

LES ÉOLIENNES ET LE BRUIT : REVUE ET RECOMMANDATIONS DE PRATIQUES D'EXCELLENCE

RAPPORT SOUMIS À :

CanWEA

Association canadienne de l'énergie éolienne

Suite 320, 220 Laurier Avenue West

Ottawa, Ontario K1P 5Z9

Canada

RAPPORT SOUMIS PAR :

Howe Gastmeier Chapnik Limited

(HGC Engineering)

2000 Argentia Road Plaza 1, Suite 203

Mississauga, Ontario L5N 1P7

Canada

Personnes-ressources : Brian Howe, M Eng, MBA, P Eng

Bill Gastmeier, MASC, P Eng

Nick McCabe, P Eng

15 février 2007

TABLE DES MATIÈRES

1.	INTRODUCTION.....	1
2.	CONSIDÉRATIONS ACOUSTIQUES	2
3.	ÉOLIENNES, BRUIT GÉNÉRÉ ET PROPAGÉ.....	6
4.	CRITÈRES D'ÉVALUATION	10
5.	ANALYSE DE L'EXPÉRIENCE CANADIENNE.....	14
6.	CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DES PRATIQUES D'EXCELLENCE	16
7.	REMERCIEMENTS	22
8.	RÉFÉRENCES.....	23

Figure 1 : Une éolienne à empennage moderne du type en utilisation dans tout le Canada de nos jours

Figure 2 : Niveaux typiques de puissance acoustique des éoliennes modernes de 2 MW

Figure 3 : Spectrogramme du niveau de pression acoustique mesuré à 70 mètres d'un aérogénérateur moderne de 1,5 MW

Figure 4 : Modèle acoustique représentatif illustrant la propagation du son à partir d'aérogénérateurs typiques

1. INTRODUCTION

L'Association canadienne de l'énergie éolienne (CanWEA) a retenu les services d'Howe Gastmeier Chapnik Limited (HGC Engineering) pour la préparation d'un guide sur les pratiques d'excellence en matière de logistique des installations des éoliennes au Canada en ce qui a trait au bruit.

La production d'énergie éolienne est devenue un secteur d'activité approuvé au Canada et de grands parcs éoliens comptant plus de 20 éoliennes sont en exploitation dans la plupart des provinces. Aujourd'hui, le Canada a une capacité de plus de 1000 MW d'énergie éolienne en production et l'administration fédérale de même que certaines administrations provinciales ont mis en place des programmes de promotion de nouveaux projets éoliens. Le vent est une ressource renouvelable et, étant donné les avantages potentiels économiques et environnementaux, il n'y a aucun doute que le nombre de parcs éoliens au Canada augmentera.

Le taux de croissance des parcs éoliens au Canada amène plus de gens à proximité des éoliennes et il est donc important que tout impact potentiel de projets futurs soit évalué avec soin. CanWEA a commandé cette étude afin de revoir les pratiques courantes ayant trait à l'évaluation du bruit et de préparer un guide pour les projets à venir. L'étude est fondée sur une analyse documentaire, des discussions avec des promoteurs de parcs éoliens et des organismes de régulation de l'environnement de diverses administrations canadiennes ainsi que sur l'expérience d'HGC Engineering et d'autres intervenants en ce qui concerne l'évaluation du bruit associé aux parcs éoliens au Canada.

Le rapport débute par une discussion du bruit en général, de ses caractéristiques et de ses méthodes d'évaluation et se poursuit par une discussion des éoliennes et du bruit qu'elles produisent. Une revue des diverses normes et critères utilisés pour l'évaluation du bruit au Canada est présentée de même qu'une revue de l'expérience acquise aux plans international et canadien en évaluation du bruit des éoliennes, en fonction des résultats d'enquêtes et d'entrevues. Le rapport se termine par la présentation des pratiques d'excellence.

2. CONSIDÉRATIONS ACOUSTIQUES

Le son est un phénomène complexe qui a des dimensions temporelles, spatiales et psychologiques. Le bruit est tout simplement le son indésirable. Les sons varient beaucoup selon, entre autres, leur intensité, leur caractère, leur profil de temporalité et sont audibles à diverses amplitudes par des personnes différentes dans différents environnements. Afin de tenir une discussion sérieuse au sujet du son, il vaut la peine d'établir une terminologie élémentaire.

Une des caractéristiques les plus fondamentales du son est le niveau sonore ou, plus précisément, le niveau de pression acoustique (NPA). Le NPA d'un son révèle peu de choses sur la source du son, son caractère ou ce à quoi il ressemble, mais il décrit strictement son intensité. Les niveaux de pression acoustique sont les caractéristiques les plus communément mesurées et exprimées en décibels (forme abrégée dB) ou niveau de pression acoustique pondéré A (forme abrégée dBA). Les dBA ont une corrélation plus étroite avec l'intensité subjective d'un son, tel que perçu par l'oreille humaine.

Une autre caractéristique de base du son est le niveau de puissance acoustique (puissance acoustique). Il s'agit d'un nombre élémentaire qui décrit directement le niveau de puissance acoustique émis par une source. C'est une indication fondamentale du niveau de pression acoustique (pression acoustique) à distance. Elle est utilisée pour définir la source aux fins d'évaluation et pour calculer la pression acoustique dans une zone réceptive. La puissance acoustique est aussi habituellement exprimée en décibels ou en niveaux de pression acoustique pondérés A.

Le contenu fréquentiel (ou spectre) est la propriété que nous percevons comme la tonie, qui confère à un son un caractère unique. Un son peut consister entièrement d'une haute fréquence (une note aiguë), ou entièrement d'une basse fréquence (une note grave), plus communément, il consiste d'un mélange complexe de fréquences. Une analyse spectrale répartit un son capté en de nombreuses bandes de fréquence d'une largeur définie, comme les notes sur une échelle

musicale. En acoustique, la fréquence est généralement mesurée en cycles per second, ou Hertz, forme abrégée Hz.

La sensibilité humaine au son peut varier considérablement entre les personnes. Elle diminue typiquement avec l'âge et l'historique d'exposition au bruit. En général, les personnes jeunes sont sensibles au son dans une plage 20 à 20 000 Hz. Les sons qui se situent principalement à l'extérieur de cette plage sont difficiles à identifier, sauf dans des cas extrêmes. Aussi, un son très léger, quoique mesurable à l'aide des appareils appropriés, peut être complètement inaudible pour une personne, se situant sous le seuil de l'audition.

Le son ambiant ou son en arrière-plan peut affecter grandement l'audibilité d'un son en particulier dans un environnement en particulier. Dans un environnement très bruyant, comme chaîne de production dans une usine, il faut souvent crier pour se faire entendre. Similairement, par un jour venteux, une usine voisine peut devenir inaudible (dissimulée par les sons naturels produits par le vent dans les arbres, ou d'autres bruits des environs comme ceux de la circulation).

L'acceptabilité d'un son émanant d'une source industrielle par une personne dépendant de nombre de facteurs. Le niveau sonore est un facteur important, mais ce n'est certainement pas le seul. Le bruit d'ambiance dans un secteur est aussi important puisqu'il affecte directement l'audibilité par l'entremise de l'effet de masque. Puisque les niveaux sonores en arrière-plan varient d'un moment à un autre, alors que les véhicules circulent dans le voisinage, les avions passent à la verticale, les oiseaux chantent et le vent souffle, le bruit est moins perceptible, et possiblement inaudible par moments et pourrait ne pas attirer l'attention d'une personne. Le caractère d'un son (il bourdonne, claque, ronfle, siffle, souffle ou toque) peut également affecter significativement l'audibilité et la nuisance sonore potentielle. Les activités pratiquées par l'observateur peuvent aussi avoir un impact sur l'acceptabilité relative; quelqu'un qui joue ou qui prend une marche au cours d'un après-midi actif remarquera beaucoup moins ou sera beaucoup moins irrité en général par un bruit que quelqu'un d'autre qui se fait réveiller au milieu de la nuit.

La liste ci-dessous donne les définitions de divers termes acoustiques utilisés dans ce rapport.

Bande d'octaves de fréquences : Un filtre à largeur de bande d'une octave, ou douze demi-tons sur l'échelle musicale représentant le double de la fréquence.

Bande de 1/3 d'octave : Un filtre à largeur de bande d'un tiers d'octave représentant quatre demi-tons, ou notes sur l'échelle musicale. Cette relation s'applique à la largeur de la bande et à la fréquence centrale de la bande.

Pondération A : Un filtre, qui est souvent appliqué à un signal de pression ou à une *pression acoustique* ou encore *au spectre d'une puissance acoustique*, qui a pour effet de diminuer ou amplifier certaines fréquences en conformité avec des normes internationales afin d'obtenir une approximation de la dépendance des fréquences dans l'audition humaine moyenne.

Son modulé par l'amplitude : Un son qui fluctue perceptiblement dans le temps.

Plage de fréquences audibles : Plage généralement reconnue comme variant d'environ 20 Hz à 20 000 Hz, la plage de fréquences que nos oreilles perçoivent comme du son.

Pondération C : Filtre de norme internationale qui peut être appliqué à un signal de pression ou à une *pression acoustique* ou à un spectre de *puissance acoustique*, et qui est essentiellement un filtre passe-bande dans la plage de fréquences de 63 à 4000 Hz. Ce filtre donne une réponse de fréquence plus constante et plus uniforme, ce qui donne un ajustement significativement moindre que le filtre de pondération A pour les fréquences au-dessous de 1000 Hz.

N_{EQ} (Équivalent d'énergie ou niveau sonore moyen) : Un niveau sonore qui, s'il est constant lors d'une période de mesure, contiendrait la même énergie acoustique qu'un niveau sonore variable mesuré sur la même période.

Fréquence : Le taux d'oscillation d'un son, mesuré en unité de Hertz (Hz) ou kilohertz (kHz). Cent Hz correspond à un taux de cent fois par seconde. La fréquence d'un son est la propriété que nous percevons comme la tonie : un son de basse fréquence (comme une note grave) oscille à un taux relativement bas, et un son de haute fréquence (comme une note aiguë) oscille à un taux relativement bas.

Pondération-G : Un filtre utilisé pour révéler les composantes de fréquence infrasonore d'un spectre sonore.

Infrason : Son ayant de fréquence inférieure au seuil de l'audition, se situant généralement à environ 20 Hz. Le son infrasonore d'amplitude suffisamment grande peut être perçu; il est entendu et senti comme vibration. Tandis que les niveaux perceptibles d'infrasons peuvent être dérangeants et

inacceptables, il semble y avoir aucune preuve fiable que des conséquences défavorables se produisent sur le corps lorsque les amplitudes restent sous le seuil de l'audition. Les sources naturelles d'infrasons comprennent les vagues, le tonnerre et le vent.

Pondération linéaire : Terme ne comporte pas de *pondération A* ni aucune autre pondération de fréquence.

Niveau sonore d'ensemble : En ce qui a trait aux mesures du présent rapport, indique que le niveau rapporté (*pression acoustique, niveau acoustique, etc.*) est la somme des mesures de toutes les fréquences audibles (20 Hz à 20 kHz), de pondération A ou non. Par analogie et utilisé alternativement au filtre passe-bande de 20 Hz à 20 kHz.

Puissance acoustique, w : La puissance acoustique d'une source sonore, exprimée en watts. Elle est fonction des paramètres de la source elle-même et virtuellement indépendante de l'environnement adjacent .

Niveau de puissance acoustique, *puissance acoustique* ou *NW* : exprimé en dB (ou dBA avec pondération A), ce qui représente 10 fois le rapport logarithmique du rendement en puissance acoustique d'une de 1 picowatt. Un niveau de puissance acoustique est un attribut d'une source de bruit, virtuellement indépendant de l'environnement adjacent et de l'emplacement de tout observateur. Un compteur de niveau de puissance acoustique ne mesure pas directement la puissance acoustique.

Pression acoustique, P : exprimée en pascals rms, il s'agit de la variation dynamique de la pression atmosphérique.

Niveau de pression acoustique, *pression acoustique* : Un niveau de pression acoustique correspond à 20 fois le rapport logarithmique de la pression acoustique instantanée (en pascals) du son mesuré au seuil de l'audition, défini à la valeur de 20 micropascals. Conséquemment, le niveau de pression acoustique varie d'un emplacement à l'autre et d'un moment à l'autre. Le niveau de pression acoustique est généralement ce qu'on entend par le terme « bruit » lui-même. Les niveaux de pression acoustique sont exprimés en décibels (dB), ou en niveaux acoustiques pondérés A (dBA).

Spectrogramme : Un diagramme utilisé pour illustrer visuellement un spectre sonore qui varie dans le temps. L'axe vertical représente la fréquence, l'axe horizontal représentent le temps, et des couleurs sont utilisées pour représenter l'amplitude.

Spectre : Signaux de pression acoustique qui peuvent passer au travers d'une série parallèle de filtres (par exemple, *bande de 1/3 d'octave*) pour générer des *niveaux de pression acoustique* dans chacune des bandes de filtres. Quand ces derniers sont présentés en ordre séquentiel de bande de filtre, un spectre de niveau de pression acoustique est produit. Un processus similaire peut être appliqué à la production d'un niveau de puissance acoustique ou à des spectres d'intensité sonore.

Pondération temporelle : Fonction de temps-réponse exponentielle appliquée au signal de pression mesuré, qui a pour effet d'amortir la réponse au signal afin de varier rapidement et fortement les pressions de divers signaux.

Tonal : Un son tonal est un son dont une partie importante de l'énergie est confinée à une bande de fréquences étroite. Un son typiquement tonal est souvent décrit comme un bourdonnement, un sifflement ou un ronflement.

Ultrason : Les fréquences de son au-dessus de la plage audible (généralement considérées plus élevées que 20 000 Hz) ne sont pas audibles ou perceptibles par les humains, mais peuvent être perçues par certains animaux.

3. ÉOLIENNES, BRUIT GÉNÉRÉ ET PROPAGÉ

Une grande variété d'éoliennes a été conçue et construite dans le monde et au Canada au cours des dernières décennies. Ces dernières ont inclus des designs incorporant un axe de rotation vertical, auxquels le Centre national de la recherche du Canada a participé, et des designs incorporant un axe de rotation horizontal, lesquels sont plus répandus aujourd'hui. Les turbines à axe horizontal ont été conçues de bien des manières, en utilisant habituellement des rotors à deux ou trois pales, mais parfois des rotors équipés d'aussi peu qu'une pale ou au contraire plus de trois pales. Ces designs ont situé les pales du rotor soit face au vent soit sous le vent. Une grande variété de tailles et de capacités de génération ont aussi été mises au point. Aujourd'hui, la plupart des éoliennes sont des systèmes à axe horizontal équipés d'une nacelle qui abrite le multiplicateur, le générateur et le matériel de rotation en haut de la tour et connectée au rotor à trois pales, comme illustré à la Figure 1. La nacelle se tourne face au vent. Ces systèmes ont des pales à pas variable, ce qui signifie que les pales elles-mêmes peuvent tourner autour leur propre axe radial afin de capter plus ou moins de vent, qui contrôle la vitesse de la turbine.

Actuellement, le Canada a une puissance installée de plus de 1000 MW et possède des parcs éoliens remontant au milieu des années 90. Les éoliennes installées le plus communément au cours des deux dernières années environ semblent être des systèmes à axe horizontal d'une plage de 1 à 2 MW ayant habituellement une nacelle d'environ 80 mètres de hauteur et des pales d'un diamètre d'environ 80 mètres. La vitesse de rotation se situe généralement dans une plage d'environ 10 à 20 tr/min avec des vitesses périphériques dans une plage subsonique de 150 à 300 km/h dans le cas de systèmes permettant une certaine souplesse dans la vitesse de rotation.

Les éoliennes génèrent du bruit à cause d'un certain nombre de mécanismes qui peuvent être grossièrement regroupés en sources mécaniques et sources aérodynamiques. Les principaux composants mécaniques y compris le multiplicateur, le générateur et les moteurs de roues à cames, produisent chacun leurs sons caractéristiques. D'autres systèmes mécaniques comme les ventilateurs et les moteurs hydrauliques peuvent aussi contribuer aux émissions acoustiques. Le bruit mécanique est émis par les surfaces de la turbine et par des ouvertures dans la coque de la

nacelle. L'interaction de l'air et des pales de la turbine produit un bruit aérodynamique par l'action de processus variés lorsque l'air passe au-dessus et au-delà des pales. En général, les éoliennes émettent plus de bruit à mesure que la vitesse du vent augmente.

Les éoliennes modernes sont beaucoup plus silencieuses que leurs prédécesseurs. Les investigateurs ont constaté une réduction du bruit d'environ 10 dB au cours des dernières années par rapport aux versions antérieures. Les systèmes de différents modèles et manufacturiers ont leurs propres caractéristiques acoustiques bien que diverses investigations indiquent que les niveaux de puissance acoustique émis forment une bande plutôt cohérente telle qu'illustrée à la Figure 2. Des niveaux de puissance acoustique de 105 dBA plus ou moins 10-12 W sont typiques pour les éoliennes modernes dans une plage de 1 à 2 MW à des vitesses de vent modérées.

Le bruit généré par une éolienne peut comprendre les composants tonaux produits par le multiplicateur et le générateur. Le bruit produit par l'interaction de l'air avec les pales de l'éolienne est généralement un bruit à large bande, mais son amplitude est modulée lorsque les pales passent près de la tour, résultant en un « souffle » caractéristique. Le spectrographe en Figure 3 illustre le souffle mesuré près d'une éolienne typique, indiquant une modulation d'amplitude d'environ 0,8 Hz, surtout audible dans une plage de 250 à 1000 Hz.

Il semble y avoir une certaine confusion entre cette modulation temporelle du son à basse vitesse et les sons de basse fréquence ou de basse tonalité. Afin d'éviter les malentendus, il faut réaliser que n'importe quel son véhiculant une fréquence de hauteur tonale prédominante basse, moyenne ou élevée, peut être modulé dans le temps sans changer la hauteur tonale du son. La modulation à basse fréquence de son audible n'implique pas la présence d'infrason.

Certaines des anciennes éoliennes, dont les pales étaient disposées sous le vent par rapport à la tour, occasionnaient un bruit d'infrason généré par des changements dans la pression de l'écoulement d'air près de la tour. Les éoliennes modernes équipées de pales face au vent ont minimisé ce problème. Bien que les médias soulèvent de longues discussions au sujet de

l'infrason en relation avec les éoliennes, il n'y a aucune évidence tangible de la production d'infrason par les éoliennes modernes.

Parce que les éoliennes modernes à axe horizontal peuvent avoir une vitesse de rotor et un angle d'attache des pales variables, il est possible de contrôler le bruit aérodynamique des turbines, et cela crée une variabilité du son d'une éolienne.

Il y a eu des discussions au sujet du réseau de charge approprié pour l'évaluation d'un bruit d'une éolienne. Alors qu'il existe une variété de réseaux de charge servant à divers objectifs techniques, un spectre de pondération A donne un meilleur indicateur de la composition spectrale d'un son tel que perçu par l'oreille humaine que tout autre réseau de charge de fréquence généralement utilisé aujourd'hui. C'est pourquoi il est utilisé partout dans le monde pour évaluer les répercussions du bruit environnemental sur les gens et a été largement adopté dans les guides et critères d'évaluation. Bien que l'utilisation d'un autre réseau de charge, comme le réseau de charge C générerait un descripteur du niveau sonore à nombre unique plus élevé que l'équivalent de niveau de pondération A, la mesure dans laquelle il représenterait la perception humaine est incertaine, et le critère approprié pour un niveau sonore de pondération C est aussi incertain. Il ne semble y avoir aucune justification technique de l'utilisation du réseau de charge de pondération C pour l'évaluation de l'acceptabilité du bruit des éoliennes par les gens.

Des questions mécaniques comme les supports des moteurs de roues à cames ou le design de la transmission peuvent entraîner des anomalies sonores comme des bruits retentissants ou de bruits tonaux périodiquement. L'expérience canadienne suggère que ces points peuvent généralement être corrigés par la maintenance.

Le son qui irradie d'une source sonore jusqu'à l'emplacement d'un récepteur est atténué par l'action de nombre de mécanismes s'ajoutant à la simple dispersion géométrique avec la distance. Ces derniers comprennent la viscosité de l'air, l'interaction avec le sol et toute structure en présence, la topographie ou la végétation. Le son émis par une éolienne est affecté par les mêmes mécanismes. Diverses méthodologies de calcul sont utilisées pour la prédiction des

niveaux sonores à un point précis. Un de ces modèles, qui connaît actuellement une large application au Canada est la norme ISO 9613-2, *Acoustique -- Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre*. Ce modèle utilise et entre l'énergie acoustique totale émise par l'éolienne en marche (le niveau de puissance acoustique), et prédit le niveau de pression acoustique à n'importe quel point donné, prenant en considération les mécanismes naturels de propagation présentés ci-dessus.

Les conditions atmosphériques jouent un grand rôle dans la détermination du niveau sonore généré par une éolienne peu importe l'emplacement ou le moment. Différents modèles de prédiction considèrent les effets atmosphériques de différentes manières. ISO 9613-2 considère des conditions de propagation conditions équivalentes à une condition modérée sous le vent dans toutes les directions simultanément (c'est-à-dire que le modèle privilégie la propagation sonore d'une source à n'importe quel récepteur, jusqu'à un certain degré). Cependant, elle ne prétend pas considérer la pire situation environnementale dans l'absolu et, conséquemment, il peut y avoir des situations où l'impact réel dépasse la prédiction dans des conditions environnementales extrêmes ou rares. Bien qu'ISO 9613-2 ait cette limite ou d'autres limites, elle demeure une méthodologie d'évaluation largement appliquée et reconnue.

L'audibilité subjective d'une éolienne dépend aussi fortement du niveau sonore ambiant. Le son généré par une éolienne s'intensifie généralement avec la vitesse du vent, mais c'est aussi le cas pour les sons ambiants. Il est intéressant de remarquer qu'autant l'expérience d'HGC Engineering et les articles en publication suggèrent que la plus grande intrusion apparente du son d'une éolienne moderne dans les bruits ambiants se produit typiquement alors que les vents sont à relativement basse vitesse. À haute vitesse, les vents ont tendance à générer des bruits ambiants importants par le déplacement des arbres, des herbes, etc. dans la plupart des environnements, ce qui masque le bruit d'une éolienne.

4. CRITÈRES D'ÉVALUATION

L'évaluation de l'acceptabilité d'un son est complexe. Au Canada, nombre de recommandations sur l'évaluation, les méthodologies et les critères sont actuellement utilisés. Les normes reconnaissent généralement que les différents critères d'acceptabilité devraient s'appliquer dans des circonstances différentes et proposent souvent différents critères applicables à différents moments de la journée et dans différents environnements acoustiques (comme dans un cadre urbain, rural ou naturel). Plusieurs normes sont explicitement fondées sur les niveaux sonores ambiants, souvent assortis de niveaux minimaux à utiliser dans des zones très paisibles. L'audibilité n'est généralement pas un critère d'évaluation pour le bruit industriel selon les documents provinciaux; on ne s'attend pas à ce qu'un récepteur soit complètement exempt de bruit industriel.

Plusieurs administrations provinciales n'ont pas de politiques précises relativement au niveau sonore en ce qui a trait au bruit environnemental publiées par les ministères provinciaux de l'Environnement. Parmi ce groupe figurent les provinces maritimes, la Saskatchewan et la Colombie Britannique. D'autres provinces offrent des recommandations, élaborées à divers degrés, gouvernant l'évaluation du bruit industriel. Actuellement, l'Ontario est la seule administration provinciale qui possède des recommandations d'évaluation du bruit dirigées directement aux éoliennes, reconnaissant que l'émission de la puissance acoustique maximale correspond généralement à de hauts niveaux sonores ambiants. Les recommandations provinciales sur le bruit sont présentées brièvement ci-dessous :

Manitoba

Le ministère de l'Environnement du Manitoba a publié des *Recommandations pour une pollution sensée préparées par la division de la gestion environnementale**. Ce document suggère des limites distinctes pour les zones résidentielles, les zones commerciales et les zones industrielles. Dans le cas des zones résidentielles, les niveaux sonores maximaux acceptables sont de 60 dBA et 50 dBA pendant la journée (7 h à 22 h) et durant la nuit (22 h à 7 h) respectivement. Les niveaux sonores maximaux acceptables sont 55 et 45 dBA pendant la journée et la nuit,

respectivement. Les niveaux acceptables maximaux sont réduits de 5 dBA si la source sonore évaluée contient des tons purs en prédominance ou un caractère impulsif. Les définitions des caractères impulsifs et tonaux sont offertes dans la recommandation. Il n'existe ni recommandation ni document s'adressant au bruit des éoliennes.

Québec

La note d'instruction 98-01, publiée par le *Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs* établit des critères et une méthodologie pour évaluer le bruit de sources industrielles, y compris les installations reliées à l'énergie. La norme propose différents critères de niveau sonore pour différents endroits et pour les heures diurnes et nocturnes. Dans un secteur résidentiel avec une certaine densité de lumière, les limites sont 40 dBA et 45 dBA durant la nuit et durant le jour, respectivement, et les limites sont majorées de 5 dBA dans les secteurs à plus haute densité.

Alberta

L'Alberta Energy & Utility Board publie des recommandations sur le bruit pour les installations industrielles reliées à l'énergie. Les recommandations sur le bruit sont incluses dans la Directive ID99-08. Les limites varient selon le son ambiant au point de réception et de plusieurs autres facteurs y compris la densité de peuplement par quartier. Dans les secteurs où le bruit ambiant et la densité de peuplement sont faibles, le niveau sonore admissible (NDA) est 40 dBA la nuit et 50 dBA le jour. (Le jour s'étale de 7 h à 22 h et la nuit de 22 h à 7 h). Dans certains cas où le niveau sonore est très bas, les limites pourraient avoir des valeurs légèrement moindres, mais elles sont en général plus élevées. Le NDA s'applique au niveau combiné du son ambiant et de la source évalué. Aucune directive technique n'existe pour évaluer l'impact acoustique des éoliennes, quoique qu'un tel document soit actuellement discuté.

Ontario

Le ministère de l'Environnement de l'Ontario publie une série de recommandations plutôt complète sur l'évaluation du bruit industriel. Deux des documents de recommandations du

ministère, NPC-205 *Sound Level Limits for Stationary Sources in Class 1 and 2 Areas (Urban)*, et NPC- 232 *Sound Level Limits for Stationary Sources in Class 3 Areas (Rural)* offrent des recommandations générales sur l'évaluation du bruit industriel touchant un territoire sensible tel qu'une résidence ou un secteur résidentiel. Un secteur urbain au niveau acoustique est défini comme un secteur où les sons générés par les humains, comme ceux de la circulation, dominent l'environnement acoustique. Les niveaux sonores des régions rurales sont généralement dominés par les sons naturels, à la différence des sources de bruit industriel en cause.

NPC-205 et NPC-232 tous eux indiquent qu'en général, le niveau applicable de limite sonore pour une source stationnaire est le niveau sonore ambiant. Cependant, là où les sons ambiants sont faibles, des critères d'exclusion minimaux s'appliquent, y compris une limite d'exception de 40 dBA définie pour les périodes tranquilles des régions rurales, et 45 dBA pour les périodes tranquilles de la journée dans les régions rurales. Dans les secteurs urbains, ces limites sont de 45 dBA et 50 dBA pour les périodes nocturnes et diurnes.

Parce que les éoliennes génèrent plus de bruit quand la vitesse du vent augmente, et parce que l'augmentation de la vitesse du vent tend à produire des niveaux sonores plus élevés, les éoliennes ont été identifiées par le ministère de l'Environnement de l'Ontario comme un cas unique, et ce dernier a fourni une guidance supplémentaire pour l'évaluation du bruit des éoliennes dans la publication *Interpretation for Applying MOE NPC Technical Publications to Wind Turbine Generators* (ci-après, *Interpretation*). Cette publication, tout en étant cohérente avec NPC-232 pour des vents à basse vitesse, propose des critères applicables à l'impact combiné de toutes les éoliennes dans un secteur en fonction de la vitesse du vent, s'ajustant donc à un certain degré aux critères de NPC-232. Les critères sont exprimés en décibels ou en décibels pondérés A comme suit.

Tableau 1. Critères du MOE pour les éoliennes.

Vitesse du vent (m/s)	4	5	6	7	8	9	10	11
Critères de bruit des éoliennes [dBA]	40	40	40	43	45	49	51	53

Cette publication de guidage donne la spécification d'une méthode analytique d'évaluation, la puissance acoustique des manufacturiers sert d'entrée dans un modèle qui prédit l'impact acoustique à un point de réception pour une gamme complète de vitesse des vents. La publication spécifie aussi que la méthodologie du calcul de ISO 9613-2, *Acoustique -- Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre* doit être utilisée. Par conséquent, les recommandations du MOE partagent les limites de ISO 9613-2, et mènent à un niveau sonore du récepteur selon une seule condition de propagation présumée qui ne reflète pas une situation météorologique réaliste, mais est généralement favorable à la propagation du son d'une source à un récepteur (on parle surtout de conditions modérées sous le vent dans toutes les directions). Conséquemment, il peut y avoir des occasions où l'impact ressenti dépasse celui qui est prédit.

Il est important de noter que les recommandations du MOE n'exigent pas l'absence d'audibilité d'une source sonore. En fait, même si les niveaux sonores d'une source sont plus bas que les critères, les caractéristiques spectrales et temporelles d'un son entraînent souvent l'audibilité.

Gouvernement fédéral

Santé Canada, Ressources naturelles Canada, l'Agence canadienne d'évaluation environnementale ont tous l'expérience et des capacités dans l'évaluation du bruit des éoliennes et prennent activement part à leur évaluation. Cependant, en majorité, ces ministères et agences se fient à la réglementation provinciale où elle s'applique.

5. ANALYSE DE L'EXPÉRIENCE CANADIENNE

Durant la préparation de cette enquête, des évaluations environnementales de quelques projets de parcs éoliens ont été analysées. Huit différents promoteurs de parcs éoliens ont été approchés afin de discuter de leurs expériences avec l'évaluation du bruit et d'autres considérations acoustiques dans diverses administrations canadiennes. Dans l'ensemble, des promoteurs de parcs éoliens de la Nouvelle-Écosse, du Québec, de l'Ontario, de la Saskatchewan et de l'Alberta ont été interviewés. La Colombie Britannique n'exploite encore aucun parc éolien, mais des projets sont présentement envisagés.

Chacun des parcs éoliens avait un nombre substantiel de grandes éoliennes en place et activité. Nombre des parcs éoliens sont situés à une distance de 300 à 400 mètres de résidences et c'est généralement la marge de recul minimale constatée. Souvent, les résidences aussi rapprochées ou même plus proches sont associées à un propriétaire foncier qui loue des terres au parc foncier et perçoit cette situation comme positive. Cependant, lorsqu'il n'existe aucune relation financière, les plaintes provenant des gens qui vivent aussi près d'une éolienne ne sont pas rares.

Dans les zones peuplées, l'impact typique du niveau sonore des éoliennes atteint de 40 à 50 dBA dans les maisons les plus rapprochées, bien que les conditions atmosphériques aient un effet significatif sur le niveau sonore à tout moment donné.

Certaines zones du Canada dont la densité de population est très faible ont eu des projets de parcs éoliens. Dans de telles zones, des plans qui ne situaient aucune éolienne plus près d'environ 1000 mètres ont été réalisables. Il n'est pas surprenant que les plaintes soient très rares à cette distance.

Une attente réaliste de l'impact acoustique de l'audibilité potentielle d'un projet de parc éolien semble être critique. Les consultations publiques et le dialogue sont évidemment cruciaux à toutes les étapes d'un projet, mais en l'absence d'une compréhension exacte du bruit généré par une éolienne, de telles consultations peuvent s'avérer contre-productives. Un promoteur a décrit

un site où une turbine pilote avait été installée tôt dans le processus de développement. Cela a permis aux résidents locaux de voir et d'entendre la turbine, et d'avoir une attente réaliste de l'impact éventuel du parc éolien complet. Un effet similaire se produit dans des zones où il y a déjà des parcs éoliens. Réciproquement, là où des attentes d'inaudibilité ont été suggérées, le bruit audible des éoliennes résultant a été qualifié d'inacceptable par les résidences affectées.

Les problèmes mécaniques des éoliennes tendent à produire des sons identifiables, ce qui augmente le potentiel de nuisance et de plaintes parmi les résidents avoisinants. Par exemple, des questions mécaniques comme les supports des moteurs de roues à cames ou le design de la transmission peuvent entraîner une production de sons anormaux produisant périodiquement des bruits retentissants ou tonaux. L'expérience des promoteurs suggère que de tels problèmes peuvent être corrigés.

Ni une revue de la documentation technique en publication, ni l'expérience d'HGC Engineering n'indiquent que l'infrason en relation avec les éoliennes est problématique au Canada.

6. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS DES PRATIQUES D'EXCELLENCE

Grâce à son potentiel d'avantages environnementaux et économiques, l'énergie éolienne est rapidement devenue une industrie acceptée au Canada, atteignant une capacité de plus de 1000 MW en capacité de production éolienne. Les parcs éoliens à grande échelle comptant plus de 20 éoliennes sont présentement en activité dans la plupart des provinces, et leur nombre augmentera sûrement. Cependant, lorsque les parcs éoliens s'établissent près des résidences, il faut faire un effort pour assurer une coexistence compatible. Les résidences ne devraient pas subir de conséquences adverses et, cependant, au même moment les parcs éoliens ont besoin d'atteindre une échelle optimale en termes de disposition et de nombre d'unités.

Les éoliennes produisent des sons, principalement dus aux opérations mécaniques et aux effets aérodynamiques des pales. Les manufacturiers d'éoliennes modernes ont virtuellement éliminé l'impact du bruit causé par les sources mécaniques et ont pris des mesures pour réduire les effets aérodynamiques. Mais, comme pour de nombreuses activités dans la société, les éoliennes émettent une puissance acoustique à un niveau qui affecte des zones à une certaine distance. Lorsque les résidences sont rapprochées, des précautions doivent être prises pour assurer que l'exploitation du parc éolien ne cause pas outre mesure de nuisance ou d'autres interférences avec la qualité de la vie des résidents. Cela ne suggère pas que le son reste inaudible en toute circonstance – ce serait une attente irréaliste qui n'est ni exigée ni espérée pour toute autre source de bruit en agriculture, dans le commerce, l'industrie ou le transport – mais plutôt le son émis par les éoliennes devraient se situer à un niveau raisonnable en relation avec les niveaux de son ambiant.

Les discussions avec une variété de promoteurs de parcs éoliens dans tout le pays ne laissent aucun doute que le but ci-dessus peut être atteint, et qu'il l'est très souvent. Il y a eu certaines situations où des problèmes relatifs au son ont été soulevés. Des leçons peuvent et devraient avoir été apprises à partir de ces situations et assimilées par les promoteurs de parcs éoliens pour leurs projets futurs. Gardant cela en esprit, les points suivants sont suggérés comme étant des

pratiques d'excellences pour le développement de futurs parcs éoliens, et présentés en quelque sorte en ordre d'implémentation.

1. À l'étape initiale de la planification d'un site potentiel de parc éolien, il importe d'énumérer tous les récepteurs de bruit potentiellement critiques. Ces derniers comprennent les résidences, mais pourraient aussi comprendre les institutions comme les hôpitaux, les écoles et les lieux de culte, ou encore les sites sacrés de Premières Nations . De plus, le zonage et la planification officielle des administrations devraient être considérés afin de déterminer si des récepteurs futurs sont couramment alloués. Il va sans dire, les parcs éoliens doivent s'informer et se conformer à tout processus d'approbation des autorités locale, provinciale et fédérale.
2. De bonnes relations publiques sont essentielles; à l'étape préliminaire, elles consistent principalement à éduquer le public au sujet du son généré par les éoliennes. L'information présentée au public devrait être factuelle et éviter de créer des attentes irréalistes . Il est contre-productif de suggérer que les éoliennes seront inaudibles, ou d'employer des termes vagues comme « silencieux ». Les éoliennes modernes produisent un son causé par l'interaction dynamique du vent avec les pales, audible comme un « souffle », qui peut être entendu à une certaine distance des turbines. L'intensité du son dépend d'une multitude de variables et varie d'un jour à l'autre et d'un emplacement à l'autre dépendamment des conditions environnementales et d'opération. L'audibilité est distincte du niveau sonore puisqu'elle dépend de la relation entre le niveau sonore des éoliennes et le niveau sonore ambiant. Puisque les parcs éoliens se multiplient dans le pays, organiser des visites d'exploitation existante ou d'installations pilotes constitue un excellent moyen de permettre aux membres de la communauté d'entendre et de juger la situation par eux-mêmes.
3. La participation de la communauté doit se poursuivre tout au long du projet. Le sentiment de nuisance est un phénomène psychologique complexe; comme dans le cas de

nombreuses exploitations industrielles, le sentiment de nuisance exprimé à propos d'un son peut refléter une nuisance ressentie envers l'ensemble du projet, plutôt qu'une réaction rationnelle au son lui-même. Les projets éoliens profitent à l'environnement et à l'alimentation en énergie pour l'ensemble de la population, et offrent des avantages économiques aux propriétaires terriens qui louent des sites d'installation au parc éolien. Une attitude communautaire positive dans la zone étendue devrait être cultivée, en particulier chez les résidents à proximité du parc éolien, afin d'assurer qu'ils ne se sentent pas exploités.

4. En interagissant avec le public d'une manière directe et honnête, il importe que les partisans du parc éolien dissipent les rumeurs et les préoccupations non fondées qui se manifestent parfois. Par exemple, l'infrason est souvent nommé comme étant un problème en dépit du fait que de nombreuses études, en plus de la recherche d'HGC Engineering, démontrent que ce n'est pas un problème avec les éoliennes modernes.
5. Sous certaines administrations ou dans certaines situations, on souhaite ajouter des recommandations qui imposent un certain espacement minimal entre l'emplacement des turbines et tout récepteur résidentiel. En fait, des distances jusqu'à 1000 m ont été proposées dans la tentative d'éliminer les plaintes. Alors que cela parviendrait probablement au but, la mesure n'est pas fondée et entraverait indûment l'industrie éolienne. Il est beaucoup avisé de traiter avec chaque application à son mérite, en tenant compte de la topographie de la zone, du nombre et du placement de chaque éolienne, de la puissance acoustique produite par le modèle de l'éolienne en particulier, et des niveaux de sons ambiants chez les récepteurs. Par exemple, d'après une revue des parcs éoliens en activité dans des zones rurales ayant 10 éoliennes ou plus d'une puissance de 1 à 2 MW, les espacements minimaux acceptables pour le son ont généralement été établis aux alentours de 300 à 600 m, dépendamment des caractéristiques particulières du site. Dans le cas de résidences situées près de modèles d'éoliennes à faible bruit, des espacements minimaux de moins de 250 m peuvent atteindre des niveaux sonores acceptables.

L'imposition stricte de grands espacements serait illogique dans le cas d'installations dans des zones de grande densité urbaine ou situées près d'autoroutes très fréquentées, ou encore dans les cas où le résident possède l'éolienne et préfère un espacement plus réduit.

6. Une évaluation technique de l'impact du son d'un projet de parc éolien devrait être faite s'il y a des récepteurs potentiellement sensibles à une distance d'environ un kilomètre, même si une telle évaluation n'est pas directement exigée durant le processus d'approbation. L'évaluation devrait être réalisée par un ingénieur qualifié dans le domaine de l'acoustique, selon les pratiques acceptées en génie, et être fondée sur des données fiables.
7. Les niveaux de son ambiant devraient être surveillés du côté des récepteurs afin de permettre la définition des critères et d'établir un repère pour toutes les mesures sonores prises à la suite du début de l'exploitation. Il est important de noter que, en particulier dans les zones rurales tranquilles, les niveaux de son ambiant sont influencés par le vent – quand la vitesse du vent augmente, les niveaux de son ambiant augmentent. Il est donc approprié d'établir une corrélation entre les niveaux de son ambiant et la vitesse du vent.
8. Des données exactes sur la puissance acoustique des éoliennes sont nécessaires pour les prédictions et sont offertes par les principaux fabricants. Les données sur la puissance acoustique devraient être fondées sur des mesures établies en conformité avec IEC 61400-11, *Systèmes d'éoliennes – Section 11: Techniques de mesure du bruit acoustique*, définies en fonction de la vitesse du vent.
9. Les prédictions des niveaux sonores devraient être faites à l'aide d'une méthodologie acceptée qui tient compte de la disposition du parc éolien et de la topographie environnante. ISO 9613-2, *Acoustique -- Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre* est la norme internationalement reconnue recommandée par le ministère de l'Environnement de l'Ontario dans le cadre de leur protocole d'évaluation, elle est mise en

œuvre dans la plupart des chefs de file en modélisation acoustique, et est actuellement en révision par l'Association canadienne de normalisation (CSA) en vue de son adoption au Canada. Il est important de reconnaître qu'ISO 9613-2 est seulement une parmi plusieurs normes de prédiction possibles, et que quoique considérée conservatrice parce qu'elle se fie à une condition atmosphérique supposée qui favorise la propagation du son vers le récepteur, elle ne prédit pas nécessairement le pire cas dans l'absolu. Conséquemment, il faut anticiper qu'une variabilité statistique à un certain degré se produise en pratique.

10. Les critères numériques précis pour le niveau pression acoustique généré par les éoliennes varient d'administration en administration. De nombreuses provinces n'imposent pas, actuellement, de critères numériques de niveau sonore. Certaines, comme l'Alberta et le Québec fixent des limites applicables du niveau sonore environnemental provenant de sources industrielles, mais elles n'ont pas nécessairement été conçues pour les éoliennes. Le ministère de l'Environnement de l'Ontario offre la guidance la plus complète relative aux éoliennes dans leurs publications NPC-232 *Sound Level Limits for Stationary Sources in Class 3 Areas (Rural)* et PIBS 4709 *Interpretation of Applying MOE NPC Technical Publications to Wind Turbine Generators. Interpretation* est une norme analytique, basée sur la prédiction qui se fonde sur les puissances acoustiques de IEC 61400-11 utilisant le modèle de propagation d'ISO 9631-2. La norme convient bien aux éoliennes parce qu'elle commence par des critères similaires à ceux de l'Alberta et du Québec, 40 dBA la nuit dans des zones rurales tranquilles, mais la limite est ajustée pour devenir acceptable en fonction de la vitesse du vent, tenant compte du fait que le niveau sonore ambiant augmente avec la vitesse du vent. Les critères sont exprimés en décibels ou en décibels pondérés A comme suit.

Tableau 1. Critères sonores recommandés pour les éoliennes.

Vitesse du vent (m/s)	4	5	6	7	8	9	10	11
Critères de bruit des éoliennes [dBA]	40	40	40	43	45	49	51	53

En toute probabilité, étant donné le stage relativement préliminaire de la production d'énergie éolienne à grande échelle au Canada, les recommandations et les critères connaîtront un développement plus avancé dans les diverses administrations. D'ici là, et en l'absence de critères d'évaluation pouvant être appliqués localement, il est suggéré qu'une approche similaire à celle mise de l'avant dans les recommandations du ministère de l'Environnement de l'Ontario soit utilisée. Même alors, toutes les parties qui adhèrent à ces recommandations devraient se rendre compte qu'elles ne garantissent pas nécessairement une absence de plaintes par les résidents de la zone. Dans des circonstances choisies, une investigation complémentaire pourrait être indiquée. Par exemple, il peut être approprié d'accorder une attention spéciale aux résidences de vallées tranquilles qui sont affectées par le vent à un degré moindre que les éoliennes avoisinantes.

De bonnes relations publiques durant les phases de construction et de démarrage peuvent avoir autant d'importance que durant les phases de planification. Le parc éolien devrait maintenir un engagement envers la communauté et répondre rapidement aux préoccupations exprimées. Des plaintes sporadiques et légitimes à propos du bruit pourraient être acheminées. Par exemple, des augmentations soudaines et stridentes des niveaux sonores peuvent résulter de dysfonctions mécaniques ou de perforations ou de fentes dans les pales. Les problèmes de cette nature peuvent être corrigés rapidement et c'est dans l'intérêt du promoteur du parc éolien de le faire.

7. REMERCIEMENTS

HGC Engineering aimerait remercier les personnes suivantes pour leur précieuse participation à l'étude. Cette étude n'aurait pas été possible sans leur consentement à partager leurs expériences en conception, promotion et évaluation de parcs éoliens, ou en matière de politique environnementale ou recommandations d'évaluation.

Dave DeGagne, Alberta Energy and Utilities Board

Charles Demond, Atlantic Wind Power Corp.

Angus Carnie, British Columbia Ministry of Environment

Susan Tiege, Canadian Environmental Assessment Agency

Sean Whittaker, Canadian Wind Energy Association

David Price, Clean Power Income Fund

Dessereault, Mario, Développement durable Environnement et Parcs Québec

Stewart Russell, EPCOR Power Development Corp.

Dennis Haggerty, Erie Shores Wind Farm

Scott Coe, Government of British Columbia Ministry of Community Services

Paula Pretty, Government of Newfoundland and Labrador Environment and Conservation

John Codrington, Hatch Acres Incorporated

Stephen Bly, Health Canada

Jimmy Royer, Natural Resources Canada

Duncan Low, Northland Power Inc.

Boris Balan, Northland Power Inc.

Tracy Garner, Northland Power Inc.

John Kowalewski, Ontario Ministry of the Environment

Debby Hine, New Brunswick Department of Environment

Barb Bryden, Nova Scotia Environment and Labour

Todd Fraser, Prince Edward Island Environment, Energy and Forestry

Traci Braaten, Saskatchewan Environment

Mark Peters, SaskPower International Inc.

Brian Mohr, SaskPower International Inc.

Bob Spensley, Sequoia Energy

Kolja Vainstein, Suncor

Jason Edworthy, Vision Quest

8. RÉFÉRENCES

Bass, Jeremy, et al. "Low Frequency Noise in Wind Turbines." The British Wind Energy Association.

Bastasch, Mark, et al. "Wind Turbine Noise – An Overview." Canadian Acoustics 34,2 (June 2006).

Bellhouse, George. Low Frequency Noise and Infrasound from Wind Turbine Generators. New Zealand: Bel Acoustic Consulting, 30 June 2004.

Berglund, Birgitta and Hassmen, Peter. "Sources and effects of low-frequency noise." Acoustical Society of America. 99,5 (May 1996).

DeGagne, David C. and Lewis, Anita. "Development of Regulatory Requirements for Wind Turbines in Alberta." Canadian Acoustics 34,2 (June 2006).

Facts About Wind Energy and Noise. Association canadienne de l'énergie éolienne

Frequently Asked Questions for Wind Turbine Projects. Ministry of the Environment of the Province of Ontario, July 2005.

Guteridge, Barry H. Windmills and Noise Issues in Urban Areas. City of Toronto, 1999.

Hau, Erich. Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics 2nd Edition. Germany: Springer, 2006.

Hepburn, Howard G. "Acoustic and Geophysical Measurement of Infrasound from Wind Farm Turbines in Alberta." Canadian Acoustics 34,2 (June 2006).

Howe, Brian and McCabe, Nick. Environmental Noise Assessment Pubnico Point Wind Farm, Nova Scotia, August 2006

Interpretation of Applying MOE NPC Technical Publications to Wind Turbine Sound Level Limits for Stationary Sources in Class 1 & 2 Areas (Urban) Publication NPC-205. Ministry of the Environment of the Province of Ontario, July 2004.

Interpretation of Applying MOE NPC Technical Publications to Wind Turbine Level Limits for Stationary Sources in Class 3 Areas (Rural) et NPC-232. Ministry of the Environment of the Province of Ontario, July 2004.

Keil, Mark. The Effects of Windfarms on Birds: a Review. University of Northern British Columbia, March 2005.

Kowalewski, John. "Ontario Ministry of the Environment Noise Guidelines on Wind Power Turbines in Alberta." Canadian Acoustics 34,2 (June 2006).

L'Énergie Éolienne Pour Répondre Aux Bruits et Rumeurs Sur Le Bruit Des Éoliennes: Témoignages et Expertises. Syndicat Des Énergies Renouvelables, Avril 2006.

Leventhall, Geoff. "Infrasound from Wind Turbines – Fact, Fiction or Deception." Canadian Acoustics 34,2 (June 2006).

Lightstone, A.D. "Environmental Noise Assessment of Wind Farms." Canadian Acoustics 34,2 (June 2006).

Noise Control Directive User Guide. Alberta Energy and Utilities Board, November 1999.

Note d'instructions 98-01 sur le bruit. Développement durable, Environnement et Parcs Québec.

Regan, Beth D. and Casey, Timothy G. "Wind Turbine Noise Primer." Canadian Acoustics 34,2 (June 2006).

Rogers, Anthony L. Wind Turbine Noise, Infrasound and Noise Perception. University of Massachusetts, 18 January 2006.

Setback Requirements for Wind Power Turbines from Residences to Mitigate the Impacts of Noise. Proposed B.C. Guideline.

The Noise Emissions Associated with Wind Farming in Australia. Australian Wind Energy Association, May 2004.

Tickell, Colin. "Wind Farm Noise Assessment in Australia and Model Comparison." Canadian Acoustics 34,2 (June 2006).

van den Berg, G.P. "Effects of the wind profile at night on wind turbine sound." Journal of Sound & Vibration. (January 2003).

van den Berg, G.P. "Microphone Noise When Measuring in Wind." Euronoise 2006. (May 2006).

Wind Power Production Incentive, Environmental Impact Statement Guidelines for Screenings of Inland Wind Farms Under the Canadian Environmental Assessment Act. Natural Resources Canada, 2003.

Wind Pro. September 2006. <<http://www.emd.dk/>>.

Wind Turbine Generator Systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques. IEC, 2002.

Wind Turbines and Sound. New Zealand Wind Energy Association, 15 May 2006.



Figure 1 : Une éolienne à empennage moderne du type en utilisation dans tout le Canada de nos jours

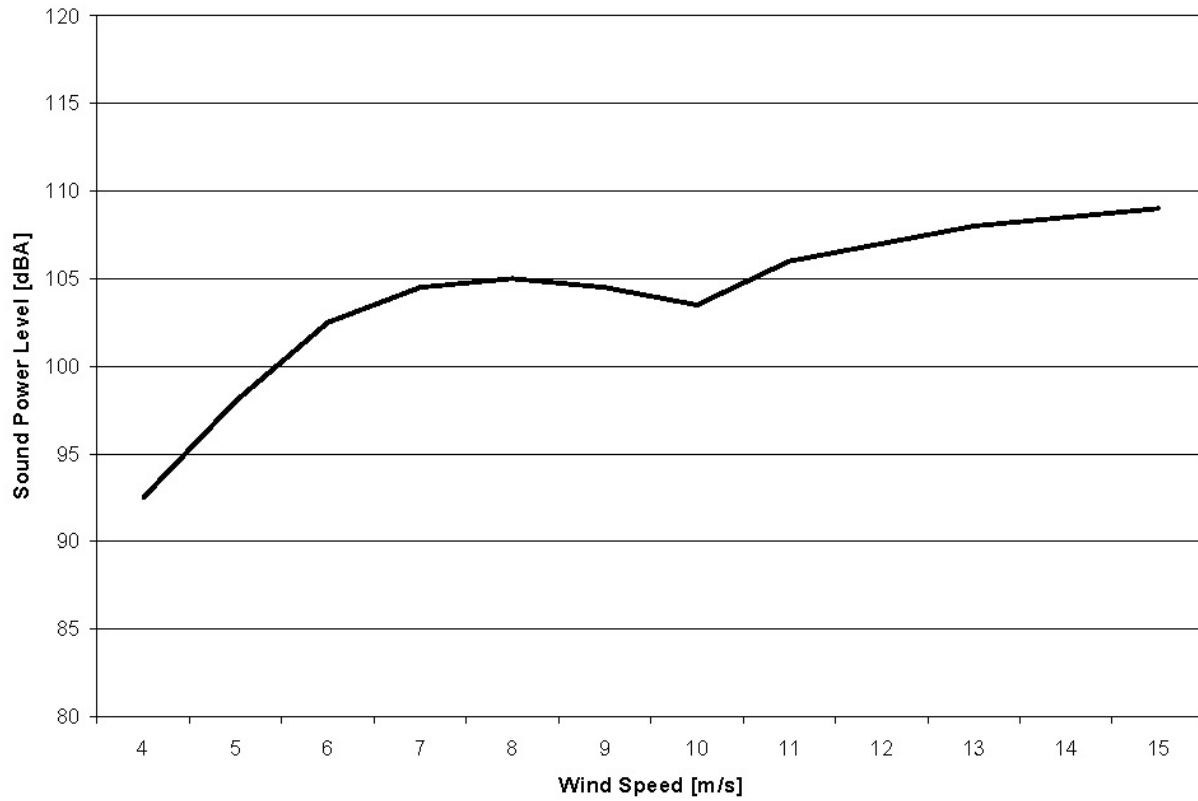
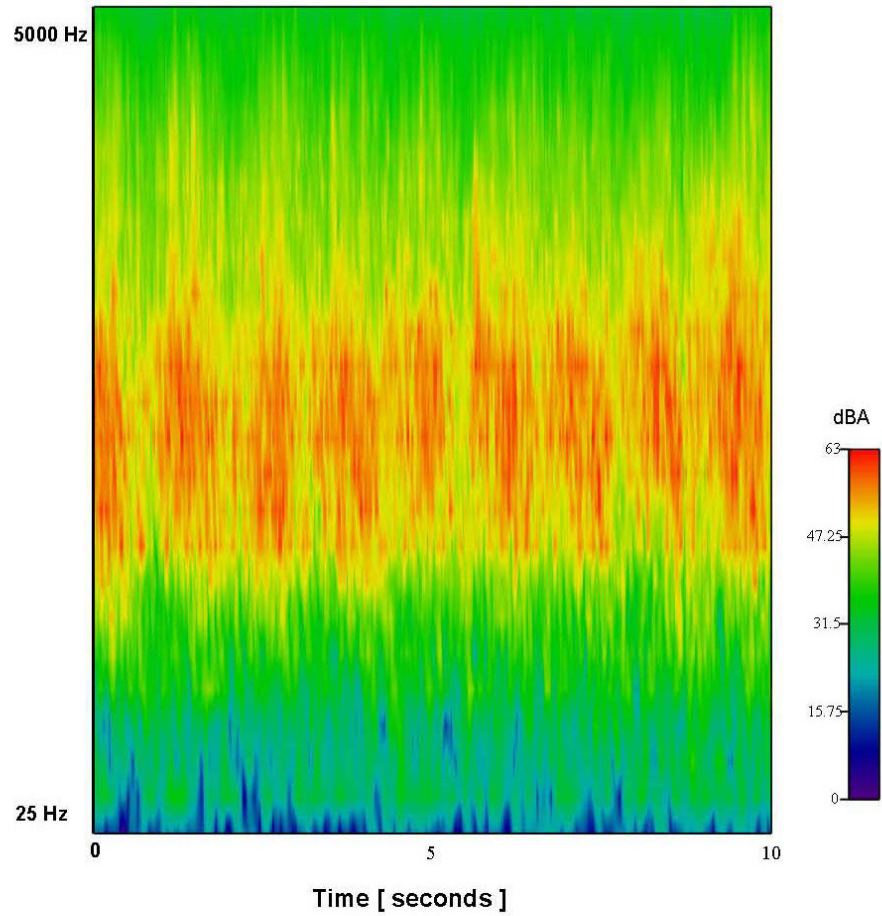


Figure 2 : Niveaux typiques de puissance acoustique des éoliennes modernes de 2 MW



Colours Represent A-Weighted Sound Pressure Levels

Figure 3 : Spectrogram du niveau de pression acoustique mesuré à 70 mètres d'un aérogénérateur moderne de 1,5 MW

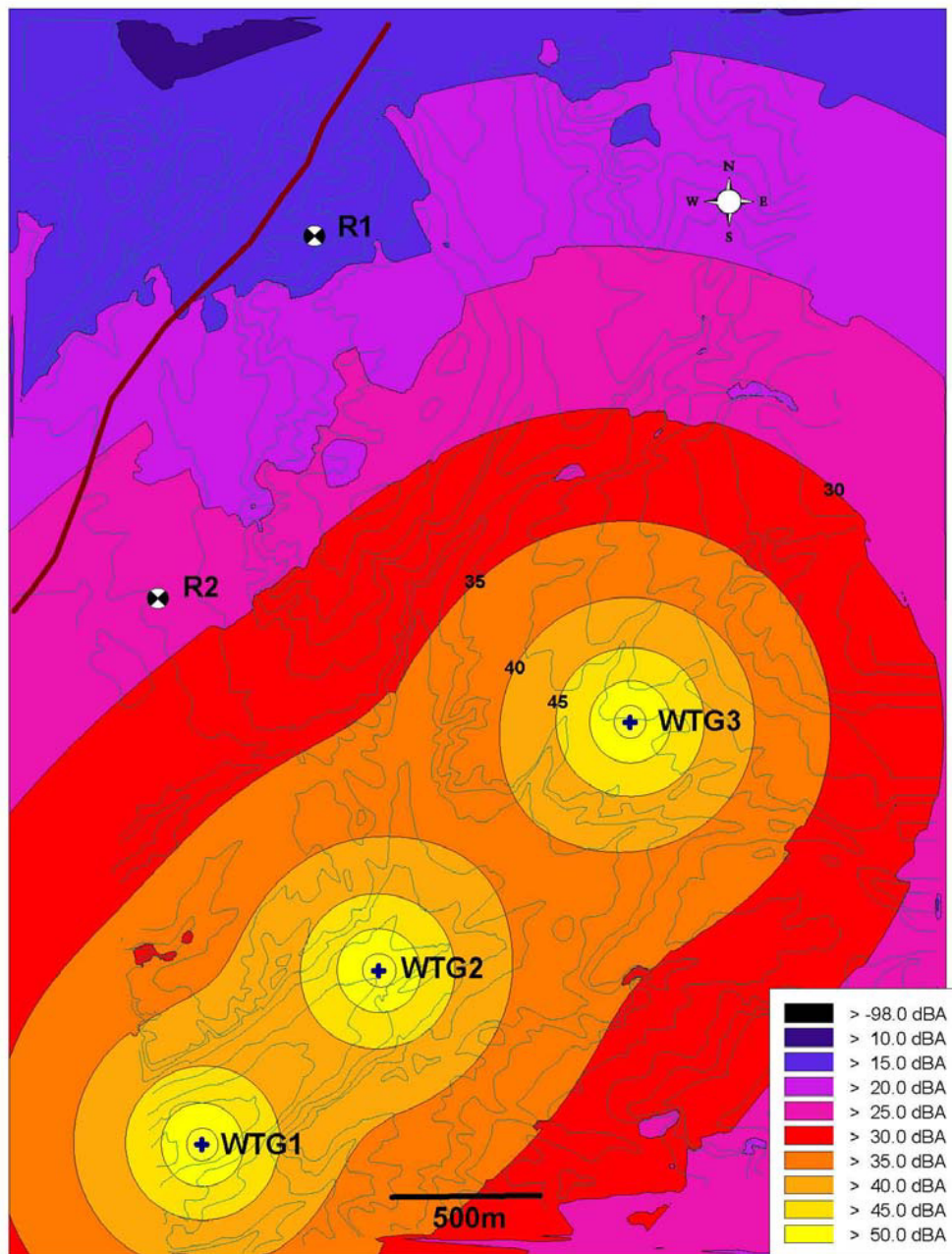


Figure 4 : Modèle acoustique représentatif illustrant la propagation du son à partir d'aérogénérateurs typiques