolien (ZDE) de plusieurs dizaines de éolienne

CONCLUSION GENERALE

Le bruit des aérogénérateurs se présente, sensiblement, comme un bruit à large spectre énergétique, d'origine aérodynamique, auquel se superposent des raies sonores (fréquence d'engrènement des réducteurs, nombre d'encoches des machines électriques, ct.) variables suivant le type des machines. Ce bruit est modulé à la fréquence de passage des pales devant la Toure des machines lors du passage d'une pale devant la tour, les veines d'air sont déviées par la présence de cette tour sur laquelle elles occasionnent une augmentation passagère de pression qui crée un choc acoustique, lequel génère un bruit impulsionnel. C'est ce bruit impulsionnel qui est très majoritairement perçu comme la gêne principale de voisinage causée par le bruit éolien.

Alors que la plupart des pays européens appliquent, pour les éoliennes notamment, un critère de niveau de bruit maximal en dB à ne pas dépasser, (un niveau d'émergence maximale qui est utilisé, niveau établi par des mesures de niveaux L_{Aeq}).

Il s'en déduit qu'il est absolument indispensable que le niveau de bruit intrinsèque des lieux susceptibles d'être gênés par le bruit éolien, doit être mesuré avec précision dans les nombreuses circonstances (jour, nuit, direction et force du vent, variation du couvert végétal, variation de l'activité animale- grillons, grenouilles,) ce qui complique énormément le problème et le rend inextricable.

les sites et les blogs d'opposants aux éoliennes industrielles, partout dans le monde, consulte des pages dédiées aux nuisances sonores et à leurs conséquences sur les personnes, les êtres vivants, on relève toujours les mêmes symptômes physiques et psychiques.

Donc, il faut nécessaire à demandée de certain *Législations* illustré par les ministères et les associations globale de santé au quelle :

- Un juge ordonne de couper les éoliennes la nuit, le dimanche et les jours fériés 31 Les résidents étant exposés à des « dommages physiques et psychologiques » *USA - The Boston Globe - 23 novembre 2013*
- Le rapport de l'Afsset recommandait, en préambule, une étude particulière sur les basses fréquences et infrasons éoliens. Depuis avril 2014.

Les troubles liés aux éoliennes sont avérés et peuvent gêner la vie des gens. Donc il faut obligée de mettre des recommandations pour réduire ces bruits.

1. PERCEPTION

✚ Des dizaines d'études expérimentales effectuées dans le monde industriel et en laboratoire sur les hommes et les animaux mettent aussi en évidence et confirment ces troubles de comportement, et les changements physiologiques suivants:

- Augmentation de la pression artérielle
- Changement du rythme respiratoire et troubles d'équilibre après des expositions brèves (5 à 50 mn) à des niveaux de pression sonore de 90 à 120 dB (fréquences : 7 à 16 Hz).
- A la fréquence de 8 Hz, on observe des changements biochimiques et morphologiques des tissus. Les effets observés sont plus prononcés à des fréquences plus hautes.

✚ *Symptômes pris § (Annexe II) en considération dans le syndrome éolien §(Annexe II)*

- troubles du sommeil et cauchemar chez l'enfant
- acouphènes (bourdonnements ou tintements dans les oreilles et à l'intérieur de la tête)
- sensation d'augmentation de la pression à l'intérieur de l'oreille
- vertiges (étourdissements et sensations d'évanouissement)
- vertiges (sensation du corps ou de la pièce qui tourne)
- troubles de la vue, accidents vasculaires oculaires
- tachycardies (accélération des battements du cœur, augmentation de la tension artérielle) (BELIME, Septembre 2014)

2. LEGISLATION LIMITANT LE BRUIT INDUSTRIEL

La trop grande proximité d'activités industrielles, commerciales ou agricoles et de zones d'habitation constitue une condition propice à l'apparition de conflits dus aux nuisances sonores.

Les règles applicables à une installation classée donnée dépendent de plusieurs facteurs :

- La situation administrative de l'établissement (autorisation ou déclaration) ;
- La date de mise en service car certains textes ne sont pas applicables aux installations existantes ou le sont dans certaines conditions.

En règle générale, quel que soit le texte réglementaire applicable, la gêne est appréciée par l'émergence §(*Annexe II*) et le respect d'un niveau limite.

- *17 septembre 2013* un préjudice auditif dû au ronronnement et sifflement des éoliennes et existant en raison de son caractère permanent même en dessous des limites réglementaires d'intensité du bruit, obligeant à des mesures de protection élémentaires contre le bruit et créant un trouble sanitaire reconnu par l'*académie nationale de médecine de Montpellier* . (BELIME, Septembre 2014)
- Le rapport de l'*Afsset* recommandait, en préambule, une étude particulière sur les basses fréquences et infrasons éoliens. Depuis avril 2014, l'*ANSES*, sur saisine, a repris ce dossier à travers une étude sur « les effets sanitaires des basses fréquences sonores et infrasons dus aux parcs éoliens » qui durera 18 mois.
- *USA - The Boston Globe - 23 novembre 2013*

Un juge ordonne de couper les éoliennes la nuit de dimanche et les jours fériés 31 Les résidents étant exposés à des « dommages physiques et psychologiques »

- Dans dossier « Éoliennes, sons et infrasons: effets de l'éolien industriel sur la santé des hommes », le Dr Marjolaine Villey-Migraine confirme les effets

négatifs des infrasons sur la santé humaine. Elle cite notamment les articles publiés dans le *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* ainsi que des recommandations émises par la *NASA*. (BELIME, Septembre 2014)

3. RECOMMANDATIONS

3.1 Les protections anti-bruit

Le raccordement protections anti-bruit routières de forme complexe la protection de forme complexe par opposition aux écrans droits et rigides. La notion de complexité englobe la variation de forme et des matériaux utilisés pour absorber une partie de l'énergie acoustique.

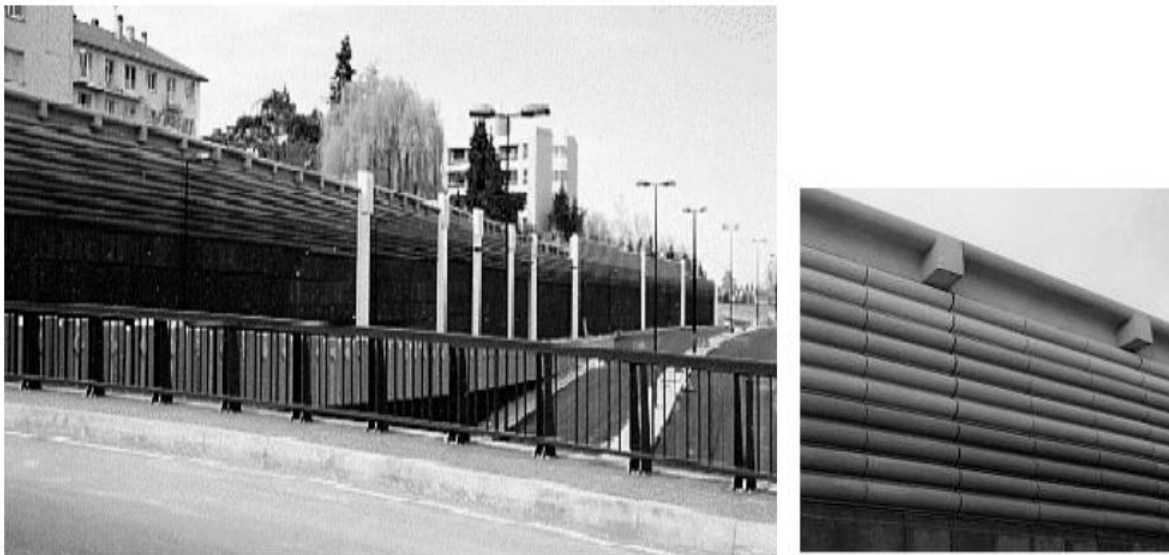


photo III. 6 : Ecran avec couronnement en Té installé à Roanne (Merzouk, 2014)

3.2 Les trois catégories pour but de réduction du bruit éolienne

Les études ayant pour objectif la réduction du bruit des éoliennes peuvent être réparties dans trois catégories :

- les mesures « **proactives** », qui cherchent à limiter le bruit en modifiant les pales ; (Modification du profil de la pale, Ajout de dentelures, Ajout de brosses).
- les mesures « **actives** », qui visent à annuler le bruit ;
- les mesures dites « **d'exploitation** », qui limite le bruit en régulant la puissance. (BELIME, Septembre 2014)

3.2 Ajout de brosses

La même approche est envisagée avec des brosses en sorties de pales. Leur ajout vise à lisser les discontinuités du flux d'air sortant. L'avantage par rapport aux dentelures précitées réside dans le fait que les poils de la brosse vont s'aligner avec le flux d'air sortant, évitant ainsi la génération de sons de haute fréquence mentionnée au paragraphe précédent. Les tests en laboratoire ont montré une réduction significative du bruit (2-10 dB) .Cette solution reste toutefois à valider en grandeur nature. (Merzouk, 2014)

Bibliographie

BIBLIOGRAPHIE

ABDELLI .(2013) .*Optimisation Multicritères d'une chaine eolienne passive* Thèse de doctorat .Toulouse .Institut National Polytechnique de toulouse.

ABALAIN, J. p. (juin 2007). *Impact sanitrairde buit des centrales éolienne industielles*. france: agence francaise de sécurité sanitairevéementale .

ASSC. (2012). Récupéré sur Association Canadienne de l'Energie Eolienne: <http://www.canwea.com>.

Association Canadienne de l'Energie Eolienne, . (2012). Récupéré sur <http://www.canwea.com>.

BELIME, A. (Septembre 2014). *Étude sur les risques sanitaires générés par les éoliennes*. France.

BENMEDJAHED, M .(2013) .*Choix du site et optimisation du dimensionnement d'une installation éolienne dans le nord Algérien et son impact sur l'environnement* .Thèse de doctorat .TLEMCEN: UNIVERSITE ABOUBAKR BELKAID TLEMCEN.

Benfadil,et al. (2014). *production d'énergie électrique aptire d'un éolienne ou milieu saharien UREMRES*. ADRAR.

BERENGIER, M. (2011). « *Propagation acoustique à grande distance : Influence des conditions atmosphériques* ». france: Congrès Français d'Acoustique à Lyon.

BOUHEDDA, A .(2011) .*Contribution à l'étude de systèmes de commande d'une eolienne* . mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri. Tizi -ouzou.

BOUREKACHE, Ep. HAMECHA Samira .(2013) .*Etude et Commande d'une Eolienne à base d'une Machine Synchrone à Aimants Permanent* .memoire de magiter . Tizi-Ouzou. Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou.

CHERFIA, N. 07juin 2010 .(*Conversion d'energie produite par des generateurs éoliens.memoire de magiter*. Constantine: Université Mentouri Constantine alger.

DASSE,V. T. (18 mars 2014). *parc éolienne "projet de Mourcourt"*. Mourcourt: international company for acoustic.

D. d. (Mars 2013). *Éoliennes et santé publique*. QUÉBEC: INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE.

EDUCLEVER. (2016). *Cours de Physique-chimie 2de - Les ondes sonores et les ondes électromagnétiques*. Récupéré sur Maxicours: <http://www.contact@maxicours.com>

LAVERDURE ,N. décembre 2010 .(*Sur l'intégration des générateurs éoliens dans les réseaux faible ou insulaires . memoire de magiter . paris*.

MAYOUF, M .(2008) .*contribution à la modelisation de l'aerogenerateur synchrone a aimants permanants . memoire de magiter*. Batna université de batna.

MERZOUK, N. (2014). *Wind energy potential in Algeria, Wind energy potential in Algeria*. alger: Renewable Energy .

MILOUD, B. (Novembre 2013). *Choix du site et optimisation du dimensionnement d'une*. TLEMEN: UNIVERSITE ABOU-BAKR BELKAID.

PIETQUIN, D. (2008). *Notions fondamentales d'acoustique*. Récupéré sur [techeniquesduson: www.techeniquesduson.com](http://www.techeniquesduson.com)

POITIERS, F. 19 décembre 2003.(*Etude et commande de la generatrices asynchrones pour l'utilisation de l'energie eolienne* .Thèse de doctorat . Nantes . à l'Ecole polytechnique de l'Université de Nantes.

M. d. (2006, décembre 5). Solidarités,Information presse - La lutte contre les bruits de voisinage se renforce. (D. g. santé, Éd.) *modalités demesurage des bruits de voisinage* (15 p.), p. 154.

(Mars 2009). *SYNTHESE DES CONDITIONS ENVIRONNEMENTALES MODIFIANT LES NIVEAUX SONORES DE BRUIT DES EOLIENNES*. Rapport LREE - 07 Laboratoire de

Recherche en Énergie Éolienne, Laboratoire de Recherche en Énergie Éolienne (LREE).
Québec: Université du Québec à Rimouski.

A. f. (2008). Travail, Impacts sanitaires du bruit généré par les éoliennes - État des lieux de la filière éolienne et propositions pour la mise en œuvre de la procédure d'implantation (Vol. 116 p). France.: Avis de l'Afsset et rapport du groupe d'experts.

YOUSEF, B. A. (2012). *Collecte, organisation, traitement, analyse de mesures éoliques et modélisation énergétique*. Santa María : Université Tecnica Federico .

Les annexes

ANNEXE I

1. UN SYNDROME : C'est un ensemble de signes cliniques.

2. LES SYMPTOMES : qu'une personne est susceptible de présenter lors de certaines maladies, ou parfois des circonstances particulières, pathologiques ou non).

3. L'EMERGENCE

L'émergence est définie réglementairement comme la différence entre les niveaux de pression continus équivalents pondérés A du bruit ambiant (établissement en fonctionnement) et du bruit résiduel (en l'absence du bruit généré par l'établissement, mais mesuré sur la période de fonctionnement de l'établissement) ; dans le cas d'un établissement faisant l'objet d'une modification autorisée, le bruit résiduel exclut le bruit généré par l'ensemble de l'établissement modifié.

4. LES ZONES A EMERGENCE REGLEMENTEE (ZER)

Sont :

- l'intérieur des immeubles habités ou occupés par des tiers, existants à la date de l'arrêt d'autorisation de l'installation et leurs parties extérieures éventuelles les plus proches)cours, jardins, terrasses
- les zones constructibles définies par les documents d'urbanismes opposables aux tiers et publiés à la date de l'autorisation,

- l'intérieur des immeubles habités ou occupés par des tiers qui ont été implantés après la date de l'autorisation dans les zones constructibles.

1. BRUIT IMPULSIF

La communauté Européenne a défini le critère auquel doit satisfaire un Bruit impulsif (journal officiel de 1979).

L_{Aeq} (l'intensité acoustique pondéré A du bruit impulsif) étant la valeur en décibel dB(A) de niveau L_{Aeq} pendant 20 millisecondes, si la différence L_{AI} mois bruit stable (LAS) est supérieur à 4dB le bruit est déclaré impulsif.

ANNEXE II

2. LES INDICES LE PLUS COURANTS POUR LES BRUITS CONTINUS

On peut, par une pondération adéquate des différentes composantes du spectre énergétique du bruit, déterminer en continu en fonction du temps, son niveau selon la pondération A, c'est à dire son niveau en dB(A).

Un traitement de ce niveau permettra de définir différents indices énergétiques intégrés, lesquels prennent en compte le cumul des bruits sur un temps donné.

Indice L_{Aeq}

2.1 L'indice L_{Aeq} (niveau moyen équivalent de bruit selon la pondération A)

Est déterminé comme suit, ayant enregistré pendant le temps d'enregistrement T le niveau mesuré corrigé par la pondération A niveau LA en dB(A) généralement avec la constante de temps rapide (fast), on transforme ce niveau dans l'échelle arithmétique de départ (transformation du niveau en dB(A) par un niveau en watts par mètre carré par la relation

$$L = 10(LA/10)$$

On détermine ensuite la valeur moyenne, sur l'intervalle de temps T, de ce niveau L, soit L moyen puis on transforme en dB(A) par la relation

$$L_{Aeq} = 10 \log(L_{moyen})$$

L_{Aeq} est donc le niveau d'un bruit continu et d'amplitude constante qui aurait la même énergie totale que le bruit enregistré sur la période de mesure.

La directive 2002/49/CE du 25 juin 2002 divise la journée en trois périodes le jour de 7h à 19heures, la soirée de 19h à 23 heures et la nuit de 23 h à 7heures. Elles considèrent les indices suivants:

- L_{Aeq} **jour (LAeq day)**: qui la valeur moyenne du L_{Aeq} calculée sur la période 7h-19 heures.
- L_{Aeq} **soirée (LAeq evening)**: la valeur moyenne du L_{Aeq} calculée sur la période 19 h-23 heures.
- L_{Aeq} **nuit (LAeq night)**: la valeur moyenne du L_{Aeq} calculée sur la période 23 h-7 heures.

Ceci étant, cette directive impose, pour l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement, l'indicateur L_{den} , den pour jour, soirée, nuit qui est constitué par une pondération des trois indices précédents, toujours en dépassant par les valeurs arithmétiques, et après que l'on ait majoré L_{den} soirée de 5dB(A) et L_{Aeq} nuit de 10 dB(A)

$$L_{den} = 10 \log \left\{ \frac{1}{24} (12 * 10) \frac{L_{Aeq} \text{ jour}}{10} + (4 * 10) \frac{L_{Aeq} \text{ soirée}}{10} + (8 * 10) \frac{L_{Aeq} \text{ nuit}}{10} \right\}$$

2.2 Indice l_{AX}

Certains pays considèrent l'indice L_{AX} , ou niveau acoustique fractile, pour caractériser un bruit dont le niveau L a été enregistré pendant un temps T. le niveau L_{AX} est tel que la valeur la valeur L, pendant le temps T, se trouve être supérieur pendant X % du temps à l_{AX} , L_{A50} est quelque fois utilisé.

2.3 indice la max

C'est la valeur maximale de l'intensité acoustique pondéré A, exprimée en décibels, déterminé sur l'intervalle de temps T en utilisant la constante de temps (rapide).