



Avec la participation de l'ADEME

Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie

IMPACTS SANITAIRES DU BRUIT GENERE PAR LES EOLIENNES



Mars 2008

Organisation de l'expertise

MODALITES DE TRAITEMENT DE LA SAISINE

L'expertise demandée par les ministères chargés de l'environnement et de la santé a été confiée par l'Afsset, après validation de l'analyse préalable de la saisine et de sa recevabilité le 24 octobre 2006 par le comité d'experts spécialisés (CES) « Evaluation des risques liés aux agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements », à un groupe d'experts constitué de membres des CES de l'Agence.

Une première réunion du groupe de travail s'est tenue le 14 février 2007 et a permis de préciser les objectifs de la saisine et de statuer sur un plan de travail.

De nombreux professionnels du secteur éolien (constructeurs, développeurs et gestionnaires de parcs) ont été contactés afin de connaître leur position par le moyen d'une liste de questions (cf. annexe 5). Toutefois, ces professionnels n'ont pas souhaité répondre individuellement et directement à l'Afsset. Le syndicat des énergies renouvelables (SER) a fait parvenir au groupe de travail une réponse globale aux questions posées (cf. annexe 3), celle-ci ne permet pas cependant de comparer les analyses des différents intervenants de la filière (constructeurs aménageurs..) au regard de la prise en compte du problème du bruit. Nous avons en conséquence chargé le SER de demander aux professionnels de répondre à nos questions et de centraliser les réponses. Les quelques réponses reçues par le SER ont été intégrées à ce rapport. En outre le SER a organisé pour le groupe de travail en mai 2007 une visite de deux parcs éoliens récemment installés dans le département d'Eure et Loir.

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie (ADEME) a été sollicitée pour contribuer à ce rapport sous la forme d'une prestation de service, conformément aux termes de la saisine. L'ADEME a apporté au groupe de travail de nombreuses informations relatives essentiellement :

- au développement de la filière éolienne : état des lieux et perspectives ;
- aux réglementations applicables aux éoliennes en matière de niveau de bruit ;
- à l'évaluation du bruit généré par les éoliennes ;
- aux niveaux sonores mesurés chez les riverains ;
- aux résultats d'une enquête par questionnaire auprès des DDASS.

CRITERES DE QUALITE D'EXPERTISE

Pour être pris en compte dans ce rapport, les travaux scientifiques doivent avoir fait l'objet d'une publication écrite dans une revue internationale après avis d'un comité scientifique de lecture, même si toutes ces revues ne sont pas de qualité équivalente. La recherche bibliographique a été réalisée par consultation de la bibliographie des rapports internationaux sur le sujet et par consultation des bases de données bibliographiques habituellement utilisées par les scientifiques. Les rapports d'études importantes ou de synthèse rendus publics ont également été analysés. Les communications faites à l'occasion de congrès et colloques et ne donnant pas lieu à publication n'ont pas été prises en compte.

Chaque article a été examiné à partir de critères de qualité correspondant au champ d'expertise : par exemple, en épidémiologie, les critères de qualité reposent sur la représentativité des sujets étudiés, la maîtrise des biais, la qualité du recueil d'informations, le choix des indicateurs d'exposition et la prise en compte des facteurs confondants, la qualité de l'analyse statistique et la puissance de l'étude dépendant notamment du nombre de sujets inclus dans l'étude.

Chaque expert a été chargé de rédiger une contribution dans son champ d'expertise, certaines parties ayant fait l'objet d'une concertation entre plusieurs experts. Les textes ont été soumis à l'appréciation de l'ensemble du groupe, les conclusions et les propositions ont été rédigées collectivement par le groupe de travail. Les conclusions se sont appuyées sur le poids de la preuve incluant la qualité scientifique des études, leur réplicabilité, la cohérence des études entre elles, etc.

Dans le cas où un expert a jugé nécessaire de consulter une personne extérieure reconnue pour ses compétences, la prise en compte éventuelle des informations fournies est à la seule appréciation de l'expert : ces informations ne font pas l'objet de mentions spécifiques dans le rapport.

Présentation des intervenants

GROUPE DE TRAVAIL

Président

La présidence du groupe de travail a été assurée par Michel RUMEAU, Ingénieur en chef, chef de section acoustique au Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris et membre du CES « Evaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements », comme l'ensemble des membres du groupe d'experts.

Membres

Nom	Organisme de rattachement	Fonctions
Michel RUMEAU	Laboratoire Central de la préfecture de Police de Paris	Ingénieur en chef, chef de section acoustique
Philippe LEPOUTRE	Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aéroportuaires	Responsable du pôle technique
Annie MOCH	Université Paris X-Nanterre	Professeur des Universités
Michel BERENGIER	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (Nantes)	Responsable de la Section Acoustique Routière et Urbaine

PARTICIPATION AFSSET

Secrétariat scientifique

Le secrétariat scientifique a été tenu par le Dr Gilles DIXSAUT (chef d'unité) et Camille FEVRIER (chargée de projet scientifique) de l'unité « Agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements » de l'Afsset.

RELECTURE DES RAPPORTS

Une relecture des différentes étapes du rapport a été confiée à Michel Vallet, membre du CES "Agents physiques, nouvelles technologies et grands aménagements" de l'Afsset, ainsi qu'à Tony Ledoux de l'école d'orthophonie et d'audiologie de la faculté de médecine de Montréal, ce dernier a en effet participé au Québec à des travaux relatifs aux effets sanitaires du bruit des éoliennes.

SOMMAIRE

Présentation des intervenants	4
Synthèse et conclusions	7
Abréviations	17
Liste des tableaux	17
Liste des Figures	17
I. Introduction	19
II. Développement de la filière	20
II.1 Etat des lieux des technologies	20
II.2 Bilan en 2006	22
II.2.1 Dans le monde	22
II.2.2 En France	23
II.3 Perspectives de la filière éolienne	28
II.3.1 Dans le monde	28
II.3.2 En France	28
III. Etat des lieux de la réglementation et de la normalisation	32
III.1 Méthodologie de mesure, normalisation	32
III.2 Recours à la normalisation	33
III.3 Réglementation française	35
III.4 Réglementations européenne et internationale	36
III.4.1 Allemagne : recommandations TA-Lärm	36
III.4.2 Royaume-Uni : recommandations ETSU R 97	37
III.4.3 Danemark	38
III.4.4 Suède	39
III.4.5 Grèce	39
III.4.6 Australie	39
III.4.7 Nouvelle-Zélande : norme 6808	39
III.4.8 Etats unis	40
III.5 Commentaires sur les différentes réglementations	40
IV. Niveaux de bruit et conditions environnementales	43
IV.1 Niveaux de bruit et distance	44
IV.1.1 Divergence géométrique	44
IV.1.2 Absorption atmosphérique	45
IV.2 Niveaux de bruit et caractéristiques de terrain	46
IV.2.1 Influence de la nature du sol ou « effet de sol »	46
IV.2.2 Influence de la végétation	48
IV.2.3 Influence de la topographie du sol	50
IV.2.4 Niveaux sonores résiduels	53
IV.2.5 Les activités humaines	53
IV.2.6 Les bruits de la faune	53
IV.2.7 La végétation	53
IV.2.8 Exemples numériques	54
IV.3 Niveaux de bruits et conditions météorologiques	55
IV.4 Considérations par bande de fréquences	57
IV.4.1 Propagation sonore, facteurs influents	57
IV.4.2 Ambiances sonores résiduelles	57
IV.4.3 Retour d'expérience : mesures d'émergence sur des parcs en fonctionnement	58
IV.5 Niveaux de bruit : modélisation et mesures	61

V. Evaluation du bruit généré par les éoliennes	64
V.1 Facteurs de bruit	64
V.1.1 Bruits d'origine mécanique	64
V.1.2 Bruits d'origine aérodynamique	65
V.2 Les phénomènes vibratoires	67
VI. Exposition des riverains	69
VI.1 Exemples de niveaux sonores dans l'environnement	69
VI.2 Bruits de basses fréquences	70
VI.3 Analyse de l'exposition sonore des riverains de parcs éoliens en fonctionnement	71
VI.3.1 Taux de réponse et représentativité	71
VI.3.2 Analyse détaillée	71
VII. Impacts sanitaires liés au bruit des éoliennes	77
VII.1 Impacts sanitaires du bruit	77
VII.1.1 Paramètres de la nocivité du bruit	77
VII.1.2 Effets auditifs	79
VII.1.3 Effets extra-auditifs	79
VII.1.4 La gêne due au bruit	81
VII.1.5 Cas des infrasons	85
VII.1.6 Valeurs guides de l'OMS	86
VIII. Possibilités de gestion du bruit généré par les éoliennes	88
VIII.1 Distance minimale d'implantation	88
VIII.1.1 Résultats des calculs des niveaux sonores	88
VIII.1.2 Interprétation des résultats et analyse	89
VIII.2 Amélioration des équipements existants en termes d'impacts sonores	90
IX. Conclusions	91
X. Recommandations	93
XI. Bibliographie	94
ANNEXES	96
ANNEXE 1 : Lettre de saisine	97
ANNEXE 2 : Glossaire des termes techniques	99
ANNEXE 3 : Point de vue des industriels	100
ANNEXE 4 : Mode de calcul prévisionnel du niveau de bruit généré par une éolienne. (Chapitre VIII.1)	103
ANNEXE 5 : Questionnaire transmis aux DDASS	106
ANNEXE 6 : Synthèse des déclarations publiques d'intérêts des experts par rapport au champ de la saisine	111

Synthèse et conclusions

La part des énergies renouvelables est en augmentation constante en France et dans le monde. Cette orientation résulte notamment de la volonté de diversifier les sources pour réduire la dépendance énergétique aux énergies fossiles. De plus, le développement des énergies renouvelables s'inscrit dans un contexte global de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Le développement de l'énergie éolienne en France est en augmentation, passant d'environ 0,75 GW en 2005 à plus de 2 GW actuellement.

Malgré l'intérêt croissant pour les énergies renouvelables, la population s'interroge sur les impacts environnementaux et sanitaires conséquents à l'implantation d'éoliennes. En particulier, de nombreux riverains d'installations futures mettent en avant le bruit généré par les éoliennes pour refuser l'installation de nouveaux parcs.

L'Académie nationale de médecine a évalué, dans un rapport daté du 14 mars 2006, les effets sur la santé du fonctionnement des éoliennes. Ce rapport relativise l'impact sanitaire du bruit. Il recommande toutefois la prise de mesures réglementaires visant à éloigner à une distance minimale de 1 500 mètres certaines éoliennes (d'une puissance supérieure à 2,5 MW) des habitations.

L'Afsset a été saisie le 27 juin 2006 par les Ministères en charge de la santé et de l'environnement afin de conduire une analyse critique du rapport de l'Académie nationale de médecine, et d'évaluer en particulier la pertinence de cette recommandation d'éloignement des habitations.

Les éoliennes d'une puissance inférieure à 2,5 MW ne sont pas concernées par la recommandation du rapport de l'Académie nationale de médecine, recommandation, qui en l'état actuel ne semble concerner sur le territoire français qu'un nombre très marginal de machines, voire peut-être aucune. Le groupe de travail a donc considéré qu'une telle recommandation serait actuellement sans portée réelle et qu'il convenait de considérer la question de l'installation des parcs éoliens de manière globale, en tenant compte de l'état actuel des projets d'installation et non d'un futur hypothétique. Il a donc pris en compte dans son analyse toutes les machines représentatives des projets d'installation actuels.

Cette synthèse présente succinctement les travaux menés conjointement par l'Afsset et l'Ademe.

L'EOLIEN, UN SECTEUR EN DEVELOPPEMENT

ECHELLE MONDIALE

Fin 2006, plus de 72 000 MW de production électrique éolienne étaient opérationnels à travers le monde. La croissance globale de la filière a été de plus de 24% par an ces cinq dernières années.

ECHELLE EUROPEENNE

➤ Une volonté politique forte

Le 8 mars 2007, le Conseil des Ministres de l'énergie des 27 pays de l'Union a fixé à l'unanimité l'objectif de 20% d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique globale en 2020. Le développement de l'éolien doit servir à atteindre ces objectifs.

➤ Gisements éoliens

Au niveau européen, la France dispose du second gisement éolien après le Royaume-Uni, mais vient en huitième position en termes de puissance installée. En 2006, notre pays a constitué, avec 3,2% du parc et 10,5% du marché, le troisième marché européen (et le sixième marché mondial).

ECHELLE NATIONALE

➤ Des prescriptions ambitieuses

L'Arrêté de Programmation Pluriannuelle des Investissements (PPI) de production électrique du 7 juillet 2006 a fixé des objectifs forts tant pour l'éolien sur terre que pour l'éolien en mer. Ils sont, pour 2010, de 12 500 MW sur terre et de 1 000 MW en mer et, pour 2015, de 13 000 MW sur terre et de 4 000 MW en mer. L'objectif de 2010 pour les parcs terrestres pourrait être atteint grâce à 500 parcs éoliens supplémentaires de 20 MW environ chacun.

La concrétisation des objectifs de la PPI serait bénéfique à l'environnement, mais également à l'économie et au développement territorial. En effet, elle permettrait pour l'année 2010 d'éviter l'émission de 850 000 à 12 000 000 tonnes de gaz carbonique ; de générer un chiffre d'affaires annuel de 5 milliards d'euros (contre 12 milliards d'euros en 2006) ; de distribuer 150 millions d'euros par an aux différentes collectivités concernées ; de verser 50 millions d'euros par an aux propriétaires et exploitants agricoles concernés ; enfin, de créer 20 000 à 30 000 emplois (fabrication, études, installation et maintenance).

➤ Implantation et production

Pour la seule métropole, la puissance installée début septembre 2007 atteint 2100 MW. Cette production correspond à la consommation électrique domestique moyenne de près de 2 millions de foyers.

La France compte environ 250 parcs éoliens et 2000 éoliennes ; 18 des 22 régions sont dotées de parcs éoliens. Les régions leaders sont, fin 2006, le Centre et le Languedoc-Roussillon avec respectivement 240 et 230 MW. Viennent ensuite, La Bretagne (170 MW)

puis La Picardie, Champagne-Ardenne et la Lorraine (plus de 100 MW chacune). La puissance installée dans les DOM-TOM avoisine les 60 MW.

Le secteur poursuit son développement. Le volume des demandes de permis de construire est ainsi en accroissement constant. Au 1^{er} février 2006, les autorisations de construire atteignaient 3 639 MW.

➤ Une filière française en pleine croissance

La puissance unitaire moyenne des éoliennes installées est en croissance forte depuis quelques années. La machine standard actuelle fournit une puissance de 2 MW (éolienne équipée d'un rotor de 80 mètres de diamètre monté sur une tour de 70 à 100 m de haut approximativement). Les réalisations à venir sont de 2,5 MW voire 3 MW. La tendance est à l'installation de parcs éoliens avec des machines moins nombreuses mais plus puissantes: les plus grandes atteindront bientôt 5 MW.

ASPECTS REGLEMENTAIRES

REGLEMENTATION INTERNATIONALE

Les réglementations nationales fixent les limites au bruit des éoliennes de deux façons : en s'appuyant sur des niveaux sonores absolus (le bruit ambiant comprenant le bruit des éoliennes ne doit pas dépasser la valeur réglementaire ; cette valeur ne dépend pas du niveau de bruit résiduel) ou sur des niveaux sonores relatifs (le bruit ambiant comprenant le bruit des éoliennes ne doit pas dépasser le bruit résiduel augmenté de la valeur réglementaire visée : l'émergence).

Pour les pays qui ont fondé leur réglementation uniquement sur des valeurs de niveaux absolus (ex : l'Allemagne, le Danemark, la Grèce et la Suède), les valeurs limites réglementaires présentent jusque 10 dB(A) d'écart d'une réglementation à l'autre.

D'autres pays (p.ex. l'Angleterre, l'Australie, la Nouvelle Zélande et la France) ont panaché des valeurs limite en niveau absolu et limites d'émergence. Sauf pour la France, l'émergence retenue est systématiquement de 5dB(A). De plus, il existe des valeurs de bruit ambiant (30 dB(A) à 40 dB(A)), en dessous desquelles la mesure de l'émergence n'est pas imposée.

Bruit ambiant : niveau de bruit mesuré sur la période d'apparition du bruit particulier.

Bruit résiduel : niveau de bruit mesuré sur la même période en l'absence du bruit particulier.

Emergence : différence arithmétique entre le niveau de bruit ambiant et le niveau de bruit résiduel.

Décibel = unité de mesure du bruit ; symbole : dB.

dB(A) : décibel pondéré selon la courbe de pondération 'A'. Cette courbe attribue un poids relatif en fonction de la fréquence. La courbe de pondération 'A' a été établie pour des niveaux sonores de l'ordre de 60 dB.

CAS DE LA FRANCE : UNE REGLEMENTATION DISCUTEE

En France, les émissions sonores de parcs éoliens sont régies par la réglementation sur les bruits de voisinage (décret n°2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage et son arrêté d'application du 5 décembre 2006). De plus, l'implantation des éoliennes dont la hauteur du mât dépasse 50 mètres est subordonnée à la réalisation d'une étude d'impact et d'une enquête publique.

Le décret du 31 août 2006 impose, outre le respect des émergences globales en dB(A) à l'extérieur, le respect d'émergences par bandes de fréquences à l'intérieur des habitations dans le cas de plaintes de riverains, fenêtres ouvertes ou fermées. Ces dispositions par bande de fréquence sont applicables à compter de juillet 2007.

L'infraction n'est pas constituée lorsque le bruit ambiant global en dB(A) à l'extérieur des habitations est inférieur à 30 dB(A).

Pour un bruit ambiant supérieur à 30 dB(A) à l'extérieur, l'émergence du bruit perturbateur doit être inférieure aux valeurs suivantes :

5 dB(A) pour la période de jour (7h - 22h),

3 dB(A) pour la période de nuit (22h - 7h).

En ce qui concerne l'intérieur des habitations :

L'infraction n'est pas constituée lorsque le bruit ambiant global en dB(A) à l'intérieur des habitations est inférieur à 25 dB(A), fenêtres ouvertes ou fermées.

Pour un bruit ambiant supérieur à 25 dB(A) à l'intérieur, les émergences spectrales doivent être inférieures aux valeurs suivantes :

7 dB pour 125 Hz et 250 Hz,

5 dB de 500 Hz à 4000 Hz

L'application de la réglementation du bruit de voisinage aux éoliennes apparaît pour la plupart des développeurs comme trop contraignante, et certains souhaitent l'application de la réglementation sur le bruit des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE). Cependant, cette réglementation ne semble pas la plus à même de rendre compte des caractéristiques sonores des éoliennes.

L'application de la réglementation « bruit de voisinage » au bruit des parcs éoliens permet quant à elle le respect de l'environnement sonore des riverains. De plus, elle fait appel à une bonne connaissance des sources et des phénomènes dits « propagatifs », incluant les effets induits par la végétation, la topographie, la distance et les conditions météorologiques.

Fréquence d'un son : elle représente le nombre de vibrations par seconde de l'onde acoustique. Elle s'exprime en Hertz (Hz).

BRUIT ET NUISANCES SONORES DES EOLIENNES

CARACTERISATION DU BRUIT GENERE PAR LES EOLIENNES

Les premières générations d'éoliennes émettent un bruit relativement important. Les éoliennes 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. 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 (vent, hygrométrie,...) ;
- liés au milieu environnant (zone rurale, zone industrielle, proximité d'axes routiers, présence de végétation...).

Les niveaux sonores se situent :

- à proximité des sources : dans la gamme des niveaux de bruit d'infrastructures de transports terrestres
- à distance des sources : dans la gamme des niveaux de bruit résiduel (ou bruit de fond).

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.

DIFFICULTES DE MESURAGE DES EMERGENCES SONORES

Il est difficile d'évaluer précisément le bruit émis par un site. En effet, en plus des limites actuelles des instruments de mesure, on doit rendre compte d'une valeur de bruit en considérant :

➤ La notion d'espace

Si les phénomènes sont connus et modélisés pour des espaces « maîtrisés », les irrégularités de relief, et de nature des sols (forêts, cultures, labours, infrastructures), rendent la projection en grandeur réelle très difficile. Etablir des lois précises apparaît très délicat car il est impossible d'isoler les effets liés à l'hétérogénéité de l'atmosphère ou aux turbulences de l'air.

➤ La notion de temps

Certains phénomènes « propagatifs » sont stables dans le temps et d'autres fluctuent à des échelles plus ou moins réduites. Lors de l'évaluation de l'exposition sonore d'un site il est donc nécessaire d'utiliser des méthodes adaptées prenant en compte l'ensemble de ces phénomènes. Deux échelles temporelles sont communément considérées :

- l'échelle de court terme, la plus utilisée, permet d'identifier des événements particuliers. Elle est notamment utilisée pour valider les modèles théoriques.
- l'échelle de long terme, à laquelle se réfèrent généralement les textes réglementaires.

Dans le contexte actuel, la difficulté majeure reste le passage du court terme au long terme. Ceci est d'autant plus important que des mesures de contrôles peuvent être demandées. En effet, pour des raisons de temps et d'économie, ces mesures ne pourront être que de court terme. Sera-t-on capable dans ce cas, d'interpréter des résultats de calcul prévisionnel de long terme par rapport à des mesures de court terme ?

C'est pour cela qu'il est plutôt envisagé de faire des prévisions pour des situations extrêmes.

IMPACTS SANITAIRES : ENTRE EXPOSITION ET PERCEPTION DE LA POPULATION

➤ Echelles acoustiques

La gamme de fréquences perçues par l'homme varie entre 16 Hz et 20 000 Hz. On trouve :

- les infrasons: en dessous de 20 Hz,
- les basses fréquences (sons graves) : 16 – 200 Hz,
- les fréquences moyennes (sons médiums) : 200 – 2000 Hz
- les hautes fréquences (sons aigus) : 2000 – 20 000 Hz
- les sons audibles se situent entre 0 dB et 140 dB. Le seuil de la douleur est atteint à 120 dB.

Il existe par ailleurs une limite au-dessous de laquelle l'oreille peut supporter un nombre quasi infini de sollicitations. C'est le cas, par exemple, des expositions de longue durée à des niveaux sonores inférieurs à 70-80 dB qui n'induisent pas de lésions.

➤ Risques liés au bruit

Outre le risque de fatigue auditive (déficit temporaire d'audition), de perte auditive et de surdité, les impacts potentiels du bruit sur la santé sont nombreux.

L'exposition chronique au bruit entraîne des modifications au niveau endocrinien, dont une des conséquences majeures est l'atteinte des défenses immunitaires de l'individu exposé.

Le bruit est également susceptible de provoquer des troubles chroniques du sommeil et du système digestif, une élévation de la fréquence cardiaque, de la pression artérielle et une accélération du rythme respiratoire. Il impacte aussi de façon négative les facultés de concentration et de mémoire. Il faut noter cependant que toutes les études sur ces points ne sont pas parfaitement convergentes.

Enfin, le bruit jouerait un rôle déterminant dans l'évolution des états anxio-dépressifs. Il serait à l'origine d'une agressivité accrue, d'une augmentation du nombre de conflits etc. Néanmoins les recherches tendent à montrer que si le bruit ne provoque pas une augmentation des cas pathologiques, il semble aggraver les problèmes psychologiques préexistants.

➤ Susceptibilités individuelles

Il existe une vulnérabilité individuelle au bruit. Ainsi, l'âge, les antécédents de pathologies infectieuses de la sphère ORL, les antécédents de traumatisme crânien, certains troubles métaboliques ou l'existence d'une hypertension artérielle peuvent potentialiser l'effet délétère du bruit. De même, l'exposition au bruit associée aux vibrations et à des agents chimiques ou médicamenteux peut augmenter le risque de traumatisme auditif.

Si la sensibilité au bruit est très inégale dans la population, le sentiment de ne pouvoir « échapper » au bruit auquel on est sensible constitue une cause de souffrance accrue qui accentue la fréquence des plaintes subjectives d'atteinte à la santé.

➤ Exposition au bruit des éoliennes

A distance, le bruit dû aux éoliennes recouvre partiellement le domaine des infrasons, avec une part d'émission en basses fréquences. A l'heure actuelle, il n'a été montré aucun impact sanitaire des infrasons sur l'homme, même à des niveaux d'exposition élevés. Les critères de nuisance vis-à-vis des basses fréquences sont de façon usuelle tirés de courbes d'audibilité. Les niveaux acceptables (dans l'habitat) sont approximativement les limites d'audition.

De manière générale, l'exposition de la population au bruit des éoliennes se situe largement au dessous de la valeur seuil de 70-80 dB, et ne permet pas d'envisager un risque d'atteinte directe de l'appareil auditif. En pratique, il est difficile de percevoir le bruit d'une éolienne pour des distances supérieures à 500m.

Pour autant, la gêne¹ est bien présente. Selon des études psycho-acoustiques en laboratoire (Persson, Waye and Ohrstrom, 2002) portant sur la description du bruit provenant des éoliennes, les sifflements et les battements seraient les bruits les plus perturbants. Ces bruits peuvent être perçus comme impulsionnels, ce qui renforce le désagrément subi.

La gêne peut également être engendrée par des facteurs subjectifs, ainsi le sentiment d'un impact négatif sur la santé lié au bruit. Des études ont par exemple permis de constater que les performances auditives des personnes gênées ne diffèrent pas des courbes moyennes, ce qui illustre bien l'importance de la perception des éoliennes dans leur acceptation. Parmi les facteurs négatifs évoqués, on trouve également le caractère inesthétique, la détérioration du paysage, de l'environnement naturel et l'impact négatif sur certaines espèces d'oiseaux. Les sentiments de manque d'informations et de consultation préalable à l'installation jouent également un rôle dans la perception négative des éoliennes.

RETOUR D'EXPERIENCES

Afin de simplifier l'expertise, la détermination d'un critère de distance minimale d'éloignement des éoliennes par rapport aux habitations a souvent été évoquée. Mais cet exercice n'est jamais satisfaisant. Il entraîne selon le critère envisagé une surestimation ou une sous-estimation de l'impact acoustique du projet. Ceci est illustré par les exemples suivants :

MESURES D'EMERGENCE POUR DES PARCS EN FONCTIONNEMENT

Des mesures d'émergences par bande de fréquence ont été réalisées pour trois sites différents. L'analyse des trois mesures présentées permet de constater que le respect des exigences réglementaires en dB(A) et le respect des émergences spectrales ne sont pas liés : dans certains cas, les émergences spectrales peuvent être non conformes pour des émergences en dB(A) conformes. Ces dépassements de valeurs limites d'émergences, qui restent propres aux quelques exemples étudiés, se situent essentiellement dans les basses fréquences et sont faibles.

¹ Gêne : sensation de désagrément, de déplaisir provoqué par un facteur d'environnement dont l'individu ou le groupe connaît ou imagine le pouvoir d'affecter sa santé. Définition OMS.

MODELISATION

Des simulations d'émissions sonores de parcs éoliens ont été réalisées pour des conditions d'émission et de propagation particulièrement pénalisantes. De façon générale, les niveaux sonores sont relativement faibles au regard du bruit de fond naturel dès que l'on s'éloigne suffisamment de la source. D'autre part, la variabilité des niveaux sonores induits est relativement importante selon le scénario choisi. Ces éléments indiquent qu'une distance minimale n'est pas pertinente si on ne tient pas compte de la variabilité des situations réelles.

ANALYSE DE L'EXPOSITION SONORE DES RIVERAINS DE PARCS EOLIENS EN FONCTIONNEMENT

Un questionnaire a été transmis à l'ensemble des DDASS de France afin d'évaluer les problèmes sanitaires soulevés par le développement des parcs éoliens. L'exploitation des réponses fait apparaître les points suivants :

- 9 parcs éoliens sur 10 ne font l'objet d'aucune plainte de riverains. Dans les cas de mesures acoustiques sur site suite à ces plaintes, seule une sur deux montre effectivement une réelle non-conformité avec la réglementation.
- la règle d'éloignement de 500 mètres entre éolienne et habitation, est un principe simple défendu et appliqué par de nombreuses DDASS. Le respect de cette règle aurait réduit dans de fortes proportions (jusqu'à 90%) les plaintes des riverains. Notons cependant que cette distance de 500 m ne peut pas être prise comme une règle d'éloignement garante de la tranquillité du voisinage. En revanche, elle confirme qu'en deçà, l'acceptabilité d'un projet devient difficile. Au delà de 500m, l'implantation d'un parc éolien est possible mais une étude d'impact acoustique de qualité est nécessaire pour mettre en évidence les contraintes propres au site.
- l'évolution de la taille des éoliennes influence considérablement le choix des sites d'implantation. Cette évolution peut laisser supposer que les problèmes de nuisances sonores des éoliennes vont aller en diminuant du fait de l'abandon programmé des territoires d'habitats denses, avec des machines de plus en plus grandes.
- un cahier des charges commun du volet acoustique des parcs éoliens entre DDASS permettrait de conforter une règle minimale d'éloignement et de préciser comment les études spécifiques à chaque projet devraient prendre en compte la variabilité des ambiances sonores et des conditions de propagation.

Au vu de ces données, l'Afsset a rendu un avis comportant d'une part une analyse critique du rapport de l'Académie nationale de médecine, et d'autre part un ensemble de recommandations relatives au développement de l'éolien sur le territoire français.

CONCLUSION

Il apparaît que les émissions sonores des éoliennes ne génèrent pas de conséquences sanitaires directes, tant au niveau de l'appareil auditif que des effets liés à l'exposition aux basses fréquences et aux infrasons. A l'intérieur, fenêtres fermées, on ne recense pas de nuisances - ou leurs conséquences sont peu probables au vu des bruits perçus. En ce qui concerne l'exposition extérieure, les émissions sonores des éoliennes peuvent être à l'origine d'une gêne – souvent liée à une perception négative des éoliennes.

En outre, des retours d'expérience ont montré que la détermination d'un critère de distance minimale d'éloignement des éoliennes par rapport aux habitations n'est pas représentative de la réalité et constitue un exercice hasardeux.

Au vu de ces éléments, l'énoncé à titre permanent d'une distance minimale d'implantation de 1500 m vis à vis des habitations, même limitée à des éoliennes de plus de 2,5 MW, ne semble pas pertinente. Les avantages de la généralisation d'une telle distance, simple à mettre en œuvre, doivent être mis en balance avec le frein au développement qu'elle constitue. Il paraît plus judicieux de recommander une étude locale systématique préalablement à toute décision. A cet effet on dispose actuellement de possibilités d'étude fines et de simulations qui permettent de s'assurer du respect de la réglementation et de l'environnement des riverains proches ou éloignés avant la mise en place d'un parc éolien.

La recherche du consensus local et de solutions à la fois socialement acceptables et économiquement viables conduit en outre à envisager la mise à disposition systématique aux parties concernées des éléments de l'étude d'impact, selon les modalités adaptées des réglementations les plus efficaces, même si ces réglementations ne constituent pas le cadre usuel des éoliennes.

Du point de vue de la réglementation enfin, il ne semble pas souhaitable de faire glisser les éoliennes dans le champ d'application des ICPE. Il conviendrait plutôt de perpétuer l'évaluation de l'impact sonore des éoliennes à partir des émergences, selon la méthodologie désormais bien connue des riverains.

RECOMMANDATIONS

Le groupe de travail recommande la mise en place d'un cahier des charges de l'étude d'impact comprenant une modélisation fine de l'impact acoustique avant installation d'un parc éolien, ainsi qu'une vérification administrative obligatoire de cette étude acoustique.

Il s'agit plus particulièrement de :

- définir un périmètre d'étude : indiquer toutes les zones susceptibles d'être concernées par le bruit des éoliennes, même celles qui ne sont pas habitées ;
- chiffrer les niveaux et durées d'impact des zones concernées en fonction des conditions météorologiques prévisibles sur l'année ;
- indiquer les mesures prises par l'exploitant du parc éolien en cas de dépassement de l'émergence autorisée ;
- rendre la cartographie des zones d'impact d'un site éolien disponible en mairie ;
- imposer pour les études d'impact d'autres projets de tenir compte d'une incidence éventuelle dans les zones d'impact du parc éolien.

En outre, la méthode d'appréciation de l'impact du niveau sonore sur l'environnement, fondée sur les émergences entre niveau résiduel et niveau ambiant apparaît concentrer toutes les difficultés mises en avant par les développeurs d'éoliennes.

La recherche de la simplicité en matière réglementaire également devrait conduire à engager des efforts de clarification en ce qui concerne les critères de nuisances. Un tel résultat passe par un approfondissement des connaissances en matière de critères de gêne due au bruit.

Abréviations

ACNUSA : Autorité de Contrôle des Nuisances Sonores Aéroportuaires
 ADEME : Agence De l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
 DDASS : Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
 DDE : Direction Départementale de l'Équipement
 OMS : Organisation Mondiale de la Santé
 SER : Syndicat des Énergies Renouvelables
 ZDE : Zone de Développement de l'Eolien

Liste des tableaux

Tableau 1 : Développement de la filière éolienne dans le monde (source : EurObserv'ER , Systèmes solaires n°177, 2007).....	22
Tableau 2 : Puissances installée et cumulée en 2006 dans 5 pays européens	23
Tableau 3 : Puissance installée en MW par région	24
Tableau 4 : Règles d'obligation d'achat de l'électricité d'origine éolienne	25
Tableau 5 : Parc éolien mondial	28
Tableau 6 : Article 37 de la loi n° 2005 -781 régissant l'évaluation environnementale des parcs éoliens en fonction de la hauteur du mat.	29
Tableau 7 : Coefficient d'atténuation atmosphérique pour des bandes d'octave de nuit (en dB/100 m).....	46
Tableau 8 : Ambiances sonores résiduelles nocturnes en dB(A)	54
Tableau 9 : Influence des grillons – ambiances sonores résiduelles nocturnes (hiver/été) en un même point	55
Tableau 10 : Conditions de propagation favorables	63
Tableau 11 : Conditions de propagation défavorables	63
Tableau 12 : Valeurs de niveaux ambiants mesurés pour différentes configurations.....	69
Tableau 13 : Exemples de niveaux de bruit pour une turbine de 1,3 MW	70
Tableau 14 : Nombre d'instruction de permis de construire de parcs éoliens jusqu'à 2006	72
Tableau 15 : Nombre d'autorisation de permis de construire de parcs éoliens jusqu'à 2006.....	72
Tableau 16 : Valeurs guides de l'OMS (OMS, Guidelines for community noise, 2000).....	86
Tableau 17 : Valeurs des niveaux sonores pour une éolienne pour les différentes configurations.	88
Tableau 18 : Valeurs des niveaux sonores pour trois éoliennes pour les différentes configurations.....	89
Tableau 19 : Valeurs des niveaux sonores pour six éoliennes pour les différentes configurations.....	89

Liste des Figures

Figure 1 : Éléments d'une éolienne	20
Figure 2 : Éléments d'une éolienne	21
Figure 3 : Nacelle	21
Figure 4 : Anémomètre situé sur la nacelle de l'éolienne	21
Figure 5 : Gisement éolien en France (source : ADEME)	23
Figure 6: Evolution du parc français en MW entre 1996 et le 1 ^{er} septembre 2007	24
Figure 7 : Evolution de la puissance des éoliennes.....	25
Figure 8 : Puissance installée en France au 1 ^{er} septembre 2007 (source : SER)	26
Figure 9 : Répartition départementale de l'éolien à l'horizon 2010 (source : ADEME).....	29
Figure 10 : Carte des permis de construire délivrés pour des installations éoliennes entre le 1 ^{er} février 2005 et le 1 ^{er} février 2006 (source : ADEME).....	30
Figure 11 : Carte des permis de construire pour des installations éoliennes en cours d'instruction au 1 ^{er} février 2006 (source : ADEME).....	30

Figure 12 : Puissance électrique en fonction de la vitesse de vent	36
Figure 13 : Exemple de critère de bruit pour la nuit.....	38
Figure 14 : Exemple de critère de bruit pour le jour.....	38
Figure 15 : Exemple de comparaison entre le bruit résiduel et le bruit d'une éolienne uniquement.....	41
Figure 16 : Exemple de définition de niveaux sonores limites en fonction du niveau résiduel	42
Figure 17 : Décroissance spatiale pour une source ponctuelle et une ligne.....	45
Figure 18 : Géométrie du problème.....	47
Figure 19 : Décroissance spatiale pour une source ponctuelle avec et sans l'effet de sol	47
Figure 20 : Influence de l'effet de sol sur sol plat	48
Figure 21 : Influence de l'effet de sol sur sol accidenté.....	48
Figure 22 : Influence de l'effet de végétation sur sol plat	49
Figure 23 : Influence de l'effet de végétation sur sol accidenté.....	49
Figure 24 : Vue des éoliennes depuis la plaine (à 950 m).....	51
Figure 25 : Carte de bruit des contributions sonores à 6 m/s	51
Figure 26 : Influence des conditions météorologiques sur la courbure des rayons sonores	52
Figure 27 : Influence du vent pour une température constante	55
Figure 28 : Influence du gradient de température avec un vent nul	56
Figure 29 : Cas d'une inversion de température.....	56
Figure 30 : Spectres de bruit résiduel.....	58
Figure 31 : Lamb versus Lrés nuit, spectres moyens à 6 m/s	58
Figure 32 : Lamb versus Lrés nuit, spectres moyens à 5 m/s	59
Figure 33 : Lamb versus Lrés nuit, spectres moyens à 6 m/s	60
Figure 34 : Origine des turbulences	65
Figure 35 : Contributions relatives des bruits aéroacoustiques au bruit total	66
Figure 36 : pale d'éolienne	66
Figure 37 : Puissance acoustique en fonction de la puissance électrique.....	68
Figure 38 : Distribution du nombre d'éoliennes en fonction de l'éloignement entre le parc éolien et les habitations	73
Figure 39 : Echelle du bruit (Source : ACNUSA)	78

I. Introduction

La part des énergies renouvelables est en augmentation constante en France et dans le monde. Cette orientation est notamment due à la volonté de diversification des sources d'énergie afin de réduire la dépendance énergétique aux énergies fossiles importées sur le territoire et de garantir l'approvisionnement. De plus, les énergies renouvelables s'inscrivent dans un contexte de préoccupations sanitaires et environnementales, en particulier par la limitation des émissions de gaz à effet de serre. Le développement de l'énergie éolienne, quoique modeste en France malgré un fort gisement éolien, est ainsi en augmentation, passant d'environ 0,75 GW en 2005 à plus de 2 GW actuellement avec l'installation d'environ 2000 aérogénérateurs dans plus de 250 parcs éoliens.

Toutefois, malgré l'intérêt croissant de la population pour les énergies renouvelables, l'implantation d'éoliennes ou aérogénérateurs suscite des interrogations de la part des riverains quant aux impacts sur l'environnement et sur la santé. En particulier, de nombreux riverains se plaignent du bruit généré par les éoliennes.

L'Académie nationale de médecine a publié un rapport daté du 14 mars 2006 évaluant le retentissement du fonctionnement des éoliennes sur la santé de l'homme. Ce rapport, s'il relativise l'impact du bruit des éoliennes sur la santé, recommande notamment la prise de mesures réglementaires visant à éloigner certaines éoliennes (d'une puissance supérieure à 2,5 MW) des habitations à une distance minimale de 1 500 mètres. A la suite de ce rapport, l'Afsset a été saisie le 27 juin 2006 par les ministères en charge de la santé et de l'environnement afin de conduire une analyse critique du rapport de l'Académie nationale de médecine et d'évaluer en particulier la pertinence de cette recommandation d'éloignement des habitations

Une réponse précise à cette demande nécessite une étude précise des niveaux de bruit générés par les éoliennes, des impacts sanitaires potentiels ainsi que des diverses possibilités permettant de réduire l'émergence du bruit autour des installations.

Ce document comporte ainsi plusieurs parties :

- Etat des lieux du développement de la filière ;
- Etat des lieux de la réglementation applicable en France et en Europe ;
- Evaluation du niveau de bruit généré par les éoliennes ;
- Evaluation des impacts sanitaires potentiels dus au bruit des éoliennes ;
- Etude des possibilités de gestion du bruit ;
- Conclusions sur le rapport de l'Académie nationale de médecine ;
- Propositions.

II. Développement de la filière

II.1 Etat des lieux des technologies

Les aérogénérateurs modernes, appelés couramment éoliennes, sont constitués d'un mât de 50 à 110 m de haut. Au sommet se trouve une nacelle équipée d'un rotor à axe horizontal constitué le plus souvent de trois pales. Actionnées par le vent, les pales en rotation balayent un cercle de 40 à 120 mètres de diamètre, 6 à 25 fois par minute.

Fixées sur le moyeu, les pales entraînent une génératrice électrique installée dans la nacelle. Le courant d'une tension de 400 ou 690 V chemine dans le mât jusqu'au transformateur installé à la base du mât qui élève alors cette tension à 20 000 V.

De l'éolienne, le courant est ensuite transporté par câble souterrain jusqu'au poste de livraison (cf. figure 1). Puis, l'électricité est élevée à la tension supérieure au niveau du poste source et injectée sur le réseau national, pour ce qui concerne les éoliennes reliées au réseau.



Figure 1 : Eléments d'une éolienne

Une éolienne de 2 mégawatts produit annuellement environ 4 600 MWh soit la consommation électrique (hors chauffage) d'environ 2 000 foyers.

L'éolienne a une puissance instantanée proportionnelle à la surface balayée par le rotor et au cube de la vitesse du vent. L'éolienne fonctionne à partir d'une vitesse de vent de 3 m/s et atteint sa puissance nominale pour un vent d'environ 14 m/s. Au-delà, il faut limiter la vitesse du rotor et arrêter automatiquement l'éolienne quand la vitesse du vent est trop élevée, à 25 m/s (90 km/h).

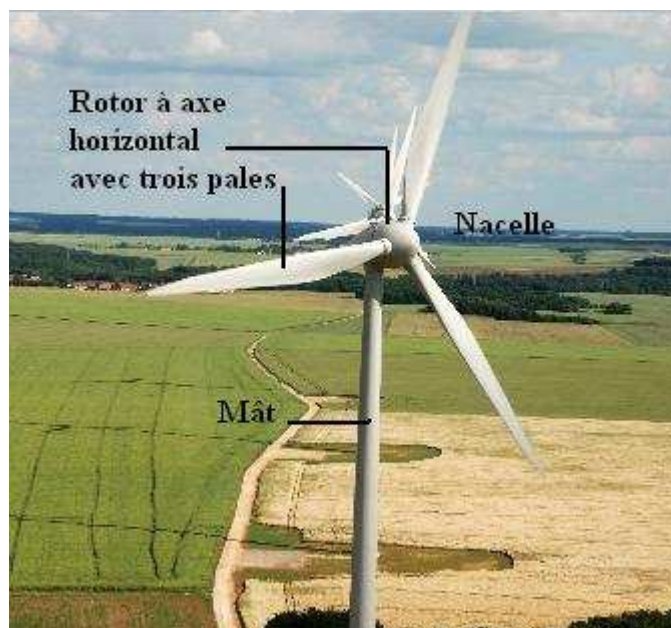


Figure 2 : Eléments d'une éolienne



Figure 3 : Nacelle

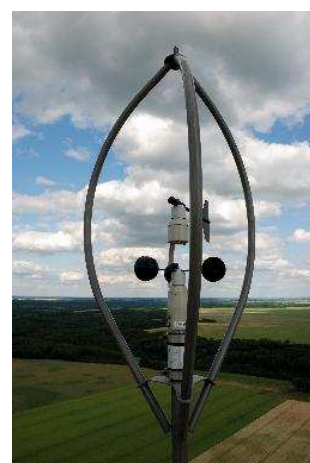


Figure 4 : Anémomètre situé sur la nacelle de l'éolienne

II.2 Bilan en 2006

II.2.1 Dans le monde

Fin 2006, plus de 72 000 MW éolien étaient opérationnels à travers le monde. Ils ont délivré environ 160 TWh (160 milliards de kWh), soit la consommation électrique domestique spécifique (hors besoins de chauffage) de plus de 60 millions de familles.

La croissance de la filière éolienne à travers le monde a été supérieure à 24% par an ces cinq dernières années. Cette évolution est résumée dans le tableau 1.

Tableau 1 : Développement de la filière éolienne dans le monde
(source : EurObserv'ER , Systèmes solaires n°177, 2 007)

	Puissance installée au 31 décembre	Puissance installée dans l'année	Taux annuel de croissance
2000	17 684 MW	4 234 MW	31,5%
2001	24 544 MW	6 860 MW	38,8%
2002	31 412 MW	6 868 MW	28,0%
2003	39 363 MW	7 951 MW	25,3%
2004	47 489 MW	8 126 MW	20,6%
2005	59 235 MW	11 746 MW	24,7%
2006	72 628 MW	13 393 MW	22,6%

Plus d'une soixantaine de pays sont dotés de parcs éoliens, témoignage de la disponibilité en vent dans toutes les régions du globe. L'Europe abrite les deux tiers du parc éolien mondial. L'Allemagne est le leader européen incontesté avec plus de 20 600 MW, loin devant l'Espagne avec plus de 11 600 MW ; le Danemark, pays pionnier dans l'éolien, est en troisième position européenne avec une puissance stable depuis plusieurs années : 3 100 MW. En 2006, les éoliennes ont assuré 2,5% de la production d'électricité de l'Union Européenne (18% au Danemark).

En dehors de l'Europe, les Etats-Unis d'Amérique avec près de 11 700 MW (soit autant que l'Espagne, avec une croissance en 2006 de 28%) devancent l'Inde avec plus de 6 200 MW (+41% en 2006), et la Chine avec plus 2 600 MW (+106% en 2006).

Les parcs éoliens offshore représentent environ 1,5% du total, avec plus de 1 000 MW ; ils sont tous concentrés dans le nord de l'Europe. Le premier parc offshore a été installé au Danemark en 1995, sur la côte orientale à Tuno Knob (5 MW). Le plus grand parc en production est également danois avec 160 MW (à Horns Rev) ; le plus important en construction est celui de London Array, dans l'estuaire de la Tamise, avec 1 000 MW environ.

La filière éolienne emploie plus de 100 000 personnes dans le monde. Ces emplois concernent avant tout la fabrication des éoliennes ; ils sont donc concentrés dans les pays constructeurs d'éoliennes : Allemagne, Danemark et Espagne en particulier.

II.2.2 En France

La France dispose du second gisement éolien européen, après le Royaume-Uni, mais vient en huitième position en termes de puissance installée. Avec plus de 800 MW de nouvelles installations en 2006, la France a constitué le troisième marché européen et le sixième marché mondial (cf. tableau 2).

Tableau 2 : Puissances installée et cumulée en 2006 dans 5 pays européens

	MW installés en 2006	MW cumulés fin 2006
Allemagne	2 233	20 662
Espagne	1 587	11 615
France	810	1 567
Portugal	673	1 716
Royaume-Uni	631	1 963

La France a représenté ainsi 3,2% du parc européen et 10,5% du marché éolien européen en 2006.

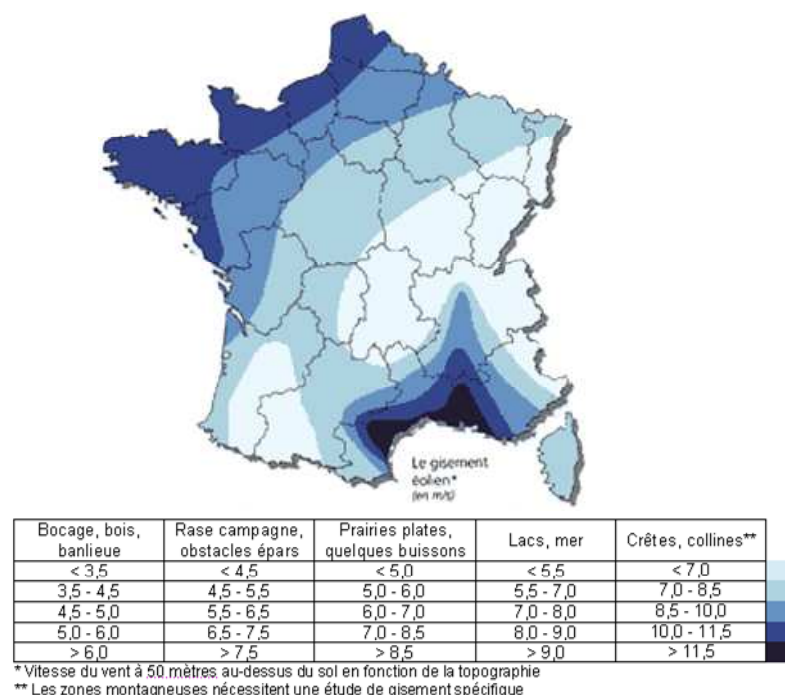


Figure 5 : Gisement éolien en France (source : ADEME)

Le potentiel de l'éolien terrestre est de 26 GW pour une production de 66 TWh/an et celui de l'éolien off-shore de 30 GW pour une production de 90 TWh/an.

La première éolienne a été raccordée au réseau électrique national en 1991 à Port-la-Nouvelle dans l'Aude. En 1996, le programme Eole 2005 lançait le développement de l'éolien en France, via un appel à projets. Depuis 2001, l'obligation d'achat de l'électricité éolienne par l'opérateur national EDF à un tarif incitatif fixé par le gouvernement est le moteur du développement de la filière.

Puissance installée

Pour la seule Métropole (hors DOM-TOM), la production d'électricité d'origine éolienne a fortement augmenté de 1 TWh en 2005 à 2,2 TWh en 2006, selon le Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie (cf. figure 6). Cette production éolienne reste faible par rapport à l'hydraulique (58,5 TWh) ou au nucléaire (429 TWh net).

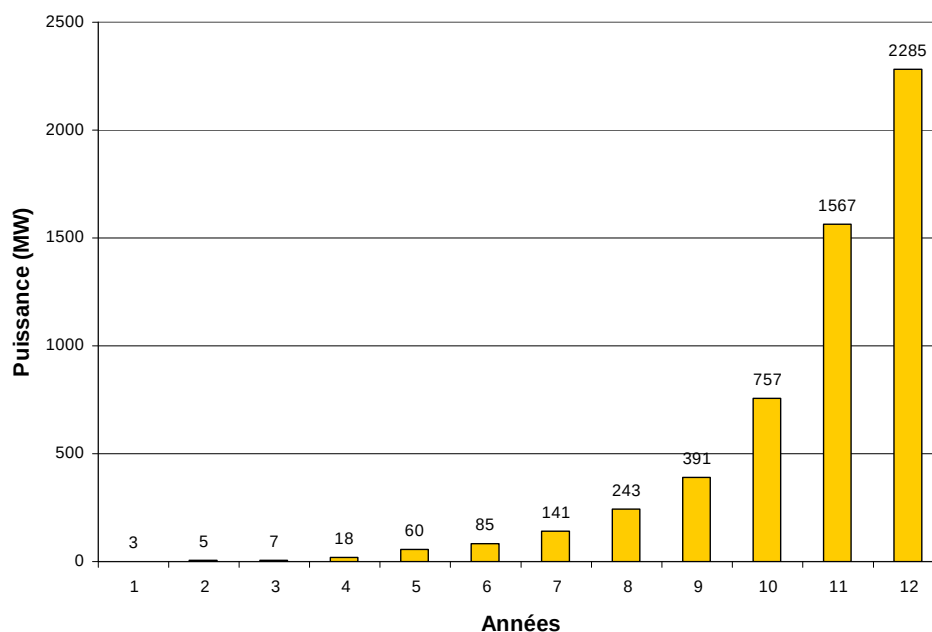


Figure 6: Evolution du parc français en MW entre 1996 et le 1^{er} septembre 2007

Fin décembre 2006, la puissance éolienne installée en France dépassait 1 500 MW. La puissance installée début septembre 2007 a atteint 2285 MW selon le Syndicat des Energies Renouvelables (SR/FEE) et 2700 MW environ fin 2007 (cf. tableau 3).

Tableau 3 : Puissance installée en MW par région

Régions	Puissance installée (en MW)	Régions	Puissance installée (en MW)
Centre	315	Basse-Normandie	50
Languedoc- Roussillon	281	DOM	37
Bretagne	254	Haute-Normandie	36
Lorraine	208	PACA	31
Picardie	193	Franche-Comté	30
Champagne-Ardenne	157	TOM	30
Bourgogne	134	Poitou-Charentes	21
Pays-de-Loire	104	Corse	18
Rhône-Alpes	103	Limousin	9
Auvergne	92	Alsace	11,5
Nord-Pas-de-Calais	87	Aquitaine	0
Midi-Pyrénées	83	Ile-de-France	0
TOTAL : 2284,5 MW			

La production de ces 2 285 MW éolien correspond à la consommation électrique domestique moyenne de près de 2,2 millions de foyers.

Caractéristiques techniques

La France compte environ 250 parcs éoliens, soit une puissance moyenne de plus de 9 MW par parc. Cette taille moyenne découle directement du plafond de 12 MW institué pour bénéficier de l'obligation d'achat avant la mise en œuvre de la Loi POPE (loi du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique).

La loi de programme n° 2005-781 du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique modifie le régime d'obligation d'achat de l'électricité éolienne en métropole continentale (cf. tableau 4) et introduit le principe de Zone de Développement de l'Eolien (ZDE). Cette zone est définie par le préfet sur proposition des communes concernées, et permet aux installations éoliennes qui y sont situées de bénéficier de l'obligation d'achat.

Tableau 4 : Règles d'obligation d'achat de l'électricité d'origine éolienne

Bénéfice de l'obligation d'achat	Entre le 14/07/2005 et le 14/07/2007	Après le 14/07/2007
Métropole continentale	- Absence de ZDE : puissance $\leq$ 12 MW (certificat ouvrant droit à l'obligation d'achat et notification du délai d'instruction de la demande de permis de construire) - Conformité avec l'arrêté créant la ZDE (limites de puissance et localisation)	Conformité avec l'arrêté créant la ZDE (limites de puissance et localisation)
Corse, D.O.M., Mayotte et Saint-Pierre et Miquelon	Puissance de l'installation $\leq$ 12 MW (le cas échéant dans une ZDE si elle est créée)	

On distingue les éoliennes à utilisation domestique de puissance inférieure à 25 kW et les éoliennes de plus grande puissance qui sont généralement raccordées au réseau électrique national.

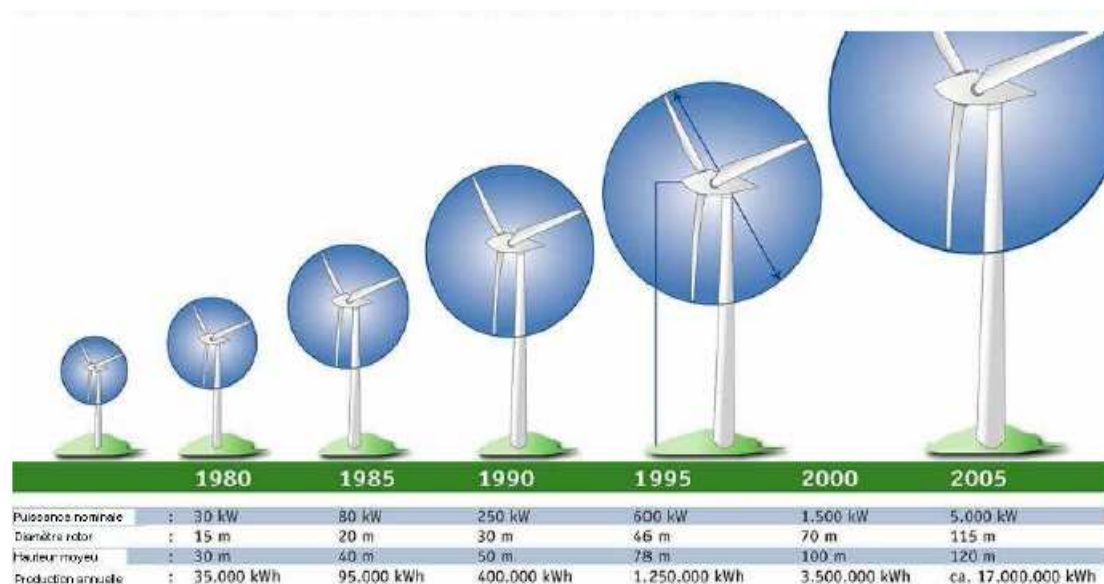


Figure 7 : Evolution de la puissance des éoliennes

La puissance unitaire moyenne des éoliennes installées est en croissance forte depuis quelques années (cf. figure 7). Elle était voisine de 800 kW en 2003, et de 1150 kW en 2004 et 2005 ; elle a été de près de 1700 kW en 2006 (à comparer à 1850 kW en Allemagne).

Cette taille devrait croître encore dans les années à venir : la machine standard actuelle semble être d'une puissance de 2 MW, avec des réalisations à venir de 2,5 MW voire 3 MW. La tendance est à l'installation de parcs éoliens avec des machines moins nombreuses mais plus puissantes (les plus grandes atteindront bientôt 5 MW). En première approximation, la machine de 2 MW correspond à une éolienne équipée d'un rotor de 80 mètres de diamètre monté sur une tour de 70 à 100 m de haut, ces éoliennes d'une puissance inférieure à 2,5 MW ne sont donc pas concernées par la recommandation du rapport de l'Académie nationale de médecine, recommandation, qui en l'état actuel ne semble concerner qu'un nombre très marginal de machines, voire peut-être aucune.

Répartition géographique

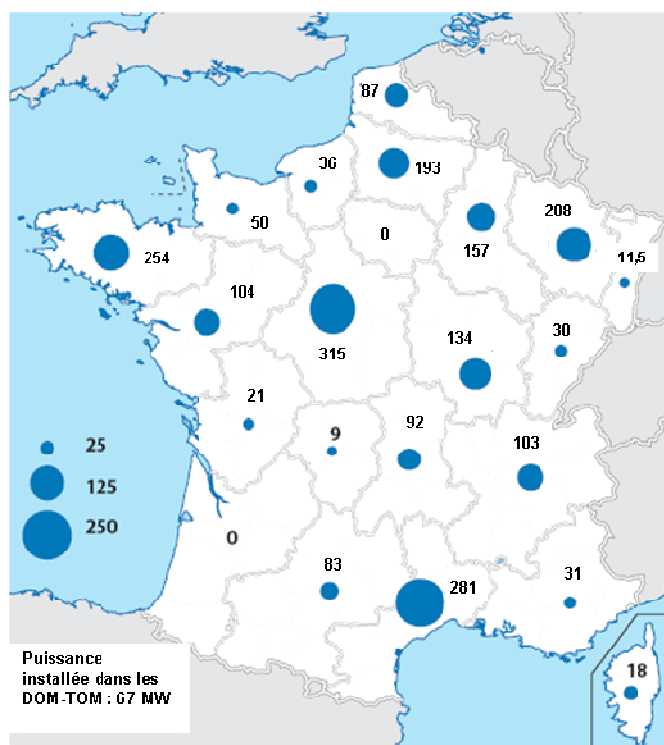


Figure 8 : Puissance installée en France au 1^{er} septembre 2007 (source : SER)

Les régions leaders sont, début septembre 2007, le Centre avec 315 MW environ et le Languedoc-Roussillon avec 281 MW, comme l'illustre la figure 8. Viennent ensuite, la Bretagne (257 MW) puis la Lorraine, la Picardie et la région Champagne-Ardenne (plus de 150 MW chacune). 20 des 22 régions françaises sont dotées de parcs éoliens. La puissance installée dans les DOM-TOM avoisine les 70 MW.

Sur un an, c'est la région Centre qui a connu la croissance la plus forte : plus de 90%. Viennent ensuite, la Picardie et Champagne-Ardenne avec environ 85% d'augmentation. Les deux régions pionnières, Languedoc-Roussillon et Bretagne, ont eu une croissance de 65% environ.

Le parc éolien français se partage donc entre des régions côtières et des régions agricoles de grande culture.

Augmentation du nombre des demandes de permis de construire

Une enquête conduite en 2006 par le Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie (MINEFI, DGEMP, 2006) décrit le développement des projets éoliens. Le volume des demandes de permis de construire est en accroissement constant : 2 252 MW avant le 1^{er} février 2004, 3 198 MW pour l'enquête 2005 et 4 651 MW pour l'enquête 2006. Au 1^{er} février 2006, les autorisations de construire atteignaient 3 639 MW.

Chiffre d'affaires de la filière

Le chiffre d'affaires de la filière éolienne française a été d'environ 1,2 milliard d'euros en 2006.

Le tarif d'achat en vigueur de l'électricité éolienne résulte de l'Arrêté du 10 juillet 2006. Le taux de base applicable pendant les dix premières années est de 8,2 centimes d'Euros par kWh ; pour les cinq années suivantes, il est fonction de la productivité du site et est compris entre 8,2 c€ pour les sites les moins ventés et 2,8 c€ pour plus les plus ventés. Le surcoût lié à ce tarif incitatif est payé par le consommateur d'électricité via une Charge de Service Public de l'Electricité. La Commission de Régulation de l'Electricité (CRE) a estimé pour 2007 ce surcoût énergies renouvelables à 0,23 Euro pour 1000 kWh.

La taxe professionnelle, à laquelle est soumis tout parc éolien comme toute activité économique, aurait généré un produit de 12 millions d'euros en 2006, selon le SER/FEE. Le montant de cette taxe est fonction de l'investissement (et non de la production électrique) et des taux d'imposition très variables selon les collectivités. Les principaux destinataires de ce produit sont les communes et communautés de communes, les départements et les régions. En moyenne, le produit de la taxe professionnelle avoisine 10.000 Euros par MW.

Les parcs éoliens sont également sources de revenus pour les propriétaires et les exploitants agricoles. En 2006, la location des terres pour accueillir des éoliennes aurait rapporté environ 4 millions d'Euros selon le SER/FEE.

On ne dispose que d'estimations grossières du nombre de personnes travaillant dans la filière éolienne française : 3 000 à 4 000 selon le SER/FEE. Une enquête conduite par cette fédération des professionnels de l'éolien conduirait à plus de 300 personnes pour la seule région Languedoc-Roussillon.

Avantages pour l'environnement : réduction des émissions de gaz à effet de serre

Le développement de l'énergie éolienne est encouragé pour des raisons environnementales de lutte contre l'effet de serre. La France s'est ainsi engagée à produire 21% de son électricité d'origine renouvelable en 2010 contre 14% actuellement. Cette contribution des énergies renouvelables en général et de l'éolien en particulier à la réduction des émissions de gaz à effet de serre est reconnue dans le « bilan énergétique de l'année 2006 en France (DGEMP, 2007) : « *Le regain de l'hydraulique (+8%) grâce à une meilleure pluviosité qu'en 2005, allié à un fort développement de l'éolien, permet une nette diminution de l'appel aux centrales thermiques classiques (-9,3%)* ».

L'estimation des rejets de gaz à effet de serre évités par la production éolienne fait entrer de nombreuses hypothèses, liées à la structure des productions actuelle et future ou à la typologie de l'électricité substituée. Une estimation quantitative des rejets potentiellement évités par l'utilisation des éoliennes ne fait cependant pas l'objet de ce rapport.

II.3 Perspectives de la filière éolienne

II.3.1 Dans le monde

Le cabinet danois BTM Consult (2007) a évalué en mars 2006 le parc éolien mondial comme suit :

Tableau 5 : Parc éolien mondial

	Parc éolien mondial	Production éolienne mondiale	Puissance installée annuellement	Dont puissance installée par an en mer
2006	74 000 MW	151 TWh	13 300 MW	100 MW
2010	149 000 MW	308 TWh	20 200 MW	3 900 MW
2015	298 000 MW	630 TWh	31 900 MW	?

L'association européenne de l'énergie éolienne (EWEA) table quant à elle sur une contribution de l'énergie éolienne à 23% de la consommation d'électricité en 2030, via près de 1 000 TWh produits plutôt sur mer.

Le 8 mars 2007, le Conseil des Ministres de l'énergie des 27 pays de l'Union a fixé à l'unanimité l'objectif de 20% d'énergies renouvelables dans la consommation énergétique globale en 2020 (contre 7 à 8% actuellement, et 12% visés en 2010) ; cela requiert d'augmenter considérablement la part de l'électricité d'origine renouvelable.

II.3.2 En France

Puissance installée

L'Arrêté de Programmation Pluriannuelle des Investissements (PPI) de production électrique du 7 juillet 2006 a fixé des objectifs forts tant pour l'éolien sur terre que pour l'éolien en mer. Ils sont, pour 2010, de 12 500 MW sur terre et de 1 000 MW en mer et, pour 2015, de 13 000 MW sur terre et de 4 000 MW en mer.

La PPI de juillet 2006 donne une place prépondérante à l'énergie éolienne pour satisfaire l'augmentation de la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité de 14% actuellement à 21% en 2010 : en termes de puissance installée, l'éolien représente en effet 87% des objectifs de la PPI.

Caractéristiques techniques

Avec la disparition du seuil de 12 MW et avec l'augmentation de la puissance unitaire des éoliennes, la taille moyenne des parcs éoliens devrait augmenter fortement. L'objectif de 2010 pour les parcs terrestres pourrait dès lors être atteint grâce à 500 parcs éoliens supplémentaires de 20 MW environ chacun.

L'augmentation de la puissance unitaire des éoliennes va de pair avec une augmentation de la hauteur de moyeu ; les vents étant plus importants en altitude, de nouveaux sites éoliens deviennent rentables économiquement.

Les dispositions réglementaires régissant l'implantation d'un parc éolien

L'article L. 553-2 du code de l'environnement, dans sa rédaction issue de l'article 37 de la loi de programme (cf. tableau 6), subordonne l'implantation des éoliennes dont la hauteur du mât dépasse 50 mètres, à la réalisation d'une étude d'impact et d'une enquête publique (auparavant étaient soumises à ces mesures les installations éoliennes dont la puissance installée totale sur un même site de production au sens du troisième alinéa de l'article 10 de la loi n°2000-108 du 10/02/00 excédait 2,5 MW).

Tableau 6 : Article 37 de la loi n°2005 -781 régissant l'évaluation environnementale des parcs éoliens en fonction de la hauteur du mât.

< 12 m	> 12 m et < 50 m	> 50 m
Notice d'impact	Permis de construire, notice d'impact	Permis de construire, étude d'impact, enquête publique

Répartition géographique

Le Syndicat des Energies Renouvelables a tenté une projection de la répartition du futur parc éolien français (cf. figure 9).

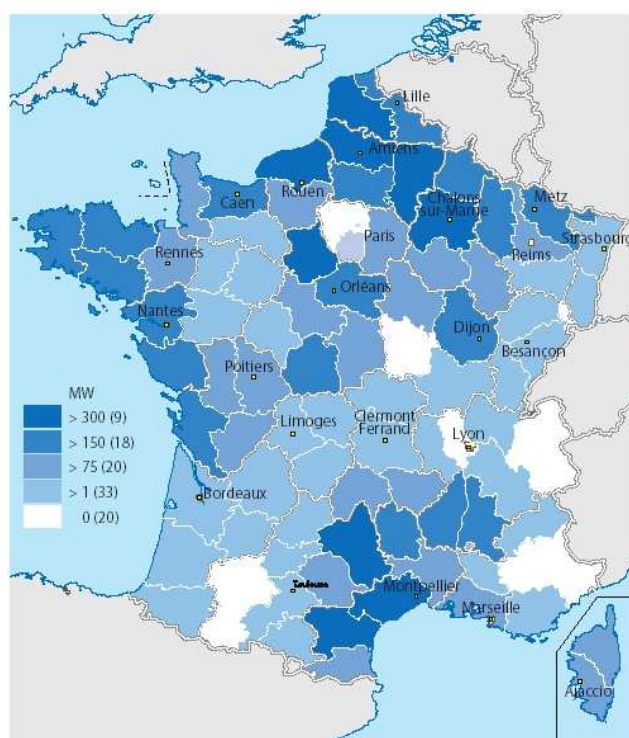


Figure 9 : Répartition départementale de l'éolien à l'horizon 2010 (source : ADEME)

A l'horizon 2010, une dizaine de départements, dans le nord de la France et en Languedoc-Roussillon, devrait compter 300 MW chacun (15 parcs). Une vingtaine de départements, sur les littoraux de l'Atlantique et de la Manche, le pourtour méditerranéen et le centre de la France, devrait accueillir chacun 150 MW (soit une dizaine de parcs).

Devenir des permis de construire

Une enquête conduite en 2006 par le MINEFI renseigne sur les autorisations administratives récentes et donc sur les parcs destinés à être construits. Selon cette enquête, un tiers des permis est refusé et le délai d'instruction d'un permis éolien est de l'ordre de 9 mois, à compter de la notification du délai d'instruction du permis de construire (cette notification correspondant elle même à un délai moyen de 3,5 mois).

La grande majorité des parcs autorisés en 2005 devrait voir le jour entre 2007 et 2008.

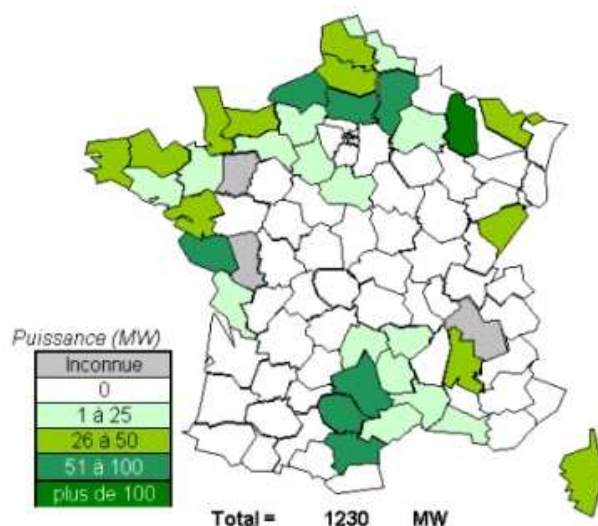


Figure 10 : Carte des permis de construire délivrés pour des installations éoliennes entre le 1^{er} février 2005 et le 1^{er} février 2006 (source : ADEME)

Près des deux tiers de ces projets pourraient être construits entre 2009 et 2010.

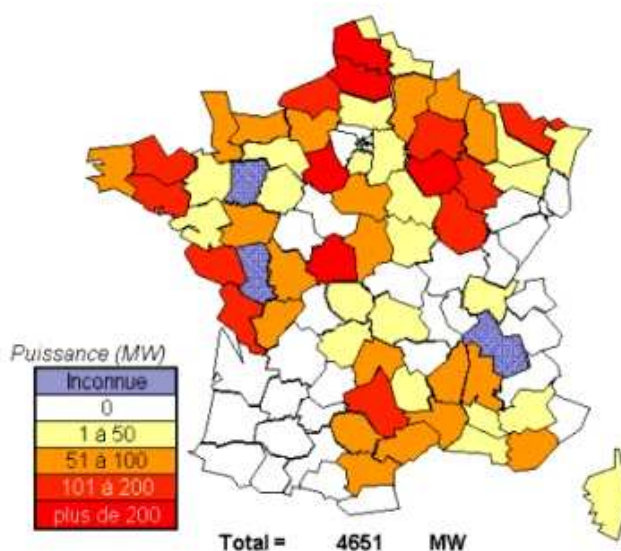


Figure 11 : Carte des permis de construire pour des installations éoliennes en cours d'instruction au 1^{er} février 2006 (source : ADEME)

Avec la mise en place des Zones de Développement de l'Eolien, seules zones dans lesquelles l'obligation d'achat de l'électricité devient effective, à compter du 14 juillet 2007, le développement de l'éolien ne se trouve plus laissé à lui-même mais entre les mains des élus locaux (qui proposent) et des préfets (qui arrêtent ces ZDE).

Projection du chiffre d'affaire de la filière

En 2010, la concrétisation effective des objectifs contenus dans la PPI devrait avoir les conséquences économiques suivantes :

un chiffre d'affaires annuel de la filière d'environ 5 milliards d'Euros ;

la distribution annuelle d'environ 150 millions d'Euros aux différentes collectivités concernées ;

le versement annuel de 50 millions d'Euros aux propriétaires et exploitants agricoles concernés ;

l'emploi de 20 000 à 30 000 personnes pour la fabrication, les études, l'installation et la maintenance.

Réduction des émissions de gaz à effet de serre

La concrétisation des objectifs de la PPI entraînerait pour l'année 2010 l'évitement de 850 000 à 12 000 000 de tonnes de gaz carbonique (selon les hypothèses de calcul).

III. Etat des lieux de la réglementation et de la normalisation

III.1 Méthodologie de mesure, normalisation

Méthode de mesurage

La nécessité de mesure des bruits de basse fréquence à l'intérieur des habitations, en complément des mesures usuelles à l'extérieur, est soulignée à plusieurs reprises. Naturellement, cette recommandation vise aussi les éoliennes.

Usage d'une pondération fréquentielle

Le contenu spectral particulier des bruits d'éoliennes conduit à tenter d'en rendre compte par des pondérations spectrales particulières qui renforcent la part de certaines bandes de fréquence.

Aucune correction de tonalité (présence de sons purs ou de sons à bande étroite) n'est utilisée, en l'absence de mise en évidence expérimentale.

dB(A)

La pondération A vise à procurer une évaluation sommaire de la sonie des bruits perçus : elle atténue donc fortement les basses fréquences par rapport aux fréquences moyennes et hautes. La relation entre la gêne exprimée et le niveau de bruit mesuré en dB(A) reste faible.

Le dB(A) est assez généralement présenté comme un indicateur inadapté pour les basses fréquences, malgré la part de bruit de moyennes et hautes fréquences susceptible d'intervenir dans le bruit de sifflement en bout de pales. L'emploi du dB(A) pour évaluer la gêne due aux Basses Fréquences (et partant aux éoliennes) conduit à une sous estimation générale de la nuisance rapportée dans l'environnement.

Une approche modifiée au moyen d'une pondération fréquentielle (désignée par J) limitant l'atténuation de la pondération A en deçà de 20 Hz a été tentée par certains auteurs : elle est surtout efficace aux faibles niveaux de nuisance.

Le recours au dB(C)

Le dB(C) (bande passante approximative à -3 dB : de 31,5 Hz à 8000 Hz) est parfois utilisé en basses fréquences pour rendre compte de la pression acoustique dans tout le champ des fréquences audio. Etant donnée la part importante de la contribution des basses fréquences dans le cas des éoliennes, le niveau en dB(C) est plus important. La comparaison des niveaux en dB(C) sera également en faveur des éoliennes ayant le plus faible niveau en basses fréquences.

Ce type de mesures rend moins compte de la sonie globale (contrairement à l'approche sommaire qu'en effectue le dB(A), et se rapproche davantage d'une évaluation de puissance acoustique non différenciée en fréquence.

Dans la pratique, il est peu utilisé seul. On le voit surtout utilisé conjointement avec le dB(A) pour le calcul de l'indice harmonique (différence $L_A - L_C$).

COURBE G

Une courbe de pondération fréquentielle désignée par G (définie par la norme ISO 7196 de 1995) a été développée pour donner une valeur de référence concernant les basses fréquences en général. Elle comporte un maximum (affaiblissement nul) à 20 Hz, et passe par des points à (- 80 dB / 0,3 Hz) et (- 80 dB / 300 Hz). Elle reste inapplicable stricto sensu du fait qu'elle atténue trop fortement des fréquences telles que 16 Hz, qui sont pourtant souvent très présentes.

Pour ce qui concerne spécifiquement les éoliennes, son domaine d'application reste également trop restreint.

III.2 Recours à la normalisation

D'une façon générale, la normalisation n'a pas de caractère obligatoire. Lorsqu'une obligation existe, elle relève d'une réglementation. Les normes présentées ci-dessous le sont pour leur contenu méthodologique.

NFS 31110 et NFS 31010 : Norme de mesurage des niveaux sonores en extérieur

En France, les opérations de mesurage de niveaux sonores du bruit de voisinage en extérieur doivent être conformes aux exigences de la norme de mesurage NFS 31010 (norme spécialisée, associée à la norme générale NFS 31110). Il ne s'agit pas ici de synthétiser les spécifications de la norme mais de rappeler que cette norme décrit le mode opératoire à suivre (emplacement du point de mesure, classe de précision des appareils de mesures, calibration, choix des périodes de mesurage, durée, traçabilité, conditions météorologiques, ...). Afin d'éviter que les mesures soient perturbées par le souffle du vent sur la membrane du microphone, la norme précise que les vitesses de vent devront être inférieures à 5 m/s afin de valider la mesure. Cette mesure doit être faite au niveau du microphone. D'ailleurs les constructeurs estiment que la mesure est valable jusqu'à une vitesse de 5 m/s pour un microphone équipé d'une boule anti-vent spécifique.

Pour les parcs éoliens, les mesures acoustiques doivent être réalisées en suivant les prescriptions de cette même norme NFS 31010. Mais l'application de cette norme à l'éolien montre ses limites, notamment dans l'analyse des mesures en fonction des vitesses de vent. Un projet de norme spécifique aux opérations de mesurage pour des parcs éoliens (NFS 31-114) est en cours de rédaction.

Projet de norme NFS 31 114 : mesurage des niveaux sonores de parcs éoliens

Cette norme est dédiée à la réalisation de mesures acoustiques autour de parcs éoliens que ce soit dans le cadre de la caractérisation des ambiances sonores avant implantation des éoliennes (étude d'impact acoustique) ou dans le cadre de mesure d'émergences pour des parcs en fonctionnement. Elle tiendra compte des spécificités de la problématique éolienne. Cette spécificité résulte du fait que les éoliennes fonctionnent grâce au vent. Celui-ci fait varier le bruit de fond au niveau des habitations riveraines ainsi que celui émis par les machines. Les analyses devront donc intégrer cette variabilité en effectuant des corrélations entre évolutions des niveaux sonores et des vitesses de vent. Elle définira l'emplacement et la hauteur de la mesure de vent (à 10m au dessus du sol au niveau des éoliennes); ainsi que les précautions à prendre pour que la mesure soit valide malgré la présence de vent.

Précautions méthodologiques spécifiques

Des difficultés de mesure sont mentionnées en plusieurs circonstances. Elles sont énumérées ci-dessous de façon non limitative :

- difficulté de mesure avec des sonomètres courant (jusqu'à une date récente) du fait d'une fréquence de coupure basse à 10 Hz, alors que le bruit est justement présent aux fréquences inférieures à 10 Hz,
- usage d'enregistreurs magnétique de bande passante insuffisante en basses fréquences.

En revanche, la question du positionnement du microphone fait l'objet de remarques contradictoires :

- précision de l'emplacement sans influence pour les infrasons, du fait de l'importante longueur d'onde (de l'ordre de plusieurs dizaines de mètres) : cet avis est en contradiction avec les normes de mesures de bruit d'environnement en France.
- rôle perturbateur de la zone de réflexion près du sol (où peuvent être placés les microphones), ce qui relève le niveau de 6 dB (Ceci est à mettre en relation avec les méthodes en usage pour la caractérisation de puissance des éoliennes, ou citées par la norme ISO 1996 pour le bruit d'environnement)

Le caractère impulsionnel est avéré en présence de battements ou de "flapping" : dans les régions anglo-saxonne ou nordique, il est parfois traité selon la méthode de la norme ISO 1996, par des pénalités forfaitaires de 5 dB.

Critères généraux pour les bruits de basse fréquence

Des spécifications relatives aux basses fréquences figurent dans certaines réglementations nationales, ainsi que dans les recommandations d'organismes internationaux :

- ↳ OMS : 30 dB(A) à 35 dB(A) en L_{Aeq} intérieur 16 heures, et L_{Amax} compris entre 45 dB à 60 dB (Il ne s'agit pas du L_{Amax} cité par les normes ISO 1996 ou Afnor NFS 31 110, c'est à dire la valeur maximale instantanée du niveau affecté par la pondération temporelle dite "rapide", mais de la valeur maximale du $L_{Aeq,1s}$). Il s'agit des valeurs recensées à partir desquelles des effets sont constatés.
- ↳ Courbes limites définies par les points (110 dB, 4 Hz) et (40 dB, 125 Hz)
- ↳ l'ANSI B 133.8 annexe B recommande, d'une façon générale pour les basses fréquences, de ne pas dépasser 75 à 80 dBC.
- ↳ La norme DIN 45680 comporte des valeurs désignées par "Night Reference Curve" qui donneraient satisfaction à 90 % dans le cas des basses fréquences en général.

Ces critères ne sont pas spécifiques aux éoliennes. Pour certains, ils ne concernent que l'aspect basses fréquences et laissent de côté les bruits de pales et les sifflements mentionnés par ailleurs. Pour les autres (en dB(A) ils ne prennent en compte que la part nettement audible du bruit. Peu d'entre eux concernent simultanément tout le spectre audible.

III.3 Réglementation française

Réglementation sur les bruits de voisinage

En France, les émissions sonores de parcs éoliens sont régies par la réglementation sur les bruits de voisinage (décret n° 2006-1099 du 31 août 2006 et son arrêté d'application du 5 décembre 2006). Il existe d'autres réglementations françaises relatives au bruit pour d'autres types d'infrastructures (infrastructures de transport terrestre, industries, aéroports).

Définitions :

Bruit ambiant : niveau de bruit mesuré sur la période d'apparition du bruit particulier,

Bruit résiduel : niveau de bruit mesuré sur la même période en l'absence du bruit particulier,

Emergence : différence arithmétique entre le niveau de bruit ambiant et le niveau de bruit résiduel.

Le décret n°2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage révisé le précédent (décret 95-408 du 18 avril 1995) et impose outre le respect des émergences globales en dB(A) à l'extérieur; le respect d'émergences par bandes de fréquences à l'intérieur des habitations dans le cas de plaintes de riverains, fenêtres ouvertes ou fermées. Ces dispositions par bande de fréquence sont applicables à compter de juillet 2007.

L'arrêté du 5 décembre 2006 relatif aux modalités de mesurage des bruits de voisinage est paru au Journal Officiel du 20 décembre 2006. Ce texte, qui abroge l'arrêté du 10 mai 1995 relatif aux modalités de mesure des bruits de voisinage, vient en application du nouveau décret du 31 août 2006.

Par rapport à l'ancienne réglementation, les exigences à l'extérieur des habitations restent inchangées :

L'infraction n'est pas constituée lorsque le bruit ambiant global en dB(A) à l'extérieur des habitations est inférieur à 30 dB(A) chez le riverain considéré.

Pour un bruit ambiant supérieur à 30 dB(A) à l'extérieur, l'émergence du bruit perturbateur doit être inférieure aux valeurs suivantes :

5 dB(A) pour la période de jour (7h - 22h),

3 dB(A) pour la période de nuit (22h - 7h).

En ce qui concerne l'intérieur des habitations :

L'infraction n'est pas constituée lorsque le bruit ambiant global en dB(A) à l'intérieur des habitations est inférieur à 25 dB(A), fenêtres ouvertes ou fermées.

Pour un bruit ambiant supérieur à 25 dB(A) à l'intérieur, les émergences spectrales doivent être inférieures aux valeurs suivantes :

7 dB pour 125 Hz et 250 Hz,

5 dB de 500 Hz à 4000 Hz

III.4 Réglementations européenne et internationale

III.4.1 Allemagne : recommandations TA-Lärm

Cette réglementation s'applique à tous les types de bruits ayant un effet sur l'environnement. Elle s'appuie sur la notion de niveaux globaux maxima admissibles (avec le fonctionnement de l'installation incriminée), dont les valeurs sont définies en fonction de la zone concernée, à l'extérieur ou à l'intérieur :

A l'extérieur : les niveaux critiques du bruit ambiant à ne pas dépasser sont :

Zones industrielles, 70 dB(A)

Zones professionnelles, jour 65 dB(A), nuit 50 dB(A)

Villages, domaines mixtes, jour 50 dB(A), nuit 45 dB(A)

Zones résidentielles, jour 55 dB(A) ou 50 dB(A), nuit 40 dB(A)

Centres de cures, hôpitaux, centres de soins, jour 45 dB(A), nuit 35 dB(A)

Les bruits impulsionnels isolés ne doivent pas dépasser ces valeurs de plus de 30 dB(A) de jour et de plus de 20 dB(A) de nuit.

A l'intérieur : les niveaux ne doivent pas dépasser les valeurs de 35 dB(A) de jour, et 25 dB(A) de nuit et les bruits impulsionnels isolés ne doivent pas dépasser de plus de 10 dB(A).

Périodes réglementées : le jour de 6h à 22h et la nuit de 22h à 6h

Les critères définis ci-dessus s'appliquent pour une vitesse de vent de 10 m/s à 10 m de hauteur ou pour la vitesse correspondant à 95 % de la puissance nominale de la machine (cf. figure 12).

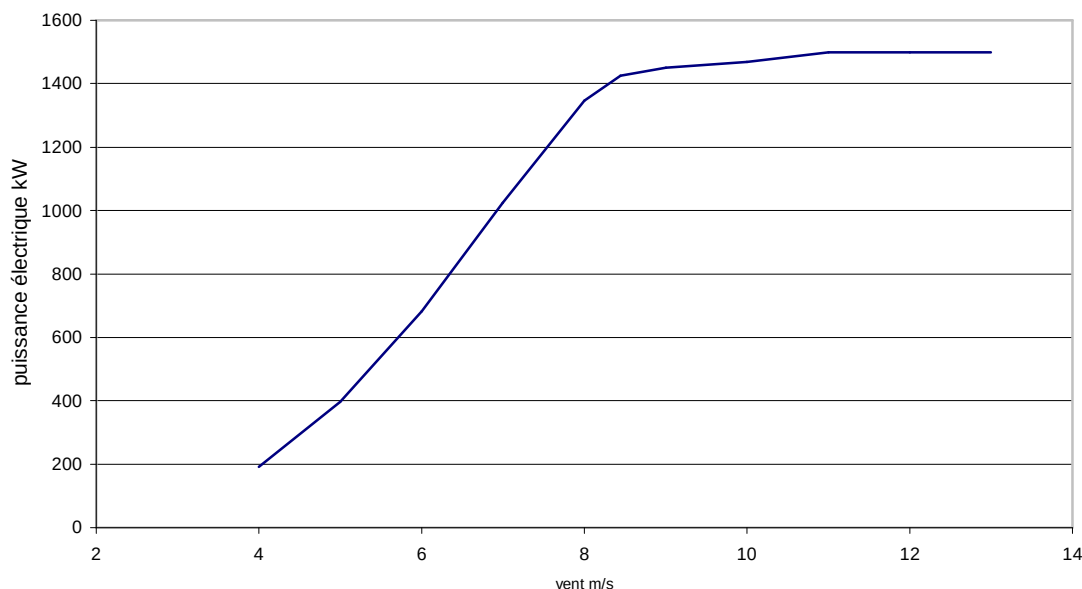


Figure 12 : Puissance électrique en fonction de la vitesse de vent

Tonalité

La notion de tonalité marquée est également prise en compte. Des pénalités en dB sont définies et ajoutées en fonction des conditions d'audibilité de la tonalité. Ces valeurs sont à soustraire des valeurs limites admissibles.

III.4.2 Royaume-Uni : recommandations ETSU R 97

Ces recommandations décrivent une méthodologie pour les mesures sur des parcs éoliens et indiquent les niveaux de bruit ambiant recherchés pour que les riverains soient protégés d'un bruit excessif sans restriction trop contraignante pour le projet. Elles ont été rédigées pour répondre à la problématique éolienne : mesures en présence de vent, analyses des niveaux sonores en fonction des vitesses de vent.

Une des recommandations les plus importantes de la ETSU-R-97 est que l'indice statistique L90 10 min du niveau sonore continu équivalent doit être utilisé pour les niveaux résiduels et ambiants. Cela permet de « nettoyer » les mesures de bruits plus forts ou transitoires venant d'autres sources. Il est précisé que dans le cas particulier des éoliennes, l'indice statistique L90 10 min est plus faible que le LAeq sur la même période de 1,5 à 2,5 dB. Il est recommandé de supprimer les données perturbées par des sources étrangères : pluie, flux particulièrement abondant d'un cours d'eau, etc. Les niveaux résiduels mesurés doivent être corrélés aux vitesses de vent mesurées sur site à une hauteur de référence de 10 mètres.

Les périodes réglementaires sont :

- Période de jour : 7h – 23h,
- Période de nuit : 23h – 7h.
- Périodes calmes de jour : 18h-23h pour les jours de la semaine, 13h-23h le samedi, toute la journée du dimanche.
- Toutes les autres périodes de jour sont définies comme période de jour normale, où le niveau résiduel est supposé être élevé à cause de l'activité humaine, du trafic routier et des sources naturelles.

Ces critères s'appliquent au niveau des zones représentatives des lieux de vie extérieure de chaque habitation. Ils s'appliquent pour toutes les vitesses de vent.

Pour des ambiances très calmes (zones rurales), la valeur du bruit ambiant (avec les éoliennes) ne doit pas dépasser une valeur limite comprise entre 35 et 40 dB(A). La limite est fixée en fonction des critères suivants :

- nombre d'habitations concernées,
- nombre de machines / puissance installée,
- durée et niveau d'exposition sonore.

Pour la nuit, cette limite est fixée à 43 dB(A).

Au delà de ces valeurs limites, le niveau de bruit dû au fonctionnement des éoliennes (Lamb) ne doit pas excéder de plus de 5 dB(A) le niveau du bruit résiduel, quelle que soit la période considérée.

Ces exigences peuvent être illustrées par les figures 13 et 14 ci-après.

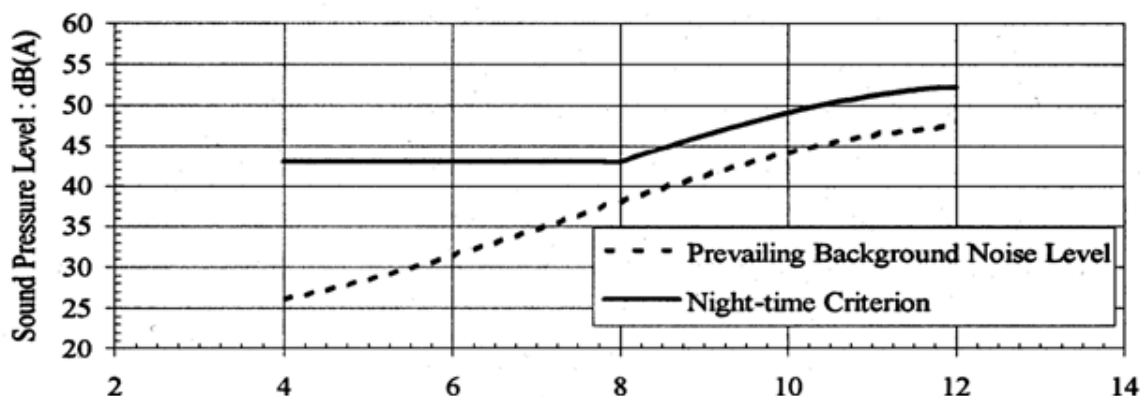


Figure 13 : Exemple de critère de bruit pour la nuit

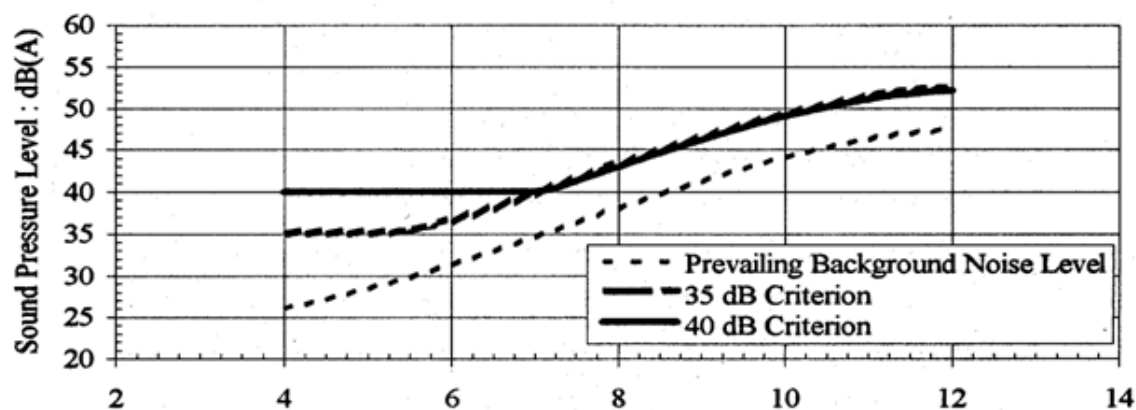


Figure 14 : Exemple de critère de bruit pour le jour

Il est précisé que pour des faibles valeurs de niveaux ambiants, la limite fixée n'assure pas forcément la tranquillité du voisinage, mais que celle-ci a été fixée dans le but de minimiser les contraintes acoustiques pour favoriser le développement de l'éolien.

Pour le cas de deux projets éoliens voisins, le bruit de l'un n'est pas considéré comme faisant partie du bruit résiduel dans la définition des objectifs pour les émissions sonores de l'autre projet. Les valeurs limites ou les émergences doivent être vérifiées pour les deux parcs en fonctionnement.

La notion de tonalité marquée est également prise en compte. Des pénalités en dB sont définies et ajoutées en fonction des conditions d'audibilité de la tonalité. Ces valeurs sont à soustraire des valeurs limites admissibles.

III.4.3 Danemark

Dans la réglementation danoise, le niveau de bruit des éoliennes en fonctionnement ne doit pas excéder 45 dB(A) au niveau des habitations isolées et 39 dB(A) au niveau des zones résidentielles (lotissements). Il n'y a pas de distinction entre les périodes de jour et de nuit. Ces critères sont étudiés pour une vitesse de 8 m/s.

Une pénalité de 5 dB(A) est attribuée pour le cas de tonalité marquée (valeur à soustraire des valeurs limites définies).

III.4.4 Suède

La réglementation suédoise est proche de la réglementation danoise mais les valeurs limites des éoliennes en fonctionnement sont définies en fonction de trois périodes distinctes de la journée : jour, soirée et nuit.

- zone commerciale : 60 dB(A) / 55 dB(A) / 50 dB(A) (jour / soirée / nuit)
- zone résidentielle : 50 dB(A) / 45 dB(A) / 40 dB(A)
- zone de loisir : 40 dB(A) / 35 dB(A) / 30 dB(A)

Une pénalité de 5 dB(A) est attribuée pour le cas de tonalité marquée (valeur à soustraire des valeurs limites définies).

III.4.5 Grèce

La réglementation grecque repose également sur des valeurs limites admissibles, éoliennes en fonctionnement, selon les zones considérées :

- zones industrielles : 70 dB(A)
- zones essentiellement industrielles : 65 dB(A)
- zones semi industrielles semi résidentielles : 55 dB(A)
- zones résidentielles : 50 dB(A)
- à l'intérieur des habitations, fenêtres ouvertes : 45 dB(A).

Il n'y a pas de distinction entre les périodes jour et nuit.

Il existe des pénalités allant jusqu'à 6 dB(A) lors de présence de tonalité marquée.

III.4.6 Australie

Les émissions sonores de parcs éoliens sont soumises à la réglementation de chaque État.

Les recommandations du South Australian EPA wind farm environmental noise Guidelines datent de 2003. Elles fixent une émergence de 5 dB(A) à ne pas dépasser par rapport à la valeur du bruit résiduel (de fond) ou une valeur limite pour les éoliennes en fonctionnement de 35 dB(A).

La valeur retenue pour le bruit résiduel (de fond) correspond à l'indice statistique L90 ou L95 du niveau sonore continu équivalent.

III.4.7 Nouvelle-Zélande : norme 6808

La réglementation en Nouvelle-Zélande est proche de la réglementation anglaise. Les indices statistiques L95 du niveau sonore continu équivalent sont retenus pour la détermination des valeurs du bruit résiduel (de fond) et des machines. Les niveaux de bruit doivent être corrélés aux vitesses de vent mesurées à 10m. Les critères s'appliquent au niveau des zones représentatives des lieux de vie extérieure de chaque habitation.

Le niveau de bruit, éoliennes en fonctionnement, ne doit pas excéder 5 dB(A) de plus que la valeur du bruit de fond, ou être supérieur à 40 dB(A). Tout ceci dans le but de respecter un

niveau à l'intérieur des habitations compris entre 30 et 35 dB(A). Il n'y a pas de distinction entre les périodes de jour et de nuit ni de prise en compte du facteur de tonalité marquée.

III.4.8 Etats unis

Des réglementations se développent dans les différents États de l'Union, au fur et à mesure de l'installation d'éoliennes. Il n'existe pas de règles fédérales, mais une variété de règles locales fondées sur plusieurs aspects :

- le type de projet : puissance par machine (à partir de 10kW), comprenant une ou plusieurs machines, construit pour une utilisation privative ou commerciale.
- Les niveaux acoustiques pris en compte peuvent être absolus, exprimés en Lmax, L10, L50, aux niveaux de 45, 50, 55, 60 dB(A), ou bien relatifs au bruit ambiant, soit de niveau égal, soit avec une augmentation de 5dB(A)
- Les spectres, l'existence de raies de ton pur, les aspects impulsionnels et/ou de basses fréquences, sont pris en compte par le dBC (Pennsylvanie en 2006). Le spectre émis par les machines est considéré par octave ou plus finement par 1/3 d'octave. Dans l'Indiana par exemple, le niveau mesuré à 200 mètres de la limite du parc éolien ne doit pas dépasser 70dB à 125Hz, 53 dB à 1000Hz, 44dB à 4000Hz
- Les distances de mesure varient de 90 à 560m

Certaines réglementations sont draconiennes : dans une partie du Kansas les éoliennes ne doivent pas fournir plus de 100kW et dépasser 37 m de hauteur totale

III.5 Commentaires sur les différentes réglementations

La comparaison des différentes réglementations nationales exposées brièvement ci-dessus montre que les pays fixent des limites au bruit des éoliennes de deux façons : en s'appuyant sur des niveaux sonores absolus et le cas échéant sur des niveaux sonores relatifs en termes d'émergence exprimée en référence au bruit résiduel.

Niveau absolu : Le bruit ambiant comprenant le bruit des éoliennes ne doit pas dépasser la valeur réglementaire visée : par exemple 35 dB(A) de nuit en façades des habitations. Cette valeur de 35 dB(A), est mesurée de façon différente selon les pays (LAeq(10 min)) mais elle reste une valeur limite exprimée en valeur absolue, qui en l'occurrence ne dépend pas du niveau de bruit résiduel.

Différents pays ont modulé ce niveau sonore absolu en fonction de la zone concernée (industrielle, commerciale, de loisirs, résidentielle, rurale ...etc.) et en fonction de la période considérée (jour, soir, nuit). Cette pratique constitue un aspect fondamental de l'ancienne norme ISO 1996 (1^{ère} édition), ce qui peut en expliquer la généralisation.

Niveau relatif : Le bruit ambiant comprenant le bruit des éoliennes ne doit pas dépasser le bruit résiduel augmenté de la valeur réglementaire visée : l'émergence (par exemple de 5 dB(A) en façades des habitations de jour). Lorsque la valeur du niveau de bruit résiduel évolue au cours du temps (au cours de la journée, de la semaine, de la saison ou de l'année ...etc.) le niveau de bruit ambiant à ne pas dépasser évolue également – l'émergence reste constante. Or, le bruit résiduel évolue avec la vitesse du vent : en théorie, il est proportionnel à la racine carrée de la vitesse du vent :

$$L = \sqrt{V}$$

Où L est le niveau sonore du bruit résiduel et V la vitesse du vent

Plus la vitesse V du vent augmente et plus le bruit résiduel L augmente et de façon plus ou moins rapide en fonction du relief et du type de végétation

De plus le bruit d'une éolienne évolue également en fonction de la vitesse du vent mais pas dans la même proportion. Pour une distance donnée (plusieurs centaines de mètres), lorsque la vitesse du vent est élevée, le bruit d'une éolienne est inférieur au bruit résiduel, et inversement lorsque la vitesse du vent est faible le bruit de l'éolienne est supérieur au bruit résiduel (cf. figure 15); la zone critique se situant pour de faibles vitesses de vent (inférieures ou égales à 6 m/s).

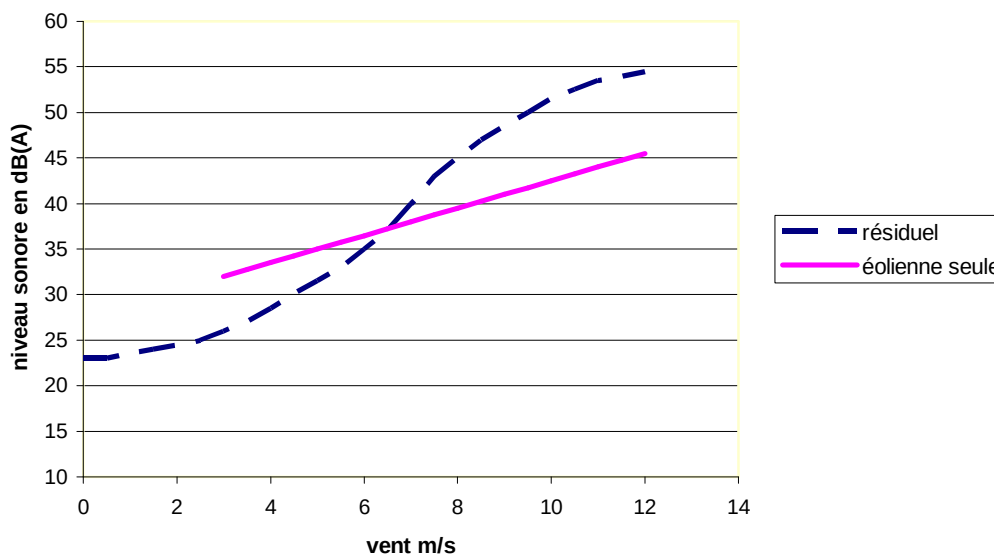


Figure 15 : Exemple de comparaison entre le bruit résiduel et le bruit d'une éolienne uniquement

C'est pourquoi les réglementations de certains pays ont panaché les deux façons de définir des valeurs réglementaires en définissant des niveaux sonores absolus (par exemple de 35 dB(A) du L90 pour l'Australie) en dessous desquels on ne prend plus en compte l'émergence. Ainsi pour de faibles vitesses de vent la réglementation acoustique n'est pas trop contraignante au fonctionnement des machines. La figure 16 ci-après illustre ces propos.

Une telle réglementation apparaît donc comme un compromis entre la protection des riverains et l'exploitation de l'énergie éolienne.

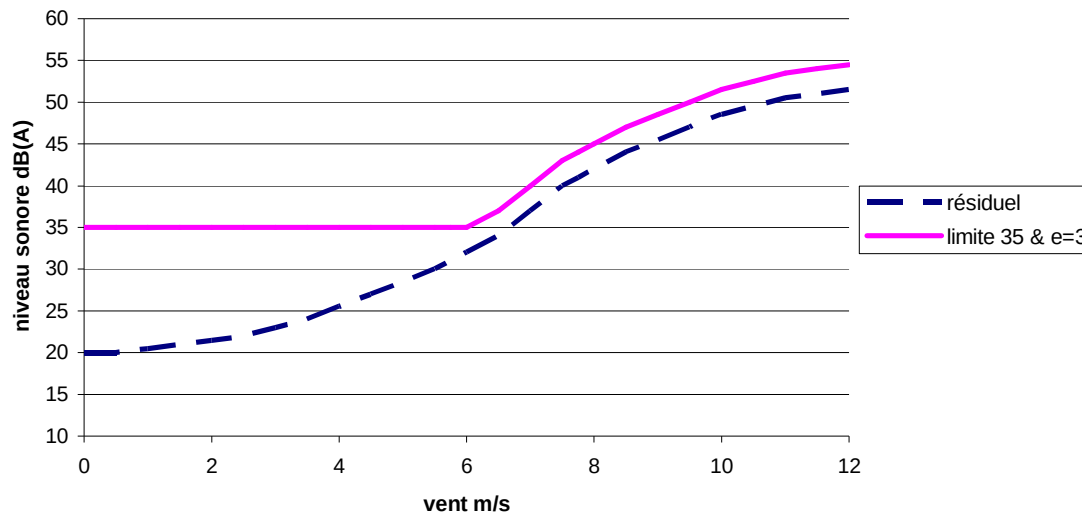


Figure 16 : Exemple de définition de niveaux sonores limites en fonction du niveau résiduel

Des réglementations très variées : on peut répartir les pays ci-dessus étudiés en deux groupes : le premier groupe inclut les pays qui ont fondé leur réglementation uniquement sur des valeurs de niveaux absolues : l'Allemagne, le Danemark, la Grèce et la Suède. Les valeurs limites de bruit retenues sont relativement étendues mais "toutes choses égales par ailleurs" on constate des écarts maximum de 10 dB(A). Le second groupe inclut des pays qui ont panaché des valeurs limite en niveau absolu et des valeurs limites d'émergence : l'Angleterre, l'Australie, la Nouvelle Zélande et la France. Sauf pour cette dernière, l'émergence retenue est systématiquement de 5dB(A). De plus les valeurs limites réglementaires, du niveau absolu de bruit ambiant comprenant le bruit des éoliennes, en dessous desquels l'émergence n'est pas prise en compte, sont relativement étendues. La fourchette de variation s'étend de 30 dB(A) à 40 dB(A).

Zoom sur la réglementation française : l'application de la réglementation du bruit de voisinage aux éoliennes apparaît pour la plupart des développeurs comme trop contraignante du fait de cette "trop faible" valeur de niveau sonore absolu de 30 dB(A) en dessous duquel l'émergence n'est plus considérée à l'extérieur, et certains souhaitent l'application de la réglementation sur le bruit des ICPE. En plus de l'émergence, cette réglementation ICPE a l'avantage de définir des émergences et des niveaux sonores absolus en fonction du niveau de bruit ambiant existant dans la zone considérée qui, se situe à 35 dB(A) au lieu de 30 dB(A) pour la réglementation bruit de voisinage.

L'application stricto sensu de cette réglementation pose le problème du respect des niveaux sonores en limite de propriété industrielle. Cela pourrait conduire à une absurdité qui ferait peser des contraintes acoustiques insurmontables à quelques mètres des mâts des éoliennes c'est-à-dire au pied de chaque éolienne composant un parc.

Cependant l'application de la réglementation bruit de voisinage au bruit des parcs éoliens permet le respect de l'environnement sonore des riverains surtout pour les faibles vitesses de vent et en particulier en milieu rural où le bruit résiduel de nuit peut atteindre des valeurs extrêmement basses.

IV. Niveaux de bruit et conditions environnementales

La maîtrise du bruit ambiant, que produisent diverses sources et notamment les sources industrielles, est une problématique majeure de notre société. Elle est d'ailleurs largement abordée tant dans le cadre législatif national (Loi du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit) qu'europpéen (Directive 2002/49 CE du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement). De plus, elle fait appel à une bonne connaissance des sources elles-mêmes, ainsi que des divers phénomènes dits « propagatifs » incluant à la fois les effets de nature et de topographie des sols entre la source et le ou les récepteurs, les effets de distance et enfin les effets des conditions météorologiques. Pour l'ensemble de ces phénomènes, l'aspect fréquentiel est important et, de plus, non linéaire. Les fréquences graves (basses fréquences) sont plus difficiles à atténuer que les fréquences aiguës (hautes fréquences).

Certains de ces phénomènes sont stables dans le temps et d'autres fluctuent à des échelles plus ou moins réduites. Lors de l'évaluation de l'exposition sonore d'un site il est donc nécessaire d'utiliser des méthodes adaptées prenant en compte l'ensemble de ces phénomènes. Deux échelles temporelles sont communément considérées :

- **L'échelle de court terme**, la plus utilisée, permet d'identifier des événements particuliers. Elle est notamment utilisée pour valider les modèles théoriques.
- **L'échelle de long terme**, à laquelle se réfèrent généralement les textes réglementaires auxquels sont associées des méthodes de calcul simplifiées dites d'« ingénierie ». Dans le contexte actuel, la difficulté majeure reste le passage du court terme au long terme. Ceci est d'autant plus important que des mesures de contrôles peuvent être demandées. En effet, pour des raisons de temps et d'économie, ces mesures ne pourront être que de court terme. Sera-t-on capable dans ce cas, d'interpréter des résultats de calcul prévisionnel de long terme par rapport à des mesures de court terme ? C'est pourquoi il peut être envisagé de faire des prévisions pour des situations extrêmes.

Les phénomènes de propagation des ondes sonores émises dans l'environnement sont complexes et font intervenir un grand nombre de paramètres, dont les principaux sont reliés, d'une part, aux caractéristiques physiques du milieu à l'intérieur duquel se propagent les ondes acoustiques (l'air) et d'autre part, aux conditions aux frontières (sols naturels ou artificiels, obstacles, etc.). C'est pourquoi une bonne connaissance du milieu de propagation impose de considérer les mécanismes suivant :

- la divergence géométrique ;
- l'absorption moléculaire dite atmosphérique ;
- la réflexion sur les surfaces limites, appelée communément « effet de sol » ;
- les divers phénomènes de diffraction dus à la topographie et/ou aux obstacles ;
- l'influence des profils verticaux de température et de vitesse du vent et l'influence de la turbulence atmosphérique, regroupées sous le vocable d'« effets météorologiques ».

Suivant les distances relatives entre la source sonore et le récepteur, divers phénomènes ont plus ou moins d'impact sur la propagation. Les effets atmosphériques ne sont réellement à considérer – pour des conditions météorologiques non extrêmes représentatives de notre territoire – qu'à partir d'une centaine de mètres. En deçà, seules la topographie et la nature des sols sont à prendre en compte.

IV.1 Niveaux de bruit et distance

Toute source de bruit est caractérisée par sa puissance acoustique. Le niveau du bruit émis par cette source va décroître avec la distance. Cette décroissance dépend des dimensions (source ponctuelle, surfacique, linéique) et des caractéristiques acoustiques (directivité) de la source.

L'atténuation des ondes sonores dépend essentiellement de la divergence géométrique et de l'effet de sol. Cependant, à des distances plus importantes et pour des fréquences plus élevées l'absorption atmosphérique doit être prise en compte.

IV.1.1 Divergence géométrique

Les sources de bruit d'une éolienne sont localisées sur un disque fictif de diamètre égal à celui du rotor, au niveau de la nacelle et le long du mât, respectivement pour les bruits aérodynamiques, les bruits mécaniques et les vibrations d'origine mécanique. Compte tenu de la taille de ces sources, la perception du bruit due à leur répartition spatiale, n'est pas la même que l'on soit à proximité ou éloigné de la machine.

La divergence géométrique est un concept fondamental qu'il convient de considérer en espace libre, en dehors de tout autre phénomène lié aux propriétés de l'atmosphère.

Cas d'une source ponctuelle

Vue par les riverains, l'éolienne est en pratique considérée comme une source de bruit ponctuelle. Cette source ponctuelle est localisée au centre du rotor et située dans un champ libre (elle émet de la même façon dans toutes les directions de propagation : source omnidirectionnelle).

Dans ces conditions, la divergence géométrique, s'exprime par l'expression :

$$A_{div} = \frac{Q}{4\pi d^2} \quad \text{avec } Q = 1 \text{ pour le cas d'une source omnidirectionnelle}$$

d : distance en (m) entre le centre du rotor et le point de réception.

Dans le cas d'une source sonore omnidirectionnelle cohérente, la dispersion géométrique prévoit une atténuation sonore de 6 dB par doublement de distance.

On recense cependant quelques cas, notamment en fonction du gradient vertical de vent où la propagation des basses fréquences semble canalisée du fait des conditions météorologiques, ce qui conduit à une atténuation plus faible que prévue (de l'ordre de 3 dB/distance, plutôt que 6 dB/distance)

Cas d'une source linéaire

Dans le cas, d'un parc éolien, l'implantation des machines et la position du point de réception par rapport à cette implantation sont importantes car la décroissance ne sera pas la même, selon, par exemple, que l'on est face à une ligne ou en bout de ligne. En effet, la répartition des sources en ligne, implique une occupation géométrique différente : vu depuis un point au milieu de cette ligne, le parc sera vu comme une source linéique pour des distances d'éloignements faibles ou des lignes importantes.

Dans ces conditions, la forme de la surface d'onde formée par cette ligne s'apparente à une forme cylindrique et non sphérique, et la décroissance A_{div} est alors :

$$A_{div} = \frac{Q}{4\pi d}$$

En champ libre, cette expression conduit à une diminution de bruit égale à 3 dB par doublement de distance pour une source omnidirectionnelle.

Exposition à plusieurs turbines :

Une exposition à des éoliennes équidistantes et parfaitement synchronisées peut conduire à une augmentation de niveau jusqu'à 13 dB. A titre d'exemple on a pu relever +7 dB pour un parc d'éoliennes de forte puissance (en upwind, 3 pales, 28 tours/min, H = 50 m, groupées par parc de 2 à 10).

Exemple

Le graphique, figure 17, permet de comparer la décroissance spatiale pour une source ponctuelle à celle partant du centre d'une ligne de 9 machines. Les distances sont indiquées par rapport au pied du mât de l'éolienne.

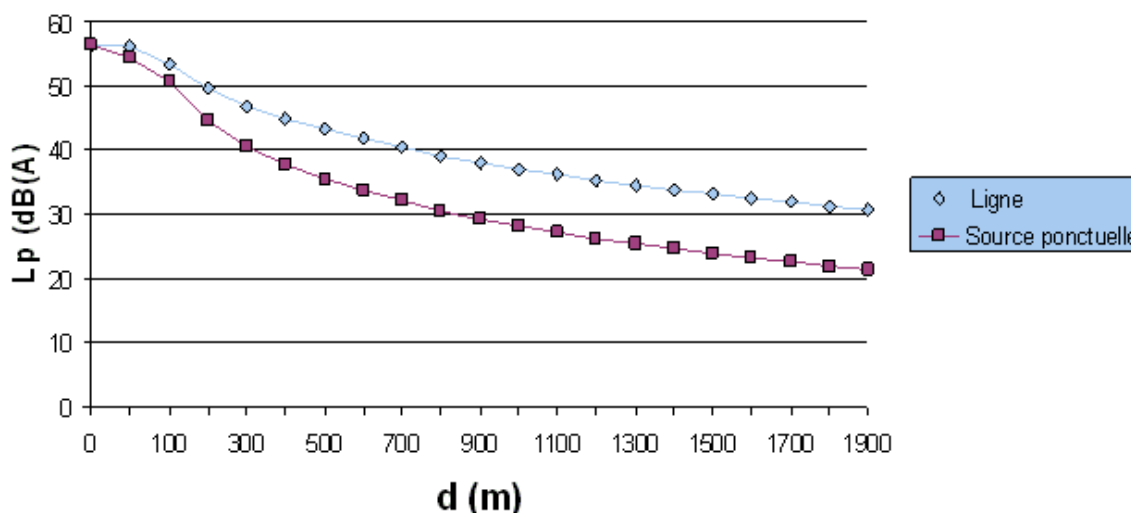


Figure 17 : Décroissance spatiale pour une source ponctuelle et une ligne

IV.1.2 Absorption atmosphérique

A de grandes distances, divers processus liés aux caractéristiques du fluide influencent l'atténuation des ondes sonores. Dans l'air en particulier, la dissipation de l'énergie acoustique résulte essentiellement de trois processus : la viscosité, la conduction thermique et la relaxation moléculaire. Dépendant du degré d'hygrométrie et de la température, les atténuations, fonctions de la fréquence, varient et sont généralement exprimées en dB/m. Les formulations ainsi que les tableaux de valeurs les plus utiles sont détaillés dans la norme internationale ISO 9613-1 (ISO, 1993a).

Le tableau 7 présente ces valeurs par bande de fréquence pour différentes conditions de température et d'humidité.

Tableau 7 : Coefficient d'atténuation atmosphérique pour des bandes d'octave de nuit (en dB/100 m)

Température (°C)	Humidité relative (%)	Coefficient d'atténuation atmosphérique, α , dB/100 m							
		Fréquence centrale nominale (Hz)							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
10	70	0.01	0.04	0.1	0.19	0.37	0.97	3.28	11.7
20	70	0.01	0.03	0.11	0.28	0.5	0.9	2.29	7.66
30	70	0.01	0.03	0.1	0.31	0.74	1.27	2.31	5.93
15	20	0.03	0.06	0.12	0.27	0.82	2.82	8.88	20.2
15	50	0.01	0.05	0.12	0.22	0.42	1.08	3.62	12.9
15	80	0.01	0.03	0.11	0.24	0.41	0.83	2.37	8.28

On peut constater que les basses fréquences sont très peu atténuées. Au contraire, à partir de 1000 Hz, les fréquences sont fortement atténuées. En pratique, il est difficile de percevoir le bruit d'une éolienne pour 4000 Hz et au delà, pour des distances supérieures à 500m. L'atténuation diminue avec l'augmentation de température et avec l'augmentation de l'humidité relative. Un air froid et sec transmettra moins les bruits de haute fréquence qu'un air chaud et humide.

IV.2 Niveaux de bruit et caractéristiques de terrain

Les caractéristiques du terrain influençant la propagation des ondes sonores sont principalement reliées à la nature et à la topographie du sol.

IV.2.1 Influence de la nature du sol ou « effet de sol »

Quelles que soient la nature et la composition des sols entre la source et le récepteur, homogène ou discontinue, leur influence respective sur l'atténuation de l'onde sonore le long du champ de propagation est importante. Cette atténuation est fonction à la fois de la fréquence et de l'incidence de l'onde sonore. L'atténuation est d'autant plus importante que l'onde sonore est rasante et que la fréquence est élevée. Cette règle générale s'applique bien aux sols absorbants naturels.

Dans le cas d'un sol et d'une atmosphère homogènes, le champ sonore est décomposé en trois termes (figure 18) pour une source **S** située à une hauteur Z_s et placée à une distance d du récepteur **R**, lequel est situé à une hauteur Z_r :

- une onde directe entre la source **S** et le récepteur **R**,
- une onde réfléchie sur le sol entre la source-image **S'** et le récepteur **R**,
- une onde de surface.

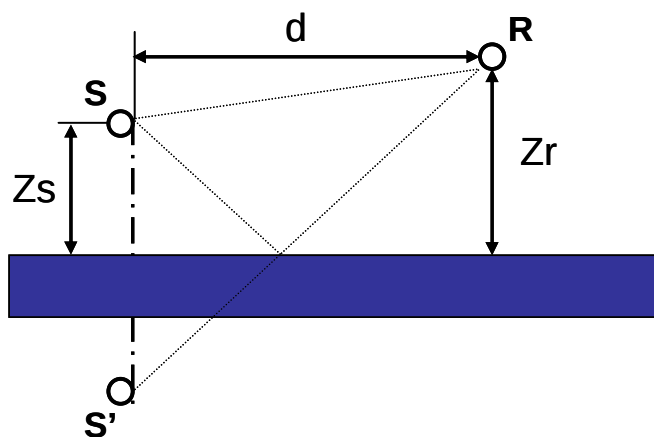


Figure 18 : Géométrie du problème

L'atténuation due au sol est principalement le résultat de l'interférence entre le son réfléchi par la surface du sol et le son qui se propage directement entre la source et le récepteur. Cette absorption sera donc d'autant plus importante que le sol est poreux (et donc absorbant) et que la hauteur entre le rayon sonore et le sol est faible (vue rasante).

Ce phénomène a été très étudié dans le cadre du bruit routier. Ce retour d'expérience a permis d'estimer par le calcul cette atténuation dans la norme ISO 9613-2 « Acoustique – Atténuation du son lors de sa propagation dans l'atmosphère – Méthode générale de calcul ».

La figure 19, permet de comparer la décroissance spatiale avec et sans la prise en compte de l'effet de sol pour une source ponctuelle.

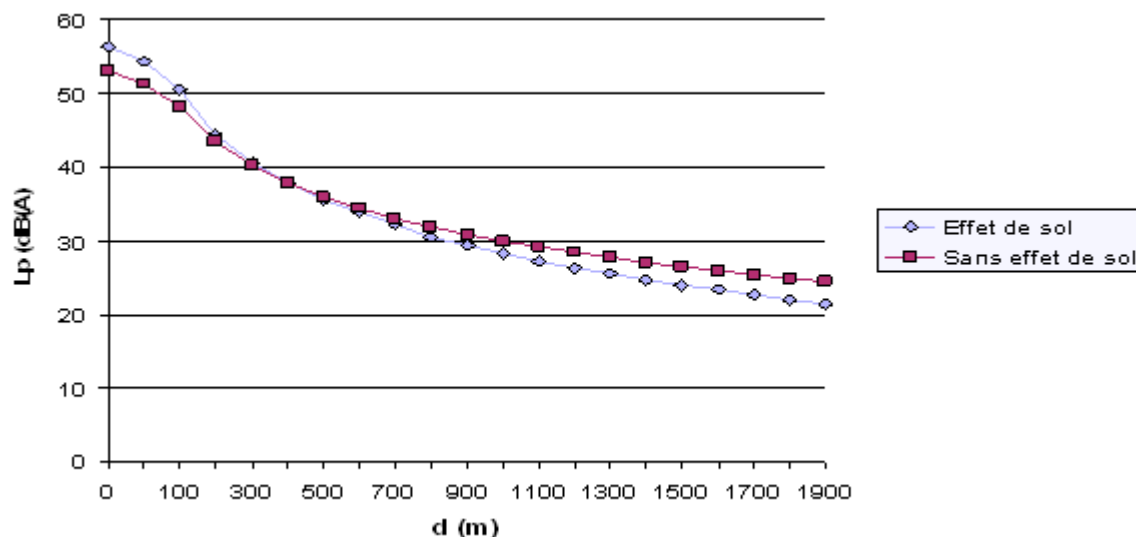


Figure 19 : Décroissance spatiale pour une source ponctuelle avec et sans l'effet de sol

Ce graphique permet de bien visualiser l'influence de l'effet de sol au delà d'une certaine distance. Cette influence reste modeste.

Pour des distances proches des éoliennes ($< 100\text{m}$), l'influence du sol induit une augmentation des niveaux sonores. A ces distances les angles d'incidence des rayons sonores sont élevés et les réflexions sur le sol sont importantes. Plus on va s'éloigner, plus les angles d'incidence seront faibles, les réflexions moins importantes et l'effet de sol plus important.

Cependant, la problématique éolienne est différente d'une problématique de bruit routier de par la hauteur des sources. Dans le cas des éoliennes sur sol plat, les effets de sol sont en effet moins importants, car le trajet du rayon sonore est le plus souvent éloigné du sol, comme l'illustre les figures 20 et 21. Sur un sol accidenté, ces effets de sol peuvent être plus importants.

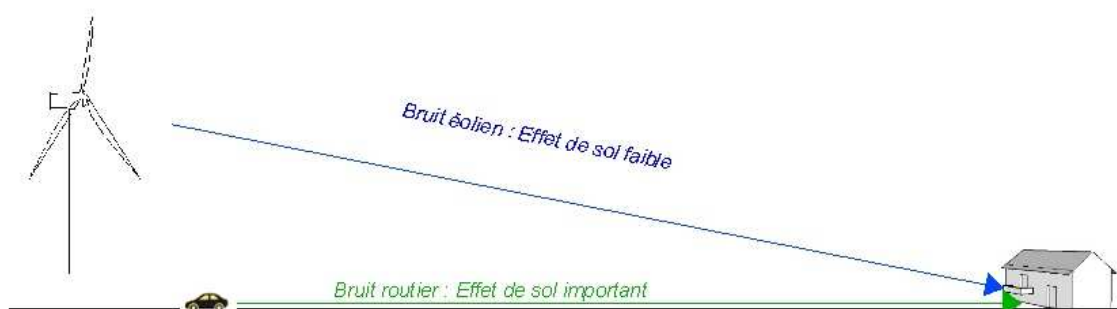


Figure 20 : Influence de l'effet de sol sur sol plat

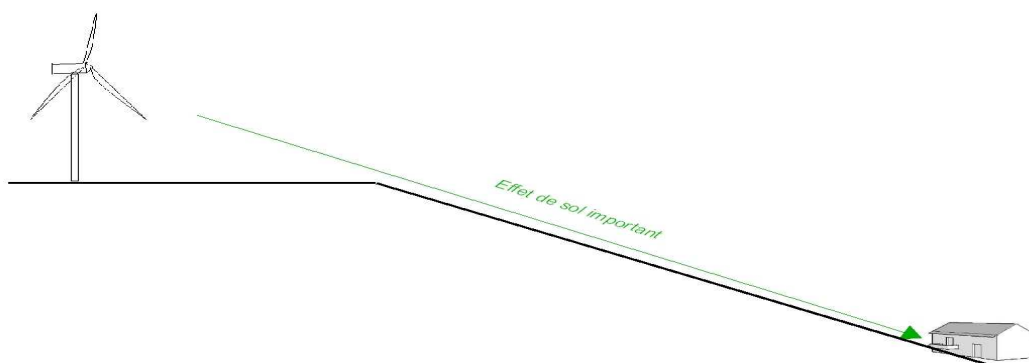


Figure 21: Influence de l'effet de sol sur sol accidenté

IV.2.2 Influence de la végétation

Des études expérimentales (Acoustique et Techniques n°23 et 24 « la forêt un écran anti bruit météorologique » - N. Barrière, Y. Gabillet), ont montré qu'une végétation importante aux abords d'une infrastructure routière ou ferroviaire induit une atténuation du bruit non négligeable pour les riverains.

Trois effets principaux de la forêt sur le bruit sont ainsi isolés :

- l'atténuation du bruit par le sol de la forêt,
- la diffusion par les troncs, les branches et les feuillages,
- l'effet de la modification des profils météorologiques.

Cette étude démontre que c'est essentiellement la modification locale des effets météorologiques qui est responsable des atténuations acoustiques mesurées : typiquement de 1 à 3 dB(A) d'atténuation par rapport à un spectre de bruit routier, pour un point de mesure situé à 150 m de la route et une forêt d'épaisseur 110 m entre la source de bruit et le récepteur.

Appliqués à l'éolien, ces ordres de grandeurs seront différents, pour les mêmes raisons géométriques que celles évoquées pour les effets de sol (cf. figures 22 et 23). Cependant pour certaines situations, projet éolien situé sur une crête, et forêt de conifères sur les flancs de la colline jusqu'aux habitations en contre bas, ces atténuations de végétation pourraient être non négligeables.

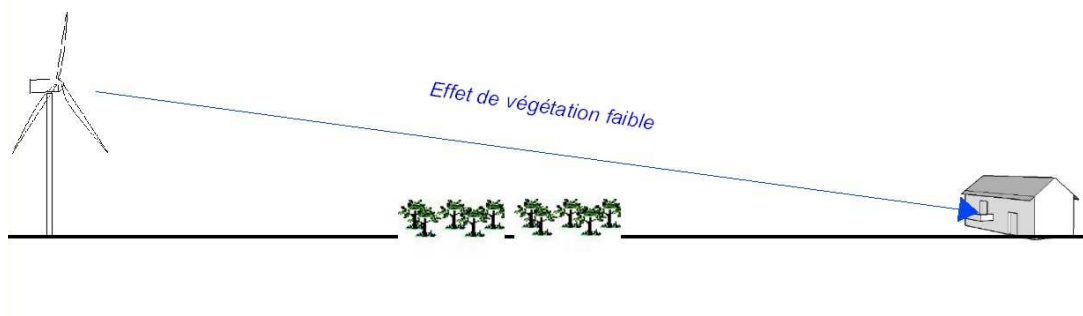


Figure 22 : Influence de l'effet de végétation sur sol plat

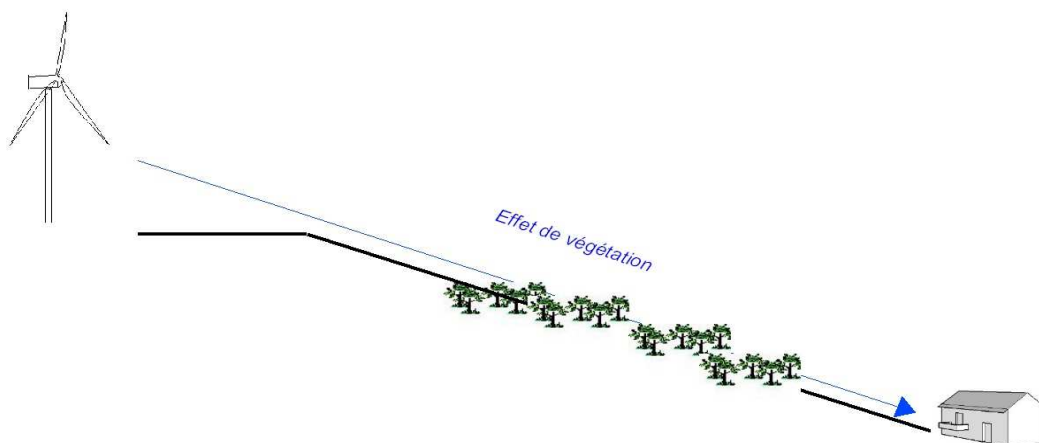


Figure 23 : Influence de l'effet de végétation sur sol accidenté

IV.2.3 Influence de la topographie du sol

Dans la plupart des outils prévisionnels, le sol entre la source et le récepteur est considéré comme plan ou bien est assimilé à un sol plan par estimation d'un sol plan moyen. Dans ce cas, seule la nature des sols est prise en compte au titre de « l'effet de sol » et la topographie est négligée. En réalité, dans bien des cas et tout particulièrement lorsque les distances de propagation sont importantes, la topographie du site ne peut plus être négligée et sa prise en compte peut modifier considérablement la prévision de la propagation de l'onde sonore entre la source et le récepteur.

En effet, si la source est en vue directe des habitations et que les rayons sonores se propagent à une altitude élevée par rapport au sol, « l'effet de sol » est faible et donc seuls les phénomènes de divergence géométrique et d'absorption atmosphérique sont prépondérants. En revanche, si la source n'est pas en vue directe des habitations à cause de la présence éventuelle d'un modelé de terrain, d'une butte ou de tout autre obstacle, la propagation sonore va être perturbée par la création de zones de diffraction et de réfraction (zone d'ombre) (Berry et Daigle, 1998). En fonction de la hauteur de l'obstacle, des distances respectives source-obstacle et obstacle-récepteur et de la nature des sols, l'effet complémentaire peut être de plusieurs décibels. A titre d'exemple, lorsque le récepteur est situé en zone d'ombre, des atténuations excédentaires comprises entre 5 et 8 dB ont été enregistrées pour une source omnidirectionnelle.

Concernant la contribution sonore des machines, la réfraction des rayons sonores entraîne des courbures plus ou moins importantes, avec des trajectoires fuyantes vers le ciel (conditions de propagation défavorables) ou au contraire rabattues vers le sol (conditions de propagation favorables). Avec du relief, ces phénomènes sont importants à prendre en compte car la courbure des rayons sonores associés à une topographie marquée peut entraîner des contournements du relief. Ainsi, des éoliennes qui sont partiellement ou totalement masquées par le relief peuvent être « visibles » d'un point de vue acoustique. C'est le cas, lorsque les éoliennes sont situées sur un plateau mais pas en bordure de celui-ci et que le vent souffle des éoliennes vers les habitations en contre bas. Pour ce type de situation, des comparaisons calculs / mesures montrent des écarts allant jusqu'à 15 dB(A) entre la modélisation de la propagation sonore suivant le rayon sonore rectiligne et la mesure.

Le coefficient de rugosité du sol, directement lié à la nature du relief et de la végétation, dimensionne la forme du gradient de vent. Ainsi au niveau de la surface du sol, la vitesse du vent est nulle puis elle augmente avec la hauteur, plus ou moins vite selon la rugosité du sol (qui dépend de la topographie et des obstacles). Ceci se traduit par une variation plus ou moins sensible du bruit de la végétation en fonction de la vitesse du vent mesurée. Sur sol plat, à partir d'un vent modéré (supérieur à 6 m/s à 10m du sol), le bruit du vent dans la végétation est sensible. Les niveaux sonores sont alors de l'ordre de 35 dB(A) de nuit pour une campagne calme avec végétation. Avec du relief, la problématique est bien différente car souvent, les habitations sont situées en contrebas de la ligne de crête, abritées du vent. Dans ces situations, les niveaux sonores varient peu avec la vitesse du vent y compris pour des vitesses de vent élevées sur la ligne de crête. Il est fréquent de mesurer des niveaux sonores stables compris entre 25 et 30 dB(A) pour des vitesses de vent allant jusqu'à 7 - 9 m/s mesurées à 10 m de hauteur sur la ligne de crête.

Exemple : particularités des conditions de propagation pour un site à fort dénivelé.

La conjonction de niveaux résiduels faibles pour des vitesses de vent élevées et des conditions de propagation sonores favorables aux effets de contournement du relief, peut entraîner des situations à risques d'un point de vue impact acoustique. L'exemple ci-dessous illustre ces propos.

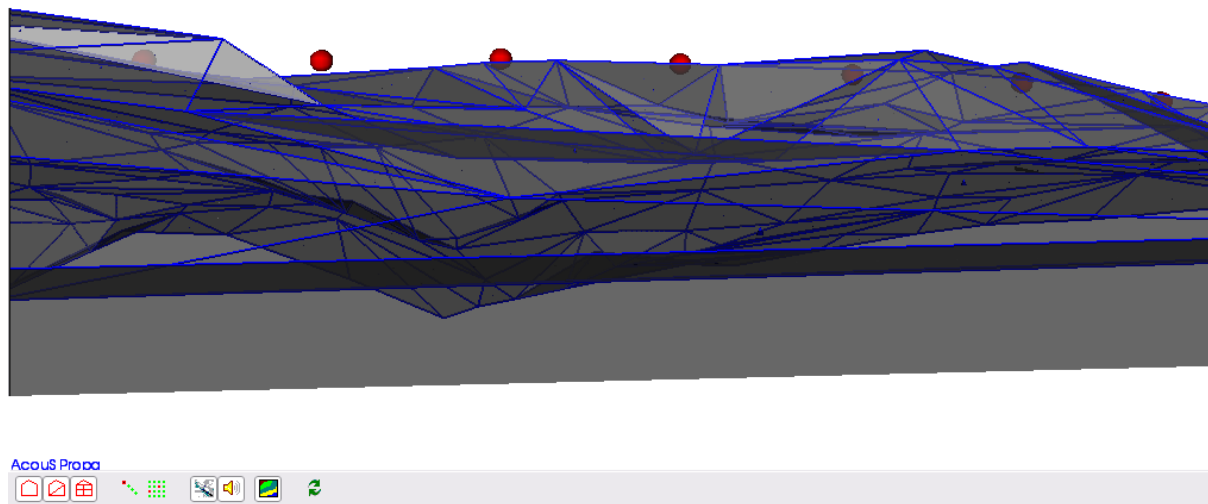


Figure 24 : Vue des éoliennes depuis la plaine (à 950 m)

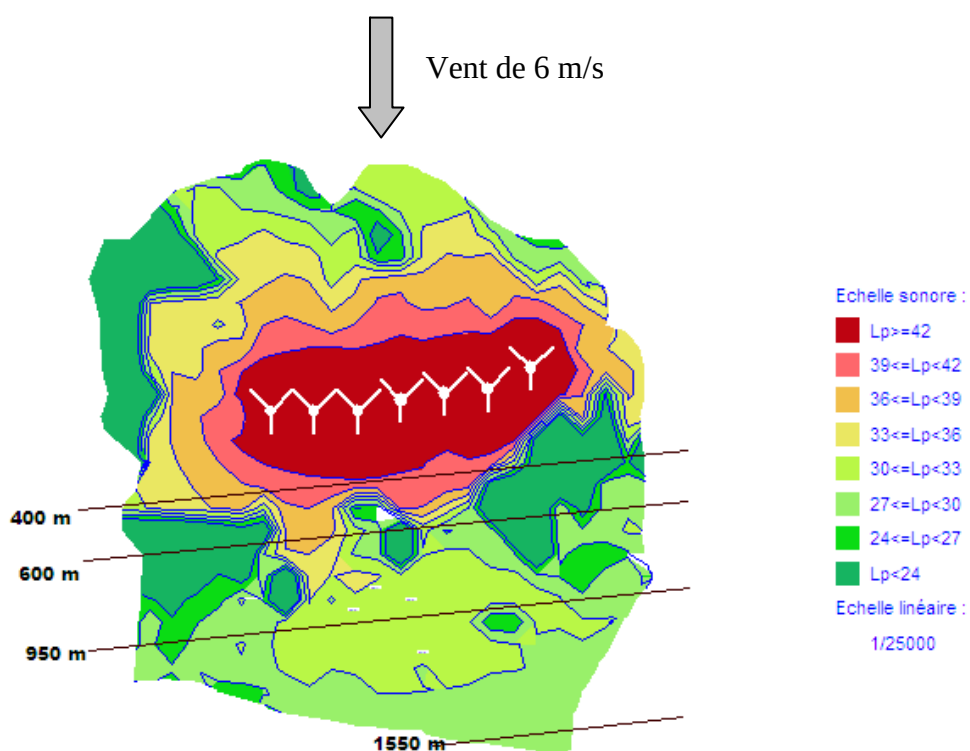


Figure 25 : Carte de bruit des contributions sonores à 6 m/s

Pour les sites avec un fort relief, les habitations sont généralement abritées du vent. L'expérience montre que dans ce type de situation, les niveaux sonores résiduels ne varient pas avec les vitesses de vent et les valeurs du bruit de fond sont de l'ordre de 25 dB(A) pour des vents de 6 m/s mesurées sur le site. Dans ces conditions les distances minimales d'éloignement sont importantes.

Seules des zones bien localisées situées à flanc de pente plus proches des éoliennes (400 m) bénéficient d'un effet d'écran suffisant (cf. figure 25). Ces zones sont généralement escarpées et donc difficilement constructibles et rarement construites. Il faut ensuite s'éloigner au delà de 950 m pour trouver des niveaux de contributions sonores du parc de l'ordre de 27 dB(A), compatibles avec le respect des émergences nocturnes pour des habitations abritées.

Les parcs éoliens sont généralement implantés sur des sites ventés afin de pouvoir recevoir un maximum d'énergie éolienne. Ceci est largement le cas dans des configurations géographiques de larges plaines ou de plateaux ainsi que dans des zones plus escarpées où les éoliennes sont implantées sur des lignes de crêtes.

Dans la première configuration (larges plaines ou plateaux), les éoliennes sont généralement visibles de tous les endroits autour du site à l'exception des masques végétaux.

Dans la seconde configuration (lignes de crête), le dénivelé entre les éoliennes et les habitations de l'ordre d'une centaine de mètre ou plus, entraîne des vues totalement ou partiellement masquées d'une ou plusieurs machines (cf. figure 26).

Ces deux configurations topographiques conduisent à des ambiances sonores différentes en ce qui concerne les niveaux résiduels et les niveaux de bruit des machines. Nous développerons dans le chapitre suivant les spécificités du niveau de bruit résiduel (notamment par rapport à la topographie du site).

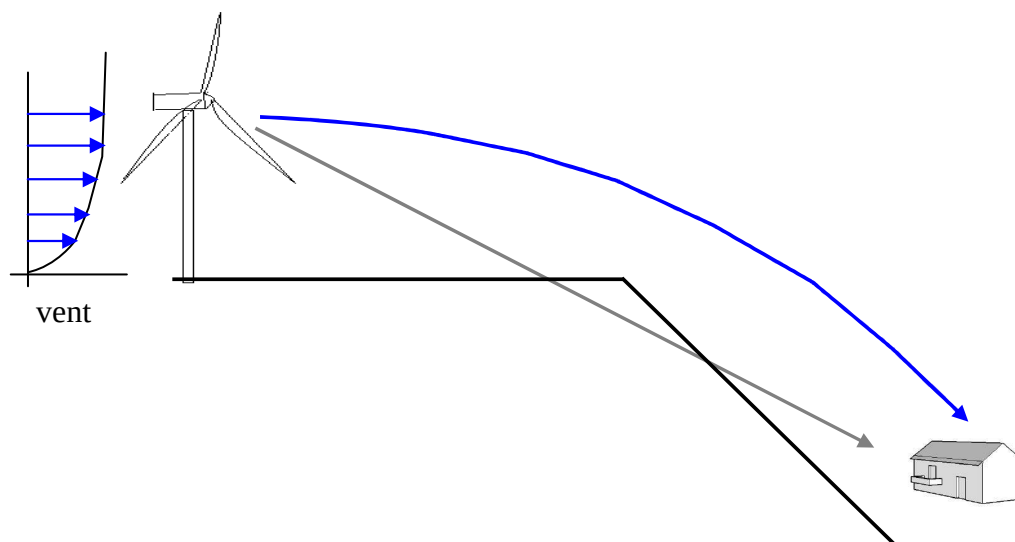


Figure 26 : Influence des conditions météorologiques sur la courbure des rayons sonores

IV.2.4 Niveaux sonores résiduels

Au delà des niveaux de bruit des machines et de l'influence des facteurs tels que l'effet de sol ou la topographie du terrain, il est nécessaire de prendre en considération les niveaux sonores résiduels à proximité des habitations riveraines.

C'est une évidence, les niveaux sonores résiduels (ou bruit de fond) varient en fonction des vitesses de vent (bruit du vent dans la végétation, ou contribution sonore plus ou moins forte de sources de bruit environnantes selon l'orientation du vent (route, usine, etc.)). Mais le vent n'est pas le seul facteur de variation. Les activités humaines, la faune, le type de végétation et le relief sont d'autres paramètres importants dans l'évolution du bruit de fond.

Toutes ces sources de bruit environnantes varient au cours du temps. Leur contribution peuvent par leur intensité et ou par leur signature fréquentielle, masquer totalement ou partiellement le bruit des machines. On parle de masquage total quand le bruit d'une source est inaudible ou partiel ou lorsque la perception sonore de la source est modifiée.

IV.2.5 Les activités humaines

Les bruits liés à l'activité humaine sont multiples : bruit routier, activités agricoles (labours, moissons, élevages, etc.), sites industriels, etc. Ces bruits ont généralement des cycles de variation journaliers. Une forte augmentation est souvent visible le matin entre 6 et 9 heures ce qui correspond généralement aux déplacements des personnes, puis une stabilisation sur toute la journée et une diminution importante entre 18 et 20 heures. La nuit, ces activités sont généralement faibles. Des variations plus particulières sont possibles en fonction des activités locales ou de la « ruralité » de la zone. Par ailleurs, on note des décalages dans la reprise ou la diminution des activités selon la saison.

IV.2.6 Les bruits de la faune

Les bruits de la faune concernent les chants des oiseaux, des insectes (grillons, cigales), des grenouilles, etc. Ces bruits peuvent devenir importants selon les moments de la journée et de la saison. En début de journée, le chœur matinal (essentiellement des oiseaux) augmente considérablement les ambiances sonores sur une durée limitée au lever du soleil. Ce chœur est moins important l'hiver qu'au printemps et en été. De même, les chants des grillons et grenouilles augmentent les niveaux sonores de nuit pour certains mois d'été. L'intensité des chants est variable selon le moment de la nuit et la température.

Ces chants influent de manière importante sur les niveaux sonores en dB(A) (variation d'une dizaine de dB(A) ou plus) mais leur fréquence d'émission ne concerne que les hautes fréquences (au delà de 2000 Hz).

IV.2.7 La végétation

La végétation et les branches agitées par le vent produisent du bruit. Ce type de bruit est fonction du type de l'espèce présente sur le site. En période hivernale, pour des arbres à feuilles caduques, le bruit du vent est moins sensible. La taille des arbres est également très importante, car compte tenu des gradients de vent, plus près du sol, les arbres de petites tailles reçoivent moins de vent. Par ailleurs, la présence de végétation favorise la présence d'oiseaux et donc contribue à renforcer le chœur matinal.

IV.2.8 Exemples numériques

Des niveaux sonores résiduels ont été mesurés pour différents environnements sonores de nuit et différentes vitesses de vent. Ceci permet de mettre en évidence la grande plage de valeurs possible (cf. tableau 8).

Tableau 8 : Ambiances sonores résiduelles nocturnes en dB(A)

Nuit	4 m/s	6 m/s	8 m/s
500m d'une zone industrielle ou d'un grand axe routier	38 dB(A)	38 dB(A)	38 dB(A)
Zone rurale (plaine) avec végétation	28 dB(A)	35 dB(A)	38 - 40 dB(A)
Zone rurale (plaine) sans végétation	24 dB(A)	27 dB(A)	32 dB(A)

On peut distinguer les typologies de niveaux sonores suivantes :

- habitation à proximité de zone industrielle ou de grands axes routiers (500m): les niveaux sonores sont élevés quelles que soient les conditions de vent. L'évolution des niveaux sonores est moins sensible à l'augmentation des vitesses de vent mais reste sensible aux conditions météorologiques (contributions plus ou moins fortes selon l'orientation du vent) ;
- habitation en zone rurale avec végétation : niveaux sonores faibles pour des vents moyens (3-4 m/s) mais qui augmentent rapidement avec le vent (6 m/s) ;
- habitation en zone rurale calme sans végétation : niveaux sonores faibles et peu sensibles aux variations de vent.

Ces niveaux sonores correspondent à des périodes d'ambiances sonores homogènes. Au cours d'une journée, ils ne sont pas toujours homogènes. On peut notamment constater qu'en début de journée, après le lever du jour, les bruits liés à la faune sont plus élevés. La soirée est également une période particulière car les activités des riverains ont diminué mais ne sont pas nulles. Les niveaux sonores de cette période sont plus faibles qu'en pleine journée mais plus élevés qu'en milieu de nuit, période la plus calme.

Par ailleurs, il y a également une différence parfois importante dans les valeurs des niveaux sonores en fonction de la saison. En été, dans de nombreuses régions, le bruit de la faune nocturne est important (grillons, grenouilles, oiseaux, etc.) et les ambiances sonores en un même point peuvent varier de plus de 10 dB(A). Le tableau 9 montre les ambiances sonores résiduelles mesurées au même point de mesure en plein hiver et en été. Il s'agit d'un site en plaine, avec peu de végétation autour du point de mesure.

**Tableau 9 : Influence des grillons –
ambiances sonores résiduelles nocturnes (hiver/été) en un même point**

saïson	3 m/s	4 m/s	5 m/s	6 m/s	7 m/s	8 m/s
hiver	25 dB(A)	25 dB(A)	25 dB(A)	28 dB(A)	28 dB(A)	30 dB(A)
été (grillons)	34 dB(A)	34 dB(A)	35 dB(A)	36 dB(A)	36 dB(A)	37 dB(A)

IV.3 Niveaux de bruits et conditions météorologiques

Les conditions météorologiques ont un impact important sur les niveaux sonores à grande distance de la source (souvent supérieure à 100 mètres). Comme en témoignent les schémas suivants (figures 27, 28 et 29), à des distances importantes, l'influence des conditions météorologiques sur la propagation du son se traduit par une modification des trajectoires sonores elles-mêmes reliées à la variation des profils verticaux de vitesse du son. Ces profils sont estimés à partir des profils verticaux de température et de vent ainsi que de la direction du vent par rapport à la direction de propagation.

Lorsque la variation du profil vertical de vitesse du son est nulle, la trajectoire des rayons sonores est rectiligne (conditions dites « homogènes »). Lorsque la variation du profil vertical de vitesse du son est positive (gradient de température positif ou vent portant), la trajectoire des rayons sonores est incurvée vers le sol (conditions dites « favorables à la propagation »). Lorsque la variation du profil vertical de vitesse du son est négative, (gradient de température négatif ou vent contraire), la trajectoire des rayons sonores est incurvée vers le ciel (conditions dites « défavorables à la propagation »). Dans ce dernier cas, il y a création de zones d'ombre acoustiques.

Par vent contraire, les rayons sonores sont incurvés vers le haut et à partir d'une distance X généralement supérieure à 200m, il y a formation d'une zone d'ombre.

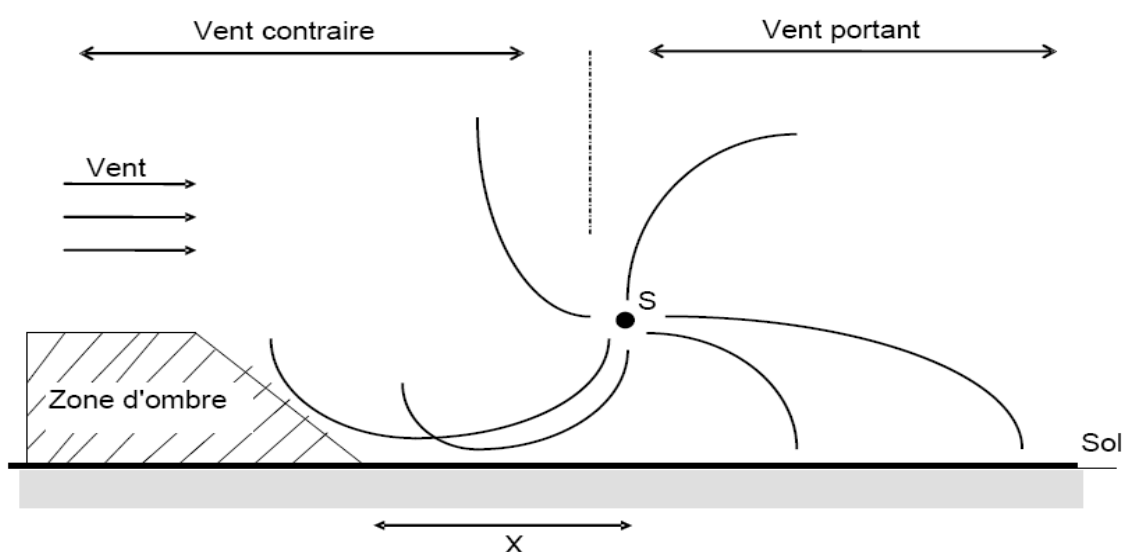


Figure 27 : Influence du vent pour une température constante

Si la température décroît avec la hauteur, les rayons sonores sont incurvés vers le haut et provoquent une zone d'ombre autour de la source. La zone d'ombre est d'autant plus proche de la source que celle-ci est proche du sol.

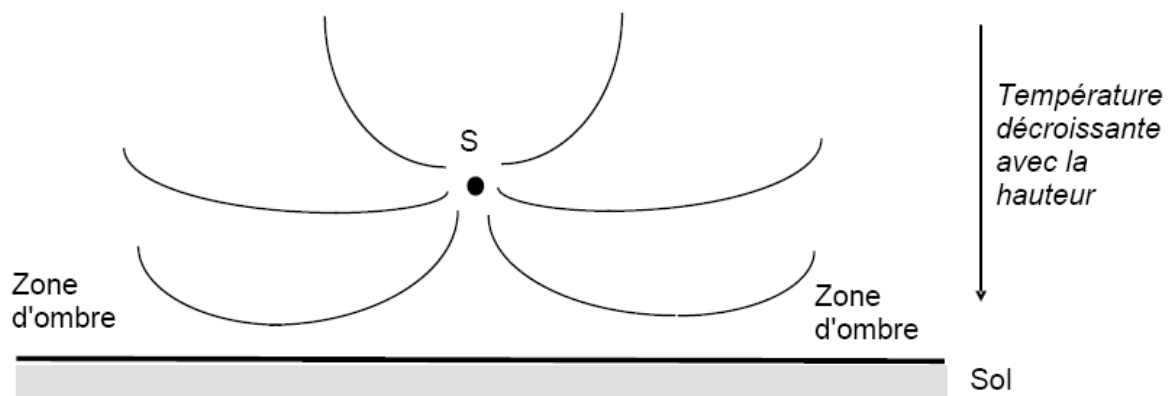


Figure 28 : Influence du gradient de température avec un vent nul

Le dernier cas correspond à une inversion de température. Ce phénomène se produit pendant les nuits froides et claires en l'absence de vent. C'est dans ces conditions, que l'on entend des sources lointaines.

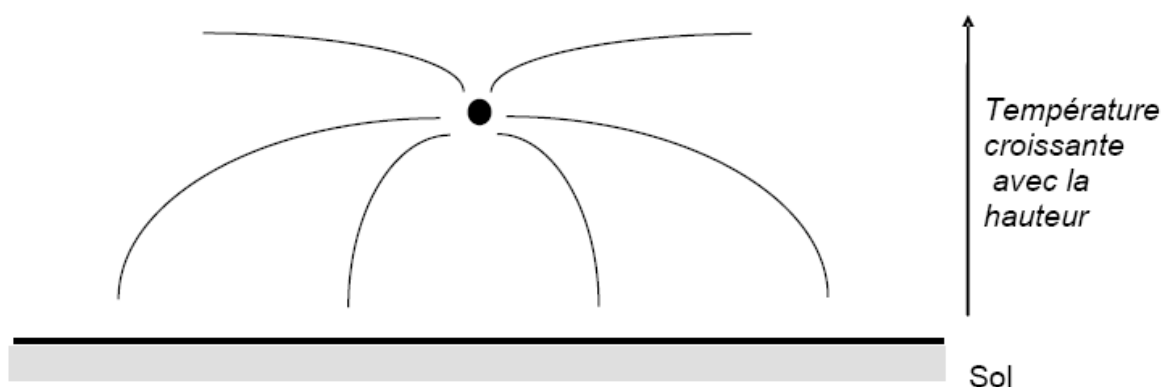


Figure 29 : Cas d'une inversion de température

Au final, c'est la combinaison des gradients de vent et de température sur le trajet de propagation qui détermineront les conditions de réfraction du rayon sonore. Les variations des niveaux sonores à un endroit précis peuvent atteindre la dizaine de dB(A) selon les conditions constatées. La prévision de ces variations s'avère donc indispensable.

Sur le terrain, il est facile de constater l'influence des conditions météorologiques sur la propagation sonore (bruit lointain d'un train plus ou moins bien perçu selon la direction du vent, bruit lointain d'une autoroute plus ou moins fort sur quelques secondes ou minutes selon la courbure à l'instant t des rayons sonores). Mais, si les phénomènes sont connus et modélisés sur des espaces « maîtrisés », les irrégularités de relief, les variations de nature

des sols (forêts, cultures, labours, infrastructures), rendent ces variations difficilement modélisables en grandeur réelle. Etablir des lois précises apparaît très délicat car il est impossible d'isoler les effets de l'hétérogénéité de l'atmosphère ou les effets dus aux turbulences de l'air qui sont constamment variables.

En fonction des conditions atmosphériques (ensoleillement, couverture nuageuse, présence ou non de vent portant ou contraire) les variations de niveaux sonores, à grande distance de la source, peuvent être importantes. Des variations de plusieurs décibels (jusqu'à 20 pour des cas extrêmes) ont été mesurées à 900 m de distance sur un site plan et dégagé (Bérenghier et coll., 1990). Par rapport aux conditions homogènes, le niveau sonore peut être augmenté (jusqu'à + 5 dB) pour des conditions favorables à la propagation ou diminué (jusqu'à - 20 dB) pour des conditions défavorables à la propagation.

Indépendamment des effets de leurs gradients verticaux, la température et la vitesse du vent fluctuent rapidement autour de leurs valeurs moyennes. Il en résulte des fluctuations aléatoires de phase et d'amplitude de l'onde sonore et ainsi, une déformation des fronts d'ondes. Ces effets sont appelés communément « turbulence atmosphérique ». La conséquence principale de cette turbulence est, d'une part, la décorrélation des signaux acoustiques au cours de leur propagation et, d'autre part, la diffusion de l'énergie acoustique à l'intérieur des zones d'ombre atmosphérique ou topographique.

IV.4 Considérations par bande de fréquences

Outre le respect des émergences sonores en dB(A) à l'extérieur des habitations, la réglementation impose dans le cas de plaintes à l'intérieur des habitations, le respect d'émergences par bande de fréquence de 125 à 4000 Hz fenêtres ouvertes ou fermées.

IV.4.1 Propagation sonore, facteurs influents

L'absorption atmosphérique, les effets de sol et l'absorption due à la végétation n'agissent pas de la même manière sur toutes les bandes de fréquence. Les bandes de fréquences basses et médium sont moins atténuées que les hautes fréquences par l'absorption atmosphérique et une végétation dense. Pour l'effet de sol, cela dépend fortement de l'angle d'incidence de l'onde sonore par rapport au sol. Aux fortes incidences, l'atténuation maximum se situe principalement aux fréquences médium (au voisinage de 500 Hz) alors qu'il en est tout autrement pour les faibles incidences dites rasantes pour lesquelles les atténuations sont plus fortes aux fréquences élevées.

IV.4.2 Ambiances sonores résiduelles

Les sources sonores environnantes sont nombreuses et leurs variations au cours du temps aléatoires. Les spectres des ambiances sonores résiduelles résultent des combinaisons de chaque type de source de bruit.

Le graphique, figure 30, représente des spectres de bruit mesurés en fonction des ambiances sonores. Sont reportés les spectres mesurés à proximité de végétation pour une vitesse de 6 m/s, à proximité d'une autoroute (350 m) et lors de chants de grillons pour des niveaux sonores équivalents.

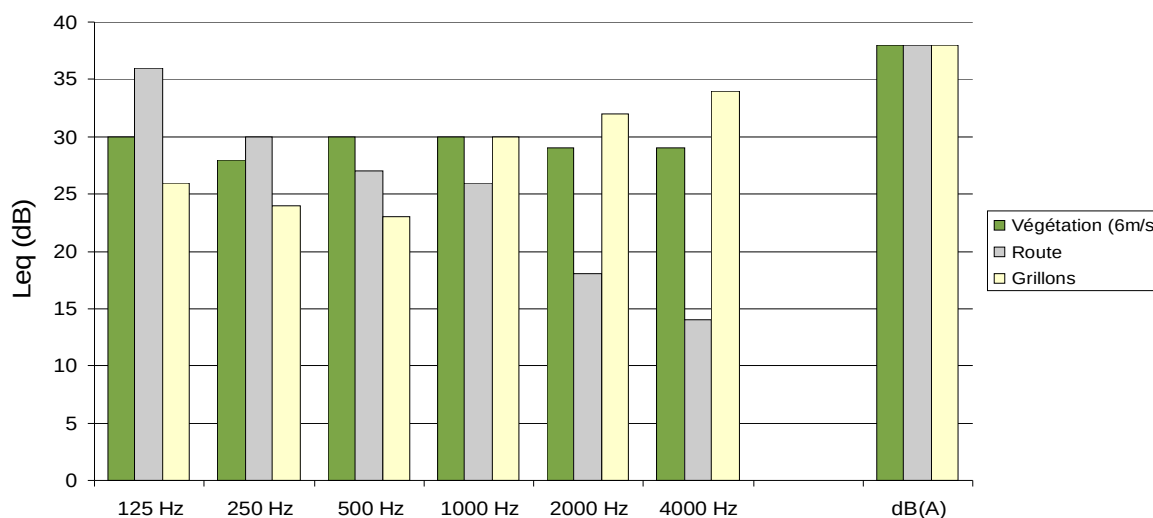


Figure 30 : Spectres de bruit résiduel

Les bruits dus aux activités humaines (bruit routier, industriel ou agricoles) présentent des spectres plus chargés sur les bandes de fréquences basses. Le bruit du vent dans les feuilles est un bruit finalement assez large bande. Selon le type de feuilles, il sera plus ou moins chargé dans les hautes fréquences. Enfin, le bruit des insectes nocturnes est très fortement chargé dans les hautes fréquences.

IV.4.3 Retour d'expérience : mesures d'émergence sur des parcs en fonctionnement

Les exemples ci-dessous présentent des résultats de mesure d'émergences par bande de fréquence pour trois sites différents (figures 31, 32 et 33). Les mesures ont été effectuées à l'extérieur de l'habitation. Les résultats correspondent à des mesures de nuit.

Site 1 : distance habitation – 1ère éolienne : 570 m

Il s'agit d'un site plat avec de la végétation autour de l'habitation et d'un parc éolien constitué de 6 machines.

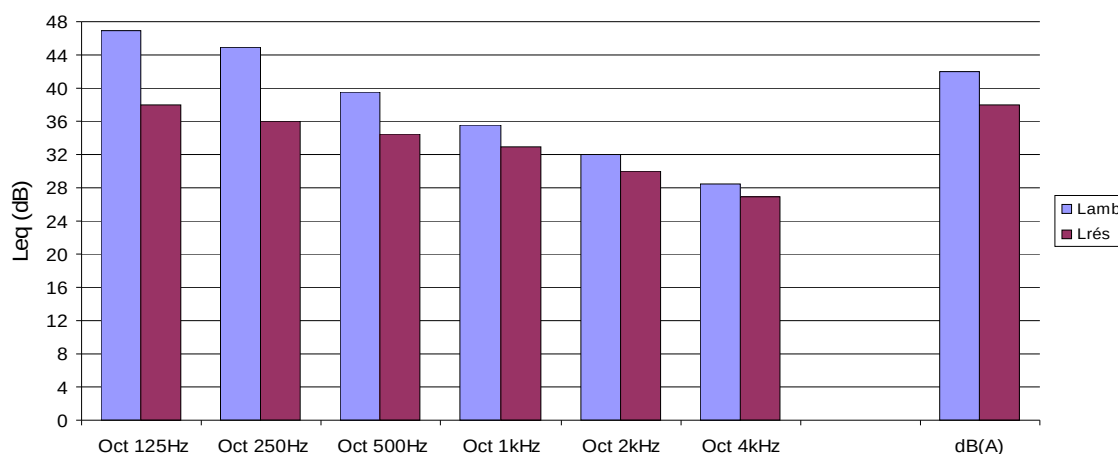


Figure 31 : Lamb versus Lrés nuit, spectres moyens à 6 m/s

	Lamb (dB)	Lrés (dB)	E (dB)	E _{max} admissible
Oct 125 Hz	47	38	9	7
Oct 250 Hz	45	36	9	7
Oct 500 Hz	39.5	34.5	5	5
Oct 1 kHz	35.5	33	2.5	5
Oct 2 kHz	32	30	2	5
Oct 4 kHz	28.5	37	1.5	5
dB(A)	42	38	4	3

Site 2 : distance habitation – 1ère éolienne : 650 m

Il s'agit d'un site plat avec peu de végétation autour de l'habitation et d'un parc éolien constitué de 5 machines.

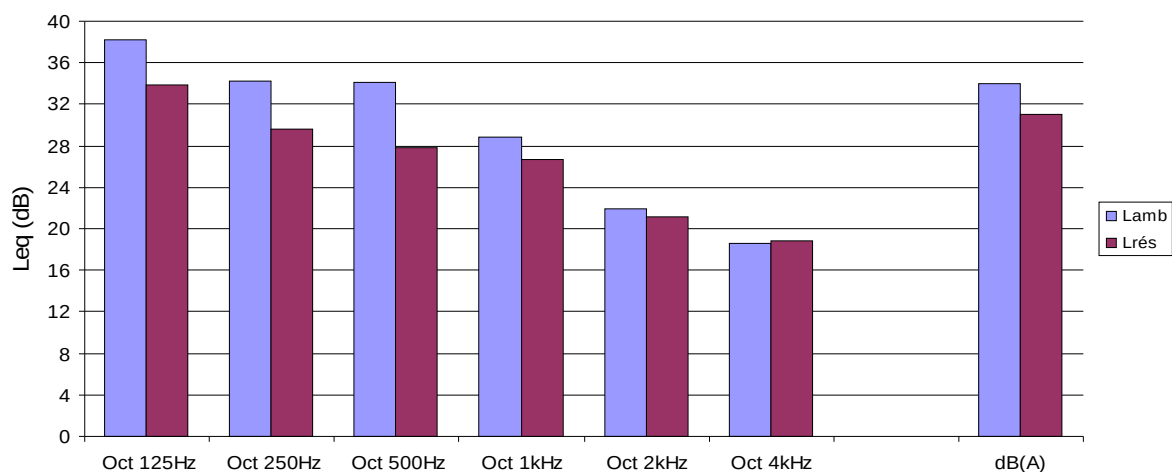


Figure 32 : Lamb versus Lrés nuit, spectres moyens à 5 m/s

	Lamb (dB)	Lrés (dB)	E (dB)	E _{max} admissible
Oct 125 Hz	38.2	33.8	4.4	7
Oct 250 Hz	34.2	29.6	4.6	7
Oct 500 Hz	34.1	27.8	6.3	5
Oct 1 kHz	28.8	26.7	2.1	5
Oct 2 kHz	21.9	21.1	0.8	5
Oct 4 kHz	18.6	18.9	-0.3	5
dB(A)	34	31	3	3

Site 3 : distance habitation – 1ère éolienne : 800 m

Il s'agit d'un site plat avec de la végétation autour de l'habitation et d'un parc éolien constitué de 5 machines.

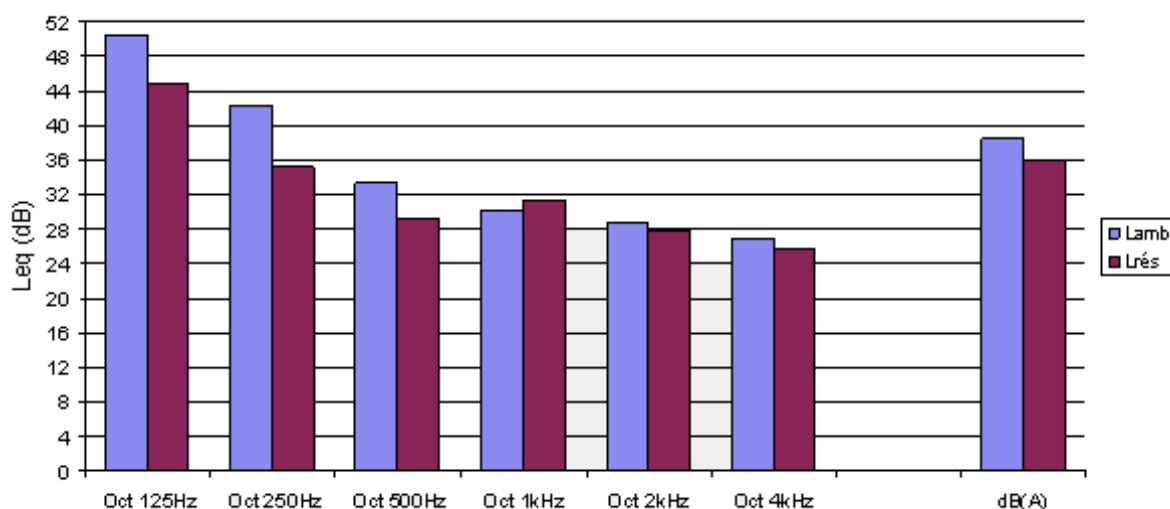


Figure 33 : Lamb versus Lrés nuit, spectres moyens à 6 m/s

	Lamb (dB)	Lrés (dB)	E (dB)	E _{max} admissible
Oct 125 Hz	50.5	44.9	5.6	7
Oct 250 Hz	42.3	35.2	7.1	7
Oct 500 Hz	33.3	29.3	4	5
Oct 1 kHz	30.2	31.4	-1.2	5
Oct 2 kHz	28.8	27.8	1	5
Oct 4 kHz	27	25.8	1.2	5
dB(A)	38.5	36	2.5	3

Les mesures présentées ont été faites à l'extérieur des habitations. La réglementation impose des valeurs d'émergences par bande de fréquence uniquement à l'intérieur des habitations, fenêtres ouvertes ou fermées. Pour des expositions comparables (point de mesure extérieur au droit de la fenêtre), les analyses à l'intérieur, fenêtres ouvertes, sont dans la plupart des cas peu différentes de celles effectuées à l'extérieur. En effet, le bruit des éoliennes transmis à l'intérieur des habitations correspond au bruit provenant de l'extérieur diminué de l'indice d'affaiblissement acoustique équivalent au passage d'un champ libre (l'extérieur) à un volume fini (celui de la pièce) à travers une fenêtre ouverte. Celui-ci peut être globalement estimé à -5 -7 dB selon la taille de la fenêtre, le volume et l'encombrement de la pièce. Le bruit résiduel intérieur fenêtres ouvertes est la somme du bruit résiduel provenant de l'extérieur, diminué du même indice d'affaiblissement acoustique, et des bruits intérieurs domestiques, généralement faibles (car la pièce est le plus souvent non habitée dans le cadre de mesures). Dans ces conditions, les émergences entre l'extérieur et l'intérieur, fenêtre ouverte, sont généralement proches.

Ce n'est plus le cas si les niveaux sonores intérieurs sont élevés ou si le bruit résiduel extérieur provient uniquement de végétation (ou toute autre source de bruit) située à un angle du bâti et donc en vue masquée à l'intérieur de la pièce. Dans cette dernière situation,

les niveaux sonores intérieurs fenêtre ouverte peuvent être beaucoup plus faibles. Dans les résultats présentés, l'exposition sonore intérieure était identique à celle du point extérieur (éoliennes et sources de bruit environnantes face à la pièce).

L'analyse des trois mesures présentées ci-dessus permet de constater que le respect des exigences réglementaires en dB(A) et le respect des émergences spectrales ne sont pas liés. Dans certains cas, les émergences spectrales peuvent être non conformes pour des émergences en dB(A) conformes. Les dépassements constatés sur certaines bandes restent faibles.

IV.5 Niveaux de bruit : modélisation et mesures

Ces phénomènes peuvent être mis en évidence soit à partir de modèles théoriques, soit à partir de campagnes expérimentales. Les deux approches sont complémentaires et indispensables à la compréhension et à l'interprétation des phénomènes.

Du point de vue de la modélisation, diverses approches ont été mises en place au cours des vingt dernières années :

- des modélisations sophistiquées faisant appel à des techniques analytiques ou numériques qui permettent de simuler des situations relativement complexes s'approchant au mieux des réalités du terrain (Bérenghier et coll., 2003). Ces techniques permettent de faire des calculs sur des périodes de court terme.
- des modélisations simplifiées dites « d'ingénierie » (Certu et coll., 1996) permettant d'approcher les phénomènes sur des périodes de long terme. Certains de ces modèles sont normalisés tant au niveau national (Afnor, 2001) qu'international (ISO, 1993b). Sur ce point, une méthode européenne harmonisée est toujours en cours d'élaboration.

D'un point de vue expérimental, divers outils sont à la disposition des utilisateurs : des normes de mesure (Afnor, 1996) ainsi que des sites expérimentaux pilotes ou des maquettes.

Les effets météorologiques, quant à eux, peuvent être introduits de deux façons : soit en courbant la surface représentant le sol des maquettes (Premat et coll., 2003) de façon à la rendre concave (cas de la variation positive du profil vertical de vitesse du son) ou convexe (variation négative); soit en plaçant la maquette dans une soufflerie atmosphérique au sein de laquelle circule un flux d'air ayant des caractéristiques similaires au vent en milieu extérieur, avec une échelle de réduction identique à celle de la maquette étudiée (Barrière et Gabillet, 1999).

La modélisation est la conception d'un modèle. On ne parlera dans ce chapitre que des modèles mathématiques (ou informatiques) bien que d'autres modèles tels que des modèles à échelle réduite existent.

Ainsi la modélisation permet d'analyser des phénomènes réels et de prévoir des résultats à partir de l'application d'une ou plusieurs théories à un niveau d'approximation donné. Plus l'approximation est faible et plus le modèle est bon. En acoustique la modélisation s'appuie essentiellement sur les théories et sur les principes de la physique ondulatoire.

Les modèles informatiques en acoustique appliqués à l'éolien permettent de déterminer "en sortie" les niveaux sonores dans l'environnement et pour cela, doivent être nourris "en entrée" par un certain nombre de données : il s'agit essentiellement des données sur les sources sonores en jeu c'est-à-dire les éoliennes (nombre, dimension, disposition, niveaux

sonores intrinsèques des sources...) et des données sur l'environnement (topographie, météorologie, nature des sols, etc.).

La connaissance des sources et du milieu de propagation des ondes sonores permet au modèle informatique de calculer la propagation du bruit depuis la source vers n'importe quel point de l'environnement.

La modélisation informatique permet de faire des prévisions et donc de tester différents scénarii. En ce sens, elle permet de dimensionner au mieux l'implantation d'éoliennes dans un environnement donné afin de prévoir les niveaux sonores adéquats.

Les phénomènes évoqués précédemment (divergence géométrique, absorption atmosphérique, effet de sol, couvert végétal, conditions météorologiques) qui interviennent dans la propagation du bruit sont plus ou moins complexes mais c'est le phénomène de réfraction (courbure des rayons sonores) dû aux conditions météorologiques qui tend à créer des augmentations ou des diminutions locales de niveau sonore, qui est sans doute le plus difficile à modéliser.

Ce phénomène de réfraction est difficile à modéliser à cause du manque de données météorologiques ou plutôt du nombre très élevé de données qu'il conviendrait de traiter. En effet, il dépend des conditions locales propres à chaque site qui, de plus, évoluent fortement dans le temps. Alors, des approximations doivent être faites.

La norme de calcul ISO 9613-2 « Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre » spécifie une méthode de calcul de l'atténuation d'un son lors de sa propagation à l'air libre, afin de prédire le niveau sonore à une distance donnée provenant de diverses sources. Elle a pour but de déterminer le niveau moyen de pression acoustique en dB(A) uniquement dans des conditions météorologiques favorables à la propagation. Ces conditions consistent à une propagation par vent portant, ou de manière équivalente, à une propagation sous une inversion de température modérée bien développée au voisinage du sol. Elle vise également à déterminer le niveau moyen de pression acoustique à long terme en prenant en compte un facteur d'occurrence des conditions météorologiques. Cette méthode est applicable, directement ou indirectement, à la plupart des situations concernant le trafic routier, ferroviaire, les sources de bruit industriel, les activités de construction et de nombreuses autres sources de bruit situées au voisinage du sol.

Pour l'application à l'éolien, cette norme de calcul montre ses limites :

- Car elle ne permet pas de prendre en compte la courbure des rayons sonores pour des conditions de gradients de vent et de température défavorables à la propagation sonore (zones d'ombres), rendant le calcul impossible par exemple de jour avec un ciel dégagé
- Car le calcul n'est pas prévu pour des sources "en hauteur" et pour un effet de sol lié à une topographie non plate. De ce fait, les calculs donnent des niveaux sonores plus faibles que ceux réellement mesurés (environ 5 dB(A) d'écart, ce qui est très élevé).

De nombreux logiciels de modélisation informatique reprennent dans leurs codes de calcul cette méthodologie et présentent donc les mêmes limitations que la norme ISO 9613-2. En particulier, des logiciels utilisés principalement en Europe du Nord (Allemagne, Royaume-Uni, Belgique, ...), où les conditions météorologiques de type soleil bas et ciel couvert, sont souvent rencontrées, conditions favorables à la propagation.

Certains Bureaux d'études en acoustique français ont développé des logiciels spécifiques pour palier ces inconvénients qui permettent donc de calculer des niveaux sonores dans toutes les conditions météorologiques.

Les tableaux 10 et 11 illustrent ces propos. Ils présentent les résultats de mesures, et de modélisations réalisées avec un logiciel spécifique dédié aux bruits des éoliennes et le code ISO 9613-2 pour un site plat. Le parc est constitué de 6 machines avec la nacelle située à 60m de hauteur. Différents points de mesures étaient répartis autour du parc à des distances comprises entre 500m et 1200 m. Les résultats présentés correspondent à des conditions nocturnes pour un vent de 2.7 m/s à 10m au dessus du sol. La température moyenne sur la nuit est de 9 °C.

Tableau 10 : Conditions de propagation favorables

Points	Niveaux en dB(A)		
	Mesure	Calcul logiciel spécifique ⁽¹⁾	ISO 9613-2
A	26	22.5	17.4
B	33.5	35	28.8
C	38	38.5	34.4

Ici la norme ISO 9613-2 tend à surestimer l'atténuation du bruit au cours de la propagation.

Tableau 11 : Conditions de propagation défavorables

Points	Niveaux en dB(A)		
	Mesure	Calcul logiciel spécifique ⁽¹⁾	Sans prise en compte courbure rayons = rayons rectilignes (2)
X	29	30.5	33
Y	29.5	27.5	34
Z	28.5	26	31

(1) calcul réalisé à l'aide du logiciel ACOUSPROPA / Module éolien commercialisé par Gamba & Ass.

(2) l'utilisation de la norme ISO 9613-2 n'est pas possible dans de telles conditions défavorables à la propagation donc le calcul se fait avec des conditions météorologiques neutres.

Ici, ne pas tenir compte de la réfraction ainsi que d'une zone d'ombre, tend à sous-estimer l'atténuation du bruit au cours de la propagation.

V. Evaluation du bruit généré par les éoliennes

L'éolienne est composée de plusieurs éléments (rotor formé de pales, nacelle renfermant toute la partie mécanique de la machine, et mât). Les éoliennes implantées en Europe sont généralement à trois pales fixées sur un axe horizontal, en amont de la nacelle. D'autres modèles existent à deux pales, rotor en aval de la nacelle, certaines plus rares sont à axes vertical.

Dans tous les cas, le bruit d'une éolienne résulte de la contribution sonore de plusieurs sources de bruit (mécaniques et aérodynamiques). Les évolutions technologiques mènent à des modèles de puissance électrique unitaire, donc de taille, de plus en plus grande. Les puissances installées par parc sont également à la hausse.

De par des distances d'éloignements entre sources de bruit et riverains supérieures à 300 m, le bruit des éoliennes repose sur une problématique de propagation acoustique à grande distance. Pour de telles distances, outre la divergence géométrique (décroissance du son en fonction de la distance), d'autres facteurs influents entrent en jeu : absorption atmosphérique, effet de relief, effet de sol, conditions météorologiques sur la courbure des rayons sonores. Certains de ces facteurs sont en interactions. Par exemple, les conditions météorologiques influent sur la courbure des rayons sonores, ce qui, selon le rayon de courbure, peut entraîner un contournement du relief qui rend les éoliennes non visibles physiquement mais visibles « acoustiquement ».

Contrairement à des bruits industriels, les émissions sonores des éoliennes varient au cours du temps et en fonction des vitesses de vent. Il est en de même pour le niveau de bruit de fond. Selon la zone dans laquelle se situe l'habitation et l'environnement qui l'entoure (zone rurale, zone industrielle, proximité d'axes routiers, présence de végétation, etc.), les ambiances sonores varient de plusieurs dizaines de décibels. L'émergence, différence entre le bruit ambiant et le niveau de bruit résiduel, sera donc variable.

Cette variabilité des niveaux sonores nécessite une expertise approfondie afin de cerner le comportement des ambiances sonores dans le temps, en fonction des conditions de vent, des saisons, etc. Afin de simplifier cette expertise, la détermination d'un critère de distance minimale d'éloignement des éoliennes par rapport aux habitations a souvent été évoquée. Mais cet exercice est hasardeux et jamais satisfaisant. Il entraîne selon le critère envisagé, une surestimation ou une sous-estimation de l'impact acoustique du projet, empêchant ou favorisant le développement de l'éolien sans pouvoir toujours répondre aux exigences réglementaires.

V.1 Facteurs de bruit

V.1.1 Bruits d'origine mécanique

Le bruit mécanique provient du fonctionnement de tous les composants présents dans la nacelle. Les principaux composants générateurs de bruit sont le multiplicateur (sauf certains modèles récents), les arbres, la génératrice les équipements auxiliaires (systèmes hydrauliques, unités de refroidissement). Le bruit émis est en large bande mais contient également des tons purs en relation avec les parties tournantes.

Les premières générations d'éoliennes émettent un bruit mécanique relativement important. Les éoliennes plus récentes ont bénéficié de nombreuses améliorations ce qui a permis de

réduire de moitié le bruit d'origine mécanique. Les améliorations ont porté sur le traitement acoustique de la nacelle : renforcement de l'isolation, mise en place de silentbloks, traitement des voies d'air par des silencieux, fabrication de multiplicateurs et de génératrices spécifiques.

V.1.2 Bruits d'origine aérodynamique

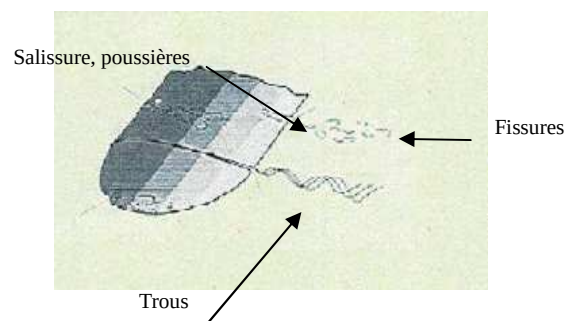
Tout obstacle placé dans un écoulement d'air émet du bruit. La tonalité de ce bruit dépend de la forme et des dimensions de l'obstacle ainsi que de la vitesse de l'écoulement. Plus l'obstacle est vif, plus la tonalité est marquée.

L'écoulement d'air peut également faire vibrer les surfaces. Dans l'industrie automobile, les exemples sont multiples (rétroviseur, portière, toit, capot, ...).

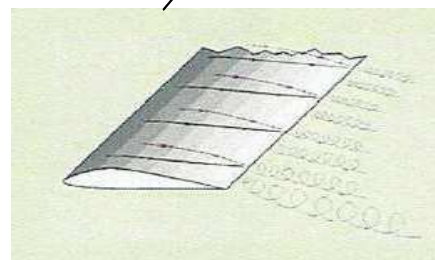
De nombreuses études (Fégeant, 2001 ; Danish Wind Industry Association) ont été menées pour mettre en relation la vitesse de l'écoulement avec le bruit émis. Tous les autres paramètres restant égaux, la pression sonore augmentera avec la puissance cinquième de la vitesse de la pale par rapport à l'air 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 (cf. figure 34).

1-Présence de salissures ou d'imperfections sur le profil de la pale (trous, aspérités, fissures, ...)



2-Turbulences liées au passage de l'air sur le côté intrados et extrados de la pale qui se rejoignent pour créer des turbulences sur le bord de fuite



3-Tourbillons en bout de pale dus aux surpressions / dépressions présentes dans cette zone

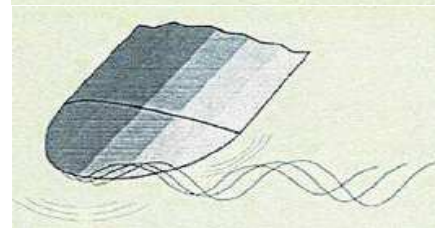


Figure 34 : Origine des turbulences

Ainsi qu'à l'interaction entre le flux d'air, les pales et la tour.

Les différents bruits aérodynamiques émettent à des bandes de fréquences différentes. Au final, le bruit total d'origine aérodynamique s'apparente à un bruit blanc. La figure 35 montre les contributions spectrales des différentes sources de bruit aérodynamiques et le spectre total (Fégeant, 2001).

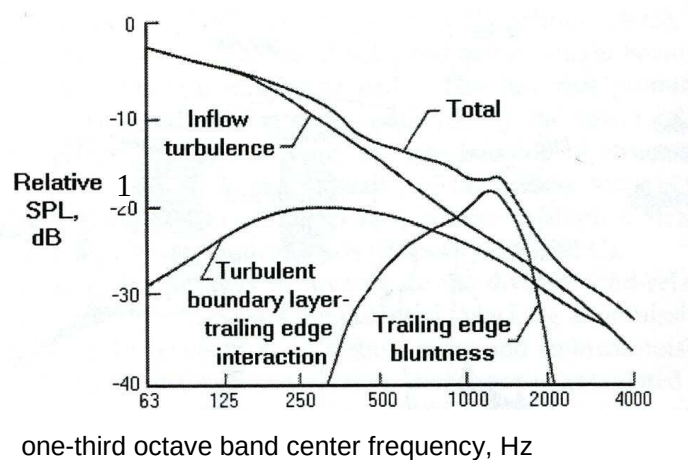


Figure 35 : Contributions relatives des bruits aéroacoustiques au bruit total

Sur une pale, les sources de bruit aérodynamiques seront plutôt localisées sur le bord de fuite (bord fin par opposition au bord d'attaque, bord épais) et en extrémité. C'est dans cette partie que les vitesses d'écoulement sont les plus élevées. Les profils de pale ont donc évolué (cf. figure 36).



Figure 36 : pale d'éolienne

Aujourd'hui, d'après les sources de l'Association des Industries Eoliennes Danoises, des programmes de recherches sont lancés notamment dans l'amélioration d'outils de modélisations 3D des flux d'air (recherches spécifiques à l'application éolienne moins développées dans l'industrie aéronautique). Ces recherches visent à améliorer la productivité de la machine et permettent également de réduire les émissions sonores.

L'industrie éolienne utilise aussi les technologies de l'industrie aéronautique. On citera notamment l'utilisation de bandes rugueuses ou de dispositifs similaires tels que des petites

aillettes placées sur certaine partie de la pale dans le but de générer un léger courant d'air turbulent à la surface des pales. La disposition de ces bandes rugueuses est calculée de manière à assurer que la couche turbulente se dissout automatiquement lorsqu'elle atteint le bord de fuite de l'aile.

Ces dispositifs permettent d'éviter le décrochage de l'écoulement d'air autour du profil de la pale. Ce décrochement a souvent lieu dans la zone où le profil de pale est encore épais. Les bandes rugueuses sont donc collées sur la face inférieure de la pale, près de la base, sur environ 1 m de long. Les gains constatés sont non négligeables. Sur un cas concret, il a été constaté une amélioration d'une dizaine de dB(A) sur la puissance acoustique de la machine. Les problèmes de basses fréquences importantes (BF) se rencontrent surtout en configuration "downwind", c'est-à-dire le rotor en aval de la nacelle. Il n'existerait pas de forte intensité en BF au-delà de quelques centaines de mètres quel que soit le type d'éolienne.

V.2 Les phénomènes vibratoires

D'autres études ont été menées sur le bruit des éoliennes émis par vibrations (Noise from windturbine, O. Fégeant, 2001). Tout objet qui vibre émet du bruit (les exemples les plus connus étant ceux du tambour ou du diapason). Lorsque la fréquence de l'excitation correspond à la fréquence de résonance de la structure, un phénomène d'amplification se produit. Sur une éolienne, les origines de ces vibrations sont doubles : aérodynamiques et mécaniques.

Comme nous l'avons évoqué au début du paragraphe précédent, tout écoulement d'air fait vibrer les structures qu'il rencontre. Ainsi les pales et le mât de l'éolienne sont excités et mis en vibration par le vent.

Par ailleurs, le fonctionnement de tous les composants à l'intérieur de la nacelle excite de manière mécanique toute la structure de celle-ci. Ces vibrations sont ensuite transmises aux pales et au mât.

Niveaux de bruit et évolution des équipements

Les niveaux de bruit des machines évoluent en fonction de leur puissance électrique. Chaque valeur de bruit correspond à la moyenne de plusieurs machines de constructeurs différents pour la même puissance électrique (cf. figure 37).

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. Ce point est important car il s'agit là des seules machines concernées par la recommandation du rapport de l'Académie nationale de médecine.

Si l'on regarde l'évolution entre 660 et 2500 kW (cf. figure 37), 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.

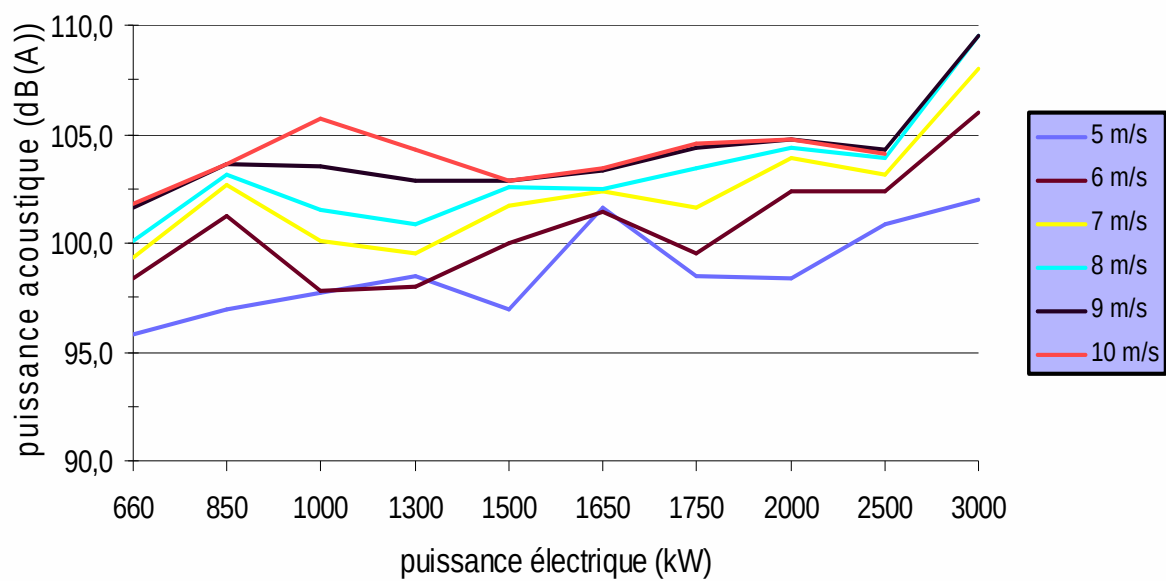


Figure 37 : Puissance acoustique en fonction de la puissance électrique

VI. Exposition des riverains

VI.1 Exemples de niveaux sonores dans l'environnement

De nombreuses mesures sonores autour de parcs éoliens en fonctionnement permettent de donner des valeurs sur les niveaux sonores mesurés chez les riverains. Ces niveaux sonores dépendent de l'éloignement, du nombre de machines à proximité, de la vitesse du vent, des conditions météorologiques, et du bruit résiduel chez le riverain.

Exemple n°1

Le tableau 12 présente pour différentes situations, les niveaux de bruit ambiant mesurés chez les riverains, à l'extérieur des habitations, parc éolien en fonctionnement. Toutes les valeurs présentées correspondent à des mesures pour lesquelles les éoliennes étaient audibles aux points de mesure. Il s'agit de mesures en période nocturne sur des durées de 1 à 2 nuits entières en continu.

Tableau 12 : Valeurs de niveaux ambiants mesurés pour différentes configurations

Distance éolienne plus proche (m)	Nombres d'éoliennes à proximité	Vitesse à 10m	Niveaux ambiants en dB(A)
430	2	6 m/s	38
540	1	6 m/s	34
540	1	6 m/s	39
650	1	4 m/s	31
690	2	6 m/s	37
1100	3	6 m/s	32
1300	5	5 m/s	33

Les valeurs exposées dans le tableau précédent ont été mesurées pour des conditions de fonctionnement de parc les plus contraignantes : aux vitesses de 5 - 6 m/s, les niveaux sonores résiduels sont encore faibles et les puissances acoustiques des machines commencent à approcher des valeurs maximales.

Les résultats présentés ne présument pas des émergences mesurées puisque les niveaux de bruit résiduels n'ont pas encore été mesurés.

Exemple N°2

Les exemples rapportés de niveaux sonores dus aux éoliennes (par exemple, source EED/Ademe, pour une éolienne de $L_w = 101$ dB(A) : entre 22,9 et 25,1 dB(A) à 1200m, 47 dB(A) à 200 m et 60 dB(A) au pied) permettent d'écarter l'éventualité de niveaux extrêmement forts. Les niveaux sonores se situent :

- à proximité des sources : dans la gamme des niveaux de bruit d'infrastructures de transports terrestres
- à distance des sources (de l'ordre du kilomètre) : dans la gamme des niveaux de bruit résiduel.

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.

VI.2 Bruits de basses fréquences

Les bruits de basses fréquences (BBF) désignés comme tels dans la littérature scientifique sont compris entre 10 Hz et 200 Hz, parfois de 10 Hz à 30 Hz. Ils sont spécifiquement identifiés et différents des modulations lentes des bruits.

La gamme inférieure de ce domaine concerne les infrasons, identifiés comme ceux dont la fréquence se situe de 1 Hz à 20 Hz, parfois jusqu'à 30 Hz.

Le bruit dû aux éoliennes recouvre partiellement ce domaine, avec une part d'émission en basses fréquences.

Spectre type (G.Leventhall)

A partir d'exemples publiés, l'émission sonore des éoliennes à proximité des sources dans le domaine des basses fréquences peut être résumée par un gabarit spectral commun. Dans une représentation niveau, fréquence, ce gabarit part du point (80/90 dB, 2 Hz) et descend vers (65 dB, 100 Hz) puis (50 dB / 1 kHz), puis chute jusqu'à (20 dB, 10 kHz).

Un spectre de raies peut être rencontré en complément dans la partie basses fréquences jusqu'à 30 Hz ou 60 Hz environ.

Tableau 13 : Exemples de niveaux de bruit pour une turbine de 1,3 MW

Fréquence en Hz	Niveau en dB à 100 m	Niveau en dB à 400 m	Seuil d'audition moyen selon ISO 226
25	50	32	69
31,9	48	30	60
32,8	47	29	59
78,8	42	24	31
97	37	19	26
130	35	13	21
174	33	15	16

VI.3 Analyse de l'exposition sonore des riverains de parcs éoliens en fonctionnement

Afin d'apprécier dans le détail les éventuels problèmes soulevés par le fonctionnement des parcs éoliens sur la santé humaine, notamment les nuisances sonores, un questionnaire a été élaboré puis transmis à l'ensemble des DDASS de France. Le texte intégral du questionnaire est joint en annexe 5.

Le questionnaire est divisé en 3 parties :

- La première partie porte sur le développement de l'éolien dans le département concerné. Il vise à recueillir le nombre de permis de construire instruits et accordés par année entre 2002 et 2006 ainsi que la distance entre le parc et le riverain le plus proche.
- La deuxième partie porte sur les éventuels problèmes sanitaires posés par les parcs éoliens en fonctionnement, focalisé sur les plaintes avec une déclinaison par type, origine, et objet des différentes plaintes connues ou répertoriées.
- La troisième partie porte sur le positionnement de la DDASS en matière d'étude d'impact sonore, et notamment sur la façon de traiter le problème des distances d'éloignement
-

VI.3.1 Taux de réponse et représentativité

Parmi les 96 questionnaires transmis par courrier électronique, 40 DDASS ont répondu ce qui donne un excellent taux de réponse de 42%. Parmi ces 40 questionnaires, 7 départements se sont déclarés non concernés par la problématique éolienne. L'analyse concerne donc 33 questionnaires.

D'un point de vue quantitatif, le poids de ces 33 départements dans le paysage éolien français actuel est d'environ 70%. Ce poids est calculé à partir de l'inventaire du « Journal de l'éolien » (Systèmes Solaires) de Juillet 2007 ; même si l'inventaire est incomplet, il constitue une excellente photographie de l'éolien en France aujourd'hui. Dans le détail, ces 33 départements accueilleraient 66% de la puissance éolienne installée et 72% des parcs.

D'un point de vue qualitatif, parmi ces 33 départements, on trouve la plupart des départements pionniers dans le développement de l'éolien comme l'Aude, le Finistère ou le Pas-de-Calais, ainsi que des départements en plein développement comme l'Eure-et-Loir ou la Marne, ou des départements d'un développement plus récent comme la Loire-Atlantique. Certains départements sont très peu concernés comme la Dordogne ou le Territoire-de-Belfort.

Le panel ainsi constitué nous permet d'affirmer que les conclusions tirées sont représentatives de la situation française.

VI.3.2 Analyse détaillée

Le développement éolien

A la première question sur la « consultation de la DDASS par les services instructeurs de parcs éoliens », deux départements ont, de façon étonnante, répondu par la négative. Plusieurs DDASS mentionnent des présentations et participations devant la « Commission des Sites », en plus de celles, plus habituelles, devant le « pôle éolien départemental ». (Ce

« pôle » est bien souvent mis en place à l'initiative du Préfet, afin que la concertation entre les différents services de l'État soit instaurée, et que l'information circule).

L'analyse des permis de construire de parcs éoliens instruits chaque année donne les résultats bruts inventoriés dans le tableau 14 (27 départements ont répondu) :

Tableau 14 : Nombre d'instruction de permis de construire de parcs éoliens jusqu'à 2006

avant 2002	2002	2003	2004	2005	2006	Total
6	5	140	144	180	184	659

Une inconnue pèse sur ces chiffres : certains départements demandant ou ayant demandé un permis de construire par éolienne, le nombre de permis de construire mélange des éoliennes et des parcs éoliens ; certains départements ont distingué l'un de l'autre mais pas tous.

Plus généralement cela montre que les informations collectées concernent a priori un grand nombre de données (près de 660 permis instruits pour 27 départements). On constate également un nombre stable de dossiers instruits ces deux dernières années. Cela pourrait signifier que le rythme de croisière, pour l'ensemble du territoire national, est d'environ 250 parcs instruits chacune de ces dernières années.

L'analyse des permis autorisés au 31 décembre de chaque année est partielle : cette information n'est pas du ressort de la DDASS mais de la DDE. Ainsi seulement 18 départements ont fourni cette information. Les résultats bruts sont indiqués dans le tableau 15 :

Tableau 15 : Nombre d'autorisation de permis de construire de parcs éoliens jusqu'à 2006

avant 2002	2002	2003	2004	2005	2006	Total
6	5	15	24	23	28	99

Il n'est pas possible de lier ces données à celles des permis instruits (seuls 18 des 33 départements ayant répondu à cette question). On retiendra, pour la suite de notre analyse, le nombre global de près de 100 permis autorisés selon ces 18 DDASS.

La troisième question portait sur l'éloignement minimum entre un parc éolien dont le permis de construire a été accordé et l'habitation la plus proche. Près de 180 données ont été fournies et ont permis de calculer une valeur moyenne de 650 mètres d'éloignement. Plus intéressante que la valeur moyenne est la répartition de cette distance entre les éoliennes et les premières habitations. On constate un pic entre 500 et 600 mètres (cf. figure 38) avec une forte décroissance ensuite (les valeurs supérieures à 1400 mètres ont été réunies en un seul groupe). Il semble donc que la distance de 500 à 600 mètres soit généralement retenue actuellement comme critère d'attribution des autorisations.

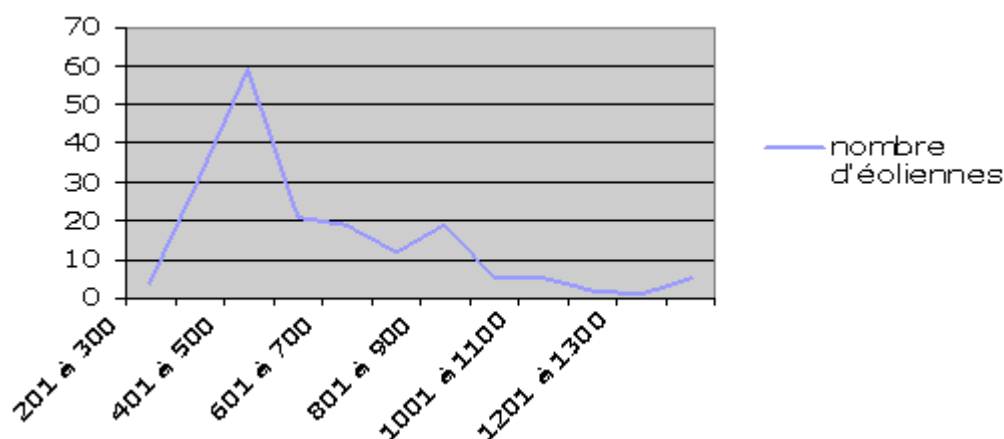


Figure 38 : Distribution du nombre d'éoliennes en fonction de l'éloignement entre le parc éolien et les habitations

On doit observer que les réponses ont porté, dans la pratique, tant sur les parcs autorisés qu'instruits, induisant une certaine incertitude. De même, certains questionnaires portaient la mention générale et globale de « pas moins de 500 m » ou « pas de moins de 850 m » ; arbitrairement, nous avons supposé dans les départements considérés l'existence de trois ou quatre parcs à chaque fois avec cette valeur minimale.

23 des 180 données correspondent à des éloignements inférieurs à 400 mètres ; elles sont localisées dans seulement quatre départements (dont 15 de ces 23 données sont relatives à un seul département).

En ce qui concerne les projets offshore, trois départements répondent par la positive à l'existence de projets ; mais aucun projet n'est avancé (aucune instruction en cours n'est signalée).

Problèmes sanitaires

17 parcs, sur 12 départements différents, ont fait l'objet de « plaintes » concernant le bruit selon les DDASS. Deux « plaintes » orales, sans suite donnée, sont à écarter. A l'heure actuelle, 3 des 15 « plaintes » font l'objet de contentieux. Ces plaintes peuvent être rapportées aux 70 % du parc éolien national que représente l'échantillon de l'enquête.

A noter que 10 de ces 15 plaintes sont individuelles ; 5 sont l'œuvre de deux plaignants ou plus ou bien d'associations.

Parmi ces douze départements avec plaintes, quatre sont les départements où des éloignements de riverains sont inférieurs à 400 m. Et les départements où l'on retrouve deux plaintes et plus sont deux des départements aux éloignements minima des riverains inférieurs à 400 mètres en plus grand nombre.

Pour 11 des 15 plaintes signalées, nous disposons de l'éloignement du plus proche riverain du parc éolien. 10 de ces 11 éloignements sont inférieurs à 500 mètres (dont 5 inférieurs ou égaux à 400 m).

Ces 15 plaintes, dont 3 avec contentieux, ont été observées sur l'échantillon de l'enquête qui représente 70% du parc éolien national.

Quatre de ces 15 plaintes ont déclenché des campagnes de mesures sonores de vérification sur site. Deux ont conclu à des émergences effectives ; une autre à la quasi-conformité de l'installation et une autre à sa conformité.

Prises de position des DDASS

A la question sur l'existence d'une « règle d'éloignement des tiers » 16 des 33 DDASS répondent par une valeur chiffrée. 500 mètres est la règle donnée par 14 DDASS. 800 m et 900 m sont les deux autres éloignements indiqués. Les termes employés pour qualifier cet éloignement sont variés et rappellent qu'il ne s'agit pas d'une demande réglementaire : « consensuels », « appliqués », « recommandés », « préconisés », « apparaît comme un minimum », « indicative ». 13 DDASS répondent par l'absence de règle d'éloignement (4 DDASS n'ont pas répondu à cette question).

A la question sur l'existence d'un « cahier des charges » du volet acoustique des projets éoliens, 21 des 33 DDASS répondent par l'affirmative. Le « guide des études d'impact sur l'environnement des parcs éoliens » édité par l'Ademe et le MEDD début 2005 est cité 9 fois. 13 fois sont cités des « note », « guides », « cahier des charges », « charte » mis en place spécifiquement pour l'éolien au niveau départemental ou régional.

A la question sur le « souhait d'un cahier des charges commun à toutes les DDASS », cinq réponses sont négatives (trois faisant référence à l'existence suffisante du guide de l'Ademe et du MEDD). 25 réponses sont positives ; parmi elles 6 précisent leur oui « à un document opposable », « si concret », « sur des règles de base et des principes », « mais c'est tardif », « car une position collégiale est toujours plus cohérente ».

Commentaires

Suite à cette analyse brute de l'enquête, quatre conclusions peuvent être esquissées :

- environ un parc sur une dizaine ⁽²⁾ fait l'objet de plaintes de riverains, au sens général du terme ; une faible partie de ces « réclamations » fait l'objet d'actions juridiques ; de même, les quelques mesures acoustiques effectuées sur site, suite à ces plaintes, révéleraient, dans la moitié des cas, une réelle non-conformité avec la réglementation ;
- Les réponses relatives aux éloignements permettent également de confirmer des « règles » dues aux caractéristiques du développement éolien de chaque région. En effet, les particularités géographiques sont nombreuses au sein du territoire national, que l'on retrouve dans la problématique éolienne. Ainsi les configurations de certains départements, à l'habitat diffus important et avec de bonnes ressources en vent, ont abouti à la réalisation de parcs composés d'un nombre limité d'éoliennes de taille moyenne ; à l'opposé, les particularités d'autres départements, avec de faibles densités de population et des ressources moyennes en vent, ont abouti à la réalisation, plus récente, de grands parcs constitués d'éoliennes de grande taille. On retrouve ces éléments géographiques dans l'approche administrative des dossiers avec des pratiques d'éloignement prenant en compte les spécificités locales.
- Il apparaît une corrélation globale, au niveau départemental, entre le nombre de plaintes et la distance minimale d'éloignement des riverains ; lorsque cet éloignement minimal

2 Il y aurait actuellement 200 parcs en fonctionnement sur le territoire national. L'échantillon de l'enquête concernant 72% des parcs, il y aurait donc 15 plaintes pour environ 144 parcs en fonctionnement

est faible (inférieur à 400 m), le nombre de plaintes augmente ; ceci peut être interprété comme une augmentation du risque de gênes et de plaintes, lorsque les « habitudes » départementales sont de faibles éloignements des riverains ; il apparaît clairement que des distances inférieures ou égales à 500 m sont des facteurs de risque important à l'apparition de plaintes (à minima 10 plaintes sur 15 recensées concernant des distances inférieures ou égales à 500 m).

- un fort besoin d'échanges et d'harmonisation des approches entre les différentes DDASS apparaît également : malgré l'existence du guide de l'Ademe et du MEDD, une large majorité des DDASS souhaite un cahier des charges commun à toutes les DDASS.

Limites et incertitudes de la démarche

Deux remarques peuvent être faites quant aux limites et incertitudes liées à l'analyse des réponses des DDASS aux questionnaires :

- Le questionnaire était ouvert ; les réponses ont dès lors été variables avec des synthèses parfois délicates. Certaines réponses ont parfois mal répondu à la question posée : par exemple, la question portait sur les parcs éoliens autorisés, mais la réponse concernait les parcs instruits. Des particularités départementales ont parfois compliqué l'analyse : des départements demandaient des permis de construire par éolienne, alors que la règle d'aujourd'hui est un permis de construire par parc éolien. Enfin pour certaines questions, les DDASS n'étaient pas les interlocuteurs appropriés : ainsi l'information sur les permis autorisés est du ressort de la Préfecture et de la DDE.
- Le paysage éolien français est en constante évolution ; de plus, le développement d'un projet éolien est un processus qui prend plusieurs années. L'analyse des présents questionnaires est dès lors une photographie instantanée mélangeant des projets à des stades variés (instruction, autorisation, construction). En extraire des conclusions précises est alors difficile et délicat. Par exemple, les premiers retours d'expérience et les contraintes techniques liées à l'évolution des tailles des machines ⁽³⁾ ont conduit à des évolutions des distances minimales entre les machines et les habitations. L'analyse des réponses sur les distances moyennes d'éloignement mélange donc les courtes distances pratiquées sur les premiers parcs et les distances plus importantes que l'on retrouve sur les projets en cours d'instruction. Un récent sondage effectué par le Syndicat des Energies Renouvelables auprès des professionnels de l'éolien met en avant un éloignement moyen de 700 m entre l'éolienne et l'habitation la plus proche. Ce constat vient appuyer la tendance pressentie.

Conclusions

- L'enquête auprès des DDASS révèle que 9 parcs éoliens sur 10 ne font l'objet d'aucune plainte de riverains. Dans les cas de mesures acoustiques sur site suite à

3 Les dimensions des nouvelles machines influent sur le choix des sites : en effet, les contraintes aérodynamiques obligent à un espacement entre deux machines et avec l'augmentation de la taille des machines, ces espacements augmentent d'autant obligeant à rechercher de vastes sites, souvent agricoles et sur des territoires peu peuplés. Par ailleurs, l'intrusion visuelle d'éolienne de plus grande taille, incite à éloigner les machines des habitations pour une meilleure acceptabilité dans le paysage.

ces plaintes, seule une sur deux montre effectivement une réelle non-conformité avec la réglementation.

- La règle d'éloignement de 500 mètres entre éolienne et habitation, est un principe simple défendu et appliqué par de nombreuses DDASS. L'analyse des plaintes de riverains de parcs éoliens montre que le respect de cette règle aurait réduit dans de fortes proportions (jusqu'à 90%) ces plaintes. Notons cependant que cette distance de 500 m ne peut pas être prise comme une règle d'éloignement garante de la tranquillité du voisinage. En revanche, elle confirme qu'en deçà, l'acceptabilité d'un projet devient difficile. Au delà de 500m, l'implantation d'un parc éolien est possible mais une étude d'impact acoustique de qualité est nécessaire pour mettre en évidence les contraintes propres au site.
- L'évolution de la taille des éoliennes influence considérablement le choix des sites éoliens. En effet, les règles aérodynamiques d'espacement entre deux éoliennes combinées à l'augmentation des dimensions unitaires des éoliennes entraînent la migration des parcs éoliens en des territoires plus vastes, souvent agricoles et souvent moins peuplés (ils sont moins ventés que les premiers territoires exploités, mais les éoliennes d'aujourd'hui vont chercher plus haut la ressource en vent, ceci compensant cela). Cette évolution peut laisser supposer que les problèmes de nuisances sonores des éoliennes vont aller en diminuant du fait de l'abandon programmé des territoires d'habitats denses.
- La forte demande des DDASS d'un cahier des charges commun du volet acoustique des parcs éoliens permettrait de conforter la règle minimale d'éloignement et de préciser comment les études spécifiques à chaque projet devraient prendre en compte la variabilité des ambiances sonores (les « résiduels ») et des conditions de propagation.
- Malgré ses limites et ses imprécisions, l'enquête auprès des DDASS a été riche d'enseignements. Le renouvellement annuel de cette enquête, en s'appuyant sur un questionnaire amélioré, permettrait d'affiner la connaissance de la problématique éolienne et nuisances sonores dans le double respect de la protection des riverains et du développement de l'énergie éolienne, outil de lutte contre le changement climatique.

VII. Impacts sanitaires liés au bruit des éoliennes

VII.1 Impacts sanitaires du bruit

VII.1.1 Paramètres de la nocivité du bruit

La qualité du bruit

Les bruits aigus, donc de fréquences élevées, sont plus nocifs que les bruits graves à intensité égale.

La pureté du son

Un son pur (dont l'intensité est concentrée sur une bande de fréquence étroite) de forte intensité est plus traumatisant pour l'oreille interne qu'un bruit à large spectre. Toutefois, les sons purs sont peu fréquents en milieu industriel ou dans l'environnement.

L'intensité du bruit

L'intensité du bruit représente le niveau sonore. Les sons audibles se situent entre 0 dB et 140 dB. Le seuil de la douleur est atteint à 120 dB (cf. figure 39).

Le risque de fatigue auditive et/ou de surdité croît avec l'augmentation de l'intensité du bruit. Il existe une limite au-dessous de laquelle aucune fatigue mécanique n'apparaît. Dans ces conditions, l'oreille peut supporter un nombre quasi infini de sollicitations. C'est le cas, par exemple, des expositions de longue durée à des niveaux sonores inférieurs à 70-80 dB qui n'induisent pas de lésions. De manière générale, l'exposition du public au bruit des éoliennes se situe largement au dessous de cette valeur seuil, ne permettant pas d'envisager un risque d'atteinte directe de l'appareil auditif. Au contraire, un son très intense procure une sensation désagréable, voire même douloureuse ; 120 dB constituent le seuil de la douleur. Au delà de 120 dB les tympons de même que les structures ciliaires de l'oreille interne peuvent subir des lésions importantes. Des ruptures ciliaires apparaissent avec des bruits impulsionnels dépassant 130 dB crête.

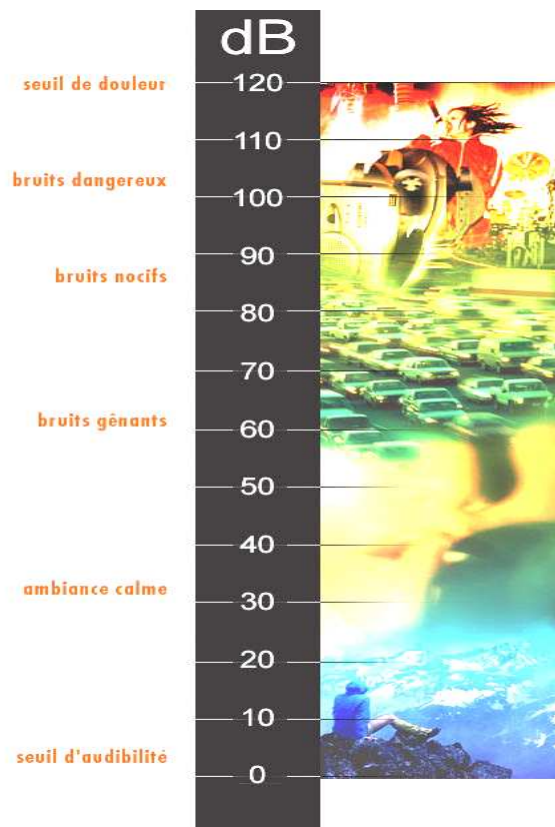


Figure 39 : Echelle du bruit (Source : ACNUSA)

L'émergence et rythme du bruit

Un bruit impulsionnel ayant un caractère soudain et imprévisible est plus nocif qu'un bruit continu de même énergie.

La durée d'exposition

Parmi les ambiances sonores et pour une même ambiance sonore, plus la durée d'exposition est longue, plus les lésions auditives de l'oreille interne seront importantes. La succession des expositions professionnelle et extraprofessionnelle (discothèques, concerts, baladeurs, etc.) augmente la durée d'exposition, donc le risque de lésions auditives. Pour des expositions longues à des niveaux moyens, la durée reste un facteur important dans le développement du stress.

La vulnérabilité individuelle

L'âge, les antécédents d'étiologie infectieuse de la sphère ORL, les antécédents de traumatisme crânien, certains troubles métaboliques ou l'existence d'une hypertension artérielle peuvent potentialiser l'effet délétère du bruit.

L'association avec d'autres expositions à risque

L'exposition au bruit associée aux vibrations et à des agents chimiques ou médicamenteux ototoxiques peut augmenter le risque de traumatisme auditif.

VII.1.2 Effets auditifs

La fatigue auditive

La fatigue auditive correspond à un déficit temporaire d'audition. Elle se caractérise par une diminution de la sensibilité auditive pendant un temps limité après la fin de la stimulation acoustique. L'amplitude de ce déficit temporaire augmente en moyenne de 6 dB chaque fois que celle de la stimulation double. A partir d'un certain niveau critique aux environs de 120 dB cette augmentation s'accélère fortement ; ceci est particulièrement vrai pour le bruit impulsionnel. Il existe aussi une relation de proportionnalité entre durée de récupération et durée d'exposition en bruit continu. Les basses fréquences sont beaucoup mieux tolérées en termes de fatigue auditive que les fréquences moyennes ou élevées : l'oreille est plus fragile aux fréquences pour lesquelles sa sensibilité est la meilleure. Pour l'oreille humaine la plus grande sensibilité de l'oreille se situe autour de la fréquence 4 kHz.

La perte auditive

Les pertes auditives sont définies comme une augmentation du seuil de l'audition et sont caractérisées par leur irréversibilité. Elles sont exprimées en dB HL (hearing level) par rapport à une population normale standard servant de référence.

En général, différents niveaux de pertes auditives définitives peuvent être distingués :

- les surdités légères (pertes de faible amplitude comprises entre 20 et 40 dB HL)
- les surdités moyennes (pertes comprises entre 40 et 60 dB HL)
- les surdités sévères (pertes supérieures à 60 dB HL).

En clinique, il est généralement considéré qu'une audition est normale si la perte auditive n'excède pas 20dB HL sur chacune des fréquences audiométriques testées. Les fréquences testées en routine sont les suivantes : 0,25-0,50-1- 2-4-8 kHz, mais les fréquences 3 et 6 kHz sont testées plus systématiquement ces dernières années. Il existe des facteurs de susceptibilité interindividuelle au bruit.

VII.1.3 Effets extra-auditifs

Généralités

Les effets extra-auditifs du bruit sont nombreux et difficiles à attribuer de façon indéniable et univoque au bruit en raison de l'existence de nombreux facteurs de confusion. Ils sont appréciés soit par des mesures *objectives* (par exemples les mesures électrophysiologiques et/ou des paramètres des systèmes végétatifs : fréquences cardiaque et respiratoire, etc.) ; soit par des mesures *subjectives* (appréciation de la qualité du sommeil, etc.).

Les perturbations du sommeil

Il est montré que le bruit peut entraîner une perturbation du sommeil. Le sommeil est nécessaire pour la survie de l'individu et une forte réduction de sa durée entraîne des troubles parfois marqués, dont le principal est la réduction du niveau de vigilance de l'individu éveillé, avec des conséquences possibles en termes de fatigue, de mauvaises performances et même de survenue d'accidents. Le temps total de sommeil peut être diminué par une plus longue durée d'endormissement, par des éveils nocturnes prolongés ou encore par un éveil prématuré non suivi d'un réendormissement.

Pour une qualité de sommeil satisfaisante, le niveau sonore du bruit de fond continu ne devrait pas dépasser 30 dB(A). Il a été montré que des bruits intermittents ayant une intensité maximale de 45 dB(A) et au-delà (L_{Amax} mesuré à l'intérieur des locaux), peuvent augmenter la latence d'endormissement de quelques minutes à près de 20 minutes (Öhrström, 1993). De même, au cours des heures matinales, les bruits ambiants peuvent plus facilement éveiller un dormeur et l'empêcher de retrouver le sommeil. Ce réveil prématuré peut, par conséquent, entraîner une forte réduction du temps de sommeil total.

Troubles chroniques du sommeil

Les bruits de basses fréquence (BBF) perturbent le sommeil et provoquent son interruption, par périodes brèves : le nombre des plaintes augmente nettement à partir de 32,5 dB(A) (avec des classes de 2,5 dB(A) en présence de basses fréquences

- * 20 % des sujets s'estiment gênés à partir de 40 dB(A)
- * Aucun sujet gêné en dessous de 32,5 dB(A)

Les difficultés d'endormissement sont présentes entre 6 Hz et 16 Hz à partir de 10 dB au dessus du seuil d'audition, alors qu'aux mêmes fréquences et à 10 dB au dessous du seuil d'audition, ces effets ne sont pas sensibles.

Ces effets n'existent que par l'audition et ne sont pas sensibles pour des sensations vibratoires : ils n'affectent pas les sourds. En outre, les effets des BBF "hauts" (40Hz, 63Hz) sont plus forts que pour les BBF "faibles" (10 Hz et 20 Hz).

Ces effets ne sont pas spécifiques des éoliennes.

Les effets sur la sphère végétative

La sphère végétative comprend divers systèmes dont le fonctionnement n'est pas dépendant de la volonté. Le bruit est susceptible d'avoir des effets sur certains systèmes de la sphère végétative :

- Système cardiovasculaire : réponse non spécifique par l'accélération de la fréquence cardiaque et l'apparition de vasoconstriction (diminution du calibre des petites artères). Ces modifications peuvent entraîner une élévation de la pression artérielle, qui peut être permanente chez des personnes soumises à des niveaux de bruit élevés de façon chronique (Jonsson et Hansson, 1977). Des résultats récents indiquent que le risque de développer une hypertension artérielle est augmenté pour une exposition à des bruits de trafic routier ou aérien d'un niveau équivalent ou supérieur à 70 dB(A) sur la période 6 h - 22 h.
- Système respiratoire : accélération du rythme respiratoire sous l'effet de la surprise.
- Système digestif : modifications au niveau du système digestif comme la diminution de la fonction salivaire et du transit intestinal. Les modifications de la sécrétion et de la composition du suc gastrique peuvent constituer le lit de troubles graves tels que l'ulcère gastrique ou l'ulcère du duodénum.

Les effets sur le système endocrinien

L'exposition au bruit est, selon certaines études, susceptible d'entraîner une modification de la sécrétion des hormones liées au stress que sont l'adrénaline et la noradrénaline. Selon ces études, les concentrations de ces hormones surrénaliennes ainsi que d'autres hormones corticoïdes sont augmentées de façon significative lors de l'exposition au bruit au cours du sommeil, ce qui se traduit par une excrétion urinaire accrue de leurs produits de dégradation. L'élévation du taux nocturne de ces hormones peut entraîner des conséquences sur le système cardio-vasculaire telles que l'élévation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle ou des arythmies cardiaques, des agrégations plaquettaires ou une augmentation du métabolisme des graisses. Plusieurs études rapportent également une élévation du taux nocturne de cortisol sous l'effet du bruit. Le cortisol est une hormone qui traduit le degré d'agression de l'organisme et qui joue un rôle essentiel dans les défenses immunitaires de ce dernier. Cependant ces effets n'ont pas été retrouvés dans toutes les études de même nature.

Dans une étude réalisée autour de l'aéroport de Munich, il a été montré que les adultes et les enfants exposés au bruit des avions présentent une élévation du taux des hormones du stress associée à une augmentation de leur pression artérielle.

Les effets sur le système immunitaire

L'exposition au bruit entraîne des modifications au niveau endocrinien, dont une des conséquences majeures est l'atteinte des défenses immunitaires de l'individu exposé. Tout organisme subissant une agression répétée peut voir ses capacités de défense se réduire fortement, que ces dernières soient acquises ou qu'elles soient naturelles. Cette diminution des capacités immunitaires semble être liée aux modifications des concentrations des hormones corticoïdes sous l'influence du stress et des conflits auxquels l'individu est soumis.

Les effets sur la santé mentale

Le bruit est considéré comme étant la nuisance principale chez les personnes présentant un état anxio-dépressif et joue un rôle déterminant dans l'évolution et le risque d'aggravation de cette maladie.

La sensibilité au bruit est très inégale dans la population, mais le sentiment de ne pouvoir « échapper » au bruit auquel on est sensible constitue une cause de souffrance accrue qui accentue la fréquence des plaintes subjectives d'atteinte à la santé.

VII.1.4 La gêne due au bruit

Nous nous référons à la définition de l'OMS concernant la gêne subjective « la gêne peut se définir comme une sensation de désagrément, de déplaisir provoqué par un facteur d'environnement (ex le bruit), dont l'individu ou le groupe connaît ou imagine le pouvoir d'affecter sa santé ». Ainsi des bruits, même de niveaux modérés parfois, s'ils sont mal acceptés, peuvent être vécus comme une agression, entraîner des réactions physiologiques variées de stress : effets cardiovasculaires, hypertension artérielle, troubles du sommeil, risques de dépression.

La gêne psychologique est la sensation perceptive et affective exprimée par les personnes soumises au bruit, alors que la bruyance n'est qu'une sensation perceptive. Elle témoigne souvent des interférences avec les activités au quotidien : conversation, écoute de la

télévision ou la radio, repos, etc. Ses composantes psychosociologiques sont complexes. La prise en compte de la gêne instantanée ou des effets sur le sommeil constitue une exigence nouvelle dans le domaine du risque environnemental, qui vise à préserver la santé des populations riveraines des installations bruyantes.

La relation dose réponse

Pour évaluer la gêne subjective, on a pu établir des relations « dose-réponse » entre les niveaux d'exposition au bruit et la gêne exprimée.

Ainsi certaines études suédoises (Pedersen et al, 2004, 2005) ont montré que la gêne est bien liée au bruit généré par les éoliennes : elle augmente avec les niveaux mesurés en dB(A), pour des valeurs excédant 35 dB.

De même, la proportion de sujets gênés en fonction des niveaux Lden (jour, soirée + nuit) ou DENL (noise exposure metrics day- evening levels, présentés par Miedema et Vos en 2004), augmente plus rapidement pour le bruit provenant des éoliennes à partir de 35 dB(A), en comparaison avec le bruit d'autres industries.

Les facteurs de modulation de la gêne

Ils sont nombreux et peuvent être regroupés essentiellement en deux types de facteurs, individuels et contextuels.

Les facteurs non-acoustiques qui viennent moduler la gêne sont nombreux et peuvent être regroupés en trois catégories :

- Les facteurs de contexte : bruits choisis ou subis, bruits imprévisibles ou réguliers, relations de voisinage, etc.
- Les facteurs individuels, relativement stables dans le temps mais qui varient suivant les individus : les facteurs sociodémographiques (âge, sexe, usage de la source, niveau de formation, etc.) et les facteurs d'attitude (sensibilité, peur de la source, etc.).
- Les facteurs culturels ou sociaux.

Ainsi en ce qui concerne les facteurs individuels, on peut évoquer une certaine susceptibilité individuelle de chacun vis-à-vis du bruit en général, et de celui des éoliennes en particulier, l'attitude plus ou moins favorable vis-à-vis de la source qui est liée à l'image que l'on a de celle-ci.

Il faut ajouter à ces éléments, le sentiment d'un impact négatif sur la santé qui serait lié au bruit mais aussi pour certains à la production d'infrasons, c'est-à-dire de sons inaudibles, de basse fréquence, susceptibles d'entraîner des troubles divers : maux de tête, anxiété, dépression.

Des études psycho- acoustiques en laboratoire (Persson, Waye and Ohrstrom , 2002) ont permis de noter également qu'en ce qui concerne la description du bruit provenant des éoliennes, ce sont les sifflements et les battements qui perturbent le plus.

Effets sur les attitudes et les comportements

Que ce soit chez les enfants ou les adultes, au domicile ou au travail, on évoque régulièrement les méfaits du bruit sur les relations interpersonnelles : le bruit serait à l'origine d'une agressivité accrue, d'une augmentation du nombre de conflits, etc. Il apparaît difficile

de parler d'effets directs du bruit sur les troubles du comportement et de l'équilibre mental. Les recherches menées dans ce domaine tendent à montrer que le bruit ne provoque pas une augmentation des cas pathologiques mais semble plutôt aggraver les problèmes psychologiques préexistants.

En ce qui concerne la relation entre le bruit et la sensibilité et l'intérêt envers les autres, les quelques travaux sur ce sujet, le plus souvent conduits en laboratoire, font état d'une moins grande sensibilité à l'égard d'autrui dans le bruit, d'une plus grande sévérité des jugements dans une ambiance sonore élevée. Les mécanismes de ce phénomène ne sont pas clairement élucidés : on évoque un phénomène d'ordre perceptif selon lequel le bruit, qui favorise l'inattention, conduirait à une attention moins grande vis-à-vis de ce qui nous entoure, y compris l'environnement social. Selon une autre hypothèse explicative le bruit aurait une incidence négative sur l'humeur.

Effets sur les performances

Effets généraux du bruit sur l'exécution des tâches :

De manière générale, le bruit semble affecter les tâches complexes, c'est-à-dire qui requièrent une attention régulière et soutenue par rapport à des détails, ou à des indicateurs variés : on peut évoquer les épreuves de vigilance, de coordination multisensorielle, de doubles tâches ou qui font appel à la mémorisation. Au contraire, les épreuves faciles, répétitives (de type recopiage de textes), ou de coordination motrice, dans lesquelles les personnes peuvent s'automatiser ne semblent généralement pas affectées par le bruit.

Effets spécifiques aux éoliennes :

La gêne ressentie du fait des éoliennes telle qu'elle ressort d'enquêtes est spécifique de circonstances particulières, généralement à l'extérieur : typiquement lors de barbecues en soirée (même si cet exemple n'est pas limitatif). Elle est influencée par les circonstances météorologiques (notamment vent portant).

En présence d'éoliennes, la part de la population gênée par le bruit des éoliennes est plus grande que pour les autres bruits. Ceci pourrait provenir du fait que ce sont davantage les milieux ruraux qui sont exposés aux éoliennes, et par conséquent statistiquement moins exposés aux bruits urbains ou d'origine industrielle.

Il n'apparaît pas de conclusions évidentes pour ce qui concerne la détérioration de tâches. Néanmoins une influence sur l'exécution de tâches est parfois mentionnée, même aux niveaux habituellement rencontrés dans les bureaux, ainsi que l'existence d'une sensibilité particulière chez certains sujets

Effets sur l'intelligibilité de la parole

Le bruit peut nuire à la qualité des communications orales (conversations, écoute de la télévision) car il est susceptible de provoquer un effet de masque, phénomène qui se produit lorsque deux sons d'intensité différente sont émis. Dans ce cas, le bruit le plus fort peut masquer partiellement ou totalement le second. L'effet de masque est d'autant plus grand que les fréquences sont voisines et les sons graves masquent mieux les sons aigus que l'inverse.

Effets recensés spécifiques aux bruits particuliers des éoliennes

La perception des sources de bruits émis par les éoliennes ne produit pas des effets de même importance.

On peut différencier les catégories suivantes :

- flapping (clappotis)
- whistling (sifflement)
- swishing (bruissement)

Ce dernier terme (swishing) correspond au passage des pales, et à un bruit large bande perçu comme aigu. L'introduction de termes spécifiques à valeur descriptive renforce l'importance, à côté du niveau, du caractère spectral et du type de modulation en amplitude.

. la plus importante : le bruit de passage de pales. Aucune distance limite de perception n'est citée. Ce bruit est très peu corrélé avec l'appréciation du niveau de nuisance. Le bruit de "pulsations" serait mieux corrélé, avec toutefois un coefficient de corrélation inférieur à 0,5.

. source secondaire : la machinerie

Les phénomènes de chuintement ou de sifflement (swishing) sont à l'origine de la corrélation la plus forte avec la gêne (ou la nuisance) : il ne s'agit donc pas de basses fréquences. La corrélation entre la gêne et les basses fréquences est rapportée avec une importance plus faible. Le qualificatif « moyen » est employé pour caractériser ce lien.

Les éoliennes modernes sont caractérisées par une émission essentiellement à large bande : un exemple typique de spectre de bruit perçu dans l'environnement d'une éolienne (à 320 m et avec 8,9 m/s de vitesse de vent) peut être représenté par une ligne partant du point (40 dB, 21 Hz) et diminuant vers le point (20 dB à 5kHz), à 320 m et avec un vent de 8,9 m/s.

Des basses fréquences seraient perçues surtout autour des parcs anciens.

Le bruit aérodynamique des éoliennes récentes est présent même avec vent faible.

Clappotis ("flapping"), Battements

Il y a nuisance lorsque le bruit est associé à des battements ou des flaps, sinon (en présence du niveau de bruit seul) peu de réclamation. La nuisance alléguée augmente de façon nette lorsque le niveau extérieur atteint 35 dB(A). La nuisance est maximale lorsque la fréquence des bruits de pales (flaps) sont proches de 4 Hz, avec un contenu spectral centré sur 1 kHz.

Lorsque les éoliennes sont en phase, par nuit calme, des battements peuvent être audibles, parfois dus aux interférences entre éoliennes différentes. Le caractère impulsionnel est alors avéré.

A titre d'exemple, la fréquence d'occurrence des bruits est égale à la fréquence de passage des pales devant le fût de l'éolienne, avec une émergence globale de +3 à +6 dB dans cette période, parfois 9 dB(A). Puis, sur une durée de 175 s (ou plus), les bruits de passages s'affaiblissent jusqu'à extinction. Ces relèvements ne s'atténuent pas systématiquement avec la distance mais peuvent être renforcés entre 400 m et 1 500 m, peut être du fait de l'interaction entre les bruits des éoliennes voisines. En ambiance calme (neutre), les bruits peuvent être nettement mesurables jusqu'à 2 kms,

Il y a prédominance de basses fréquences, mais difficilement perceptible. Néanmoins, la gêne est plus importante qu'avec les bruits d'environnement usuels de même niveau global.

Des effets de résonance à basses fréquences, rencontrés pour des sources stables telles que des climatisations ou des traitements d'air, ont été rencontrés à l'intérieur de locaux, pour des longueurs d'onde supérieures à 2 fois la plus grande dimension d'une pièce (pour une pièce de 5 m : au delà de 34 Hz). Un phénomène du type résonateur de Helmholtz a été cité, avec la pièce comme résonateur et comme col : la porte ou une autre ouverture (fenêtre, conduit). Néanmoins, ceci n'a pas été cité pour des éoliennes.

VII.1.5 Cas des infrasons

Les infrasons se situent à une fréquence inférieure à 20 Hz. Les sons de fréquence supérieure à 20 000 Hz sont appelés ultrasons. Ils sont perçus par certains animaux comme les chiens ou les dauphins, les chauves souris entendent les ultrasons jusqu'à 160 kHz.

A l'heure actuelle, il n'a été montré aucun impact sanitaire des infrasons sur l'homme, même à des niveaux d'exposition élevés.

Gêne due aux infrasons

Généralités concernant les BF

Il convient d'abandonner la conviction ou l'habitude selon laquelle les BF ne sont pas perceptibles. Elles sont au contraire à l'origine de récriminations touchant spécifiquement les bruits ayant un fort contenu en basses fréquences.

Ce sont généralement les limites tirées de la norme ISO 389-7 (1996) qui sont utilisées comme valeurs seuils de perception. Lors de la comparaison de la perception de BF aux limites de perception, on constate que les performances en audition des personnes gênées ne diffèrent pas des courbes moyennes (On relève également la mention de seuils individuels un peu différents, pouvant être à l'origine de nuisances ressenties de façon plus exceptionnelle : néanmoins leur étude ne relève pas du présent recensement à caractère général).

Certaines courbes limites de tolérance, notamment une norme polonaise, comportent des valeurs inférieures à celles de la courbe limite d'audition ISO.

Niveaux acceptables en Basses Fréquences

Les critères de nuisance vis-à-vis des basses fréquences sont de façon usuelle tirés de courbes d'audibilité (méthodes hollandaise, suédoise, polonaise, allemande) Les niveaux acceptables (dans l'habitat) sont approximativement les limites d'audition : autour de 100 dB à quelques Hz (80 à 105 dB(A), 10 Hz), jusque vers 35 dB à 100 Hz (10 à 30 dB(A) à 200 Hz).

VII.1.6 Valeurs guides de l'OMS

Tableau 16 : Valeurs guides de l'OMS (OMS, Guidelines for community noise, 2000)

Environnement spécifique	Effet critique sur la santé	LAeq (BT) [dB(A)]	Base de temps (BT) [heures]	LAmix
Zone résidentielle extérieure	Gêne sérieuse pendant la journée et la soirée	55	16	
	Gêne modérée pendant la journée et la soirée	50	16	
Intérieur des logements Intérieur des chambres à coucher	Intelligibilité de la parole et gêne modérée pendant la journée et la soirée	35	16	/
	Perturbation du sommeil, la nuit	30	8	45
A l'extérieur des chambres à coucher	Perturbation du sommeil, fenêtre ouverte	45	8	60
Salles de classe et jardins d'enfants, à l'intérieur	Intelligibilité de la parole, perturbation de l'extraction de l'information, communication des messages	35	Pendant la classe	
Salle de repos des jardins d'enfants, à l'intérieur	Perturbation du sommeil	30	Temps de repos	45
Cours de récréation, extérieur	Gêne (source extérieure)	55	Temps de récréation	
Hôpitaux, salles/chambres à l'intérieur	Perturbation du sommeil, la nuit	30	8	40
	Perturbation du sommeil, pendant la journée et la soirée	30	16	/
Hôpitaux, salles de traitement, à l'intérieur	Interférence avec le repos et la convalescence	#1		
Zones industrielles, commerciales, marchandes, de circulation, extérieures et intérieures	Perte de l'audition	70	24	110
Cérémonies, festivals, divertissements	Perte de l'audition (clients : < 5 fois par an)	100	4	110
Discours, manifestations, extérieur et intérieur	Perte de l'audition	85	1	110
Musique et autres sons diffusés dans des écouteurs	Perte de l'audition	85 #4	1	110
Impulsions sonores générées par des jouets, des feux d'artifice et des armes à feu	Perte de l'audition (adultes)			140 #2
	Perte de l'audition (enfants)			120 #2
Parcs naturels et zones protégées	Interruption de la tranquillité	#3		

#1 : aussi bas que possible

#2 : la pression acoustique maximale mesurée à 100 mm de l'oreille

#3 : des zones extérieures silencieuses doivent être préservées et le rapport du bruit au bruit de fond naturel doit être gardé le plus bas possible

#4 : sous des écouteurs, adaptés aux valeurs de plein-air

Evaluation des impacts potentiels du bruit particulier des éoliennes sur la santé

Des études faites par l'ADEME dès 2003 ont montré que parmi les facteurs négatifs les plus souvent évoqués vis-à-vis des éoliennes, on trouve leur caractère inesthétique, la détérioration du paysage, de l'environnement naturel et leur impact négatif éventuel sur certaines espèces d'oiseaux. Les caractéristiques d'âge, de catégorie socio professionnelle des personnes interrogées modulent également l'image que l'on se construit des éoliennes.

En ce qui concerne les facteurs individuels, on peut évoquer une certaine susceptibilité individuelle de chacun vis-à-vis du bruit en général, et de celui des éoliennes en particulier, en raison d'une attitude plus ou moins favorable au regard de la source et qui est liée à l'image que l'on a de celle-ci.

Il faut ajouter à ces éléments, le sentiment subjectif éventuel de l'existence d'un impact négatif sur la santé qui serait lié au bruit mais aussi pour certaines personnes le sentiment que la production d'infrasons, c'est-à-dire de sons inaudibles, de très basse fréquence, serait susceptible d'entraîner des troubles divers : maux de tête, anxiété, dépression.

En ce qui concerne les facteurs contextuels, il semblerait qu'une l'exposition visuelle importante aux éoliennes provoquerait chez certains un important sentiment d'intrusion visuelle, fortement corrélé à la gêne exprimée (Pedersen and Persson Waye, 2005).

De même les études de l'ADEME (2002, 2003, 2004) portant sur l'image des éoliennes et des énergies renouvelables en général, ont mis en évidence d'importantes différences selon les régions d'habitation et aussi le fait qu'elle sont mieux acceptées lorsqu'elle sont installées que lors des études préalables.

On évoque aussi le sentiment d'un manque de contrôle sur la situation qui accentuerait les réactions de stress et qui proviendrait du fait de ne pas avoir été consulté pour la mise en place des équipements ou leur développement futur et de détenir peu d'informations concernant leur impact éventuel sur la santé.

Par ailleurs le caractère imprévisible de l'exposition et l'impossibilité de la stopper accentuerait ce phénomène. Les personnes exposées peuvent éprouver alors, le sentiment d'être soumises à une injustice et peu écoutées, ce qui nuit également à l'acceptation des éoliennes et augmente la gêne subjective exprimée à leur égard.

VIII. Possibilités de gestion du bruit généré par les éoliennes

Ce chapitre a pour objectifs d'analyser toutes les possibilités de gestion du bruit généré par les éoliennes et susceptible de provoquer une gêne auprès des populations riveraines :

- Etablissement d'une distance minimale d'implantation des éoliennes par rapport aux habitations ;
- Amélioration des équipements existants en termes d'impacts sonore ;
- Adaptation des périodes et des modalités de fonctionnement en fonction des configurations de terrain ou des conditions météorologiques.

VIII.1 Distance minimale d'implantation

Compte tenu d'une part, des variations importantes que peuvent subir les niveaux sonores à grande distance d'une source en fonction notamment des fluctuations des conditions météorologiques (cf. Chapitre V.3.), et d'autre part, de la précision des modèles de calcul, compatible avec la précision d'une mesure « soignée » en milieu extérieur et à grande distance ($\pm 1-3$ dB(A)), les valeurs fournies dans ce paragraphe ne doivent être interprétées uniquement qu'à titre d'ordre de grandeur. De plus, afin de pénaliser au minimum les riverains de parcs éoliens, les valeurs calculées correspondent à des situations extrêmes.

Le détail des calculs est présenté en annexe 4.

VIII.1.1 Résultats des calculs des niveaux sonores

Pour les diverses configurations testées, les valeurs des niveaux sonores pour l'éolienne considérée (machine de 2 MW représentative du matériel actuellement en cours d'installation) sont répertoriés dans le tableau 17.

Tableau 17 : Valeurs des niveaux sonores pour une éolienne pour les différentes configurations.

Distance Eolienne-Récepteur [m]	Hauteur Récepteur [m]	Niveau sonore [dB(A)] en vue directe	Niveau sonore [dB(A)] Avec effet de sol
200	2	48,0	48,7
	4	47,9	47,8
400	2	41,1	40,2
	4	41,0	41,0
800	2	33,7	31,9
	4	33,5	32,7
1500	2	26,3	24,0
	4	26,1	24,3

Dans le cas d'un parc de trois éoliennes, les niveaux sonores deviennent :

Tableau 18 : Valeurs des niveaux sonores pour trois éoliennes pour les différentes configurations.

Distance Eoliennes-Récepteur [m]	Hauteur Récepteur [m]	Niveau sonore [dB(A)] en vue directe	Niveau sonore [dB(A)] Avec effet de sol
200	2	52,1	52,8
	4	52,1	52,0
400	2	45,7	44,8
	4	45,6	45,6
800	2	38,4	36,6
	4	38,2	37,4
1500	2	31,1	28,7
	4	30,8	29,1

Dans le cas d'un parc de 6 éoliennes, les niveaux sonores deviennent :

Tableau 19 : Valeurs des niveaux sonores pour six éoliennes pour les différentes configurations.

Distance Eoliennes-Récepteur [m]	Hauteur Récepteur [m]	Niveau sonore [dB(A)] en vue directe	Niveau sonore [dB(A)] Avec effet de sol
200	2	53,9	54,6
	4	53,8	53,8
400	2	48,2	47,3
	4	48,1	48,1
800	2	41,3	39,5
	4	41,1	40,2
1500	2	34,1	31,7
	4	33,8	32,0

VIII.1.2 Interprétation des résultats et analyse

Bien que les conditions soient « les plus pénalisantes » en termes de conditions de propagation, pour des conditions de champ libre (par exemple : fenêtres ouvertes), les résultats présentés dans les tableaux précédents montrent :

- Compte-tenu d'une part, de la hauteur de la source par rapport au niveau du sol et d'autre part, de la composition spectrale du signal sonore plutôt riche dans le domaine des basses fréquences (cf. figure en annexe 4), les effets de sol (A_{sol}) sont faibles. Les écarts entre les niveaux sonores avec et sans effet de sol ne dépassent pas 2,4 dB(A) à la distance de 1500 m.
- De façon générale, les niveaux sonores sont relativement faibles dès que l'on s'éloigne suffisamment de la source, même avec un parc de 6 éoliennes, en tenant compte de conditions de propagation favorables.
- Si l'on considère d'une part, que l'apport complémentaire de pression sonore provenant de la ou des éoliennes ne doit pas dépasser le niveau sonore d'origine de 5 dB(A) pour la période diurne et de 3 dB(A) pour la période nocturne et d'autre part, que dans le cas d'une implantation en rase campagne, sans autre source parasite, le niveau d'origine peut être assimilé au bruit de fond naturel soit environ 40-45 dB(A) de jour et 35 dB(A) de nuit, nous observons qu'une distance entre le parc éolien et le riverain de 1500 m est largement suffisante au regard de la réglementation puisque dans ce cas, même en vue directe et dans les conditions de propagation les plus favorables, le niveau avec 6 éoliennes, ne dépasserait pas les 32-35 dB(A) suivant la situation topographique considérée. Ce résultat s'applique au

modèle d'éolienne considéré et ne présage pas du résultat avec un autre modèle d'éolienne.

- Enfin, nous rappelons que ces calculs sont représentatifs de conditions de champ libre correspondant schématiquement à une situation avec des fenêtres ouvertes. Dans le cas où toutes les fenêtres des habitations riveraines seraient fermées et que l'on veuille estimer le niveau de pression sonore en façade, il faudrait rajouter aux valeurs figurant dans les tableaux précédents l'effet de réflexion sur la façade considérée comme réfléchissante d'un point de vue acoustique, soit : 6 dB(A) au maximum pour une source ponctuelle et 3 dB(A) pour une source linéique. Dans le cas d'un parc d'éoliennes, nous devrions nous situer plus vraisemblablement au voisinage des 3-4 dB(A).

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 (vent, hygrométrie,...)

Les simulations d'émissions sonores de parcs d'éoliennes présentées dans ce chapitre ont été réalisées pour des conditions d'émission et de propagation particulièrement pénalisantes. Les résultats obtenus montrent, d'une part que le bruit généré à une distance de 1500 m par une machine représentative de la production actuelle reste faible pour tous les scénarios considérés au regard du bruit de fond naturel attendu et, d'autre part, qu'à cette même distance, la variabilité des niveaux sonores induits est relativement importante selon le scénario choisi. Ces premiers éléments indiquent qu'une distance minimale fixe de 1500 m, n'est pas pertinente en ne tenant pas compte de la variabilité des situations réelles.

VIII.2 Amélioration des équipements existants en termes d'impacts sonores

Le bruit mécanique des éoliennes a déjà été réduit par la mise au point d'engrenages silencieux, d'arbres de transmission sur coussinets amortisseurs ou de nacelles capitonnées. Par ailleurs, les multiplicateurs ont été améliorés du point de vue acoustique, notamment par la construction de roues dentées d'acier composées d'un noyau demi-dur flexible et d'une surface dure qui en assure la résistance et la durabilité. Certaines éoliennes ne possèdent pas de multiplicateur, l'entraînement du générateur multipôle se faisant directement.

Le bruit aérodynamique a été réduit par l'utilisation de nouveaux profils et d'extrémités de pales. Des recherches pour la conception de pales encore moins bruyantes continuent mais les résultats de ces recherches sont essentiellement utilisés pour augmenter le rendement énergétique et donc la production d'énergie.

Une partie des nuisances recensées est constituée des bruits de battements entre sources identiques et en phase, bien que peu de données soient disponibles concernant la présence de ce phénomène sur le sol français ou à proximité des parcs d'éoliennes de fabrication récente. Ces bruits peuvent être perçus comme impulsionnels, ce qui renforce le sentiment de gêne. Ce type d'effets peut faire l'objet d'un traitement aisé par modulation de vitesse des pales.

IX. Conclusions

Le rapport de l'Académie nationale de médecine adopté le 14 mars 2006, recommandait de surseoir à l'installation d'éoliennes d'une puissance supérieure à 2,5 MW à une distance inférieure à 1500 mètres des habitations, ainsi qu'une modification de la réglementation relative aux éoliennes pour les considérer comme des établissements industriels. L'état actuel du marché démontre que les machines d'une puissance supérieure à 2,5 MW ne sont pas encore installées sur notre territoire, les machines les plus représentatives des parcs en voie d'installation ayant une puissance de 2 à 2,2 MW. Le groupe de travail a considéré qu'une telle recommandation serait actuellement sans portée réelle et qu'il convenait de considérer la question de l'installation des parcs éoliens de manière globale en tenant compte de l'état actuel des projets d'installation et non d'un futur hypothétique. Il a donc pris en compte dans son analyse toutes les machines représentatives des projets d'installation actuels.

L'analyse des données disponibles met en évidence :

L'absence de conséquences sanitaires directes recensées en ce qui concerne les effets auditifs, ou les effets spécifiques généralement attachés à l'exposition à des basses fréquences à niveau élevé.

L'absence de conséquences sociales (nuisances) recensées, ou conséquences peu probables, pour des bruits perçus à l'intérieur (fenêtres fermées).

En ce qui concerne l'exposition extérieure, les bruits d'éoliennes peuvent, selon les circonstances, être à l'origine d'une gêne, ou d'une nuisance (conséquence durable ou étendue dans l'espace ou sur un groupe de population), essentiellement en fonction des conditions météorologiques et topographiques locales.

Compte-tenu de la part prise par ces spécificités, l'énoncé à titre permanent d'une distance minimale d'implantation vis à vis des habitations ne semble pas pertinente. Les avantages de la mise en œuvre d'une telle mesure d'application simple doivent être mis en balance avec le frein au développement qui en découle. Il apparaît au moins aussi judicieux de recommander une étude locale systématique (pour peu qu'elle soit encadrée) préalablement à toute décision.

La mise en place de cette précaution (distance minimale de 1 500m) à titre provisoire et conservatoire, même limitée à des éoliennes de plus de 2,5 MW, ne semble pas non plus judicieuse dans son principe, dans la mesure où il existe actuellement des possibilités d'étude fines et de simulations, qui, pourvu qu'elles soient fondées sur des études d'impact suffisantes et représentatives, permettent d'apprécier le degré de respect de la réglementation et de l'environnement des riverains (proches ou éloignés) avant mise en place d'un parc éolien.

La recherche du consensus local et de solutions qui soient aussi socialement acceptables qu'économiquement viables conduit en outre à envisager la mise à disposition systématique aux parties concernées des éléments de l'étude d'impact, selon les modalités adaptées des réglementations les plus efficaces (notamment celle relative aux bruits de voisinage), même si ces réglementations ne constituent pas le cadre d'accueil usuel des éoliennes.

De ce point de vue, il ne serait pas judicieux non plus de faire glisser les éoliennes dans le champ d'application des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), même si cette question n'est pas à l'ordre du jour. En effet, l'aspect central de l'émergence de nuisances réside dans la préexistence de niveaux sonores résiduels faibles, laissant apparaître des bruits dans des périodes transitoires d'augmentation des vitesses de vent. L'application brutale de la réglementation ICPE actuelle conduirait à éliminer cette situation de façon administrative par l'application d'un niveau minimal de prise en considération des

niveaux de bruit, en laissant les personnes exposées privées des moyens légaux de contestation.

Selon le même point de vue, il convient de perpétuer l'évaluation de l'impact sonore des éoliennes à partir des émergences, selon la méthodologie désormais bien connue des riverains.

NB: Pour répondre à la seconde proposition du rapport de l'Académie nationale de médecine, il convient de préciser qu'il n'existe pas de réglementation attachée à une catégorie "industrielle", qui resterait à définir réglementairement. En revanche il existe une loi de 1976 redéfinissant les nécessités de protection de l'environnement autour des sites susceptibles de provoquer des nuisances : à cet effet, une nomenclature applicable à ces installations (désignées par le sigle "ICPE" : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement") a été instituée. Il ne s'agit pas seulement d'installations industrielles.

X. Recommandations

Le groupe de travail recommande la mise en place d'un cahier des charges de l'étude d'impact environnementale ainsi qu'une vérification administrative obligatoire de l'étude.

Il s'agit plus particulièrement de :

- définir un périmètre d'étude : indiquer toutes les zones susceptibles d'être concernées par le bruit des éoliennes, même celles qui ne sont pas habitées ;
- Chiffrer les durées d'impact des zones concernées en fonction des conditions météorologiques prévisibles sur l'année ;
- Indiquer les mesures prises par l'exploitant du parc éolien en cas de dépassement de l'émergence autorisée ;
- Les études d'impact d'autres projets doivent tenir compte d'une incidence éventuelle dans les zones d'impact du parc éolien ;
- Une cartographie des zones d'impact d'un site éolien doit être disponible en mairie.

Une attention particulière devra être attachée à la durée et à la représentativité de l'étude de l'état existant.

En outre, la méthode d'appréciation de l'impact du niveau sonore sur l'environnement, fondée sur les émergences entre niveau résiduel et niveau ambiant apparaît concentrer toutes les difficultés mises en avant par les développeurs d'éoliennes. La recherche de la simplicité en matière réglementaire également devrait conduire à engager des efforts de clarification en ce qui concerne les critères de nuisances.

Un tel résultat passe par un approfondissement des connaissances en matière de critères de gêne due au bruit. En effet les critères mis au point par ajustements successifs par les praticiens depuis 1963, et de ce point de vue globalement bien adaptés au besoin, ne bénéficient pas des connaissances de détails qui permettraient peut-être d'en affiner les conditions d'application.

En particulier le domaine de validité des critères d'émergence (en termes de niveaux et de dynamique des bruits) n'a pas été vraiment exploré, et la plus totale ignorance est de règle quant à l'existence d'effets de seuil, de validité spectrale, d'application aux bruits impulsionnels, de validité en fonction de la durée d'exposition, et de limitations diverses, ceci en dépit des souhaits déjà manifestés dans le passé par la commission Afnor S 30 J (bruits de l'environnement) ou plus récemment par le Conseil National du Bruit.

Une initiative en ce sens des autorités traditionnellement chargée de superviser l'amélioration des connaissances en ce domaine pourrait constituer une ouverture vers des méthodes simplifiées et néanmoins sans concessions de prise en compte des bruits de l'environnement.

Au nom des experts du groupe de travail

Michel RUMEAU,

le président du groupe de travail

XI. Bibliographie

ISO, Norme ISO 9613-2, Acoustique - Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre - Partie 2 : méthode générale de calcul, Organisation Internationale de Normalisation, 1993.

ISO, Norme ISO 9613-1, Acoustique - Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre Partie 1 : Calcul de l'absorption atmosphérique, Organisation Internationale de Normalisation, 1993.

Bérenghier M., Zoubhoff V., Bertrand J. et Curran F., Propagation acoustique à grande distance : Influence des conditions atmosphériques, 1er Congrès Français d'Acoustique, Lyon, 1990.

Bérenghier M., Gauvreau B., Blanc-Benon P. et Juvé D., "Outdoor sound propagation: A short review on analytical and numerical approaches", Acta Acustica united with Acustica, n°89 (6), pp.980-991, 2003.

AFNOR, Norme AFNOR XPS 31 133, Acoustique, - Bruit des infrastructures de transports terrestres - Calcul de l'atténuation du son lors de sa propagation en milieu extérieur, incluant les effets météorologiques, Paris, 2001.

CSTB, CERTU, LCPC et SETRA, Bruit des infrastructures routières, méthode incluant les effets météorologiques, 1996.

AFNOR, Norme AFNOR NFS 31-085 Acoustique - caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier, octobre 1991 et Norme AFNOR NFS 31-088 Acoustique - mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire en vue de sa caractérisation, 1996.

Barrière N. et Gabillet Y., "Sound propagation over a barrier with realistic wind gradients. Comparison of wind tunnel experiments with GFPE computations", Acustica united with Acta Acustica, n°85 (3), pp.325-334, 1999.

Premat E., Defrance J., Mos A. et Chartier H., "Towards an experimental benchmark test cases database for the validation of numerical models for outdoor sound propagation", Acta Acustica united with Acustica, n°89 (6), pp.992-997, 2003.

Afsset – Impacts sanitaires du bruit, état des lieux, indicateurs bruit-santé – Novembre 2004.

Öhrström E., Research on noise since 1988: present state, Noise and man, Nice, I. ed. M. Vallet, vol.3, pp.331-338, 1993.

Jonsson A. et Hansson L., "Prolonged exposure to stressful stimulus (noise) as a cause of high blood pressure in man", Lancet, n°8 (86-87), 1 977.

OMS, Le bruit, critère d'hygiène de l'environnement, OMS, n°12, 1980.

AFNOR, Norme AFNOR NFS 31-085 Acoustique - caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier, octobre 1991 et Norme AFNOR NFS 31-088 Acoustique - mesurage du bruit dû au trafic ferroviaire en vue de sa caractérisation, 1996.

Berry A., Daigle G. , Controlled experiments of the diffraction of sound by a curved surface, Journal of the Acoustical Society of America, n°83 (6), pp.2047-2058, 1988.

Certu, CSTB, LCPC et SETRA, Bruit des infrastructures routières, méthode incluant les effets météorologiques, 1996.

Kötter Consulting Engineers, Rapport de mesure acoustique n° 28277-1.006 IEC FR sur la détermination de l'émission sonore d'une éolienne du type Enercon E-70 E4 dans le parc éolien de Ahaus à Ahaus-Wüllen (48683), juin 2005.

M.E. Delany, E.N. Bazley, Acoustical properties of fibrous absorbent materials. Applied Acoustics, 1970, vol 3, pp 105-116.

« Le baromètre éolien : 72,6 gigawatts dans le monde ». Systèmes Solaires n° 177. Février 2007.

« Bilan énergétique de l'année 2006 en France ». Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie. DGEMP. 5 avril 2007. 25 p.

« Les différentes méthodes d'évaluation du contenu Carbone de l'électricité en France ». ADEME pour le Groupe de travail « production d'énergie » du Plan d'Action Climat 2003. 4 p. Cité par Bernard Chabot dans « le marché éolien et les autres acteurs industriels : point actuel et perspectives dans le contexte des stratégies industrielles ». Mars 2007. 7 p.

Noise from windturbines, O. Fégeant 2001.

ANNEXES

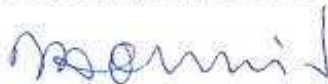
ANNEXE 1 : Lettre de saisine

 MINISTRE DE LA SANTÉ ET DES SOLIDARITÉS Direction générale de la santé DGS/SD7C – N° 269	COURRIER REÇU LE 30 JUIN 2006 <i>1912</i>
	MINISTRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE Direction de la prévention des pollutions et des risques
	Paris, le 27 JUIN 2006
	Le Directeur général de la santé Le Directeur de la prévention des pollutions et des risques
	à
	Madame la Directrice générale de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail 253 Avenue du Général Leclerc 94701 Maisons-Alfort
Objet : Analyse critique d'un rapport relatif à l'impact sanitaire du bruit des éoliennes. Copie : D4E, DRT La législation actuelle prévoit que tout projet éolien fait l'objet d'une évaluation environnementale (notice ou étude d'impact en fonction d'un seuil de hauteur fixé à 25 mètres, selon l'article 37 de la loi n°2005-781). Cette évaluation comprend l'analyse des effets sur la santé, en étudiant notamment le bruit des éoliennes. En l'absence de réglementation spécifique, l'éolien est soumis à la réglementation relative aux bruits de voisinage qui définit des niveaux d'émergence à respecter (article R.1336-8, R.1336-9 du code de la santé publique et annexe 13-10 du même code). L'attention des ministères de la santé et de l'écologie a été attirée par le rapport de l'Académie nationale de médecine qui, à la suite d'une requête de l'Association pour la Protection des Sites des Abers en mars 2005, a étudié le retentissement du fonctionnement des éoliennes sur la santé de l'homme. Ce rapport, daté du 14 mars 2006 et intitulé « Le retentissement du fonctionnement des éoliennes sur la santé de l'homme », conduit à relativiser les impacts acoustiques des éoliennes sur l'humain. En effet, les niveaux sonores émis dans l'environnement par les éoliennes et perçus par les riverains sont insuffisants pour porter atteinte à leur acuité auditive. Néanmoins, ces niveaux sonores peuvent être générateurs de gêne provoquant des réactions de stress, des perturbations du sommeil, ... L'Académie nationale de médecine recommande donc la conduite d'études complémentaires, ainsi que la prise à court terme de mesures de nature réglementaire	

(distance d'éloignement des éoliennes par rapport aux habitations, élaboration d'une réglementation spécifique aux éoliennes).

Nous souhaitons que l'AFSSET conduise une analyse critique du contenu de ce rapport, et de ses recommandations, dans un délai de trois mois. Plus particulièrement, nous souhaitons que l'AFSSET évalue la pertinence de la fixation d'une distance minimale d'implantation des éoliennes de 1500 m par rapport aux habitations et, le cas échéant, propose une valeur différente en précisant les critères pris en compte pour son fondement. Nous vous remercions de bien vouloir vous mettre en relation avec l'ADEME pour la conduite de vos travaux.

Le Directeur général de la santé



Professeur Didier HOUSSIN

Le Directeur de la prévention des pollutions et
des risques



Delany BÉGUVE

ANNEXE 2 : Glossaire des termes techniques

Décibel = unité de mesure du bruit : symbole dB.

dB(A) = décibel pondéré selon la courbe de pondération 'A'. Cette courbe attribue un poids relatif en fonction de la fréquence. La courbe de pondération 'A' a été établie pour des niveaux sonores de l'ordre de 60 dB.

L_{Aeq} = niveau sonore équivalent sur une période de temps (dont on doit définir la durée) et pondéré A.

L_{50} = indice statistique qui donne le niveau sonore atteint ou dépassé pendant plus de 50% du temps considéré. Une multitude d'indice statistique existe en fonction du pourcentage voulu. Les plus utilisés sont les suivants : L_5 , L_{10} , L_{50} , L_{90} , L_{95}

ISO = International standard organisation = organe de normalisation international.

AFNOR = Association Française de NORmalisation = organe de normalisation français.

L_{den} = Niveau sonore équivalent sur 24 heures qui pondère les valeurs en fonction du jour (d comme day en anglais) de la soirée (e comme evening en anglais) et de la nuit (n comme night en anglais).

L_{Amax} = niveau maximal du bruit, pondéré A, à un instant donné. Il permet de tenir compte des grandes fluctuations de certains bruits dans le temps. Cet indice est souvent utilisé pour caractériser un événement sonore isolé comme le passage d'un avion ou d'un train.

ANNEXE 3 : Point de vue des industriels

L'Afsset a souhaité connaître la position des professionnels du secteur éolien en France par le moyen des questions suivantes. Les questions posées sont précisées ci dessous avec une synthèse des réponses des industriels et du Syndicat des énergies renouvelables :

Préciser les caractéristiques des éoliennes implantées en France (modèle – puissance et année de mise en service, nombre, etc.)

Les éoliennes sont de puissance variable, de 800 kW à 2,2 MW. Des projets d'éoliennes plus puissantes sont à l'étude, mais ne semblent pas encore installées.

Quelles sont leurs caractéristiques d'émissions sonores ?

Les éoliennes peuvent produire un bruit mécanique (négligeable sur les modèles récents) et un bruit aérodynamique.

Comment prenez-vous en compte les conditions environnementales (caractéristiques du terrain, distance, conditions météorologiques) pour gérer les niveaux de bruit des parcs éoliens ?

Les conditions environnementales sont prises en compte lors de la réalisation de l'étude d'impact dans le cadre de la demande de permis de construire.

L'étude de l'impact sonore comprend :

- Une mesure du niveau de bruit ambiant jour/nuit sous les vents dominants
- Une simulation des émissions sonores sur la base des courbes de puissance acoustique des éoliennes.

En cas d'émergence trop élevée, les caractéristiques du projet sont modifiées : lieu d'implantation et nombre de machines.

Les données acoustiques sont mesurées par des experts indépendants.

Quelles améliorations des équipements avez-vous mises en place ou prévoyez-vous de développer pour diminuer le bruit généré par les éoliennes ? Quelle est ou a été leur efficacité ?

En ce qui concerne le bruit mécanique : amélioration notamment par la précision des usinages, utilisation de lubrifiants, apport d'éléments flexibles dans les assemblages afin de réduire les à-coups et utilisation de nacelles capitonnées.

Le bruit d'origine aérodynamique est réduit notamment par les moyens suivants :

- Amélioration de la qualité des surfaces des pales ;
- Nouveau design du bord de fuite des pales

Quels types d'outils utilisez-vous éventuellement pour modéliser les émissions de bruit d'un parc éolien ?

Il existe des logiciels de modélisation des émissions sonores tenant compte des caractéristiques de propagation du son, de l'occupation des sols, de la topographie et de la rose des vents spécifique au site.

Les logiciels les plus utilisés sont : Windpro, Windfarmer, Cadna et Acouspropa. Estimez-vous qu'une meilleure gestion des émissions sonores puisse être réalisée par une adaptation des périodes et des modalités de fonctionnement des parcs éoliens, en fonction des configurations de terrain ou des conditions météorologiques ?

Il est possible de moduler le fonctionnement des éoliennes (ralentir, limiter ou arrêter) en fonction de la direction et de la vitesse du vent, de la période de la journée (jour/nuit), de la saison ou du jour de la semaine.

La possibilité de fonctionnement à régime bridé prend en compte les risques d'un dépassement des tolérances autorisées de 3 ou 5 dB, en particulier en présence de faibles vitesses de vent.

Pensez-vous qu'une distance minimale d'implantation ait un intérêt pour la protection de toutes les populations riveraines concernées contre le bruit ?

Une distance minimale d'implantation n'est pas une garantie pour la protection des riverains. Il faut tenir compte des critères spécifiques au site tels qu'une configuration particulière, la topographie du terrain ou l'implantation des habitations par rapport aux vents dominants.

Quelle est à votre avis la meilleure stratégie de gestion du bruit d'un parc éolien ?

La meilleure stratégie de gestion du bruit d'un parc éolien repose sur le choix des sites, sur la communication avec les riverains et sur des simulations acoustiques. Il faut réaliser un pronostic individualisé pour chaque parc éolien.

Proposition : adaptation du tarif d'achat de l'électricité en fonction des périodes jour/nuit pour une valeur moyenne sur la journée équivalente au tarif actuel. Un tarif de jour plus avantageux qu'un tarif de nuit permettrait de réduire l'impact économique des bridages et des arrêts des éoliennes de 22h à 7h.

Liste des entreprises sollicitées :

- ADEOL
- AEROWATT
- AIRE
- ALIZE ENERGIE
- BOREAS SARL
- DEWI
- ECOTECNIA
- EDF (EDEV)
- ENERCON
- ENERGIEQUELLE AU VENT
- ENERIA
- ENERTRAG
- EOLE 76 DEVELOPPEMENT
- EOLE-RES
- EOLEC
- EOLE PARTENAIRE
- ERELIA GROUPE
- FALCK ENERGIES RENOUVELABLES
- FRANCAISE D'EOLIENNES
- GAMESA ENERGIE France
- GAMESA EOLICA France
- GARRAD HASSAN

- GE WIND ENERGY
- JUWI ENERGIE EOLIENNE
- LA COMPAGNIE DU VENT
- NORDEX
- OSTWIND INTERNATIONAL
- REPOWER
- SAINT LAURENT ENERGIE
- SOGREAH
- TOTAL
- VALOREM
- VENTS D'OC ENERGIES RENOUVELABLES
- VENTURA
- VERGNET
- VESTAS France
- VALECO EOLE
- VSB
- WINDVISION

Parmi les entreprises sollicitées, trois (ECOTECNIA, ENERCON et GAMESA ENERGIE France) ont répondu individuellement au questionnaire.

Le Syndicat des Energies Renouvelables a également répondu au questionnaire et a fait parvenir au groupe de travail une réponse globale des industriels aux questions posées.

ANNEXE 4 : Mode de calcul prévisionnel du niveau de bruit généré par une éolienne. (Chapitre VIII.1)

Les conditions des calculs sont les suivantes :

- **Puissance acoustique de l'éolienne** : les valeurs utilisées correspondent à celles fournies par le fabricant des éoliennes ENERCON (Rapport Kötter) avec les caractéristiques suivantes :
 - Puissance assignée : 2000 kW,
 - Diamètre du rotor : 71 m,
 - Hauteur du moyeu au dessus du sol : 98 m,
 - Vitesse du vent : 10 m/s à une hauteur de 10 m.
- **Topographie et nature du sol** : deux configurations ont été testées :
 - Un terrain plan herbeux ($\sigma_s = 300 \text{ kNsm}^{-4}$)⁴,
 - Un terrain accidenté de telle façon que l'éolienne soit en vue directe du récepteur.
- **Configurations géométriques** :
 - Quatre distances (éolienne-récepteur) : 200 m, 400 m, 800 m et 1500 m,
 - Deux hauteurs de récepteur : 2 m et 4 m.
- **Conditions météorologiques** :
 - Vent portant produisant un gradient vertical de vitesse du son positif de $0,15 \text{ s}^{-1}$ représentatif de conditions favorables à la propagation,
 - Température de 20°C,
 - Humidité de 60%,
 - Turbulence atmosphérique caractérisée par une intensité $\langle \mu^2 \rangle$ égale à $5 \cdot 10^{-6}$.

Puissance acoustique de l'éolienne

Comme décrit dans le rapport de mesure précédemment cité, la puissance acoustique de l'éolienne est estimée à partir d'une mesure de pression sonore p en un point récepteur situé à une distance d du pied de l'éolienne égale à 165 m, posé sur le sol au centre d'une plaque réfléchissante d'un point de vue acoustique. Lorsque la mesure du niveau de pression sonore est effectuée en champ libre, le niveau de puissance acoustique s'exprime par la relation :

$$W = \frac{p^2}{\rho_0 c} \cdot 4\pi d^2$$

où ρ_0 représente la masse volumique de l'air et c la célérité du son dans l'air (344 m/s à 20°C). A partir de cette relation et après quelques calculs simples, il est possible de déterminer le niveau de puissance acoustique par la relation :

$$L_w (dB) \approx L_p (dB) + 20 \cdot \lg_{10} d' + 11$$

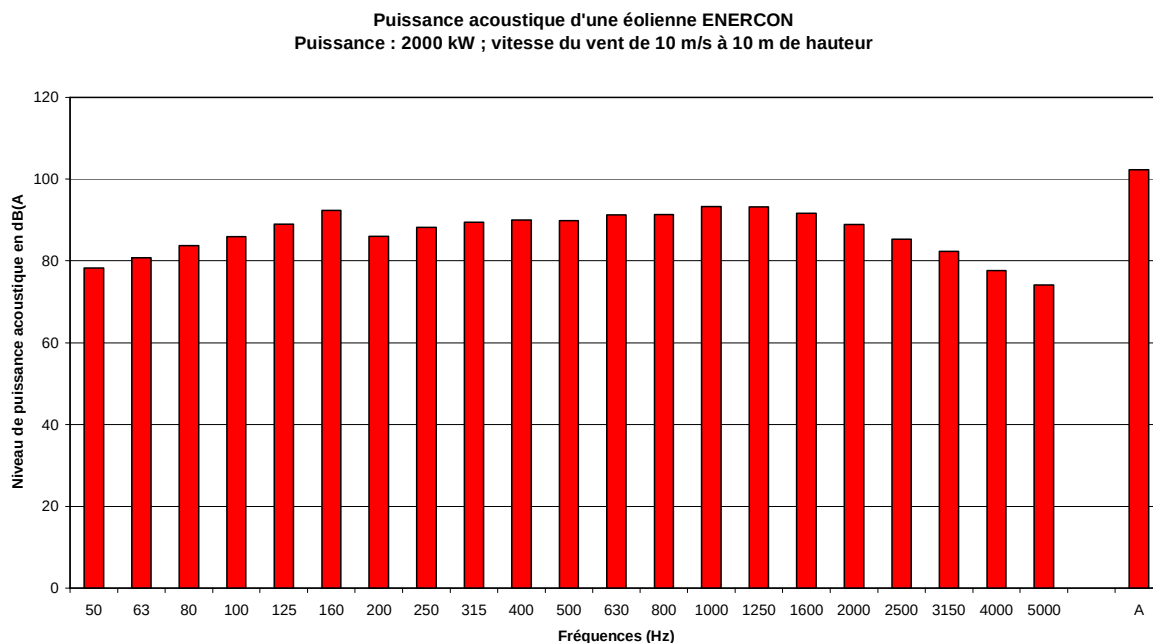
où d' correspond à la distance entre le centre de l'éolienne et le point de réception au sol, soit 191,5 m.

⁴ σ_s est la résistance spécifique du sol au passage de l'air suivant Delany et Bazley. Ce paramètre permet d'accéder à la valeur d'impédance de surface du sol caractéristique de son pouvoir absorbant.

Sachant que le microphone était situé sur un plan parfaitement réfléchissant, le niveau sonore L_p (dB) réellement mesuré est supérieur de 6 dB par rapport à un niveau sonore mesuré en champ libre. De ce fait, le niveau de puissance acoustique s'écrira dans ce cas :

$$L_W(dB) \approx (L_p(dB) - 6) + 20 \cdot \lg_{10} d' + 11$$

A partir de cette relation, le niveau de puissance acoustique d'une éolienne de ce type a pu être calculé et représenté sur la figure ci-dessous.



Modèle de calcul des niveaux sonores en champ libre

Pour le calcul des niveaux sonores en champ libre (en dehors de tout effet de façade), l'éolienne est représentée par une source ponctuelle située au centre du rotor. Le calcul consiste à évaluer fréquence par fréquence les niveaux d'atténuation (exprimés en décibel) A'_{div} (dB) (divergence géométrique) et A'_{sol} (dB) (effet du sol) entre la source et le récepteur pour les différentes conditions présentées dans les hypothèses décrites ci-dessus et à recalculer un niveau sonore au récepteur à partir de la puissance acoustique de l'éolienne en y rajoutant l'atténuation atmosphérique A'_{atm} (dB) calculée à partir de la norme ISO 9613-1. Lorsque l'éolienne fonctionne en continu, le niveau de pression sonore au récepteur s'exprime donc par la relation :

$$L_p(dB) = L_W(dB) - (A'_{div}(dB) + A'_{sol}(dB) + A'_{atm}(dB))$$

Pour une source ponctuelle, A'_{div} (dB) s'exprime par la relation suivante :

$$A'_{div}(dB) = 10 \cdot \log_{10} (r^2) + 11$$

où r est la distance source-récepteur.

L'atténuation atmosphérique A'_{atm} (dB) s'exprime par la relation :

$$A'_{atm} (dB) = \frac{\alpha \cdot r}{1000}$$

où α est le coefficient d'atténuation atmosphérique en dB/km à la fréquence centrale du 1/3 d'octave considéré, conformément à la norme ISO 9613-1.

Enfin, l'atténuation A'_{sol} (dB), rapport entre l'énergie sonore reçue au récepteur en présence de sol et l'énergie sonore reçue suivant le trajet direct (cf. figure ci-dessus), est calculée, dans le cas d'un sol plan, par une méthode analytique décrite dans (Bérenghier et coll.). Soit :

$$A'_{sol} (dB) = 10 \cdot \lg_{10} \left\{ \frac{|p/p_0|^2}{|p_d/p_0|^2} \right\} = 10 \cdot \lg_{10} \left\{ \left| \frac{p}{p_d} \right|^2 \right\}$$

avec pour une source ponctuelle :

$$\left| \frac{p}{p_0} \right|^2 = a^2(f) \cdot \left\{ \frac{1}{r_d^2} + \frac{|Q|^2}{r_r^2} + \frac{2|Q|}{r_d \cdot r_r} \cos [2\pi f (\tau_r - \tau_d) + \gamma] \right\} \quad \text{et} \quad \left| \frac{p_d}{p_0} \right|^2 = \frac{a^2(f)}{r_d^2}$$

$a(f)$ représente l'amplitude de la source en fonction de la fréquence, r_r et r_d sont définis au paragraphe V.2. τ_r et τ_d représentent les temps de trajet de l'onde suivant, r_r et r_d . Ils sont

définis respectivement par les relations $\tau_r = \frac{r_r}{c}$ et $\tau_d = \frac{r_d}{c}$.

Q ($Q = |Q| \cdot e^{i\gamma}$) représente le facteur de réflexion complexe du sol fonction de σ_s . On en déduit :

$$A'_{sol} (dB) = 10 \cdot \lg_{10} \left\{ \left| \frac{p}{p_d} \right|^2 \right\} = 10 \cdot \lg_{10} \left\{ 1 + \frac{|Q|^2 r_d^2}{r_r^2} + \frac{2|Q| r_d}{r_r} \cos [2\pi f (\tau_r - \tau_d) + \gamma] \right\}$$

Remarque : En présence d'un sol accidenté, lorsque la source, située à grande hauteur par rapport au sol, et le récepteur sont en vue directe (par exemple : éolienne à flanc de coteau et récepteur en contrebas), nous faisons l'hypothèse que l'effet du sol est négligeable. Dans ce cas, le niveau de pression sonore au récepteur s'exprime par la relation : $L_p (dB) = L_w (dB) - (A'_{div} (dB) + A'_{atm} (dB))$.

ANNEXE 5 : Questionnaire transmis aux DDASS

A- Le développement de l'éolien dans votre département

Merci de bien vouloir nous préciser ici l'état du développement de l'éolien dans votre département.

a.1 Êtes-vous consultés par les services instructeurs de parcs éoliens

☐ oui, comment (pôle éolien ...) :

☐ non, pourquoi :

a.2 Nombre de permis de construire instruit chaque année :

avant 2002	2002	2003	2004	2005	2006

a.3 Nombre de permis accordés au 31/12 de chaque année :

avant 2002	2002	2003	2004	2005	2006

a.4 Pour les parcs dont le permis a été accordé, distance minimale d'éloignement entre l'éolienne et l'habitation la plus proche

nom du parc : distance :m

nom du parc : distance :m

nom du parc : distance :m

nom du parc : distance :m

nom du parc : distance :m

nom du parc : distance :m

nom du parc : distance :m

nom du parc : distance :m

nom du parc : distance :m

nom du parc : distance :m

nom du parc : distance :m

nom du parc : distance :m

a.5 Avez vous des parcs en fonctionnement dans le département : :
..... ☐ oui, combien (au 31/12/06) :

Ancienneté du premier parc en fonctionnement :
.....

☐ non. *Merci de passer à la partie C*

a.6 Autres éléments d'appréciation sur le développement de l'éolien dans
votre département (schéma éolien, objectifs chiffrés, acceptation, ...) :

.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

B- Les éventuels problèmes sanitaires posés par les parcs éoliens en fonctionnement

b.1 Existence de plaintes de riverains :

☐ oui, combien (au 31/12/06) :

☐ non. . *Merci de passer à la partie C.*

.....
.....

b.2 Détail des plaintes (remplir/cocher les cases correspondantes, ajouter des colonnes si nécessaire)

		Parc 1	Parc 2	Parc 3	...
Distance en mètres de l'habitation la plus proche					
Type de plaintes	Plaintes (écrites ou orales)				
	Contentieux administratif				
	Contentieux civil				
Public à l'origine des plaintes	Résidence principale				
	Association de riverains				
	Résidence secondaire				
	Autre (précisez)				
Objet de ces plaintes	bruit				
	ombres portées				
	Autres impacts santé (lesquels)				

		Parc 1	Parc 2	Parc 3	...
Distance en mètres de l'habitation la plus proche					
	autre				
l'étude acoustique initiale laissait-elle présumer des risques ?	Oui, certainement				
	Peut être				
	Non pas du tout				
Y a t il eu des mesures de suivi acoustique après mise en fonctionnement ?	Oui, avant les plaines				
	Oui, après les plaintes				
	non				

b.3 Mesures de suivi acoustique après mise en fonctionnement le cas échéant

	Nombre	Durée	Valeur émergences	Commentaires (orientation du vent par rapport aux plaignants, remarques particulières ...)
Parc 1				
...				

b.4 Eléments d'appréciation sur les éventuels autres problèmes sanitaires posés par les éoliennes dans votre département:

.....

C - Parcs offshore dans le département

☐ oui, nombre instruit :

nombre accordé :

☐ non

.....

D- Positionnement de la DDASS en matière d'étude d'impact sonore**d.1** Avez-vous une « règle » d'éloignement des tiers ?

☐ oui, laquelle :
.....
.....

☐ non
.....

d.2 Plus généralement, avez-vous un « cahier des charges », une charte ou un document technique du volet acoustique des projets éoliens ?

☐ oui, lequel :
.....
.....

☐ non
.....

d.3 En souhaitez-vous un commun à toutes les DDASS ?

☐ oui :

☐ non.
.....

d.4 Autres éléments d'appréciation (réponse libre) :

.....
.....
.....
.....

Nous vous remercions pour votre réponse et votre disponibilité.

Certains points méritant un plus grand développement, accepteriez vous d'être contactés ultérieurement par téléphone ou par un nouveau questionnaire :
--

☐ **oui** ☐ **non**

ANNEXE 6 : Synthèse des déclarations publiques d'intérêts des experts par rapport au champ de la saisine

RAPPEL DES RUBRIQUES DE LA DECLARATION PUBLIQUE D'INTERETS

IP-A	Interventions ponctuelles : autres
IP-AC	Interventions ponctuelles : activités de conseil
IP-CC	Interventions ponctuelles : conférences, colloques, actions de formation
IP-RE	Interventions ponctuelles : rapports d'expertise
IP-SC	Interventions ponctuelles : travaux scientifiques, essais, etc.
LD	Liens durables ou permanents (Contrat de travail, rémunération régulière ...)
PF	Participation financière dans le capital d'une entreprise
SR	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Parents salariés dans des entreprises visées précédemment)
SR-A	Autres liens sans rémunération ponctuelle (Participation à conseils d'administration, scientifiques d'une firme, société ou organisme professionnel)
VB	Activités donnant lieu à un versement au budget d'un organisme

DECLARATIONS PUBLIQUES D'INTERETS DES MEMBRES DU CES

NOM	Prénom <i>Rubrique de la DPI</i> Description de l'intérêt	Date de déclaration des intérêts
ANFOSSO-LÉDÉE	Fabienne Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine	26/11/2003 09/01/2007
AZOULAY	Alain Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine	10/05/2004 15/01/2007
	Michel	
BERENGIER	Responsable de la Section Acoustique Routière et Urbaine au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Nantes	27/11/2003 13/12/2006
Analyse Afsset :	Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine	

BESANCENOT	Jean-Pierre	24/06/2004
	Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine	
CÉSARINI	Jean-Pierre	09/02/2003 05/10/2005 11/12/2004 21/01/2008
	Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine	
COHEN	Jean-Claude	13/07/2004 10/01/2007
	Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine	
CORRIU	Robert	22/10/2004 27/02/2006
	<i>Démission le 7 novembre 2006</i> N'a pas participé aux travaux	
COURANT	Daniel	09/02/2003 21/06/2003
	Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine	
COUTURIER	Frédéric	04/02/2003 13/06/2003 18/04/2005
	Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine	
DEBOUZY	Jean-Claude	16/04/2004 05/12/2006
	Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine	
DORÉ	Jean-François	27/07/2004 28/07/2006
	Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine	
FOURNIER	Éric	14/06/2003 18/04/2005
	Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine	
GAFFET	Éric	02/11/2004 21/10/2005 20/12/2005 08/03/2006 18/05/2006 04/12/2006 02/02/2007

Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine		
HOURS	Martine	04/05/2004
		03/05/2005
		03/01/2007
Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine		
JOB	Agnès	04/11/2003
		08/01/2007
Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine		
JOUSSOT-DUBIEN	Jacques	25/08/2004
		Démission le 6 novembre 2006
		N'a pas participé aux travaux
LABEYRIE	Antoine	14/12/2004
		Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine
LAMBERT	Jacques	26/11/2003
		30/01/2007
		Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine
LAURIER	Dominique	17/06/2003
		Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine
LEPOUTRE	Philippe	26/11/2003
		06/12/2006
		Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine
MOCH	Annie	05/11/2003
		04/12/2006
		Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine
PIRARD	Philippe	20/06/2003
		Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine
PLANTON	Serge	15/09/2004
		Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine
RUMEAU	Michel	26/01/2003
		12/06/2003
		04/10/2005
		02/11/2005
		Ingénieur en chef, chef de section acoustique au Laboratoire Central de la Préfecture de Police de

Paris		
Analyse Afsset :		Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine
De SEZE René		10/02/2003
		10/06/2003
		24/07/2006
Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine		
VALLET Michel		04/04/2003
		04/11/2003
		19/10/2005
		09/12/2006
		09/01/2007
Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine		
VECCHIA Paolo		17/06/2004
		11/07/2006
Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine		
VEYRET Bernard		18/06/2003
		19/04/2005
		10/07/2006
Démission le 3 janvier 2008		
Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine		

DECLARATIONS PUBLIQUES D'INTERETS DES MEMBRES DU GT

NOM	Prénom <i>Rubrique de la DPI</i> Description de l'intérêt	Date de déclaration des intérêts
BERENGIER	Michel (membre du CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements »)	27/11/2003 13/12/2006
	Responsable de la Section Acoustique Routière et Urbaine au Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Nantes	
Analyse Afsset :		Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine
LEPOUTRE	Philippe (membre du CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements »)	26/11/2003 06/12/2006
	Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine	
MOCH	Annie (membre du CES « Évaluation des risques liés	05/11/2003

	aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements »)	04/12/2006
	Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine	
		26/01/2003
RUMEAU	Michel (membre du CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements »)	12/06/2003
		04/10/2005
		02/11/2005
	Ingénieur en chef, chef de section acoustique au Laboratoire Central de la Préfecture de Police de Paris	
Analyse Afsset :	Pas de risque de conflits d'intérêts par rapport à la thématique de la saisine	
		04/04/2003
		04/11/2003
VALLET	Michel (membre du CES « Évaluation des risques liés aux agents physiques, aux nouvelles technologies et aux grands aménagements »)	19/10/2005
		09/12/2006
		09/01/2007
	Aucun lien déclaré par rapport au champ de la saisine	