

Le son des éoliennes et ses répercussions sur la santé Examen d'un comité d'experts

Préparé par (en ordre alphabétique) :

W. David Colby, M.D.

Robert Dobie, M.D.

Geoff Leventhall, Ph.D.

David M. Lipscomb, Ph.D.

Robert J. McCunney, M.D.

Michael T. Seilo, Ph.D.

Bo Søndergaard, M.Sc.

Préparé pour :

L'American Wind Energy Association

et

L'Association canadienne de l'énergie éolienne

juin 2010



**Printed on
Recycled and
Recyclable
Paper**

Table des matières

Section	Page
Sommaire	ES-1
Introduction.....	1-1
1.1 Membres du comité d'experts	1-1
1.2 Terminologie du rapport.....	1-2
Méthodologie	2-1
2.1 Formation du comité d'experts	2-1
2.2 Examen des publications portant directement sur les éoliennes	2-1
2.3 Examen de la possible exposition environnementale	2-1
Vue d'ensemble et discussion.....	3-1
3.1 Fonctionnement des éoliennes et réponse auditive humaine aux sons.....	3-1
3.1.1 Vue d'ensemble	3-1
3.1.2 L'oreille humaine et le son	3-2
3.1.3 Le son produit par les éoliennes	3-3
3.1.4 Mesure du son et essai audiométrique.....	3-5
3.2 Exposition au son des éoliennes en fonctionnement.....	3-7
3.2.1 Infrasons et sons à basse fréquence	3-7
3.2.2 Vibrations	3-9
3.2.3 Système vestibulaire	3-11
3.3 Possibles effets nocifs de l'exposition au son	3-13
3.3.1 Interférence avec la parole	3-13
3.3.2 Perte d'audition due au bruit	3-13
3.3.3 Interférence avec une tâche.....	3-14
3.3.4 Nuisance	3-14
3.3.5 Perturbation du sommeil	3-14
3.3.6 Autres effets nocifs du son sur la santé.....	3-14
3.3.7 Possibles effets sur la santé de l'exposition aux vibrations.....	3-15
3.4 Examen par les pairs de la documentation sur les éoliennes, sur les sons à basse fréquence et sur les infrasons.....	3-15
3.4.1 Évaluation de la nuisance et relation dose-réponse du son des éoliennes	3-16
3.4.2 Nuisance	3-17
3.4.3 Sons à basse fréquence et infrasons	3-18
Résultats	4-1
4.1 Infrasons, sons à basse fréquence et nuisance.....	4-1
4.1.1 Infrasons et sons à basse fréquence	4-2
4.1.2 Nuisance	4-3
4.1.3 Autres aspects de la nuisance.....	4-4
4.1.4 Effect nocébo	4-4
4.1.5 Troubles somatoformes	4-4

Section	Page
4.2	Infrasons, sons à basse fréquence et maladies4-6
4.2.1	Maladie des effets vibratoires du son4-6
4.2.2	Exposition aux fréquences élevées4-6
4.2.3	Exposition résidentielle : série de cas.....4-7
4.2.4	Critique.....4-8
4.3	Syndrome des éoliennes.....4-9
4.3.1	Évaluation des infrasons sur le système vestibulaire4-9
4.3.2	Évaluation des infrasons sur les organes internes4-10
4.4	Perturbation vestibulaire vibratoire viscérale4-11
4.4.1	Hypothèse4-11
4.4.2	Critique.....4-12
4.5	Interprétation des études et des rapports.....4-13
4.6	Normes pour le choix du site pour les éoliennes4-14
4.6.1	Introduction4-14
4.6.2	Réglementations sur le bruit et ordonnances4-14
4.6.3	Lignes directrices sur le choix du site pour les éoliennes4-15
	Conclusions.....5-1
	Références.....6-1
 Annexes	
A	Notions de base sur le son
B	L'oreille humaine
C	Mesure du son
D	Propagation du son
E	Membres du comité d'experts
 Tableaux	
1-1	Définition des termes d'acoustique1-2
3-1	Niveaux de pression acoustique types mesurés dans l'environnement et l'industrie3-2
3-2	Seuils d'audition de la bande infrasonore et à basse fréquence3-7
 Figures	
3-1	Son produit par le passage du vent sur la pale d'éolienne3-4
3-2	Courbes d'audition d'égale impression d'intensité sonore (ISO : 226, 2003)3-9
3-3	Comparaison de l'excitation d'un objet par les vibrations et par le son.....3-10
C-1	Réseaux de pondération..... C-2

Acronymes et abréviations

μPa	microPascal
ACOEM	American College of Occupational and Environmental Medicine
ANSI	American National Standards Institute
AWEA	American Wind Energy Association
ASHA	American Speech-Language-Hearing Association
CanWEA	Association canadienne de l'énergie éolienne
dB	décibel
dBA	décibel A (pondéré en gamme A)
DNL	niveau jour-nuit
DSM-IV-TR	<i>Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders</i> , quatrième édition
EPA	Environmental Protection Agency des É.-U.
FDA	Food and Drug Administration
TFR	Transformation de Fourier rapide
GI	gastro-intestinal
HPA	Health Protection Agency
Hz	hertz
CIRC	Centre International de Recherche sur le Cancer
CIM-10	Classification statistique internationale des maladies et des problèmes de santé connexes, 10 ^e édition
IEC	International Engineering Consortium
ISO	Organisation internationale de normalisation
km	kilomètre
kW	kilowatt
L _{eq}	niveau acoustique équivalent
LPALF	basse fréquence et grande amplitude
m/s	mètres à la seconde
m/s ²	mètres à la seconde carrée
NIESH	National Institute of Environmental Health Sciences
NIHL	perte d'audition due au bruit
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
N/m ²	newtons par mètre carré
CNRC	Conseil national de recherches du Canada
NTP	National Toxicology Program
ONAC	Office of Noise Abatement and Control
OSHA	Occupational Safety and Health Administration
Pa	pascal
R.-U.	Royaume-Uni
VAD	maladie des effets vibratoires du son
VVVD	perturbation vestibulaire vibratoire
VEMP	potentiels évoqués vestibulaires myogéniques
OMS	Organisation mondiale de la Santé

Sommaire

L'humanité exploite l'énergie éolienne depuis plus de 5 000 ans. À l'origine, elle servait pour l'irrigation des champs et les moulins. Aujourd'hui, les éoliennes produisent de l'électricité dans plus de 70 pays. À la fin de l'année 2008, on comptait environ 120 800 mégawatts de puissance éolienne installée dans le monde (Global Wind Energy Council, 2009).

Produire de l'énergie avec le vent est une idée qui reçoit un appui considérable du public. Toutefois, l'énergie éolienne a aussi ses détracteurs. Ceux-ci ont entre autres fait connaître leurs préoccupations quant aux sons émis par les éoliennes, croyant notamment que ces sons pourraient avoir des effets dont les conséquences seraient nocives pour la santé.

Pour faire suite à ces préoccupations, les associations des industries de l'énergie éolienne des États-Unis et du Canada (l'AWEA et CanWEA respectivement) ont mis en place un comité consultatif scientifique au début de 2009 afin que soit menée une étude de la documentation scientifique disponible à ce jour sur la question des effets présumés des éoliennes sur la santé. Ce comité multidisciplinaire est composé de médecins, d'audiologistes et de spécialistes de l'acoustique venant des États-Unis, du Canada, du Danemark et du Royaume-Uni. Son objectif était de produire un document de référence faisant autorité à l'intention de ceux qui sont appelés à prendre des décisions législatives et réglementaires, et de quiconque souhaitant y voir clair, compte tenu des informations contradictoires qui circulent sur le son produit par les éoliennes.

Le comité s'est lancé dans un vaste examen de la grande somme de matériel scientifique revu par les pairs portant sur le son et ses effets sur la santé en général, et sur le son produit par les éoliennes, le tout à des fins d'analyse et de discussion par les membres du panel. Chacun de ces derniers a apporté sa propre expertise en audiologie, en acoustique, en otolaryngologie, en médecine du travail et de l'hygiène du milieu, et en santé publique. À l'aide des diverses perspectives représentées par ces experts, le comité a évalué les effets biologiques plausibles d'une exposition au son des éoliennes.

Après avoir passé en revue, analysé et échangé sur les connaissances actuelles dans ce domaine, le panel a établi un consensus sur les conclusions scientifiques suivantes :

- Il n'y a pas de preuve que les sons à basse fréquence en deçà des seuils audibles et les infrasons émanant des éoliennes ont des effets physiologiques nocifs directs de quelque nature que ce soit.
- Les vibrations des éoliennes transmises par le sol sont trop faibles pour être détectées par les humains et pour avoir des effets sur leur santé.
- Les sons émis par les éoliennes ne sont pas uniques. Il n'y a aucune raison de croire, en se fondant sur les niveaux sonores et les fréquences de ces sons, de même que sur l'expérience de ce panel en matière d'exposition au son dans les milieux de travail, que les sons des éoliennes puissent, de manière plausible, avoir des effets directs qui pourraient être nocifs pour la santé.

SECTION 1

Introduction

La mission de l'American Wind Energy Association (AWEA) est de promouvoir la croissance de l'énergie éolienne par la défense, la communication et l'éducation. De même, la mission de l'Association canadienne de l'énergie éolienne (CanWEA) est de promouvoir la croissance responsable et durable de l'énergie éolienne au Canada. Les deux organisations souhaitent jouer un rôle proactif afin de s'assurer que les projets d'énergie éolienne peuvent être réalisés en bon voisinage avec les collectivités qui adoptent l'énergie éolienne.

Ensemble, l'AWEA et CanWEA ont proposé à de nombreux groupes indépendants d'étudier la validité scientifique de récents rapports qui portent sur les effets nocifs pour la santé de la proximité des éoliennes. Ces rapports ont soulevé les préoccupations de la population sur l'exposition aux éoliennes. Faute d'un engagement officiel en ce sens de la part de groupes indépendants, l'industrie éolienne a décidé d'être proactive et de prendre elle-même les choses en main. En 2009, l'AWEA et CanWEA ont commandé ce rapport. On a demandé aux auteurs d'étudier les documents scientifiques publiés sur les possibles effets nocifs découlant de l'exposition aux éoliennes.

Le but de ce rapport est de se pencher sur les préoccupations pour la santé associées au son des éoliennes d'une échelle industrielle. Il est inévitable qu'un rapport financé par une association industrielle fasse l'objet d'accusations de parti pris et de conflit d'intérêts. Afin de minimiser dans la plus grande mesure du possible le parti pris et les conflits d'intérêts, l'AWEA et CanWEA ont sélectionné un comité d'éminents experts indépendants œuvrant dans les domaines de l'acoustique, de l'audiologie, de la médecine et de la santé publique. Ce rapport constitue le résultat de leur travail.

1.1 Membres du comité d'experts

On a demandé aux spécialistes nommés ci-dessous de faire des recherches et d'analyser les documents existants, puis de publier leurs conclusions dans le présent rapport; leurs postes/qualifications actuels sont comme suit :

- W. David Colby, M.D. : médecin-hygiéniste de la région Chatham-Kent (intérimaire); professeur agrégé à la Schulich School of Medicine & Dentistry de l'Université de Western Ontario
- Robert Dobie, M.D. : professeur clinicien de l'University of Texas, à San Antonio, professeur clinicien de l'University of California
- Geoff Leventhall, Ph.D. : consultant sur l'acoustique, le bruit et les vibrations du Royaume-Uni
- David M. Lipscomb, Ph.D. : président, Correct Service Inc.

- Robert J. McCunney, M.D. : chercheur, département de génie biologique du Massachusetts Institute of Technology; médecin membre du personnel du département de médecine pulmonaire du Massachusetts General Hospital; Harvard Medical School
- Michael T. Seilo, Ph.D. : professeur d'audiologie, Western Washington University
- Bo Søndergaard, M.Sc. (Physique) : conseiller principal, Danish Electronics Light and Acoustics (DELTA)
- Mark Bastasch, ingénieur acousticien pour la société d'experts-conseils CH2M HILL, jouait le rôle de conseiller technique pour le groupe d'experts.

1.2 Terminologie du rapport

Certains termes sont fréquemment utilisés dans ce rapport. Le tableau 1-1 donne la définition de ces termes. La compréhension de la différence entre les termes « son » et « bruit » peut être tout particulièrement utile pour le lecteur.

TABLEAU 1-1
Définition des termes d'acoustique

Terme	Définition
Son	Décrit des variations semblables à des ondes dans la pression d'air qui se produisent à des fréquences qui peuvent stimuler les récepteurs de l'oreille interne et, s'ils sont suffisamment puissants, peuvent être perçus au niveau conscient.
Bruit	Sous-entend la présence de sons, mais sous-entend aussi une réaction au son; le bruit est souvent défini comme un son indésirable.
Niveau de bruit ambiant	Le composite du bruit provenant de toutes les sources, proches ou éloignées. Le niveau de bruit environnemental normal ou existant à un endroit donné.
Décibel (dB)	Unité décrivant l'amplitude du son, correspondant à 20 fois le logarithme à la base 10 du ratio de la pression mesurée par rapport à la pression de référence, laquelle est de 20 micropascals (μPa).
Niveau de pression acoustique pondéré A (dBA)	Le niveau de pression acoustique en décibels mesuré par un sonomètre à l'aide d'un réseau de filtres de pondération A. Le filtre de pondération A désaccentue les sons d'accompagnement à très basse et à très haute fréquence de façon semblable à la réponse de fréquence de l'oreille humaine et correspond bien aux réactions subjectives au bruit.
Hertz (Hz)	Unité de mesure de fréquence, soit le nombre de cycles à la seconde d'une onde périodique.
Infrason	Selon la norme CEI 1994 de la Commission électrotechnique internationale (CEI), un infrason consiste en des oscillations acoustiques dont la fréquence est inférieure à la limite de basse fréquence de son audible (environ 16 Hz). Toutefois, cette définition est incomplète, car un infrason à un niveau de son suffisamment élevé est audible à des fréquences inférieures à 16 Hz. (CEI 60050-801:1994 - Vocabulaire Électrotechnique International - Partie 801 : Acoustique et électroacoustique).
Sons de basse fréquence	Sons de la bande de fréquences qui chevauchent les fréquences d'infrasons plus élevées et les fréquences audibles plus basses; on considère qu'ils se situent généralement entre 10 Hz et 200 Hz, mais ce n'est pas défini de façon précise.

TABLEAU 1-1
Définition des termes d'acoustique

Terme	Définition
--------------	-------------------

Source : HPA, 2009.

Méthodologie

Ce rapport a été réalisé en trois étapes : formation du comité d'experts, examen des publications portant directement sur les éoliennes et examen de la possible exposition environnementale.

2.1 Formation du comité d'experts

Les associations de l'énergie éolienne américaine et canadienne, l'AWEA et CanWEA, ont formé un comité d'éminents experts indépendants afin de se pencher sur les préoccupations selon lesquelles les sons émis par les éoliennes peuvent avoir des effets nocifs sur la santé.

L'objectif du comité d'experts était de produire un document de référence faisant autorité à l'intention de ceux qui sont appelés à prendre des décisions législatives et réglementaires, et de quiconque souhaitant y voir clair, compte tenu des informations contradictoires qui circulent sur le son produit par les éoliennes.

Le comité est composé de spécialistes en audiologie, en acoustique, en otolaryngologie, en médecine du travail et de l'hygiène du milieu, ainsi qu'en santé publique. Les membres du comité d'experts ont eu une série de conférences téléphoniques afin de discuter des publications et des principales préoccupations pour la santé qui ont été émises au sujet des éoliennes. Ces appels ont été suivis par l'élaboration d'une ébauche qui a été passée en revue par les autres membres du comité d'experts. Tout au long de la période de suivi, les publications ont fait l'objet d'un examen minutieux.

2.2 Examen des publications portant directement sur les éoliennes

Le comité d'experts a effectué une recherche à l'aide de l'outil PubMed avec les termes « éoliennes et effets sur la santé » (*Wind Turbines and Health Effects*) afin de chercher et d'étudier les publications qui ont fait l'objet d'un examen par les pairs. En outre, le comité d'experts a effectué une recherche pour « maladie des effets vibratoires du son » (*vibroacoustic disease*). Dans la section des références, on indique les sources consultées par le comité d'experts, qu'elles aient été soumises ou non à l'examen des pairs.

2.3 Examen de la possible exposition environnementale

Le comité d'experts a effectué un examen de la possible exposition environnementale associée à l'exploitation des éoliennes, se concentrant sur les sons à basse fréquence, les infrasons et les vibrations.

Vue d'ensemble et discussion

Dans cette section, on résume les résultats de l'examen et de l'analyse effectués par le comité d'experts et on répond à un certain nombre de questions clés :

- En quoi le fonctionnement des éoliennes touche-t-il la réponse auditive humaine?
- Comment peut-on déterminer le niveau et la fréquence du son et ses effets sur l'oreille humaine?
- Comment les éoliennes produisent-elles du son?
- Comment le son est-il mesuré et testé?
- En quoi consistent les vibrations?
- Quel type d'exposition aux éoliennes risque le plus d'être perçu par l'humain (sons à basse fréquence, infrasons ou vibrations)?
- Les sons de la plage des basses fréquences, en particulier de la plage infrasonique, peuvent-ils avoir des effets nocifs sur la santé humaine? Même lorsque ces niveaux sont en deçà de la capacité de la personne moyenne à les entendre?
- Comment le système vestibulaire humain réagit-il au son?
- Quels sont les possibles effets nocifs et les répercussions sur la santé de l'exposition au son?
- Que disent les ouvrages scientifiques sur les éoliennes, les sons à basse fréquence et les infrasons?

3.1 Fonctionnement des éoliennes et réponse auditive humaine aux sons

3.1.1 Vue d'ensemble

Le fonctionnement normal d'une éolienne produit du son et des vibrations, ce qui soulève des préoccupations sur leurs possibles répercussions sur la santé. Dans cette section, il est question des principes de base associés au son et aux vibrations, à la mesure du son et à leurs possibles répercussions sur la santé. Le son d'une éolienne provient du fonctionnement mécanique et de la rotation des pales.

3.1.2 L'oreille humaine et le son

L'oreille humaine peut percevoir une grande variété de sons, du son aigu d'un oiseau qui chante jusqu'au son grave d'une guitare basse. Les sons sont perçus selon leur niveau sonore (c.-à-d. le volume ou le niveau de pression acoustique) ou selon leur hauteur tonale (c.-à-d. le contenu de fréquence ou sonore). L'unité de mesure standard du niveau de pression acoustique est le décibel (dB). L'unité standard pour décrire le contenu de fréquence ou sonore est le hertz (Hz), qui est mesuré en cycles par seconde – l'annexe A donne plus d'information sur les notions de base sur le son. Règle générale, l'oreille jeune sans pathologie peut percevoir des sons variant entre 20 Hz et 20 000 Hz. L'annexe B donne plus d'information sur l'oreille humaine.

Les fréquences inférieures à 20 Hz sont habituellement appelées les « infrasons », même si la frontière entre les infrasons et les sons à basse fréquence est floue. Les infrasons, à certaines fréquences et à un niveau élevé, peuvent être audibles pour certaines personnes. Règle générale, on considère que les sons à basse fréquence sont ceux qui se situent entre 10 Hz et 200 Hz, mais toute définition est arbitraire jusqu'à un certain point. Les sons à basse fréquence font l'objet de préoccupations de la part de certaines personnes relativement à leurs possibles répercussions sur la santé.

TABLEAU 3-1
NIVEAUX DE PRESSION ACOUSTIQUE TYPES MESURÉS DANS
L'ENVIRONNEMENT ET L'INDUSTRIE

Source de bruit à une distance donnée	Niveau acoustique pondéré A en décibels	Description qualitative
Fonctionnement d'un avion à réaction sur un porte-avions	140	
	130	Seuil de la douleur
Décollage d'un avion à réaction (200 pi)	120	
Klaxon d'automobile (3 pi)	110	Effort vocal maximal
Décollage d'un avion à réaction (1 000 pi) Cri (0,5 pi)	100	
Station de métro de New York Camion lourd (50 pi)	90	Très inconfortable Dommages auditifs (exposition continue de 8 heures)
Perforatrice pneumatique (50 pi)	80	Inconfortable
Train de marchandises (50 pi) Circulation sur l'autoroute (50 pi)	70 à 80	
	70	Dérangeant (Difficulté à utiliser le téléphone)
Conditionneur d'air (20 pi)	60	
Faible circulation automobile (50 pi)	50	Tranquille
Salle de séjour Chambre à coucher	40	
Bibliothèque Murmure léger (5 pi)	30	Très tranquille

TABLEAU 3-1
NIVEAUX DE PRESSION ACOUSTIQUE TYPES MESURÉS DANS
L'ENVIRONNEMENT ET L'INDUSTRIE

Source de bruit à une distance donnée	Niveau acoustique pondéré A en décibels	Description qualitative
Studio de radiodiffusion/d'enregistrement	20	
	10	À peine audible

Adapté du tableau E, « Assessing and Mitigating Noise Impacts », NY DEC, février 2001.

Le tableau 3-1 présente les niveaux de pression acoustique associés à diverses activités courantes. Généralement, les niveaux de pression acoustique de l'environnement et du milieu de travail sont mesurés en décibels selon une échelle pondérée A (dBA). L'échelle pondérée A désaccentue les éléments du son à très basse et à très haute fréquence, un peu comme le fait l'oreille humaine pour la courbe de résonance. À des fins de comparaison, le son d'une éolienne à une distance de 1 000 à 2 000 pieds est généralement entre 40 et 50 dBA.

Dans la section 3.2, on discute des effets de l'exposition au son d'une éolienne. La section 3.3 traite des possibles effets nocifs de l'exposition au son et ses répercussions sur la santé.

3.1.3 Le son produit par les éoliennes

Le son des éoliennes provient soit d'un mécanisme de production d'énergie mécanique ou aérodynamique. Les sons mécaniques proviennent de la boîte de vitesses et des mécanismes de commande. On utilise des techniques standard de contrôle du bruit pour réduire les sons mécaniques. Le bruit mécanique n'est généralement pas la source de bruit dominante des éoliennes modernes (sauf pour l'occasionnel son produit par les engrenages).

Le bruit aérodynamique est présent à toutes les fréquences, de la plage d'infrasons des sons à basse fréquence jusqu'à la plage audible normale, et constitue la source dominante. Le bruit aérodynamique est produit par plusieurs mécanismes, comme on le décrit ci-après. Le bruit aérodynamique tend à être modulé dans la plage de fréquences intermédiaire, soit environ entre 500 et 1 000 Hz.

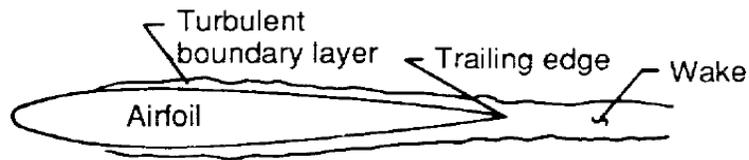
Le bruit aérodynamique est produit par la rotation des pales de l'éolienne dans l'air. Une pale d'éolienne a la forme d'une surface portante, cette dernière consistant simplement en une structure dont la forme produit une force de sustentation lorsque l'air passe au-dessus. Initialement mise au point pour les aéronefs, la forme de la surface portante a été adaptée afin de fournir la force de rotation aux éoliennes en utilisant une forme qui permet à l'air de se déplacer plus rapidement au-dessus de la surface portante qu'en dessous. Le design optimise l'efficacité en minimisant la turbulence, ce qui produit la traînée et le bruit. Une pale efficace en ce qui a trait à l'aérodynamisme est silencieuse.

Le bruit aérodynamique des éoliennes est causé par l'interaction de la pale d'éolienne avec la turbulence produite qui y est à la fois adjacente (couche limite turbulente) et dans son sillage proche (voir la figure 3-1) (Brooks et coll., 1989). La turbulence varie selon la vitesse du déplacement de la pale dans l'air. Une pale de 100 mètres de diamètre qui fait une rotation aux trois secondes a une vitesse à sa pointe d'un peu plus de 100 mètres à la

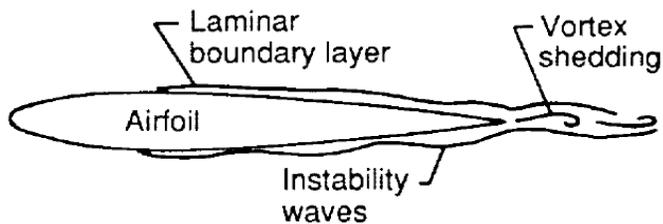
seconde. Cependant, la vitesse diminue lorsqu'on se rapproche du centre de rotation (le moyeu de l'éolienne). Les principaux facteurs déterminants de la turbulence sont la vitesse de la pale, ainsi que la forme et les dimensions de sa section transversale.

FIGURE 3-1

Son produit par le passage du vent sur la pale d'éolienne



**Turbulent-boundary-layer—trailing-edge
noise**



**Laminar-boundary-layer—vortex-shedding
noise**

Les conclusions suivantes découlent des conditions de passage du vent indiquées à la figure 3-1 (Brooks et coll., 1989) :

- À une vitesse élevée pour une pale donnée, des couches limites turbulentes se forment sur une grande partie de la surface portante. Le son est produit lorsque la couche limite turbulente passe sur le bord de fuite.
- À une vitesse plus faible, il se forme principalement des couches limites laminares, ce qui donne un décollement de tourbillons au bord de fuite.

Parmi les autres facteurs de production du bruit aérodynamique, il y a ce qui suit :

- Lorsque l'angle d'attaque n'est pas de zéro – autrement dit, si la pale a un angle par rapport au vent – il peut se produire un décollement de l'écoulement sur l'extrados près du bord de fuite, ce qui produit le son.
- À un angle d'attaque élevé, il peut se produire un décollement à grande échelle dans des conditions de décrochage, ce qui donne la propagation de sons à basse fréquence.
- Un bord de fuite arrondi donne un décollement de tourbillons et du bruit additionnel.
- Le tourbillon au bout des pales donne un écoulement hautement turbulent.

Chacun des facteurs ci-dessus peut faire en sorte qu'une éolienne produit du bruit. Après avoir pris des mesures à l'emplacement de la source de son des éoliennes, on a constaté que

le son dominant est produit le long de la pale – plus près du bout que du moyeu. Il est possible de diminuer le son de turbulence en modifiant la forme de la surface portante et en faisant un bon entretien. Par exemple, les aspérités à la surface qui sont dues aux dommages ou à l'accrétion de matériel supplémentaire risquent d'augmenter le bruit.

Il a été démontré que le bruit aérodynamique est produit à des niveaux plus élevés lors du mouvement de la pale vers le bas (c.-à-d. la position 3 heures). Ceci donne une augmentation de niveau environ une fois à la seconde pour une éolienne type à trois pales. Cette augmentation de niveau périodique est aussi ce qu'on appelle la modulation d'amplitude et, comme on le décrit ci-dessus pour une éolienne type, la fréquence de modulation est de 1 Hz (une fois à la seconde). Autrement dit, le niveau sonore augmente et diminue une fois à la seconde. On ne comprend pas complètement l'origine de cette modulation d'amplitude. On pensait auparavant que la modulation était due au passage de la pale devant la tour (étant donné que la tour nuit à l'écoulement d'air), mais on pense maintenant qu'elle est liée à la différence de vitesse du vent entre le haut et le bas d'une pale en rotation et à la directivité du bruit aérodynamique (Oerlemans et Schepers, 2009).

Autrement dit, le résultat de la modulation aérodynamique est une fluctuation perceptible du niveau sonore d'environ une fois à la seconde. Le contenu de fréquence de ce son fluctuant est généralement entre 500 Hz et 1 000 Hz, mais peut se produire à des fréquences plus élevées ou plus basses. Cela signifie que des niveaux de pression acoustique se situant approximativement entre 500 et 1 000 Hz augmenteront et diminueront environ une fois à la seconde. Il faut prendre note, toutefois, que la magnitude de la modulation d'amplitude constatée lorsqu'on est sous une tour ne se manifeste pas toujours à des distances de séparation supérieures. Une étude réalisée au Royaume-Uni (R.-U.) a aussi démontré que seulement quatre des près de 130 parcs éoliens avaient un problème de modulation aérodynamique et on a réussi à le régler pour trois d'entre eux (Moorhouse et coll., 2007).

En plus du niveau acoustique produit par les éoliennes, des facteurs environnementaux peuvent avoir des incidences sur le niveau perçu à des endroits plus éloignés. Par exemple, l'air chaud près du sol fait monter le son des éoliennes vers le haut, loin du sol, ce qui donne un niveau sonore moindre, tandis que l'air chaud lors d'une inversion de température peut pousser le son vers le sol, ce qui donne un niveau sonore accru. Le vent peut aussi donner un niveau sonore plus élevé en aval de l'éolienne – c'est-à-dire si le vent souffle de la source au récepteur – ou plus bas, si le vent souffle du récepteur à la source. La plupart des techniques de modélisation, lorsqu'elles sont adéquatement mises en application, tiennent compte des conditions modérées d'inversion et sous le vent. L'atténuation (réduction) du bruit peut aussi être influencée par les obstacles, les conditions à la surface du sol, les buissons et les arbres, entre autres.

Les prévisions de niveau sonore à diverses distances de l'éolienne reposent sur le niveau de puissance acoustique de l'éolienne. Ces niveaux de puissance acoustique des éoliennes sont établis à l'aide de méthodes de mesure normalisées.

3.1.4 Mesure du son et essai audiométrique

Un sonomètre est un outil standard qu'on utilise pour mesurer le niveau de pression acoustique. Comme on le décrit à la section 3.1.2, l'unité standard du niveau de pression acoustique (c.-à-d. le volume) est le décibel (dB) et l'unité standard utilisée pour décrire la hauteur tonale ou la fréquence est le hertz (Hz – cycles par seconde). Un sonomètre peut utiliser un filtre de pondération A pour ajuster certaines plages de fréquences (celles que

l'humain détecte mal), ce qui donne une lecture en dBA (décibels, pondérés en gamme A). L'annexe C donne plus d'information sur la mesure du son. La hauteur tonale ou les fréquences (qu'on appelle parfois le spectre de niveaux sonores) peuvent être quantifiées à l'aide d'un sonomètre qui inclut un analyseur de son. La bande d'octave, la bande de tiers d'octave et la bande étroite (comme la transformation de Fourier rapide ou TFR) sont trois types courants d'analyseurs de son.

Que l'on pense, par exemple, à un test audiométrique de routine (test auditif) au cours duquel une personne est assise dans une cabine et porte un casque d'écoute dans lequel sont transmis des sons afin d'évaluer son audition. À l'extérieur de la cabine, un technicien tourne un cadran qui donne certaines fréquences (par exemple, un son grave de 125 Hz ou un son aigu de 4 000 Hz), puis il augmente le volume de chaque fréquence jusqu'à ce que la personne détecte le son pour chaque tonalité. Il s'agit d'une méthode standard utilisée pour mesurer le seuil dans plusieurs cas, dont la baisse de l'acuité auditive induite par le bruit (NIHL). À mesure que le technicien augmente le volume de la fréquence en question, on prend en note le niveau acoustique (en dB). Lorsque le niveau sonore doit être supérieur à 25 dB à plusieurs fréquences pour qu'une personne puisse entendre le son (c.-à-d. la force de la tonalité), on considère que le résultat du test est anormal.

Pour les travailleurs de certains emplois, on a établi les effets sur l'audition de l'exposition prolongée à un son de niveau élevé à l'aide de tests audiométriques. Des études ont été publiées dans les principales revues médicales et elles ont fait l'objet d'un processus d'examen par les pairs (voir, par exemple, McCunney et Meyer, 2007). Les études auprès de travailleurs ont aussi servi de base scientifique pour mettre en place la réglementation en matière de bruit dans l'industrie, laquelle est régie par l'Occupational Safety and Health Administration (OSHA). On a fait subir aux travailleurs des industries où il y a beaucoup de bruit des évaluations relativement à la déficience auditive due au bruit et il est connu que certaines industries sont associées à un niveau sonore élevé, comme l'aviation, la construction et des secteurs de la fabrication comme la mise en conserve. Les études réalisées auprès de travailleurs pendant plusieurs années donnent à penser que l'exposition prolongée à un niveau de bruit élevé peut avoir des effets nocifs sur l'audition. Les niveaux considérés suffisamment élevés pour provoquer la perte d'audition sont considérablement supérieurs à ceux auquel pourrait être exposée une personne qui habite près d'éoliennes. Par exemple, une exposition élevée prolongée et sans protection à des niveaux de bruit supérieurs à 90 dBA pose un risque de perte d'audition en milieu de travail à un point tel que l'OSHA a établi ce niveau comme seuil de protection de l'audition. Le niveau sonore des éoliennes est loin de ces niveaux (une estimation prudente pour les éoliennes modernes serait de 50 dBA à une distance de 1 500 pieds). Même si la question de la perte d'audition due au bruit a rarement été soulevée par les opposants aux parcs éoliens, il est important de prendre note que le risque de perte d'audition due au bruit dépend directement de l'intensité (niveau sonore) et de la durée de l'exposition au bruit et, par conséquent, il est raisonnable de conclure qu'il n'y a aucun risque de perte d'audition due au bruit des éoliennes. Cette conclusion repose sur les études menées auprès de travailleurs exposés au bruit et pour lesquels le risque de perte d'audition due au bruit n'est pas apparent à des niveaux inférieurs à 75 dBA.

3.2 Exposition au son des éoliennes en fonctionnement

Dans cette section, on se penche sur les questions (1) à savoir si les sons de la plage des basses fréquences, tout particulièrement de la plage des infrasons, ont des effets nocifs sur la santé humaine et s'ils en ont même lorsque ces niveaux sont en deçà de la capacité de la personne moyenne à les entendre, (2) de ce à quoi nous faisons référence lorsque nous parlons de vibrations et (3) de la façon dont le système vestibulaire humain réagit aux sons et aux perturbations.

3.2.1 Infrasons et sons à basse fréquence

Il est ici question des infrasons et des sons à basse fréquence, ou des sons graves, selon un certain niveau de détail afin de donner une perspective par rapport aux hypothèses véhiculées selon lesquelles le bruit d'une éolienne peut être nocif pour la santé, même si le niveau sonore est inférieur à celui qui est associé à la perte d'audition due au bruit dans l'industrie. Par exemple, il a été suggéré que les sons qui contiennent du bruit à basse fréquence, tout particulièrement du niveau infrasonique, peuvent avoir des effets nocifs sur la santé, même lorsque le niveau est en deçà de la capacité de la personne moyenne à les détecter ou à les entendre (Alves-Pereira et Branco, 2007b).

Des études globales des infrasons et de leur source, de même que de leur mesure, ont été publiées (Berglund et Lindvall, 1995; Leventhall et coll., 2003). Le tableau 3-2 montre le niveau de pression acoustique, en décibels, de la fréquence correspondant aux infrasons et aux sons à basse fréquence afin que la personne moyenne puisse entendre le son (Leventhall et coll., 2003).

TABLEAU 3-2
Seuils d'audition de la bande infrasonore et à basse fréquence

Fréquence (Hz)	4	8	10	16	20	25	40	50	80	100	125	160	200
Niveau de pression acoustique (dB)	107	100	97	88	79	69	51	44	32	27	22	18	14

REMARQUE :

Seuil d'audition moyen (pour une personne jeune en santé) de la plage des infrasons (entre 4 et 20 Hz) et des basses fréquences (entre 10 et 200 Hz).

Source : Leventhall et coll., 2003

Comme l'indique le tableau 3-2, aux basses fréquences, il faut un niveau sonore beaucoup plus élevé par rapport aux fréquences plus élevées. Par exemple, à 10 Hz, le son doit être de 97 dB pour être audible. Si ce niveau sonore était entendu à des fréquences de moyennes à élevées, que l'oreille humaine peut bien détecter, ce serait approximativement comme si on se trouvait sans aucune protection auditive directement à côté d'une scie à chaîne. Pour le même nombre de décibels, les basses fréquences sont beaucoup plus difficiles à détecter que les hautes fréquences, comme le montrent les seuils d'audition du tableau 3-2.

Le tableau 3-2 montre aussi que même les sons aussi bas que 4 Hz peuvent être entendus si le niveau est suffisamment élevé (107 dB). Toutefois, le niveau des éoliennes à 4 Hz se situe plus vraisemblablement à 70 dB ou moins et, par conséquent, est inaudible. Les études réalisées en vue d'évaluer le bruit des éoliennes ont indiqué que le son des éoliennes aux distances types ne dépasse pas le seuil d'audition et sera inaudible en deçà d'environ 50 Hz (Hayes 2006b; Kamperman et James, 2008). Le seuil d'audition à 50 Hz est de 44 dB, comme

le montre le tableau 3-2. Un récent travail d'évaluation d'un grand nombre de sources de bruit, entre 10 Hz et 160 Hz, donne à penser que le bruit d'une éolienne entendu à l'intérieur d'une maison selon la distance de retrait type est modéré sur la gamme des sources de son à basse fréquence (Pedersen, 2008). Le faible niveau des infrasons et des sons à basse fréquence qui sont produits lorsque des éoliennes fonctionnent a été confirmé par d'autres (Jakobsen, 2004; van den Berg, 2004).

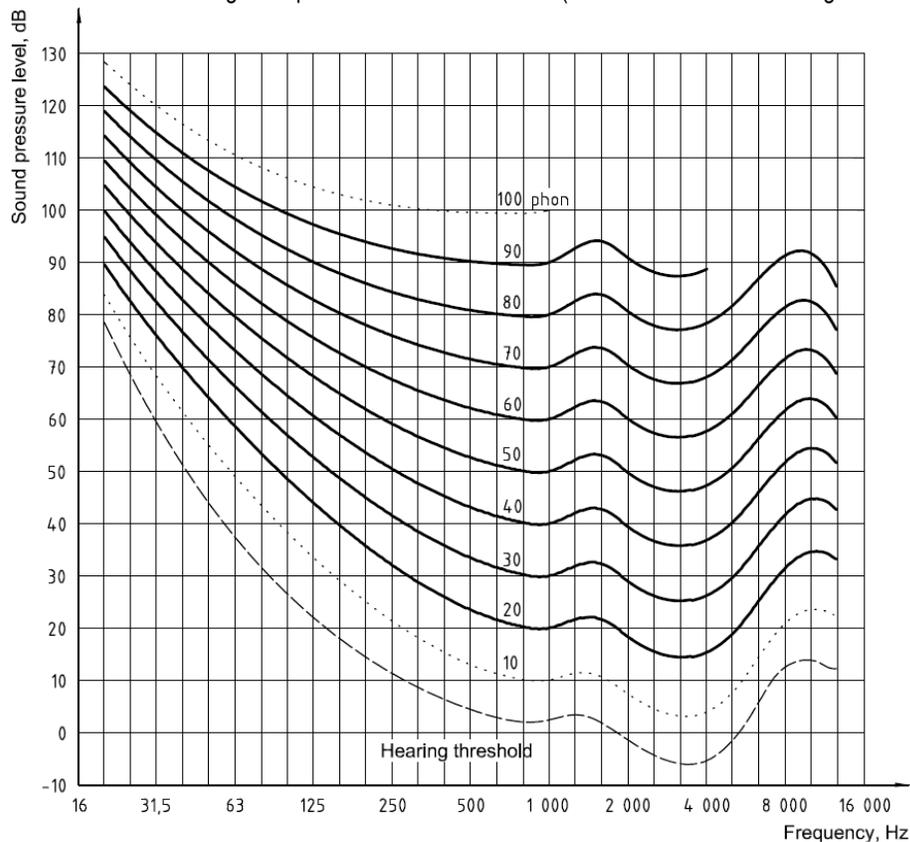
Le son à basse fréquence associé aux éoliennes a récemment attiré l'attention, car l'échelle de pondération A qui est utilisée pour la conformité réglementaire en milieu de travail et environnementale ne fonctionne pas bien avec les sons qui ont principalement des composantes à basse fréquence. La plupart des problèmes liés aux sons environnementaux à basse fréquence sont dus aux tonalités discrètes (la tonie ou les tonalités qui sont à un niveau (volume) considérablement plus élevé que les fréquences avoisinantes), qui proviennent, par exemple, d'un moteur ou d'un compresseur, non pas d'un son de largeur de bande continue. Les sons aigus, ou à haute fréquence, sont évalués par mesure pondérée A et, étant donné leur longueur d'onde plus courte, sont plus facilement contrôlés. Les sons à basse fréquence peuvent être irritants pour certaines personnes et, en fait, il s'est révélé impossible de trouver une solution dans le cas de certaines plaintes portant sur les sons à basse fréquence (Leventhall et coll., 2003). Cette observation mène à la perception selon laquelle il y a quelque chose de spécial, de sinistre et de nocif avec les sons à basse fréquence. Au contraire, presque tous les sons produits à l'extérieur, lorsqu'on les entend de l'intérieur, sont biaisés en basses fréquences, car les bâtiments atténuent de façon efficace les fréquences plus élevées. On peut le constater lorsqu'on entend le bruit de la chaîne stéréo du voisin à l'intérieur de sa maison – les notes de basse sont plus prononcées que les sons aigus. Tout son indésirable, qu'il soit de haute fréquence ou de basse fréquence, peut être irritant et pénible pour certaines personnes.

Les différences sur la façon de percevoir un son grave et un son aigu sont bien documentées. La figure 3-2 montre que les sons à plus basse fréquence doivent généralement être à un niveau sonore élevé (dB) pour qu'on puisse les entendre. La figure 3-2 montre aussi que lorsque la fréquence diminue, la plage audible est comprimée, ce qui mène à une hausse plus rapide de la sonie à mesure que le niveau passe à des fréquences plus basses. À 1 000 Hz, toute la gamme s'étend sur environ 100 dB de niveau sonore, tandis qu'à 20 Hz la même plage sonore s'étend sur environ 50 dB (prendre note que les courbes affichées à la figure 3-2 sont en phones, soit une mesure d'isonie; pour des explications supplémentaires sur les phones, le lecteur est invité à consulter le site ://www.sfu.ca/sonic-studio/handbook/Phon.html [Truax, 1999]) (en anglais). Un son donné devient plus incommodant à mesure que l'intensité sonore augmente; il devient aussi plus vite incommodant à basse fréquence. Toutefois, il n'y a aucune preuve d'effets physiologiques directs dus aux infrasons ou aux sons à basse fréquence aux niveaux auxquels ils sont produits par les éoliennes, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur. Les effets peuvent être dus au fait que les sons sont audibles, mais ils sont semblables aux effets des autres sons audibles.

Il est question plus en détail des sons à basse fréquence et des infrasons à la section 3.3, *Possibles effets nocifs de l'exposition au son*.

FIGURE 3-2

Courbes d'audition d'égale impression d'intensité sonore (International Standards Organization, 2003)



3.2.2 Vibrations

On a émis l'hypothèse que les vibrations, qu'on suppose être dues aux sons à basse fréquence inaudibles, ont de possibles effets nocifs sur la santé. Dans cette section, on définit la vibration, on décrit comment on la mesure et on cite des études qui ont traité des risques des vibrations sur la santé.

La vibration fait référence à la façon dont l'énergie se déplace à travers la matière solide, que ce soit l'acier, le béton d'un pont, la terre, le mur d'une maison ou le corps humain. La vibration est différente du son, ce dernier consistant en de l'énergie qui circule à travers des gaz (comme l'air) ou des liquides (comme l'eau).

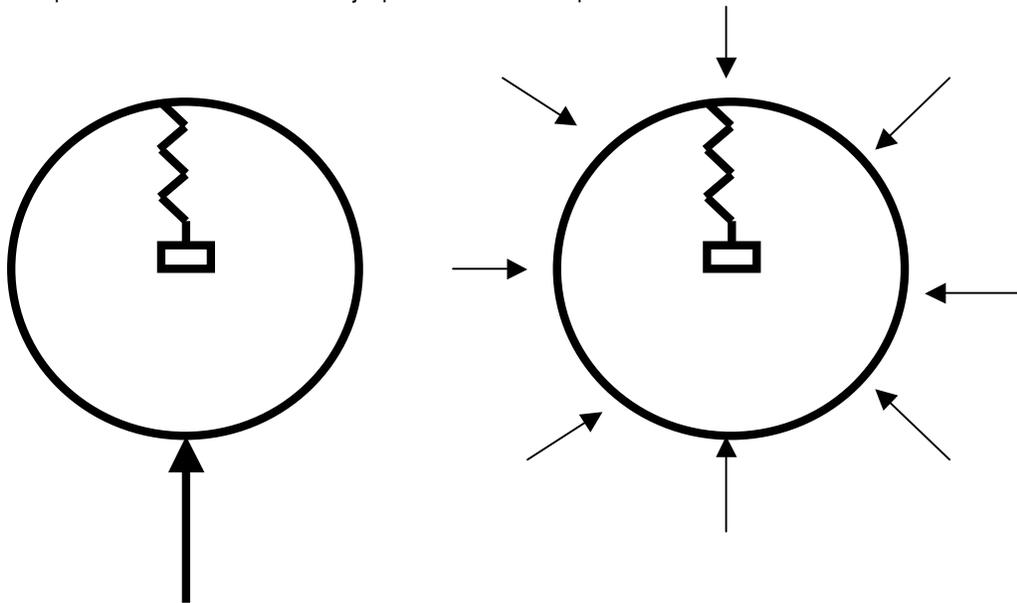
À des fréquences plus élevées, les vibrations diminuent rapidement; ce sont les basses fréquences qui sont préoccupantes pour la santé humaine. Lorsque les vibrations sont détectées par les pieds ou le siège, le centre d'intérêt est la vibration de la surface avec laquelle on est en contact, par exemple, lorsqu'on voyage dans un véhicule.

On mesure souvent les vibrations selon l'accélération de la surface en mètres par seconde, au carré (m/s^2), bien qu'on utilise d'autres unités connexes. Les vibrations peuvent aussi être exprimées en décibels, le niveau d'excitation de référence utilisé dans les bâtiments étant souvent $10^{-5} m/s^2$ et le niveau de vibration étant $20 \log (A/10^{-5})$ dB, A étant le niveau d'accélération en m/s^2 .

Le seuil de perception des vibrations par les humains est d'environ $0,01 \text{ m/s}^2$. Si une fréquence d'excitation (vibration) correspond à la fréquence de résonance d'un système, alors l'excitation à la fréquence de résonance est plus importante qu'aux autres fréquences. Toutefois, l'excitation par le son n'est pas la même chose que l'excitation mécanique ressentie, disons, aux pieds.

La figure 3-3 montre un objet excité par une vibration mécanique au point d'application et par le son. L'objet comprend un système suspendu indépendant. Par exemple, si l'objet était le corps, le système suspendu pourrait être les viscères (organes internes du corps). À gauche de la figure, on peut l'interpréter comme si le corps vibrerait par l'entrée aux pieds. La vibration des viscères sera maximale à la fréquence de résonance¹ du système suspendu, lequel est, pour les viscères, d'environ 4 Hz. Lorsque l'excitation se fait par des ondes sonores à basse fréquence d'une grande longueur d'onde, comme illustré à droite de la figure, non seulement la force qui agit sur le corps est-elle beaucoup plus petite que pour la vibration exercée, mais comme la longueur d'onde est beaucoup plus grande que les dimensions du corps, elle agit autour du corps en compression, de sorte qu'il n'y a pas de force résultante sur le système suspendu et qu'il ne vibre pas ou ne résonne pas.

FIGURE 3-3
Comparaison de l'excitation d'un objet par les vibrations et par le son



Malheureusement, il n'est pas question de cette absence d'effet de la part de ceux qui ont laissé entendre une réaction du corps aux vibrations mécaniques plutôt qu'une réaction acoustique comme possible effet nocif pour la santé. Cette omission a mené à des conclusions inexactes. Par exemple, l'une des hypothèses clés de la Dre Nina Pierpont sur les causes du « syndrome des éoliennes » repose sur une erreur aussi flagrante (Pierpont, 2009, ébauche préalable à la publication). Même s'il ne s'agit pas d'un diagnostic médical

¹ Un exemple courant de résonance est lorsqu'on pousse un enfant assis sur une balançoire, où l'énergie est appliquée à la balançoire afin de maximiser son oscillation.

reconnu, le « syndrome des éoliennes » a été mentionné comme préoccupation lors de propositions de projets – consulter la section 4.3 pour de plus amples renseignements.

La vibration du corps en réaction au son à l'une de ses fréquences de résonance se produit uniquement à des niveaux sonores très élevés et n'est pas un facteur pour la perception du bruit d'une éolienne. Comme il en sera question plus loin, les niveaux sonores associés aux éoliennes n'ont pas d'effets sur le système vestibulaire ou sur les autres systèmes du sens de l'équilibre.

3.2.3 Système vestibulaire

Le système vestibulaire du corps joue un rôle majeur pour assurer le sens de l'équilibre d'une personne et la stabilisation des images visuelles. Le système vestibulaire réagit aux changements de pression (pression acoustique, c.-à-d. décibels) à diverses fréquences. À un niveau d'exposition élevée aux sons à basse fréquence, une personne peut ressentir des nausées ou des changements du rythme respiratoire et de la pression artérielle. Des études ont démontré, toutefois, que pour que surviennent ces effets, il faut un niveau de bruit considérablement élevé (supérieur à 140 dB, semblable au niveau sonore d'un avion à réaction à une distance de 80 pieds) (Berglund et coll., 1996).

Certains ont suggéré qu'il pourrait y avoir une vibration de la tête due aux sons à basse fréquence comme cause possible d'un éventail de symptômes que certains supposent associés aux éoliennes. Afin d'évaluer adéquatement cette hypothèse, il est question dans cette section du système vestibulaire humain. Le « système vestibulaire » comprend les organes des sens situés dans le labyrinthe vestibulaire, lequel comprend cinq minuscules organes sensoriels : trois canaux semi-circulaires qui détectent la rotation de la tête et deux organes constitués de petites masses de carbonate de calcium appelés les otolithes (littéralement, les « pierres de l'oreille ») qui détectent les mouvements d'inclinaison et linéaires de la tête. Ces cinq organes contiennent des cellules ciliées, comme celles qui sont dans la cochlée, qui convertissent le mouvement en impulsions nerveuses, lesquelles se rendent au cerveau par le nerf vestibulaire.

Ces organes ont évolué sur des millions d'années avant la formation de l'oreille moyenne. Les poissons, par exemple, n'ont pas d'oreille moyenne ou de cochlée, mais ils ont un labyrinthe vestibulaire presque identique au nôtre (Baloh et Honrubia, 1979). La particularité des organes vestibulaires est de réagir à la stimulation de la position et du mouvement de la tête, non pas aux sons aériens. Chaque organe vestibulaire est solidement fixé au crâne, ce qui lui permet de réagir au moindre mouvement de la tête. Par contraste, les cellules ciliées de la cochlée ne sont pas directement fixées au crâne; elles ne réagissent habituellement pas au mouvement de la tête, mais plutôt au mouvement des fluides de l'oreille interne.

Les organes otolithiques aident les poissons à entendre les sons à basse fréquence; même chez les primates, ces organes réagiront à la vibration de la tête (c.-à-d. le son transmis par les os) à des fréquences allant jusqu'à 500 Hz (Fernandez et Goldberg, 1976). Ces réactions vibratoires du système vestibulaire peuvent être perçues par les sons *aériens*, toutefois, uniquement lorsqu'ils sont à un niveau beaucoup plus élevé que les seuils normaux

d'audition² (et beaucoup plus élevés que les niveaux associés à l'exposition aux éoliennes). Ainsi, ils ne nous aident pas à entendre, mais semblent être des vestiges de notre évolution.

Le nerf vestibulaire envoie de l'information sur la position et sur le mouvement de la tête aux centres du cerveau, lesquels reçoivent aussi les données provenant des yeux et des mécanorécepteurs musculaires du cou, du tronc et des jambes (ces mécanorécepteurs musculaires disent quels muscles sont contractés et quelles articulations sont pliées et ils donnent la sensation « proprioceptive » de la position du corps et son orientation dans l'espace). Le cerveau combine les données vestibulaires, visuelles et proprioceptives pour donner une analyse complète de la position et du mouvement de la tête et du corps, ce qui est essentiel pour le sens de l'équilibre, pour éviter les chutes et pour garder les yeux fixés sur les cibles pertinentes, même pendant le mouvement.

La perception de la position du corps dans l'espace peut aussi se faire en partie par les récepteurs des organes abdominaux (qui peuvent se déplacer vers l'avant ou vers l'arrière lorsqu'on penche le corps) et par les récepteurs sensibles aux variations de pression des importants vaisseaux sanguins (le sang s'accumule dans les jambes en position debout, puis retourne au tronc en position couchée). Ces « gravicepteurs somatiques » (Mittelstaedt, 1996) pourraient être activés par le mouvement du corps entier et possiblement par la vibration transmise par une structure ou par le souffle d'une puissante explosion à proximité, mais, comme on le décrit à la section 4.3.2, il est peu probable que les organes abdominaux et intrathoraciques, ainsi que les vaisseaux sanguins, puissent détecter les sons aériens produits par les éoliennes.

Les traumatismes, les toxines et la dégénérescence liée à l'âge, ainsi que les diverses maladies de l'oreille, peuvent provoquer des troubles du labyrinthe vestibulaire. Un labyrinthe qui ne fonctionne pas adéquatement peut faire en sorte qu'une personne se sente instable, ou même tombe. Comme les canaux semi-circulaires de l'oreille détectent habituellement la rotation de la tête (comme secouer la tête pour dire « non »), l'une des conséquences d'un canal dysfonctionnel est qu'une personne peut avoir une sensation de « tournis ». Cette réaction est décrite comme étant le vertige, du mot latin *vertere*, qui signifie tourner. Dans une conversation normale, des mots comme vertige et étourdissement peuvent être utilisés de façon ambiguë et il faut donc faire une interprétation prudente d'une problématique de possibles allégations relatives à la santé. Le mot « étourdi », par exemple, peut signifier le vertige réel ou l'instabilité, lesquels peuvent tous deux être des symptômes d'une maladie de l'oreille interne. Une personne qui dit être « étourdie » peut réellement se sentir faible, avoir une sensation d'évanouissement, avoir une vision floue, être désorientée ou ressentir presque n'importe quelle autre sensation dans la tête qui est

² Young et coll. (1977) ont découvert que les neurones du labyrinthe vestibulaire des singes réagissaient à la vibration de la tête à des fréquences entre 200 et 400 Hz et à des niveaux aussi faibles que 70 à 80 dB en deçà de la force gravitationnelle. Toutefois, ces neurones ne pouvaient pas réagir aux sons aériens à ces mêmes fréquences tant que le niveau ne dépassait pas 76 dB de niveau de pression acoustique, ce qui est au moins 40 dB plus élevé que le seuil normal d'audition de l'humain pour cette bande de fréquences. Les mouvements de l'œil humain réagissent à une vibration de la tête de 100 Hz à des niveaux en deçà de 15 dB des seuils audibles (Todd et coll., 2008a). Cela ne signifie pas que le labyrinthe vestibulaire est plus sensible que la cochlée aux sons aériens, car la fonction d'adaptation d'impédance de l'oreille moyenne permet à la cochlée de réagir à des sons qui sont entre 50 et 60 dB moins intenses que ceux qui sont nécessaires pour provoquer une vibration de la tête détectable. En fait, ces mêmes auteurs (Todd et coll., 2008b) ont découvert que pour les sons aériens, les réactions de la cochlée pouvaient toujours être perçues par des sons qui étaient en deçà du seuil de réaction vestibulaire. De même, Welgampola et coll. (2003) ont découvert que les seuils de potentiels évoqués vestibulaires myogéniques (VEMP) étaient plus élevés que pour les seuils d'audition et ont déclaré : « la différence entre les seuils d'audition et les seuils VEMP est beaucoup plus grande pour les sons aériens que pour la vibration osseuse ». Autrement dit, la réaction vestibulaire résiduelle au son est relativement sensible à la conduction osseuse, ce qui implique la vibration de la tête complète, et beaucoup moins sensible à la conduction aérienne.

difficile à décrire. Le mot « étourdissement » peut signifier des sensations différentes pour chaque personne, dont les causes peuvent être multiples. L'interprétation adéquate des études de recherche où les étourdissements sont évalués peut ainsi devenir un véritable défi à relever.

Des tests de diagnostic adéquats d'évaluation des étourdissements peuvent diminuer les erreurs de classification des maladies. On peut, par exemple, examiner le labyrinthe vestibulaire afin de vérifier la stabilité posturale. L'information fournie par les canaux semi-circulaires est envoyée aux muscles des yeux afin de permettre de garder les yeux fixés sur une cible; lorsque la tête bouge, ce « mouvement des yeux de poupée » est facilement vérifié et peut être altéré lorsqu'il y a des troubles vestibulaires (Baloh et Honrubia, 1979).

3.3 Possibles effets nocifs de l'exposition au son

Les effets nocifs du son sont directement associés au niveau sonore; des sons de fréquence plus élevée présentent un plus grand risque d'effet nocif que ceux d'un niveau moindre (voir le tableau 3-2). L'interférence avec la parole, la perte d'audition et l'interférence avec une tâche se produisent à des niveaux sonores élevés. Les sons plus doux peuvent être inconfortants ou provoquer des troubles du sommeil chez certaines personnes. Aux distances de séparation normales, les éoliennes ne produisent pas du son à des niveaux qui causent une interférence avec la parole, mais certaines personnes peuvent trouver ces sons inconfortants.

3.3.1 Interférence avec la parole

Tout le monde sait qu'il peut être difficile d'avoir une conversation dans un restaurant bruyant; plus le bruit de fond est fort, plus nous devons parler fort et plus c'est difficile de communiquer. Lors des conversations décontractées à un niveau sonore moyen à une distance d'un mètre (longueur de bras), le niveau sonore se situe généralement entre 50 et 60 dBA. Les gens haussent le ton – légèrement et de façon inconsciente au début – lorsque le niveau ambiant dépasse entre 50 et 55 dBA, afin de garder le niveau de la conversation légèrement supérieur au niveau des bruits de fond. La communication à cette distance nécessite un effort supplémentaire conscient lorsque le niveau dépasse environ 75 dBA. À des niveaux ambiants supérieurs à 80 à 85 dBA, les gens doivent crier ou se rapprocher pour converser (Pearsons et coll., 1977; Webster, 1978). Les niveaux inférieurs à 45 dBA peuvent être considérés comme non pertinents en ce qui a trait à l'interférence avec la parole.

3.3.2 Perte d'audition due au bruit

Des sons très brefs et intenses (supérieurs à 130 dBA, comme lors d'une explosion) peuvent causer des dommages cochléaires instantanés et une perte d'audition permanente, mais la plupart des pertes d'audition dues au bruit en milieu de travail découlent d'une exposition prolongée à des niveaux de bruit élevés, soit entre 90 et 105 dBA (McCunney et Meyer 2007). Les autorités de réglementation (OSHA, 1983) et consultatives (NIOSH, 1998) des É.-U. s'entendent sur le fait qu'il y a risque de perte d'audition due au bruit à partir d'environ 85 dBA pour une exposition pendant des journées de 8 heures sur une carrière de 40 ans. Les niveaux inférieurs à 75 dBA ne posent pas de risque de perte d'audition due au bruit. Ainsi, les niveaux sonores associés au fonctionnement des éoliennes ne provoqueraient pas de perte d'audition due au bruit, car ils ne sont pas suffisamment élevés.

3.3.3 Interférence avec une tâche

Suter (1991) a analysé les effets du bruit sur le rendement et le comportement. Des tâches simples ne seront probablement pas perturbées à des niveaux bien supérieurs à 100 dBA, tandis que des tâches plus complexes peuvent être perturbées par du bruit intermittent aussi bas que 75 dBA. Le son d'une conversation est habituellement plus dérangeant que les autres sons. Des niveaux inférieurs à 70 dBA ne causent pas d'interférence avec une tâche.

3.3.4 Nuisance

La nuisance en tant qu'« effet » possible du fonctionnement des éoliennes est discutée en détail à d'autres sections, plus loin dans ce rapport (sections 3.4 et 4.1). En résumé, la nuisance est une réaction subjective qui varie chez les gens pour plusieurs types de sons. Il est important de prendre note que même si la nuisance peut être une expérience frustrante pour bien des gens, ce n'est pas considéré comme un effet nocif sur la santé ou une maladie de quelque type que ce soit. Certains sons quotidiens, comme un robinet qui fuit – à peine audible – peuvent être incommodants. Il est difficile de prévoir la nuisance à l'aide d'un sonomètre. Le bruit des aéroports, de la circulation routière et d'autres sources (dont les éoliennes) peut déranger certaines personnes et, comme on le décrit à la section 4.1, plus le bruit est fort, plus les gens peuvent devenir incommodés.

3.3.5 Perturbation du sommeil

Un document de l'Environmental Protection Agency (EPA) des É.-U. intitulé *Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety* (1974) recommande que le niveau jour-nuit (DNL) ne dépasse pas 45 dBA. Ce niveau est une moyenne sur 24 heures qui ajoute 10 dB de plus aux sons qui se produisent entre 22 h et 7 h; on suppose que, pendant ces heures de sommeil, les niveaux supérieurs à 35 dBA à l'intérieur peuvent être incommodants.

3.3.6 Autres effets nocifs du son sur la santé

À des niveaux sonores extrêmement élevés, comme ceux qui sont associés aux explosions, la pression acoustique résultante peut blesser tout organe contenant de l'air, non seulement l'oreille moyenne (les perforations du tympan sont courantes), mais aussi les poumons et les intestins (Sasser et coll., 2006). À l'autre extrême, tout son qui est incommodant de façon chronique, incluant les sons très doux, peut, chez certaines personnes, provoquer un stress chronique, ce qui peut entraîner d'autres problèmes de santé. Cependant, beaucoup de personnes s'habituent à l'exposition régulière au bruit ou à d'autres possibles facteurs de stress et cela ne les dérange plus. L'hypothèse selon laquelle l'exposition chronique au bruit pourrait entraîner des problèmes de santé chroniques, comme de l'hypertension et une maladie du cœur, a fait l'objet de centaines d'études contradictoires dont la qualité varie grandement et qui ne seront pas examinées dans ce document-ci. D'autres auteurs ont examiné cette documentation et certaines de leurs conclusions sont citées ci-dessous :

« Il semble peu probable que le bruit dans l'industrie soit une cause directe de problèmes de santé généraux..., sauf que le bruit peut créer des conditions de stress psychologique... ce qui peut entraîner des réactions de stress physiologique... » (Kryter, 1980) [traduction]

« Les preuves épidémiologiques sur l'exposition au bruit, la tension artérielle et la cardiopathie ischémique sont encore limitées. » (Babisch, 2004) et « contradictoires » (Babisch, 1998), mais « il y a certaines preuves... de risque accru chez les individus qui vivent dans un environnement bruyant avec des niveaux de bruit extérieur supérieurs à 65 - 70 dBA. » (Babisch, 2000) [traduction]

« L'état actuel des connaissances ne permet pas de tirer de conclusions claires sur le risque d'hypertension. » (van Dijk, Ettema, et Zielhuis, 1987) [traduction]

« Pour l'instant, le lien entre la perte d'audition due au bruit et l'hypertension doit être considéré comme étant possible, mais il manque de preuves pour établir des liens de cause à effet. » (McCunney et Meyer, 2007) [traduction]

3.3.7 Possibles effets sur la santé de l'exposition aux vibrations

Les gens peuvent sentir les vibrations lorsqu'une partie du corps est en contact direct avec un objet en vibration. On peut imaginer la sensation d'avoir entre les mains une scie à chaîne ou un marteau perforateur pneumatique. Ou encore, imaginons que nous sommes assis dans un autobus, un camion ou de l'équipement lourd comme un boueur (*bulldozer*). L'usage chronique d'outils à vibrations peut causer la maladie des vibrations, soit une condition d'insuffisance vasculaire caractérisée par l'engourdissement et le picotement des doigts, l'intolérance au froid, la syncope locale des doigts et, éventuellement, la perte des doigts en raison d'une insuffisance vasculaire. L'OSHA ne fixe pas de limites pour l'exposition aux vibrations, mais l'American National Standards Institute (ANSI) (2006) recommande de ne pas dépasser des valeurs d'accélération de 2,5 m/s² d'exposition des mains aux vibrations (5 à 1 400 Hz, pour trois axes de mouvement orthogonaux) pendant des journées de travail de 8 heures.

Une vibration excessive du corps entier est clairement associée à des lombalgies (Wilder, Wasserman et Wasserman, 2002) et peut contribuer aux troubles gastro-intestinaux et urinaires, bien que ces associations ne soient pas clairement établies. L'ANSI (1979) recommande de ne pas dépasser 8 heures pour les vibrations du corps entier de 0,3 m/s², pour la bande de fréquence la plus sensible du corps de 4 à 8 Hz. Ceci est environ 30 fois plus intense que la vibration la plus faible que la population peut détecter (0,01 m/s²).

Les sons aériens peuvent provoquer une vibration du corps détectable, mais cela se produit uniquement à des niveaux très élevés – habituellement à des niveaux de pression acoustique supérieurs à 100 dB (non pondérés) (Smith, 2002; Takahashi et coll., 2005; Yamada et coll., 1983). Il n'y a pas de preuves scientifiques qui donnent à penser que les éoliennes modernes provoquent une vibration perceptible dans les maisons ou qu'il y a des risques connexes pour la santé.

3.4 Examen par les pairs de la documentation sur les éoliennes, sur les sons à basse fréquence et sur les infrasons

Dans cette section, il est question de l'examen scientifique de la documentation dans laquelle on évaluait les éoliennes, l'effet de la nuisance, les sons à basse fréquence et les infrasons.

3.4.1 Évaluation de la nuisance et relation dose-réponse du son des éoliennes

À ce jour, trois études réalisées en Europe ont tout particulièrement porté sur les effets possibles sur la santé des éoliennes pour les personnes qui habitent à proximité (Pedersen et Persson Waye, 2004; Pedersen et Persson Waye, 2007; Pedersen et coll., 2009). Ces études ont principalement été réalisées en Suède et aux Pays-Bas. Généralement, on sélectionne un groupe de personnes admissibles en vue d'une éventuelle participation à l'étude selon leur emplacement par rapport à une éolienne. Il n'y a pas eu de groupes témoins pour aucun de ces rapports.

Dans un article publié en août 2009, des chercheurs ont donné les résultats de leur étude auprès de 725 personnes des Pays-Bas qui habitaient à proximité d'éoliennes (Pedersen et coll., 2009). La population potentielle pour cette étude était d'environ 70 000 personnes qui habitaient à moins de 2,5 kilomètres d'une éolienne sur des sites sélectionnés aux Pays-Bas. Le but de l'étude était (1) d'évaluer le lien entre le niveau sonore des éoliennes aux habitations et la probabilité de nuisance par le bruit, en tenant compte de possibles facteurs d'atténuation et (2) d'explorer la possibilité de généraliser une relation dose-réponse pour le bruit des éoliennes, et ce, en comparant les résultats de l'étude avec des études réalisées auparavant en Suède.

L'impact du bruit a été quantifié selon la relation entre le niveau sonore (dose) et la réponse à celui-ci, mesuré selon la proportion de gens incommodés ou grandement incommodés par le son. Avant cette étude, on avait modélisé des courbes dose-réaction pour les éoliennes. Lors des études précédentes, on avait obtenu des relations de niveaux variés entre le niveau sonore des éoliennes et la nuisance (Wolsink et coll., 1993; Pedersen et Persson Waye, 2004; Pedersen et Persson Waye, 2007).

Un sondage a permis d'obtenir des réactions subjectives. Le calcul du niveau sonore (dose) en Suède et aux Pays-Bas donnait des résultats semblables. On a constaté une relation dose-réaction entre les niveaux de pression acoustique pondérée A calculés et la nuisance. Le son des éoliennes s'est révélé plus incommodant que plusieurs autres sources environnementales d'un niveau sonore comparable. On a aussi constaté une forte corrélation entre la nuisance du bruit et l'opinion négative de l'impact des éoliennes sur le paysage, soit une conclusion qui avait aussi été obtenue lors d'études précédentes. La caractéristique dominante du son était un bruissement, soit la caractéristique qui avait précédemment été considérée comme le type le plus incommodant.

Les auteurs ont conclu que cette étude pourrait servir à établir la courbe dose-réaction pour le son des éoliennes et leur nuisance. Les résultats de l'étude donnent à penser que le son des éoliennes est facilement perçu et est, par rapport au son d'autres sources, est incommodant pour un petit pourcentage de personnes (5 pour cent, à un niveau entre 35 et 40 dBA).

Dans cette étude, la proportion de personnes qui ont indiqué être incommodées par le bruit des éoliennes était semblable à celle des données combinées de deux études suédoises antérieures (Pederson et Persson Waye, 2004; Pedersen et Persson Waye, 2007). Environ 5 pour cent des répondants étaient incommodés par un niveau de bruit entre 35 et 40 dBA et 18 pour cent par un niveau entre 40 et 45 dBA.

Pedersen et coll. ont aussi indiqué des doses-réactions importantes entre le son des éoliennes et la nuisance indiquée par les intéressés (Pedersen et Persson Waye, 2004). Des

personnes hautement exposées ont plus réagi (78 pour cent) que des personnes à faible exposition (60 pour cent), ce qui donne à penser que le parti pris pourrait avoir joué un rôle dans les résultats finaux.

On a fait une analyse (Pedersen, 2008) de deux études socio-acoustiques transversales — une qui portait sur des paysages plats dans un milieu principalement rural (Pedersen et Persson Waye, 2004) et une autre qui portait sur des topographies diversifiées (mixtes ou plates) et sur divers niveaux d'urbanisation (milieu rural ou banlieue) (Pedersen et Persson Waye, 2007). Environ 10 pour cent des plus de 1 000 personnes qui ont répondu à un questionnaire ont indiqué être incommodées à des niveaux sonores de 40 dB et plus. L'attitude à l'égard de l'impact visuel des éoliennes avait le même effet sur la nuisance. La réaction au bruit des éoliennes était considérablement liée à l'exposition exprimée selon des niveaux de pression acoustique en dB pondérée A. Parmi ceux qui pouvaient entendre le son des éoliennes, la nuisance du bruit de l'éolienne était fortement associée aux caractéristiques du son : bruissement, sifflement, résonnance et pulsation/battement (Pedersen, 2008).

Une étude semblable a été réalisée en Suède auprès de 754 personnes habitant près de l'un des sept sites où la puissance des éoliennes est supérieure à 500 kilowatts (kW) (Pedersen et Persson Waye, 2007). On a établi une relation entre la nuisance et le niveau sonore, de même qu'avec l'attitude négative à l'égard de l'impact visuel des éoliennes. Prendre note qu'aucune de ces études ne comprenait de groupe témoin. Des études sur le site effectuées auparavant parmi les personnes habitant à proximité d'éoliennes ont indiqué une corrélation entre le niveau de pression acoustique et la nuisance du bruit; toutefois, la nuisance était aussi influencée par les facteurs visuels et l'attitude à l'égard de l'impact des éoliennes sur le paysage. La nuisance par le bruit a été indiquée à des niveaux de pression acoustique inférieurs à la nuisance causée par le bruit de la circulation. Même si certaines personnes peuvent être perturbées par la nuisance, il n'y a aucune preuve scientifique que le bruit au niveau auquel il est produit par les éoliennes peut provoquer des problèmes de santé (Pedersen et Högskolan, 2003).

3.4.2 Nuisance

Un sentiment qu'on qualifie de « nuisance » peut être associé à des facteurs acoustiques comme le bruit d'une éolienne. Il y a, toutefois, des variations considérables quant à la façon dont les personnes peuvent en venir à être « incommodées » par des facteurs environnementaux comme la construction routière ou le bruit des avions, entre autres (Leventhall, 2004). Une nuisance est sans contredit un sentiment subjectif qui varie selon les personnes et selon les circonstances. Dans les cas extrêmes, il peut y avoir perturbation du sommeil. La vitesse du vent à la hauteur du moyeu d'une éolienne, la nuit, peut être jusqu'à deux fois plus grande que le jour et peut devenir une nuisance en raison du son modulé en amplitude de l'éolienne (van den Berg, 2003). Cependant, lors d'une étude réalisée à 16 sites dans 3 pays européens, on a établi une faible corrélation entre le niveau de pression acoustique et la nuisance causée par le bruit des éoliennes (Pedersen et Högskolan, 2003).

Dans une comparaison détaillée du rôle de la sensibilité au bruit en réaction au bruit environnemental près des aéroports internationaux de Sydney, de Londres et d'Amsterdam, il a été démontré que la sensibilité au bruit augmente selon la perception qu'on a de la nuisance, peu importe le niveau d'exposition au bruit (van Kamp et coll., 2004).

Dans une étude suédoise, 84 des 1 095 personnes habitant à proximité d'une éolienne dans 12 régions géographiques ont indiqué être passablement ou très incommodées par les éoliennes (Pedersen, 2008). Il est important de prendre note qu'il n'y a eu aucune différence signalée chez les personnes qui étaient « incommodées » par rapport à celles qui ne l'étaient pas relativement à une déficience auditive, à du diabète ou à une maladie cardiovasculaire. Une étude antérieure réalisée en Suède indiquait que la proportion de gens « incommodés » par le son des éoliennes est plus élevée que pour les autres sources de bruit environnemental pour le même niveau de décibels (Pedersen et Persson Waye, 2004).

3.4.3 Sons à basse fréquence et infrasons

Aucune étude scientifique n'a évalué en particulier les effets sur la santé découlant de l'exposition aux sons à basse fréquence produits par les éoliennes. Parmi les sources naturelles de sons à basse fréquence, il y a le vent, les rivières et les chutes, que ce soit à des fréquences audibles ou non. D'autres sources comprennent la circulation routière, les avions et la machinerie industrielle. La source la plus courante d'infrasons est les véhicules (National Toxicology Program, 2001).

Les infrasons à une fréquence de 20 Hz (la limite supérieure des infrasons) ne peuvent être détectés à des niveaux inférieurs à 79 dB (Leventhall et coll., 2003). Les infrasons de 145 dB à 20 Hz et de 165 dB à 2 Hz peuvent stimuler le système auditif et causer une forte douleur (Leventhall, 2006). Ces niveaux de bruit sont considérablement plus élevés que n'importe quel bruit que peuvent produire les éoliennes. La Food and Drug Administration (FDA) des É.-U. a approuvé l'utilisation des infrasons pour les massages thérapeutiques à un niveau de 70 dB dans la plage de 8 à 14 Hz (National Toxicology Program, 2001). Étant donné l'approbation de la FDA pour ce type d'utilisation thérapeutique des infrasons, il est raisonnable de conclure que l'exposition aux infrasons dans la bande de 70 dB est sans danger. Selon un rapport du Conseil national de recherches du Canada (CNRC), les sons à basse fréquence sont une source de préoccupation pour les éoliennes plus anciennes, mais pas pour les modèles modernes (Conseil national de recherches du Canada, 2007).

Résultats

Dans cette section, on discute des résultats de l'analyse présentée à la section 3. Les effets possibles des infrasons, des sons à basse fréquence et du « bruissement » aérodynamique fluctuant des pales des éoliennes ont été étudiés. Il est question des hypothèses proposées sur le son des éoliennes et sur les effets physiologiques sous forme de maladie des effets vibratoires du son, du « syndrome des éoliennes » et des perturbations vestibulaires vibratoires.

4.1 Infrasons, sons à basse fréquence et nuisance

Le niveau sonore des éoliennes ne pose pas de risques de surdité ou d'autres effets non auditifs. En fait, une récente étude a conclu qu'« il n'y a pas de dommages auditifs dus au bruit au travail à des niveaux en deçà de 85 dBA » (Ising et Kruppa, 2004). Le niveau sonore associé au fonctionnement des éoliennes est considérablement moins élevé que les niveaux sonores dans l'industrie qui sont associés à la perte d'audition due au bruit.

Toutefois, certaines personnes attribuent certains problèmes de santé à l'exposition aux éoliennes. Afin de donner un sens à ces affirmations, il faut tenir compte non seulement du son, mais aussi des facteurs complexes qui peuvent mener à la perception de « nuisance ». La plupart des plaintes en matière de santé entourant les éoliennes ont surtout porté sur le son qui en est la cause. Il y a deux types de sons émis par les éoliennes : les sons mécaniques qui sont produits par la boîte de vitesses et des mécanismes de commande, ainsi que le son aérodynamique plus dominant, lequel est présent à toutes les fréquences, de la plage des infrasons jusqu'à la plage normale de sons audibles, en passant par les sons à basse fréquence.

Les infrasons d'origine naturelle (par exemple, les vagues de l'océan et le vent) sont présents partout autour de nous et sont en deçà du seuil audible. Les infrasons émis par les éoliennes se situent à un niveau entre 50 et 70 dB, parfois plus, mais bien en deçà du seuil audible. Il y a un consensus parmi les spécialistes de l'acoustique selon lequel les infrasons des éoliennes n'ont aucun effet nocif sur la santé. Un problème en particulier avec plusieurs de ces affirmations sur les infrasons est que le terme lui-même est souvent mal utilisé, les sons préoccupants étant en fait des sons de basse fréquence, non pas des infrasons.

Dans de nombreuses conditions, les sons à basse fréquence en deçà d'environ 40 Hz ne peuvent être distingués du bruit d'arrière-plan produit par le vent lui-même. Les sons à basse fréquence perceptibles (soit ceux qui sont supérieurs au bruit d'arrière-plan et supérieurs au seuil d'audition) peuvent être produits par les éoliennes dans des conditions de vent inhabituellement turbulent, mais le niveau sonore réel dépend de la distance du sujet par rapport à l'éolienne, car le son est atténué (diminue) à mesure que la distance augmente. Plus la fréquence est élevée, plus le son sera atténué lorsque la distance augmentera – l'annexe D donne plus de renseignements sur la propagation du son. Les sons à basse fréquence émis par les éoliennes en fonctionnement pourraient être inconfortables pour certaines personnes lorsque le vent est inhabituellement turbulent, mais il n'y a aucune

preuve que ce niveau sonore peut être nocif pour la santé. Si c'était le cas, la vie en ville serait intolérable en raison des niveaux sonores ambiants semblables qu'on retrouve habituellement en milieu urbain. Il y a néanmoins un petit nombre de personnes qui considèrent que le niveau sonore des villes est stressant.

Ce n'est pas habituellement l'élément du son non fluctuant à basse fréquence, toutefois, qui donne lieu aux plaintes sur le son des éoliennes. Le son aérodynamique fluctuant (bruissement) de la bande entre 500 et 1 000 Hz est produit lorsque les pales des éoliennes font bouger l'air; il est modulé par la rotation des pales, ce qui modifie les caractéristiques de dispersion du son de façon audible. Ce son aérodynamique fluctuant est responsable de la plupart des plaintes formulées sur les éoliennes, car il est plus difficile de s'habituer à un son qui fluctue qu'à un son constant. Toutefois, cette fluctuation ne se produit pas dans tous les cas et une étude du R.-U. a indiqué que cela n'avait constitué un problème que pour quatre des 130 parcs éoliens du R.-U. et qu'il avait été résolu pour trois de ces quatre cas (Moorhouse et coll., 2007).

4.1.1 Infrasons et sons à basse fréquence

Les infrasons sont produits à des fréquences inférieures à 20 Hz. À des niveaux bas et inaudibles, certains ont laissé entendre que les infrasons sont une cause du « syndrome des éoliennes » et de la maladie des effets vibratoires du son (VAD) – consulter la section 4.2.1 pour avoir de plus amples renseignements sur la VAD. Pour pouvoir entendre les infrasons, il faut que le niveau sonore soit élevé (voir le tableau 3-2 de la section 3). Il y a peu de risques d'exposition aiguë à court terme à des niveaux élevés d'infrasons. Dans les expériences liées au programme spatial Apollo, des sujets ont été exposés à des niveaux entre 120 et 140 dB sans qu'il y ait d'effets nocifs sur la santé. Un niveau élevé d'infrasons est moins dommageable que le même niveau sonore dans la plage normale de fréquences audibles.

Les niveaux élevés de sons à basse fréquence peuvent provoquer une vibration corporelle (Leventhall, 2003). On a dès le début porté une attention aux sons de basse fréquence pour le programme spatial des É.-U. et les études ont donné à penser que l'exposition à 120 à 130 dB pendant 24 heures est tolérable en deçà de 20 Hz, soit la limite supérieure des infrasons. Les éoliennes modernes produisent du son qui est évalué comme étant des infrasons à des niveaux types de 50 à 70 dB, soit en deçà du seuil d'audition à ces fréquences (Jakobsen, 2004). Jakobsen a conclu que les infrasons des éoliennes ne présentent pas de risques pour la santé. Les fluctuations de son des éoliennes, tout particulièrement les sons de bruissement, se situent dans la bande de fréquences de 500 à 1 000 Hz, ce qui n'est ni des sons à basse fréquence ni des infrasons. Le son prédominant des éoliennes, toutefois, est souvent faussement qualifié d'infrason et de son à basse fréquence. Le niveau des infrasons près des éoliennes d'échelle moderne n'est généralement pas perceptible par la population. Dans le corps humain, le battement du cœur est entre 1 et 2 Hz. Les sons de battement de cœur de fréquence plus élevée mesurés à l'extérieur du corps sont dans la bande des basses fréquences (27 à 35 dB à 20 à 40 Hz), bien que la fréquence la plus importante soit celle du battement de cœur (Sakai, Feigen et Luisada, 1971). Le son des poumons, mesuré à l'extérieur du corps, est dans la bande de 5 à 35 dB à 150 à 600 Hz (Fiz et coll., 2008). Schust (2004) a fait un examen approfondi des effets des sons à basse fréquence de niveau élevé, jusqu'à 100 Hz.

4.1.2 Nuisance

La nuisance est un thème vaste sur lequel de nombreux volumes ont été écrits. La nuisance peut être causée par des sons d'amplitude constante ou d'amplitude modulée contenant un ronronnement (Bradley, 1994).

Lorsque le niveau sonore augmente, un nombre croissant de ceux qui l'entendent peuvent devenir perturbés, jusqu'à ce qu'en fin de compte presque tout le monde soit touché, bien qu'à des niveaux différents. Il s'agit d'un processus clair et facile à comprendre. Cependant, ce qui n'est pas aussi facilement compris, c'est que lorsque le niveau sonore diminue, de sorte que cela incommode très peu de personnes, il reste encore un petit nombre de personnes pour lesquelles cela peut nuire. Ceci se produit à toutes les fréquences, bien qu'il semble y avoir une variabilité plus subjective aux fréquences moins élevées. On a récemment examiné l'effet du son à basse fréquence causant une nuisance (Leventhall, 2004). L'écart type du seuil d'audition est d'environ 6 dB aux basses fréquences (Kurakata et Mizunami, 2008), de sorte qu'environ 2,5 pour cent de la population a une ouïe plus sensible de 12 dB que la personne moyenne. Toutefois, la sensibilité auditive à elle seule ne semble pas être le facteur déterminant en ce qui concerne la nuisance. Par exemple, le même type de son peut entraîner des réactions différentes parmi la population : une personne pourrait dire « Oui, je peux entendre le son, mais cela ne me dérange pas », tandis qu'une autre peut dire « Ce son est intolérable, il gâche ma vie ». Il n'y a aucune preuve relativement aux effets nocifs des faibles niveaux acoustiques des éoliennes qu'entendent les personnes dans leur maison. Les études ont démontré que l'attitude des personnes à l'égard des éoliennes peut avoir des incidences sur l'importance de la nuisance qu'elles indiquent (Pedersen et coll., 2009).

Certains auteurs soulignent les effets psychologiques du son (Kalveram, 2000; Kalveram et coll., 1999). Lors d'une évaluation de 25 personnes exposées à cinq différents sons d'éoliennes à 40 dB, la notation de « nuisance » a été différente pour les divers types de bruit d'éoliennes (Persson Waye et Öhrström, 2002).

Aucun des paramètres psychologiques du bruit ne pouvait expliquer la différence de réaction relativement à la nuisance. Une autre étude menée auprès de plus de 2 000 personnes a donné à penser que les traits de personnalité ont un rôle à jouer pour la perception de la nuisance à l'égard de questions environnementales comme le son (Persson et coll., 2007). La nuisance découle des signaux acoustiques qui sont incompatibles avec, ou qui dérangent, les fonctions psychologiques, en particulier la perturbation des activités courantes. Kalveram et coll. (1999) suggèrent que le principal rôle de la nuisance ressentie par le bruit est d'avertir le corps d'une perturbation pour la santé physique, mais sans que cela cause d'effets physiologiques, ou à peine. La nuisance prolongée, toutefois, peut nuire à la réponse face au stress et mener à des effets dus au stress. Il semble que ce soit le principal mécanisme des effets sur la santé que ressentent un petit nombre d'individus par suite de l'exposition prolongée à de faibles niveaux de bruit.

Le principal effet sur la santé de l'agression sonore est la perturbation du sommeil, ce qui peut entraîner d'autres conséquences. Les travaux sur les basses fréquences ont indiqué qu'un son audible de basse fréquence ne devient normalement pas inadmissible tant qu'il n'atteint pas un niveau de 10 à 15 dB supérieur au seuil d'audition (Inukai et coll., 2000; Yamada, 1980). Il y a une exception : lorsqu'un auditeur a développé une intolérance à la source de bruit, la nuisance est ressentie à un niveau moindre.

Il n'y a aucune preuve selon laquelle le son des éoliennes, aux niveaux auxquels il est entendu dans les maisons, peut provoquer des effets physiologiques directs. Un petit nombre de personnes sensibles, toutefois, peuvent être agressées par le son et avoir des troubles du sommeil.

4.1.3 Autres aspects de la nuisance

Certaines personnes ont conclu qu'elles avaient des problèmes de santé causés directement par les éoliennes. Afin de donner du sens à ces plaintes, il faut prendre en compte non seulement le son, mais aussi les facteurs complexes qui culminent en une nuisance.

Il y a beaucoup de documentation médicale sur le stress et la psychoacoustique. Trois facteurs peuvent être pertinents pour traiter brièvement des effets de la nuisance des éoliennes : l'effet nocébo, le dysfonctionnement d'intégration sensorielle et les troubles somatoformes.

4.1.4 Effect nocébo

L'effet nocébo est une issue défavorable, une aggravation de la santé mentale ou physique, qui repose sur la crainte ou la croyance en des effets nocifs. C'est le contraire de l'effet placebo qu'on connaît bien, selon lequel la croyance envers les effets positifs d'une intervention peut entraîner des résultats positifs (Spiegel, 1997). Plusieurs facteurs semblent être associés au phénomène de l'effet nocébo : les attentes d'effets nocifs, le conditionnement suivant des expériences antérieures, certaines caractéristiques psychologiques comme l'anxiété, la dépression et la tendance à somatiser (exprimer des facteurs psychologiques par des symptômes physiques; voir ci-dessous), ainsi que des facteurs situationnels et contextuels. Parmi le large éventail de réactions, il y a l'hypervagotonie, qui se manifeste par un rythme cardiaque idioventriculaire (un rythme cardiaque lent entre 20 et 50 battements à la minute dû à un centre d'automatisme intrinsèque à l'intérieur des ventricules qui prend le contrôle lorsque cesse la régulation par le nœud sinusal de Keith et Flack), de la somnolence, des nausées, de la fatigue, de l'insomnie, des maux de tête, de la faiblesse, des étourdissements, des troubles gastro-intestinaux (GI) et de la difficulté à se concentrer (Sadock et Sadock, 2005, p.2425). Cet ensemble de symptômes ressemble au prétendu « syndrome des éoliennes » formulé par Pierpont (2009, ébauche préalable à la publication). Il s'agit pourtant là de symptômes bien courants dans la population en général et aucune preuve n'a été fournie selon laquelle ces symptômes sont plus fréquents chez les personnes qui habitent près d'éoliennes. Néanmoins, l'importante couverture médiatique accordée aux prétendus effets nocifs des éoliennes sur la santé donne évidemment lieu à des craintes anticipées chez certaines personnes selon lesquelles elles subiront des effets nocifs dus aux éoliennes. Toute personne est influençable jusqu'à un certain point. Le stress en découlant, les craintes et l'hypervigilance peuvent empirer ou même créer des problèmes qui n'existeraient pas autrement. Ainsi, les activistes qui sont opposés aux éoliennes peuvent être en train de créer avec leur publicité certains des problèmes qu'ils décrivent.

4.1.5 Troubles somatoformes

Il y a sept troubles somatoformes dans la quatrième édition du *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders* (DSM-IV-TR) (American Psychiatric Association, 2000). Les troubles somatoformes sont des symptômes physiques qui sont le reflet d'états psychologiques plutôt que de découler de causes physiques. Un trouble somatoforme

courant, le trouble de conversion, est l'expression inconsciente du stress et de l'anxiété par un ou plusieurs symptômes physiques (Escobar et Canino, 1989). Les symptômes courants de conversion sont des sensations de picotement ou d'inconfort, de la fatigue, une douleur abdominale mal localisée, des maux de tête, de la douleur dans le dos ou le cou, de la faiblesse, une perte d'équilibre, des anomalies d'audition et de vision. Les symptômes ne sont pas feints et doivent être présents pendant au moins six mois selon le DSM-IV-TR et pendant deux ans selon le Manuel de la classification statistique internationale des maladies, traumatismes et causes de décès (ICD-10) (OMS, 1993). L'ICD-10 précise que les symptômes font partie de quatre groupes : (1) gastro-intestinaux (douleur abdominale, nausées, ballonnements/gaz/, mauvais goût dans la bouche/langue chargée, vomissements/régurgitation, défécations fréquentes/molles); (2) cardiovasculaires (essoufflement en l'absence d'effort, douleurs thoraciques); (3) génito-urinaires (pollakiurie ou dysurie, sensations génitales désagréables, pertes vaginales) et (4) cutanés et douloureux (taches cutanées ou décoloration de la peau, douleur aux membres, aux extrémités ou aux articulations, paresthésie). L'ICD-10 précise qu'au moins six symptômes doivent être présents par groupes de deux ou plus.

Une caractéristique des troubles somatoformes est l'*amplification somatosensorielle*, soit un processus au cours duquel une personne apprend à ressentir les sensations corporelles de façon plus aiguë et peut mal interpréter la signification de ces sensations en les faisant correspondre à une maladie (Barsky, 1979). Le *dysfonctionnement d'intégration sensorielle* décrit la sensibilité anormale à un ou à tous les stimuli sensoriels (son, toucher, lumière, odeur et goût). Il y a de la controverse parmi les chercheurs et les cliniciens à savoir si le problème d'intégration sensorielle existe comme entité indépendante ou comme composant d'un trouble envahissant du développement (Sadock et Sadock, 2005, p. 3135), mais leur présence peut mener à une surestimation du risque de maladie (Sadock et Sadock, 2005, p. 1803). Le dysfonctionnement d'intégration sensorielle n'est pas inscrit dans le DSM-IV-TR ou dans l'ICD-10.

Les facteurs quotidiens de stress et les situations difficiles de la vie fournissent de nombreux stimuli auxquels les personnes réagissent et cette réaction est souvent somatique en raison des catécholamines et de l'activation du système nerveux autonome. Cette réaction au stress peut devenir conditionnée par la mémoire. Il y a certaines preuves selon lesquelles les mauvais mécanismes d'adaptation (colère, impulsivité, hostilité, isolement, manque de confiance en autrui) sont liés à la réactivité physiologique, laquelle est associée à une sensation somatique et à l'amplification (Sadock et Sadock, 2005, p. 1806).

En résumé, il y a des similitudes frappantes entre les réactions humaines courantes au stress et les symptômes de conversion et les symptômes qui sont décrits comme étant ceux du « syndrome des éoliennes ». Il ne fait aucun doute qu'il y a un facteur de nuisance au son des éoliennes, dont la variabilité est considérable d'une personne à l'autre. Le stress a de nombreuses causes et est cumulatif. Le stress associé à la nuisance, amplifié par la rhétorique, les craintes et la publicité négative engendrée par la controverse négative sur les éoliennes, peut contribuer aux symptômes recensés qui ont été décrits par certaines personnes habitant près d'éoliennes en région rurale.

4.2 Infrasons, sons à basse fréquence et maladies

Certains rapports ont donné à penser qu'il y a un lien entre les sons à basse fréquence des éoliennes et certains effets nocifs sur la santé. Un examen minutieux de ces rapports amène toutefois un lecteur critique à se poser des questions sur la validité des suppositions pour de nombreuses raisons, dont, principalement (1) le niveau d'exposition sonore associé aux effets présumés sur la santé, (2) le manque de spécificité diagnostique associée aux effets sur la santé indiqués et (3) l'absence de groupe témoin pour l'analyse.

4.2.1 Maladie des effets vibratoires du son

La maladie des effets vibratoires du son (VAD) dans le contexte de l'exposition au son des techniciens de moteur d'avion a été définie par des chercheurs portugais comme étant un phénomène touchant le corps complet et plusieurs fonctions qui est provoquée par l'exposition chronique aux sons à basse fréquence de grande amplitude (LPALF) (Alves-Pereira et Castelo Branco, 2007a; Alves-Pereira et Castelo Branco, 2007b; Alves-Pereira et Castelo Branco, 2007c; Alves-Pereira et Castelo Branco, 2007d). La VAD, dont la principale caractéristique est l'épaississement des éléments cardiovasculaires, comme le muscle cardiaque et les vaisseaux sanguins, a d'abord été constatée chez les techniciens d'aviation, les pilotes militaires et les disc-jockeys (Maschke, 2004; Castelo Branco, 1999). Les travailleurs avaient été exposés à des niveaux élevés pendant plus de dix ans. Il n'y a pas d'études épidémiologiques ayant évalué le risque de VAD découlant de l'exposition aux infrasons. La probabilité d'un tel risque, toutefois, est minime en raison des niveaux de vibration considérablement moindres dans le corps lui-même. Les études auprès de travailleurs dont le niveau d'exposition est considérablement plus élevé n'ont pas indiqué de risque de VAD. La VAD a été décrite comme allant d'infections respiratoires initiales, par l'épaississement du sac péricardique, jusqu'à des maladies graves et mettant la vie en danger, comme un AVC, un infarctus du myocarde et le risque de tumeur maligne (Alves-Pereira et Castelo Branco, 2007a).

4.2.2 Exposition aux fréquences élevées

Pour tous les sujets pour lesquels le concept de VAD a été mis de l'avant, l'exposition était principalement à des sons de fréquence plus élevée, ce qui est un point essentiel, car la bande de fréquences indiquée pour le son provoquant une VAD est beaucoup plus étendue que la bande de fréquences à laquelle ont été exposés les techniciens d'aviation pour lesquels on a diagnostiqué une VAD (Castelo Branco, 1999). Initialement, les partisans du concept de VAD avaient proposé le critère « supérieur à 90 dB » pour la VAD. Toutefois, certains prétendent maintenant qu'une VAD découlera de l'exposition à presque n'importe quel niveau d'infrasons et de sons à basse fréquence à n'importe quelle fréquence inférieure à 500 Hz. Cette affirmation est une extrapolation extraordinaire, étant donné que le concept de VAD a été élaboré à partir d'observations d'un technicien, travaillant à proximité d'un avion militaire au sol, avec les moteurs qui fonctionnent, qui présentait une perte de sens de l'orientation (Castelo Branco, 1999). Le niveau sonore près de l'avion était très élevé. Lors d'une évaluation du spectre d'un moteur type d'avion de combat embarqué fonctionnant au sol, le spectre a atteint des fréquences supérieures à 100 Hz avec des niveaux acoustiques entre 120 et 135 dB près de l'aéronef (Smith, 2002). Les niveaux diminuaient considérablement, toutefois, dans la plage des basses fréquences.

Il y a une énorme différence de décibels entre l'exposition au son des techniciens d'aviation et l'exposition au son des personnes qui habitent près d'éoliennes. Des expériences réalisées sur des animaux ont indiqué que le niveau d'exposition nécessaire pour provoquer une VAD était de 13 semaines d'exposition continue de sons à basse fréquence à environ 100 dB (Mendes et coll., 2007). Le niveau d'exposition était au moins de 50 à 60 dB plus élevé que le niveau des éoliennes dans la même plage de fréquences (Hayes, 2006a).

4.2.3 Exposition résidentielle : série de cas

L'extrapolation des résultats pour des niveaux acoustiques supérieurs à 90 dB et à des fréquences principalement plus élevées (supérieures à 100 Hz) au risque de VAD au niveau acoustique des éoliennes entre 40 et 50 dB dans la plage des infrasons constitue une nouvelle hypothèse. Un chercheur, par exemple, a affirmé que les éoliennes dans les zones résidentielles produisent un environnement sonore qui peut mener au développement d'une VAD chez les résidents à proximité (Alves-Pereira et Castelo Branco, 2007a).

Cette déclaration repose sur la comparaison de seulement deux expositions aux infrasons. Le premier cas est une famille qui a connu un éventail de problèmes de santé et qui s'est aussi plainte de la nuisance des sons à basse fréquence. Le deuxième est une famille qui habitait près de quatre éoliennes et qui a commencé à s'en inquiéter (Alves-Pereira et Castelo Branco, 2007a; Alves-Pereira et Castelo Branco, 2007b).

La première famille (famille F) était exposée à de faibles niveaux d'infrasons d'environ 50 dB à 8 Hz et à 10 Hz provenant d'un terminal céréalier situé à environ 3 kilomètres (km) et à des sources additionnelles de sons à basse fréquence, dont une ligne ferroviaire et une route situées plus près. La deuxième famille (famille R) vit dans une région rurale et a été décrite comme ayant été exposée à des niveaux d'infrasons d'environ 55 dB à 60 dB à 8 Hz à 16 Hz. Ces expositions sont bien en deçà du seuil d'audition et ne sont pas rares en région urbaine. Ni la fréquence ni le volume de l'exposition au son subis par les familles F ou R ne sont inhabituels. L'exposition aux infrasons (< 20 Hz) ne dépassait pas 50 dB.

4.2.3.1 Famille F— exposition à de faibles niveaux d'infrasons

La famille F a d'importants antécédents de mauvaise santé et, pour un garçon de dix ans, on a posé un diagnostic de VAD due à l'exposition aux infrasons du terminal céréalier (Alves-Pereira et Castelo Branco, 2007a; Castelo Branco et coll., 2004). Cependant, le niveau des infrasons est bien en deçà du seuil d'audition et est typique des infrasons en région urbaine, lesquels sont grandement répandus et auxquels sont exposées de nombreuses personnes.

Selon les auteurs, le garçon de 10 ans de la famille présentait le principal effet de la VAD, soit l'épaississement du sac péricardique.³ Toutefois, le garçon a des antécédents de mauvaise santé d'étiologie inconnue (Castelo Branco et coll., 2004). Castelo Branco (1999) a défini l'épaississement du sac péricardique comme étant un signe de VAD et suppose que la présence de l'épaississement du sac péricardique chez le garçon de la famille F doit être un effet de la VAD, laquelle est due à l'exposition aux sons de faible niveau à basse fréquence du terminal céréalier. Cette hypothèse exclut les autres causes possibles de l'épaississement du sac péricardique, dont une infection virale, la tuberculose, l'irradiation, l'hémodialyse, la néoplasie avec infiltration péricardique, une infection bactérienne, fongique ou parasitaire,

³ L'épaississement du sac péricardique est un épaississement inhabituel du sac protecteur (péricarde) qui entoure le cœur. Par exemple, consulter <http://www.emedicine.com/radio/topic191.htm>.

l'inflammation consécutive à un infarctus du myocarde, l'amiantose ou des maladies auto-immunes. Les auteurs n'ont pas exclu ces autres causes possibles de l'épaississement du sac péricardique.

4.2.3.2 Famille R — proximité des éoliennes et anxiété

La famille R, qui habite près d'éoliennes, est exposée à des sons de basse fréquence semblables à ceux que connaît la famille F. La famille ne présente pas de symptômes de VAD, mais on a affirmé que la « famille R développera aussi une VAD si elle décide de rester dans sa maison ». (Alves-Pereira et Castelo Branco, 2007b). Compte tenu de l'absence de documentation sur des études par cohortes et avec des groupes témoins, cette affirmation sans précision semble être non corroborée par les ouvrages scientifiques disponibles.

4.2.4 Critique

Il semble que les familles F et R ont été des plaignants autosélectionnés. Les conclusions auxquelles en sont arrivés Alves-Pereira et Castelo Branco (2007b) reposent seulement sur le mauvais état de santé et l'exposition aux sons de la famille F, utilisant cette seule exposition comme mesure des possibles effets nocifs pour d'autres. Il n'y a pas eu de tentative d'étude épidémiologique.

Alves-Pereira et Castelo Branco affirment que l'exposition à la maison est plus importante que l'exposition au travail en raison des périodes d'exposition plus longues (Alves-Pereira et Castelo Branco, 2007e). Comme il y a une différence approximative de 50 dB entre l'exposition aux éoliennes et l'exposition qui a provoqué la VAD (Hayes, 2006a), il faudra 10^5 années (100 000 ans) avant que la dose de l'éolienne corresponde à un an de niveau sonore plus élevé.

Parmi les ouvrages scientifiques publiés, cette description de deux familles est ce qu'on appelle une série de cas, ce qui n'a virtuellement aucune valeur pour comprendre les possibles *associations causales* entre l'exposition à un danger possible (c.-à-d. les sons à basse fréquence) et un possible effet sur la santé (c.-à-d. la maladie des effets vibratoires du son). Les rapports de cas ont de la valeur, mais principalement pour générer des hypothèses afin de tester d'autres études sur des groupes importants de personnes ou pour les études cas-témoins. Ce dernier type d'étude peut systématiquement évaluer des personnes avec un épaississement du sac péricardique qui habitent près d'éoliennes en les comparant avec des personnes qui ont un épaississement du sac péricardique et qui n'habitent pas près d'éoliennes. Les rapports de cas doivent être confirmés par des études plus vastes, plus particulièrement des études de cohortes et des études cas-témoins, avant de pouvoir en tirer des conclusions définitives de cause à effet. Les rapports sur les deux familles ne fournissent pas des preuves scientifiques convaincantes d'un lien entre le son des éoliennes et l'épaississement du sac péricardique.

Les éoliennes produisent de faibles niveaux d'infrasons et des sons à basse fréquence; malgré tout, il n'y a aucune preuve scientifique crédible selon laquelle ces niveaux sont nocifs. Si le corps humain subit les effets nocifs de faibles niveaux sonores en deçà du seuil, un mécanisme récepteur unique et pas encore découvert de sensibilité extraordinaire au son est nécessaire - un mécanisme qui peut faire la distinction entre le « son » normal de niveau

relativement élevé inhérent au corps humain⁴ et l'excitation produite par un son externe de faible niveau. Il n'y a pas encore eu d'études épidémiologiques réalisées sur les possibles effets de l'exposition à de faibles niveaux sonores aux basses fréquences. Tant que la lumière n'est pas faite sur ce flou et qu'un mécanisme récepteur n'est pas révélé, on ne pourra se fier aux rapports de cas selon lesquels les faibles niveaux d'infrasons et les sons à basse fréquence sont des causes de la maladie des effets vibratoires du son⁵.

L'attribution de propriétés dangereuses aux faibles niveaux d'infrasons reste à prouver, comme c'est le cas depuis les 40 dernières années. Aucune base solide n'a été démontrée pour la nouvelle hypothèse selon laquelle l'exposition à de faibles niveaux d'infrasons en deçà du seuil causera la maladie des effets vibratoires du son. En fait, l'évolution humaine s'est faite en présence d'infrasons naturels.

4.3 Syndrome des éoliennes

Le « syndrome des éoliennes » tel qu'il est formulé par Pierpont (2009, ébauche préalable à la publication) semble reposer sur les deux hypothèses suivantes :

1. Les faibles niveaux d'infrasons présents dans l'air qui proviennent des éoliennes, entre 1 et 2 Hz, ont des impacts directs sur le système vestibulaire.
2. Les faibles niveaux d'infrasons présents dans l'air qui proviennent des éoliennes, entre 4 et 8 Hz, pénètrent dans les poumons par la bouche et font vibrer le diaphragme, lequel transmet les vibrations aux viscères, ou aux organes internes du corps.

L'effet combiné de ces fréquences d'infrasons envoie de l'information qui sème la confusion chez les détecteurs de position et de mouvement du corps, ce qui provoque un éventail de symptômes perturbateurs.

4.3.1 Évaluation des infrasons sur le système vestibulaire

Voyons la première hypothèse. La base sur laquelle repose cette hypothèse est un rapport apparemment mal interprété qui indique que le système vestibulaire est plus sensible que la cochlée aux faibles niveaux de sons et de vibrations (Todd et coll., 2008a). Le rapport de Todd s'intéresse aux effets des vibrations sur la zone mastoïde du crâne et à la détection associée de ces vibrations par la cochlée et le système vestibulaire. La fréquence la plus basse utilisée était de 100 Hz, soit considérablement plus élevée que la limite supérieure de la fréquence des infrasons (20 Hz). Le rapport ne traite pas des sons ou des infrasons aériens, lesquels, selon Pierpont, excitent le système vestibulaire par les sons aériens et par la vibration du crâne. Cette source n'appuie pas l'hypothèse de Pierpont et ne démontre pas les points qu'elle essaie de prouver.

Il n'y a aucune preuve scientifique crédible selon laquelle les faibles niveaux du son des éoliennes entre 1 et 2 Hz auront des effets directs sur le système vestibulaire. En fait, il est probable que le son sera perdu dans les infrasons d'arrière-plan naturels du corps. La deuxième hypothèse ne repose pas plus sur des études scientifiques adéquates. Le corps est

⁴ On utilise souvent les sons du corps pour poser des diagnostics. Par exemple, voir Gross, V., A. Dittmar, T. Penzel, F., Schüttler, et P. von Wichert.. (2000): "The Relationship between Normal Lung Sounds, Age, and Gender." *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. Volume 162, Numéro 3 : 905 - 909.

⁵ Cette affirmation ne devrait pas être interprétée comme une critique des travaux du groupe sur la VAD auprès des techniciens d'aviations soumis à des niveaux sonores élevés.

un système bruyant à de basses fréquences. En plus du battement du cœur à une fréquence entre 1 et 2 Hz, le corps émet des sons provenant de la circulation sanguine, des intestins, de l'estomac, des contractions musculaires et d'autres sources internes. Les sons du corps peuvent être détectés de l'extérieur du corps par le stéthoscope.

4.3.2 Évaluation des infrasons sur les organes internes

Il est bien connu qu'une source sonore peut masquer l'effet d'une autre source semblable. Si un son externe est détecté à l'intérieur du corps en présence des sons générés à l'intérieur, le son externe doit produire un effet plus important sur le corps que les sons internes. La peau est très réfléchissante aux fréquences plus élevées, bien que cet effet réfléchissant diminue aux fréquences plus basses (Katz, 2000). Des études à des fréquences très basses indiquent une diminution d'environ 30 dB entre le son externe et le son interne du corps d'un mouton (Peters et coll., 1993). Ces résultats donnent à penser qu'il y a une atténuation (réduction) du son à basse fréquence par le corps avant que le son à basse fréquence atteigne les organes internes.

Les sons de faible niveau de l'extérieur du corps ne provoquent pas une excitation suffisamment élevée dans le corps pour dépasser les sons internes du corps. Pierpont fait référence à des documents de Takahashi et collègues sur l'excitation jusqu'à la vibration de la tête par des niveaux élevés de sons externes (supérieurs à 100 dB). Toutefois, ces documents indiquent que la réponse de la tête à des fréquences inférieures à 20 Hz n'était pas mesurable en raison de l'effet masquant de la vibration interne du corps (Takahashi et coll., 2005; Takahashi et coll., 1999). Lorsqu'on mesure la vibration en résonance du thorax causée par les sons externes, la vibration interne masque la résonance des sons externes inférieurs à un niveau d'excitation de 80 dB (Leventhall, 2006). Ainsi, la deuxième hypothèse n'est pas fondée non plus.

Pour recruter des sujets pour son étude, Pierpont a lancé un appel à toute personne qui pensait que sa santé était perturbée par les éoliennes. Elle demandait aux répondants de communiquer avec elle pour une entrevue téléphonique. Les résultats de la série de cas pour dix familles (37 sujets) sont présentés dans Pierpont (2009, ébauche préalable à la publication). Les symptômes comprenaient la perturbation du sommeil, des maux de tête, des acouphènes, une pression à l'intérieur de l'oreille, des vertiges, des nausées, une vision trouble, de la tachycardie, de l'irritabilité, le manque de concentration, des pertes de mémoire, des crises de panique, des pulsations internes et des palpitations. Ce type d'étude est ce qu'on appelle une série de cas. Une série de cas a une valeur limitée, si valeur il y a, pour évaluer le rapport de cause à effet d'une exposition environnementale (dans ce cas-ci, le son) et d'un effet désigné sur la santé (ce qui est appelé le « syndrome des éoliennes »). Cette série de cas en particulier est considérablement limitée par le biais d'autosélection, soit le fait que les personnes qui pensent déjà qu'elles subissent les effets nocifs des éoliennes « s'autosélectionnent » en vue de participer à la série de cas. Cette approche entraîne un biais important pour les résultats, en particulier en l'absence d'un groupe témoin qui n'habitait pas à proximité d'une éolienne. Les résultats de cette série de cas sont, au mieux, des activités menant à une hypothèse qui ne fournissent pas un lien de cause à effet entre le son des éoliennes et ce qui est appelé le « syndrome des éoliennes ».

Toutefois, ces symptômes du prétendu « syndrome des éoliennes » ne sont pas nouveaux et ont été publiés auparavant dans le contexte de la « nuisance » des sons environnementaux (Nagai et coll., 1989; Møller et Lydolf, 2002; Mirowska et Mroz, 2000). Les symptômes

suivants reposent sur l'expérience de personnes qui ont souffert du bruit pendant plusieurs années : égarement, vertiges, fatigue oculaire, fatigue, sensation de vibration, maux de tête, insomnie, spasmes musculaires, nausées, saignements de nez, palpitations, pression dans les oreilles ou la tête, brûlures cutanées, stress et tension (Leventhall, 2002).

Les symptômes sont courants dans les cas de nuisance extrême et persistante, menant à des réactions de stress chez les individus touchés, et peuvent aussi entraîner des acouphènes graves alors qu'il n'y a aucun son externe. Une petite proportion de personnes sensibles présentent les symptômes et ceux-ci peuvent être soulagés par une psychothérapie visant à désensibiliser du son (Leventhall et coll., 2008). La similitude entre les symptômes de la nuisance du bruit et ceux du « syndrome des éoliennes » indique que ce « diagnostic » n'est pas un effet physiopathologique, mais est un exemple des effets bien connus du stress dû à l'exposition au bruit que présente une petite proportion de la population. Ces effets sont bien connus des agents de contrôle du bruit environnemental et d'autres professionnels « au sol ».

Le « syndrome des éoliennes », qui n'est pas un diagnostic médical reconnu, est essentiellement un indicateur de symptômes associés à la nuisance causée par le bruit et constitue un ajout inutile et qui sème la confusion pour le vocabulaire sur le bruit. Ce syndrome n'est pas reconnu dans la communauté médicale. Il n'y a pas de symptômes uniques ou d'ensembles de symptômes qui mèneraient à un modèle précis de ce présumé trouble. L'ensemble des symptômes chez certaines personnes exposées aux éoliennes est plus probablement associé à la nuisance due aux faibles niveaux sonores.

4.4 Perturbation vestibulaire vibratoire viscérale

4.4.1 Hypothèse

En plus des rapports de cas de symptômes signalés par les personnes qui habitent près des éoliennes, Pierpont a proposé une hypothèse qui prétend expliquer comment se produisent certains de ces symptômes : la perturbation vestibulaire vibratoire viscérale (VVVD) (Pierpont, 2009, ébauche préalable à la publication). La VVVD a été décrite comme étant la vibration associée aux basses fréquences que le corps absorbe et qui provoque une multitude de symptômes. Pierpont considère la VVVD comme le trait le plus distinctif d'un ensemble de symptômes vagues qu'elle décrit comme étant le « syndrome des éoliennes ». Comme le sous-entend le nom VVVD, le son des éoliennes dans la gamme spectrale de 4 à 8 Hz provoque supposément des vibrations des viscères abdominaux (p. ex., les intestins, le foie et les reins) qui, à leur tour, envoient des signaux neuraux à la zone du cerveau qui reçoit habituellement l'information du labyrinthe vestibulaire. Ces signaux seraient hypothétiquement en conflit avec les signaux du labyrinthe vestibulaire et avec d'autres signaux sensoriels (visuels, proprioceptifs), menant à des symptômes désagréables, dont la panique. Les symptômes désagréables (en particulier la nausée) peuvent sans aucun doute être dus à un conflit sensoriel; c'est ainsi que les scientifiques expliquent le mal des transports. Toutefois, cette hypothèse de VVVD n'est pas plausible d'après ce qu'on connaît des systèmes sensoriels et de l'énergie nécessaire pour les stimuler. Qu'elle soit invraisemblable ou non, il y a des méthodes scientifiques éprouvées disponibles pour évaluer la légitimité de toute hypothèse et, à cette étape, la VVVD telle que proposée par la Dre Pierpont est une hypothèse non vérifiée. Une série de cas pour 10 familles recrutées afin de participer à une étude reposant sur certains symptômes ne serait pas considérée comme

une preuve de cause à effet par les établissements de recherche ou des organismes comme le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) ou l'EPA. Comme on l'indiquait précédemment dans ce rapport, une série de cas avec des patients autosélectionnés ne constitue pas une preuve de lien de causalité.

4.4.2 Critique

Les récepteurs capables de détecter les vibrations se trouvent principalement dans la peau et aux articulations. Un examen neurologique clinique comprend habituellement une évaluation de la sensibilité aux vibrations. Il est fortement peu probable, toutefois, que les sons aériens à des niveaux non dérangeants puissent stimuler ces récepteurs, car la majorité de l'énergie des sons aériens est repoussée par le corps. Takahashi et coll. (2005) a utilisé les sons aériens pour produire des vibrations thoraciques ou abdominales qui dépassaient les niveaux corporels ambiants. Ces vibrations peuvent avoir été détectables ou non par les sujets. Takahashi a découvert qu'il était nécessaire d'avoir des niveaux de pression acoustique de 100 dB à une fréquence entre 20 et 50 Hz (des niveaux acoustiques plus élevés auraient été nécessaires à des fréquences plus basses et plus élevées). Des sons de ce type seraient considérés par la plupart des personnes comme étant très forts et dépassent considérablement le niveau des sons produits par les éoliennes aux distances auxquelles se trouvent les habitations. Une comparaison de la réaction aux sons aériens à basse fréquence entre des personnes avec une ouïe normale et des personnes atteintes de surdité grave a indiqué que les sujets sourds peuvent détecter les sons transmis par leur corps uniquement lorsqu'ils sont à un seuil bien supérieur à celui de l'ouïe normale (Yamada et coll., 1983). Par exemple, à 16 Hz, le seuil moyen des personnes sourdes était à un niveau de pression acoustique de 128 dB, soit 40 dB plus élevé que pour les sujets ayant une ouïe normale. Il a aussi été démontré que, à des fréquences plus élevées, la surface du corps réfléchit beaucoup le son (Katz, 2000). De même, les travaux sur la transmission des sons à basse fréquence dans le corps des moutons ont démontré une perte d'environ 30 dB (Peters et coll., 1993)

Il a été démontré que les récepteurs viscéraux invoqués comme mécanisme de la VVVD réagissent aux changements de position gravitationnelle statique, mais pas aux vibrations (c'est la raison pour laquelle on les appelle « gravicepteurs »). S'il y avait des récepteurs sensibles aux vibrations dans les viscères abdominales, ils seraient constamment bombardés par les sons corporels à basse fréquence, comme la circulation sanguine pulsatile et le son des intestins, tandis que les sons externes seraient atténués à la fois par la désadaptation d'impédance et la dissipation d'énergie dans les tissus sus-jacents. Finalement, le son des éoliennes à des distances réalistes possède peu, ou pas, d'énergie acoustique, soit entre 4 et 8 Hz.

On a posé l'hypothèse que le labyrinthe vestibulaire peut être « anormalement stimulé » par le son des éoliennes (Pierpont, 2009, ébauche préalable à la publication). Comme on l'a indiqué précédemment dans ce rapport, les sons aériens moyennement forts, à des fréquences pouvant aller jusqu'à environ 500 Hz, peuvent en effet stimuler non seulement la cochlée (l'organe responsable de l'audition), mais aussi les organes otolithiques. Ceci n'est pas anormal et il n'y a aucune preuve dans la documentation médicale selon laquelle cela est d'une quelconque façon désagréable ou nocif. Dans la vie de tous les jours, la plupart d'entre nous sont exposés pendant des heures chaque jour à des sons plus forts que ceux qu'il y a à une distance réaliste des éoliennes, et ce, sans effets nocifs. Cette affirmation selon laquelle le labyrinthe vestibulaire est stimulé à des niveaux inférieurs au seuil d'audition

repose sur une mauvaise compréhension des recherches qui utilisaient les vibrations transmises par les os plutôt que par les sons aériens. En fait, ceux qui portent des appareils auditifs à conduction osseuse connaissent une stimulation constante de leur système vestibulaire, en plus de la cochlée, sans subir d'effets nocifs.

4.5 Interprétation des études et des rapports

Compte tenu des hypothèses non fondées qui ont été présentées comme indiquant les effets nocifs des éoliennes sur la santé, il peut être instructif d'analyser le type d'études de recherche qui peuvent servir à établir les liens définitifs entre l'exposition à un risque environnemental (dans ce cas-ci, le son et les vibrations émis par les éoliennes) et les effets nocifs pour la santé (le prétendu « syndrome des éoliennes »).

Comment savons-nous, par exemple, que la cigarette cause le cancer du poumon et que le bruit excessif entraîne la perte auditive? Presque toujours, le premier signe selon lequel une exposition peut être dangereuse provient des observations non officielles de médecins qui remarquent une corrélation possible entre une exposition et une maladie, puis qui font part de leurs constatations à leurs collègues dans des exposés de cas ou des rapports de groupes de cas (*séries de cas*). Ces premières observations sont habituellement non contrôlées, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de comparaison entre des personnes qui sont à la fois exposées et atteintes et des groupes de personnes qui sont soit non exposées ou exemptes de maladie. Il n'y a habituellement aucune façon de s'assurer que l'association apparente est importante du point de vue statistique ou qu'il y a une relation de cause à effet entre l'exposition et la maladie en question sans avoir des sujets témoin. Pour ces raisons, les rapports de cas et les séries de cas ne peuvent prouver qu'une exposition est réellement nocive, mais peuvent uniquement contribuer à élaborer des hypothèses, lesquelles peuvent par la suite être vérifiées lors d'études menées dans des conditions contrôlées (Levine et coll., 1994; Genovese, 2004; McLaughlin, 2003).

Une fois un soupçon émis sur un risque, il est essentiel de faire des études contrôlées (par cas-témoins ou cohortes) afin d'établir s'il y a un possible lien de cause à effet ou non. Ce n'est qu'après avoir réalisé de nombreuses études indépendantes menées dans des conditions contrôlées et avoir présenté des résultats constants qu'on peut s'attendre à ce que le lien soit généralement accepté (IARC, 2006).

Les études de *séries de cas* comparent des personnes atteintes de la maladie avec des personnes exemptes de maladie (en s'assurant le plus possible que les deux groupes sont bien appariés en ce qui a trait aux autres variables qui pourraient avoir des incidences sur le risque d'avoir la maladie, comme l'âge, le sexe et d'autres expositions dont on sait qu'elles provoquent la maladie). Si l'on constate qu'il est beaucoup plus probable que le groupe atteint a été exposé et si les nombreux types d'erreurs et de biais ont été exclus (Genovese, 2004), il est possible qu'il y ait un lien de cause à effet. Il a fallu réaliser de nombreuses études de séries de cas avant de pouvoir prouver le lien entre la cigarette et le cancer du poumon.

Les études par *cohortes* comparent des personnes exposées avec des sujets-témoins bien appariés qui n'ont pas été exposés. S'il est établi que le groupe exposé est beaucoup plus susceptible de contracter la maladie, en supposant que les erreurs et le biais peuvent être exclus, il est possible qu'il y ait un lien de cause à effet. Après avoir réalisé de nombreuses

études par cohortes, il est devenu évident que l'exposition au bruit excessif entraînait la perte auditive (McCunney et Meyer, 2007).

Dans le cas du bruit des éoliennes et de ses liens hypothétiques avec le « syndrome des éoliennes » et la maladie des effets vibratoires du son, on a le type de preuve le plus faible – série de cas – et il est fourni par un seul chercheur. Ces rapports ne peuvent rien signifier de plus que de permettre de formuler des hypothèses en vue de recherches ultérieures. Néanmoins, si des chercheurs additionnels et indépendants commencent à signaler des effets nocifs sur la santé chez les personnes exposées au bruit des éoliennes, lorsque ce bruit est supérieur à celui que connaissent les groupes non exposés, et si un syndrome constant ou un ensemble de symptômes se manifestent, cet avis pourrait changer. Donc, pour l'instant, le « syndrome des éoliennes » et la VVVD sont des hypothèses non fondées (essentiellement des suppositions non prouvées) qui n'ont pas été confirmées par des études de recherche adéquates, tout particulièrement des études de cas-témoins et de cohortes. Toutefois, la faiblesse des hypothèses de base fait en sorte qu'il est peu probable que ces études seront menées.

4.6 Normes pour le choix du site pour les éoliennes

4.6.1 Introduction

Bien que la présence de grosses éoliennes à l'échelle commerciale soit bien établie en Europe, la mise en place d'installations de production d'énergie éolienne semblables en Amérique du Nord est un phénomène plus récent. La croissance de l'éolien et des autres sources d'énergie renouvelable devrait se poursuivre. Les opposants à la mise en valeur de l'énergie éolienne prétendent que la réglementation relative à la hauteur et à la distance de retrait mise en place sur certains territoires est trop indulgente et que les restrictions en matière de bruit qui sont imposées pour les autres sources de bruit (que ce soit les industries ou le transport) ne sont pas suffisantes en ce qui concerne les éoliennes, et ce, pour diverses raisons. Ils sont donc préoccupés par les menaces pour la santé et le bien-être de certains des résidents qui habitent dans les environs (ou très près). Les détracteurs affirment que le bruit des éoliennes peut être plus qu'une source de nuisance pour les résidents à proximité, en particulier la nuit lorsque le niveau sonore ambiant est probablement faible. Par conséquent, certains prônent la révision de la réglementation actuelle en matière de bruit et de retrait relativement au choix du site des parcs éoliens (Kamperman et James, 2009). Certains ont indiqué être persuadés qu'il peut être nécessaire d'avoir une distance de retrait supérieure à un mille. Bien que le but principal de cette étude soit les possibles effets nocifs sur la santé plutôt que l'élaboration d'une politique publique, le comité d'experts n'est pas d'avis qu'une distance de retrait d'un mille est justifiée.

4.6.2 Réglementations sur le bruit et ordonnances

En 1974, l'EPA a publié un rapport qui étudiait le niveau de bruit environnemental admissible afin de protéger la santé et le bien-être de la population (EPA, 1974). Selon l'analyse des données scientifiques disponibles, l'EPA a précisé une plage de niveaux acoustiques jour-nuit à ne pas dépasser afin de protéger la santé et le bien-être de la population contre les effets du bruit environnemental, avec une marge de sécurité raisonnable. Cependant, plutôt que de mettre en place des normes ou des règlements, l'EPA a simplement précisé les niveaux sonores en deçà desquels la population en général ne

risquerait pas de subir les effets indiqués dus au bruit. Chaque organisme fédéral a élaboré ses propres critères en matière de bruit pour les sources sur lesquelles il a juridiction; c.-à-d. la Federal Aviation Administration réglemente le bruit des aéronefs et aux aéroports, la Federal Highway Administration réglemente le bruit des autoroutes et la Federal Energy Regulatory Commission réglemente les pipelines inter-États (Bastasch, 2005). Les administrations d'État et locales ont reçu des directives de l'EPA sur la façon d'élaborer leur propre réglementation sur le bruit, mais la mise en place de limites adéquates a été confiée aux autorités locales afin qu'elles les établissent chacune en fonction des valeurs et des priorités en matière d'utilisation des terres qui sont propres à chaque collectivité (EPA, 1975).

4.6.3 Lignes directrices sur le choix du site pour les éoliennes

La mise en place de limites de bruit et de distances de retrait appropriées pour les éoliennes préoccupe bon nombre de ceux qui manifestent de l'intérêt pour l'énergie éolienne. Il y a plusieurs approches relativement à la réglementation du bruit de toutes sources, dont les éoliennes. De façon générale, on les classe entre les normes absolues et les normes relatives, ou une combinaison de normes absolues et de normes relatives. Dans le cas des normes absolues, on établit une limite fixe, peu importe le niveau sonore existant. Pour les éoliennes, une seule limite absolue peut être déterminée sans tenir compte de la vitesse du vent (c.-à-d. 50 dBA) ou différentes limites peuvent être déterminées selon les diverses vitesses du vent (c.-à-d. 40 dBA à une vitesse de 5 mètres à la seconde [m/s] et 45 dBA à 8 m/s). Les lignes directrices en matière de bruit des éoliennes qui ont été établies par le ministère de l'Environnement de l'Ontario (2008) sont un exemple de limite fixe pour chaque vitesse intègre du vent qui se situe entre 4 et 10 mètres à la seconde. Les normes relatives limitent l'augmentation par rapport aux niveaux courants et peuvent aussi déterminer soit une valeur plancher ou une valeur plafond absolue au-delà de laquelle l'augmentation relative n'est pas prise en considération. Cela signifie, par exemple, que si l'on permet une augmentation relative de 10 dBA avec un plafond de 50 dBA et que le niveau actuel est de 45 dBA, un niveau de 55 dBA ne serait pas permis. De même, si une valeur plancher de 40 dBA a été fixée et que le niveau actuel est de 25 dBA, on permettrait 40 dBA plutôt que 35 dBA. Les distances de retrait fixes ont aussi fait l'objet de discussions. Les opposants à cette approche indiquent que les distances de retrait fixes ne tiennent pas compte du nombre ou de la grosseur des éoliennes et qu'elles ne prennent pas non plus en considération les autres sources de bruit possibles dans la zone du projet. Il est évident que, comme pour de nombreuses autres sources de bruit, il n'y a pas eu d'approche uniforme mise en place à l'échelle nationale ou internationale en matière de réglementation pour le bruit des éoliennes.

L'ébauche d'un rapport intitulé *Environmental Noise and Health in the UK*, publié afin de solliciter les commentaires en 2009 par la Health Protection Agency (HPA) au nom d'un groupe ad hoc d'experts, donne des commentaires éclairants sur les lignes directrices de l'Organisation mondiale de la Santé relativement au bruit (OMS, 1999). L'ébauche du rapport de la HPA peut être consultée à l'adresse ci-dessous :

http://www.hpa.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb_C/1246433634856

Le rapport de la HPA indique ce qui suit :

Il est important de ne pas oublier que les valeurs directrices de l'OMS, comme les autres lignes directrices de l'OMS, sont fournies aux responsables des politiques en vue de contribuer à

l'élaboration d'une politique. Elles ne se veulent pas des normes au sens officiel, mais comme base possible en vue de l'élaboration de normes. Sous forme de résumé d'ensemble, le rapport NPL de 1998 indiquait [un rapport britannique intitulé Health-Based Noise Assessment Methods – A Review and Feasibility Study (Porter et coll., 1998) tel que cité dans HPA 2009] : [traduction]

Les lignes directrices de l'OMS représentent l'opinion générale d'experts internationaux sur les plus faibles niveaux sonores en deçà desquels on peut supposer que le taux d'occurrences d'effets en particulier est négligeable. Le fait de dépasser les valeurs directrices de l'OMS ne signifie pas nécessairement des effets découlant du bruit et, en fait, cela peut signifier qu'il n'y a pas d'effets importants tant que des niveaux beaucoup plus élevés d'exposition au bruit n'ont pas été atteints. Les lignes directrices donnent un point de départ en vue de l'élaboration d'une politique. Toutefois, il sera de toute évidence important de tenir compte des coûts et des avantages liés à la réduction des niveaux sonores et, comme pour d'autres domaines, ceci devrait servir à établir les objectifs. [traduction]
(Tiré de : HPA, 2009, p. 77)

Le rapport de la HPA précise en outre ce qui suit :

Les études ont démontré qu'environ la moitié de la population du R.-U. habite dans des zones où le niveau sonore le jour dépasse celui qui a été recommandé dans les Directives de l'OMS relativement au bruit dans l'environnement. Environ les deux tiers de la population habitent dans des zones où le bruit excède le niveau recommandé selon les directives de l'OMS en ce qui a trait au bruit la nuit. (p. 81)

Tout le monde sait que le sommeil peut être perturbé par le bruit. La définition d'une courbe dose-réaction qui décrit le lien entre l'exposition au bruit et la perturbation du sommeil s'est toutefois révélée étonnamment difficile. Les études menées en laboratoire et les études sur le site ont donné des résultats différents. Cela est en partie dû à l'habitude au bruit qui, sur le site, est courante chez de nombreuses personnes. (p. 82)

Notre examen des preuves associant des effets sur la santé découlant du bruit environnemental a établi qu'il s'agit d'un domaine qui évolue rapidement. Chaque rapport devra donc être examiné au cours des prochaines années. Nous concluons et nous recommandons la mise en place d'un comité indépendant d'experts qui étudiera cette question à long terme. (p. 82) [traduction]

Les citations ci-dessus provenant de documents de la HPA et de l'OMS portent sur les préoccupations générales relativement au bruit environnemental plutôt que sur les préoccupations axées uniquement sur le bruit des éoliennes.

Conclusions

Plusieurs pays se sont tournés vers l'énergie éolienne en tant que stratégie clé servant à générer de l'énergie d'une manière propre pour l'environnement. Produire de l'énergie avec le vent est une idée qui reçoit un appui considérable du public. Toutefois, l'énergie éolienne a aussi ses détracteurs. Ceux-ci ont entre autres fait connaître leurs préoccupations quant aux sons émis par les éoliennes, croyant notamment que ces sons pourraient avoir des effets dont les conséquences seraient nocives pour la santé.

L'objectif du comité d'experts était de produire un document de référence faisant autorité à l'intention des responsables des lois et de la réglementation, de même que des citoyens souhaitant y voir clair, compte tenu des informations contradictoires qui circulent sur le son produit par les éoliennes. Le comité s'est donc lancé dans un vaste examen de la grande somme de matériel scientifique revu par les pairs portant sur le son des éoliennes et ses effets possibles sur la santé, le tout à des fins d'analyse et de discussion par les membres. Les divers bagages de connaissances des experts du comité (audiologie, acoustique, otolaryngologie, médecine du travail et de l'hygiène du milieu, et santé publique) ont été très bénéfiques pour créer un éventail de perspectives éclairées sur le sujet. Les participants du comité ont été en mesure d'étudier les questions entourant les effets sur la santé et d'aborder l'enjeu des effets biologiques plausibles au moyen d'une somme de compétences combinées considérable.

Après avoir passé en revue, analysé et échangé sur les connaissances dans ce domaine, le comité a établi un consensus sur ces trois facteurs clés :

- Les sons et les vibrations produits par les éoliennes n'ont rien d'unique.
- L'ensemble des connaissances actuelles sur le son et la santé est considérable.
- L'ensemble des connaissances actuelles ne fournit aucune preuve que les sons audibles et les sons à basse fréquence en deçà des seuils audibles émanant des éoliennes ont des effets physiologiques nocifs directs de quelque nature que ce soit.

Le comité a considéré les éléments complexes qui sous-tendent les diverses réactions des humains au son, en particulier les sons qui ont des modulations d'intensité ou de fréquence. La majorité des plaintes à l'endroit des éoliennes ont rapport à la composante aérodynamique du son (le bruit rythmique) produit par les pales d'une éolienne. Les niveaux sonores sont similaires à ceux des niveaux de bruit ambiant que l'on trouve dans des milieux urbains. Une petite minorité des individus exposés à ces sons ont rapporté vivre une gêne ou un inconfort et du stress associés à la perception du bruit.

Ce rapport fait un survol de nombreuses variables physiques et psychologiques qui pourraient influencer la manifestation de réactions aux effets indésirables. Le comité s'est penché en particulier sur le « syndrome des éoliennes » et sur la maladie des effets vibratoires du son qui, prétendument, seraient des causes d'effets indésirables sur la santé. Les observations démontrent que le « syndrome des éoliennes » repose sur une mauvaise interprétation des données physiologiques et que les caractéristiques du soi-disant

syndrome sont de simples retombées de réactions qui relèvent de la gêne ou d'une indisposition. Les manifestations de la maladie des effets vibratoires du son (inflammation des tissus et fibrose reliées à l'exposition au son) sont extrêmement douteuses aux seuils audibles qui sont reliés à la présence d'éoliennes.

Le comité s'est aussi arrêté à la qualité des observations épidémiologiques qui sont nécessaires pour faire la démonstration d'effets préjudiciables. En épidémiologie, les rapports de cas d'origine et les observations sans contrôle d'associations à des maladies ont besoin d'être confirmés au moyen d'études menées dans des conditions contrôlées (au moyen d'études selon la méthodologie des études cas-témoins ou de cohortes) avant que ces rapports ou observations puissent être acceptés comme étant le reflet d'un lien de cause à effet, notamment par rapport au son des éoliennes et à ses effets sur la santé. Dans le domaine des répercussions des éoliennes sur la santé, aucune étude comparative selon la méthodologie des cohortes n'a été menée jusqu'à maintenant. En conséquence, les allégations d'effets nocifs des éoliennes sur la santé sont à ce jour non fondées. Les membres de ce comité s'accordent pour dire que le nombre et la nature sans contrôle des cas rapportés existants d'effets nocifs sur la santé allégués comme étant associés aux éoliennes ne peuvent justifier le financement d'autres études sur ce sujet.

Conclusions principales :

1. Le son émis par les éoliennes ne constitue pas un risque de perte auditive, ni d'ailleurs de tout autre effet nocif pour la santé des humains.
2. Les sons à basse fréquence en deçà des seuils audibles et les infrasons produits par les éoliennes ne constituent pas un risque pour la santé humaine.
3. Certaines personnes peuvent être irritées par les sons produits par les éoliennes. Cette indisposition n'est pas une maladie.
4. Une des principales préoccupations liées au son provenant d'une éolienne est sa nature fluctuante. Certaines personnes peuvent trouver ce son gênant, ce qui serait une réaction qui repose principalement sur les caractéristiques spécifiques des personnes et non sur l'intensité des niveaux sonores.

Références

- Alves-Pereira, M., et N.A.A. Castelo Branco. 2007a. Public Health and Noise Exposure: The Importance of Low Frequency Noise. *Proceedings of the Inter-Noise 2007 Conference*. Istanbul : Commandité par l'International Institute of Noise Control Engineering (I-INCE) et organisé par la Turkish Acoustical Society. 28-31 août 2007.
- Alves-Pereira, M., et N.A.A. Castelo Branco. 2007b. In-Home Wind Turbine Noise is Conducive to Vibroacoustic Disease. *Proceedings of the Second International Meeting on Wind Turbine Noise*. Lyon, France : 20-21 septembre 2007. INCE/Europe.
- Alves-Pereira, M., et N.A.A. Castelo Branco. 2007c. The Scientific Arguments Against Vibroacoustic Disease. *Proceedings of the Inter-Noise 2007 Conference*. Istanbul : Commandité par l'International Institute of Noise Control Engineering (I-INCE) et organisé par la Turkish Acoustical Society. 28-31 août 2007.
- Alves-Pereira, M., et N.A.A. Castelo Branco. 2007d. Infrasound and Low Frequency Noise Dose Responses: Contributions. *Proceedings of the Inter-Noise 2007 Conference*. Istanbul : Commandité par l'International Institute of Noise Control Engineering (I-INCE) et organisé par la Turkish Acoustical Society. 28-31 août 2007.
- Alves-Pereira, M., et N.A.A. Castelo Branco. 2007e. Infrasound and low frequency noise dose responses: Contributions. *Proceedings of the Inter-Noise 2007 Conference*, CD-ROM. Istanbul : Commandité par l'International Institute of Noise Control Engineering (I-INCE) et organisé par la Turkish Acoustical Society. 28-31 août 2007.
- American National Standards Institute (ANSI). 2006. *Guide for the Measurement and Evaluation of Human Exposure to Vibration Transmitted to the Hand*, ANSI S2.70-2006. New York: Acoustical Society of America.
- American National Standards Institute (ANSI). 1979. *Guide for the Evaluation of Human Exposure to Whole-Body Vibration*, ANSI S3.18-1979. New York: Acoustical Society of America.
- American Psychiatric Association. 2000. *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*, 4^e éd. Texte rév. Washington, DC.
- Babisch, W. 2004. Health Aspects of Extra-Aural Noise Research. *Noise & Health* 6(22): 69-81.
- Babisch, W. 2000. Traffic Noise and Cardiovascular Disease: Epidemiological Review and Synthesis. *Noise & Health* 2(8): 9-32.
- Babisch, W. 1998. Epidemiological Studies of the Cardiovascular Effects of Occupational Noise – A Critical Appraisal. *Noise & Health* 1(1): 24 – 39.
- Baloh, R.W. et V. Honrubia. 1979. *Clinical Neurophysiology of the Vestibular System*. Philadelphie, Pennsylvanie: F. A. Davis Company.
- Barsky, A.J. 1979. Patients who amplify body symptoms. *Annals of Internal Medicine* 91: 63.

- Bastasch, M. 2005. Regulation of Wind Turbine Noise in the Western U.S. *Proceedings of the 1st International Conference on Wind Turbine Noise: Perspectives for Control*. Berlin. 17-18 octobre 2005. INCE/Europe.
- Berglund, B., P. Hassmen, et R. F. Job. 1996. Sources and effects of low frequency noise. *Journal of the Acoustical Society of America* 99: 2985-3002
- Berglund, B. et T. Lindvall. 1995. Community Noise. *Archives of the Centre for Sensory Research, Karolinska Institute, Stockholm University Vol 2, Issue 1*.
- Brooks, Thomas F., D. Stuart Pope, et Michael A. Marcolini. 1989. Airfoil self-noise and prediction. L-16528; NAS 1.61:1218; NASA-RP-1218.
http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19890016302_1989016302.pdf
- Bradley, J. S. 1994. Annoyance Caused by Constant Amplitude and Amplitude Modulated Sounds Containing Rumble. *Noise Control Engineering Journal* 42: 203-208.
- Castelo Branco, N.A.A. 1999. The Clinical Stages of Vibroacoustic Disease. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 70 (3 II Suppl.): A32-A39.
- Castelo Branco, N.A.A., A. Araujo, J. Jonaz de Melo, et M. Alves-Pereira. 2004. Vibroacoustic Disease in a Ten Year Old Male. *Proceedings of the Inter-Noise 2004 Conference*. Prague: Czech Acoustical Society et l'International Institute of Noise Control Engineering
- Escobar, J, et G. Canino. 1989. Unexplained physical complaints: Psychopathology and epidemiological correlates. *British Journal of Psychiatry* 154 [Suppl 4]: 24.
- Fernandez, C., et J.M. Goldberg. 1976. Physiology of Peripheral Neurons Innervating Otolith Organs of the Squirrel Monkey. III: Response dynamics. *Journal of Neurophysiology* 39: 996.
- Fiz, J. A., J. Gnitecki, S.S. Kraman, H. Pasterkamp et G.R. Wodicka. 2008. Effect of Body Position on Lung Sounds in Healthy Young Men. *Chest* 133 (3): 729-736.
- Genovese E. 2004. Evidence-based medicine: What does it mean? Why do we care? In *Occupational Medicine Practice Guidelines*, ed Glass LS, American College of Occupational and Environmental Medicine, OEM Press, Beverly Farms, MA.
- Global Wind Energy Council. 2009. Global Wind 2008 Report.
<http://www.gwec.net/fileadmin/documents/Publications/Global%20Wind%202008%20Report.pdf>.
- Gross, V., A. Dittmar, T. Penzel, F. Schüttler, et P. von Wichert. 2000. The Relationship Between Normal Lung Sounds, Age, and Gender. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*. 162 (3): 905 - 909.
- Hayes, M. 2006a. Low Frequency and Infrasound Noise Emissions from Wind Farms and the Potential for Vibroacoustic Disease. *Proceedings of the 12th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and Its Control*. Bristol: Journal of Low Frequency Noise, Vibration and its Control, INCE/Europe, et EAA.
- Hayes, M. 2006b. The Measurement of Low Frequency Noise at Three UK Wind Farms. URN No.: 06/1412
<http://webarhive.nationalarchives.gov.uk/+http://www.berr.gov.uk//whatwe>

[do/energy/sources/renewables/explained/wind/onshore-offshore/page31267.html](http://www.hpa.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb_C/1246433634856).

- Health Protection Agency (HPA). 2009. *Environmental Noise and Health in the UK*. Dr. Andy Moorhouse, Ed.
http://www.hpa.org.uk/web/HPAwebFile/HPAweb_C/1246433634856.
- CEI 60050-801:1994 - Vocabulaire Électrotechnique International - Partie 801 : Acoustique et électroacoustique
- Centre international de Recherche sur le Cancer. 2006. Monographies du CIRC sur l'évaluation du risque cancérigène pour les humaines : Préambule. Organisation mondiale de la Santé, Centre international de Recherche sur le Cancer : Lyon, France.
- Inukai, Y., N. Nakamura, et H. Taya. 2000. Unpleasantness and Acceptable Limits of Low Frequency Sound. *Journal of Low-frequency Noise and Vibration* 19: 135-140.
- Ising, H. et B. Kruppa. 2004. Health Effects Caused by Noise: Evidence in the Literature from the Past 25 Years. *Noise and Health* 6 (23): 5-13.
- Organisation internationale de normalisation (ISO). 2003. ISO 226. Acoustique – Lignes isosoniques normales.
- Jakobsen, J. 2004. Infrasound Emission from Wind Turbines. *Proceedings of the 11th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control*. Maastricht: MultiScience Publishing Company.
- Kalveram, K. T. 2000. How Acoustical Noise Can Cause Physiological and Psychological Reactions. *Proceedings of the 5th International Symposium of Transport Noise and Vibration*. Saint-Pétersbourg, Russie : East European Acoustical Society.
- Kalveram, K Th, Dassow, J & Vogt, J (1999) How information about the source influences noise annoyance. *Proceedings of the 137th meeting of the Acoustical Society of America*. Seattle, Washington: Acoustical Society of America.
- Kamperman G.W. et R. R. James. 2009. Guidelines for selecting wind turbine sites. *Sound and Vibration*: 8-12. Juillet. <http://www.sandv.com/home.htm>.
- Kamperman, G. W. et R. R. James. 2008. Simple Guidelines for Siting Wind Turbines to Prevent Health Risks. *Proceedings NoiseCon 2008*. Dearborn, Michigan: Institute of Noise Control Engineering.
- Katz, B. 2000. Acoustic Absorption Coefficient of Human Hair and Skin within the Audible Frequency Range. *JASA* 108. pp. 2238-2242.
- Kryter K.D. 1980. Physiological Acoustics and Health. *Journal of the Acoustical Society of America* 68: 10-14.
- Kurakata, K., et T. Mizunami. 2008. The statistical distribution of normal hearing thresholds for low frequency tones. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* 27: 97-104.

- Leventhall, H.G. 2006. Somatic Responses to Low Frequency Noise. *Proceedings of the 12th International Meeting: Low Frequency Noise and Vibration and its Control*. Bristol: Journal of Low Frequency Noise, Vibration and its Control, INCE/Europe, et EAA.
- Leventhall, H.G. 2004. Low Frequency Noise and Annoyance. *Noise and Health* 6 923: 59-72.
- Leventhall, H.G. 2002. 35 Years of Low Frequency Noise – Stephens Medal Lecture. *Proceedings of Institute of Acoustics*. Stratford, RU: Institute of Acoustics.
- Leventhall, H. G., S. Benton, et P. Pelmear. 2003. *A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects*.
<http://www.defra.gov.uk/environment/noise/research/lowfrequency/pdf/lowfrequencynoise.pdf>. Accessed 2003.
- Leventhall, H. G., S. Benton, et D. Robertson. 2008. Coping Strategies for Low Frequency Noise. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration* 27: 35-52.
- Levine M, Walter S, Lee H, Haines T, Holbrook Am Moyer V. 1994. How to use an article about harm. *Journal of the American Medical Association* 271: 1615-1619.
- Maschke C. 2004. Introduction to the special issue of low frequency noise. *Noise and Health* 6: 1-2.
- McCunney, R.J., et J. Meyer. 2007. Occupational Exposure to Noise. *Environmental and Occupational Medicine, 4th Edition*. W. M. Rom, ed. Baltimore: Lippincott Williams and Wilkins. pp. 1295-1238.
- McLaughlin J.K. 2003. Epidemiology and Biostatistics. McCunney R.J. (ed) *A Practical Approach to Occupational and Environmental Medicine*. Baltimore.
- Mendes, J., J. Martins dos Santos, P. Oliveira, J. da Fonseca, A. Aguas, et N.A.A. Castelo Branco. 2007. Low frequency noise effects on the periodontium of the Wistar rat - a light microscopy study. *European Journal of Anatomy* 11 (1): 27-30
- Mirowska, M., et E. Mroz. 2000. Effect of low frequency noise at low levels on human health in light of questionnaire investigation. *Proceedings of the Inter-Noise 2000 Conference*. 5: 2809 - 2812.
- Mittelstaedt, H. 1996. Somatic graviception. *Biological Psychology* 42: 53-74.
- Møller, H., et M. Lydolf. 2002. A questionnaire survey of complaints of infrasound and low frequency noise. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration* 21: 53-65.
- Moorhouse, A., M. Hayes, S. von Hunerbein, B. Piper, et M. Adams. 2007. Research into Aerodynamic Modulation of Wind Turbine Noise. *Report: Department of Business Enterprise and Regulatory Reform*. www.berr.gov.uk/files/file40570.pdf.
- Nagai, N., M. Matsumoto, Y. Yamsumi, T. Shiraiishi, K. Nishimura, K. Matsumoto, K. Myashita, et S. Takeda. 1989. Process and emergence of the effects of infrasonic and low frequency noise on inhabitants. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration* 8: 87-89.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 1998. Criteria for a Recommended Standard: Occupational Noise Exposure. NIOSH, Cincinnati OH.

- Conseil national de recherches du Canada (CNRC). 2007. Environmental Impacts of Wind-Energy Projects NRC, Washington, DC.
- National Toxicology Program (NTP). National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS). 2001. Infrasound: brief review of the toxicological literature. Préparé en partie par Integrated Laboratory systems (NIEHS contract N01-E3 -65402 (Haneke K.E. et B.C. Carson, auteurs).
- New York Department of Environmental Conservation. 2001. Assessing and Mitigating Noise Impacts. Available at http://www.dec.ny.gov/docs/permits_ej_operations_pdf/noise2000.pdf.
- Occupational Safety and Health Administration (OSHA). 1983. Occupational Noise Exposure: Hearing Conservation Amendment; Final Rule. Federal Register 48 (46): 9738-9784.
- Oerlemans, S., et G. Schepers. 2009. Prediction of wind turbine noise directivity and swish. *Proceedings of the 3rd International Conference on Wind Turbine Noise*. Aalborg, Danemark. 17-19 juin 2009. INCE/Europe.
- Ministère de l'Environnement de l'Ontario. 2008. Noise Guidelines for Wind Farms. Interpretation for Applying MOE NPC Publications to Wind Power Generation Facilities. <http://www.ene.gov.on.ca/publications/4709e.pdf>
- Pearsons K.S., R.L. Bennett, et S. Fidell. 1977. Speech levels in various noise environments. Report No. EPA-600/1-77-025. Washington DC, Environmental Protection Agency, 1977.
- Pedersen, E., R. Bakker, J. Bouma, et F. van den Berg. 2009. Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. *Journal of the Acoustical Society of America* Août 126: 634-643
- Pedersen, et H. Högskolan. 2003. *Noise Annoyance from Wind Turbines*. Rapport 5308. Swedish Environmental Protection Agency.
- Pedersen, E., et K Persson Waye. 2008. Wind turbines-low level noise sources interfering with restoration. *Environmental Research Letters* 3: 1-5
- Pedersen, E., et K. Persson Waye. 2007. Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and wellbeing in different living environments, *Occupational and Environmental Medicine* 64: 480-486.
- Pedersen, E., et K. Persson Waye. 2004. Perception and annoyance due to wind turbine noise: A dose-response relationship, *Journal of the Acoustical Society of America* 116: 3460-3470.
- Pedersen, E., L. R.-M. Hallberg, et K. Persson Waye. 2007. Living in the vicinity of wind turbines – A grounded theory study. *Qualitative Research in Psychology* 4: 49-63.
- Pedersen, T. H. 2008. Low frequency noise from large Wind Turbines - A procedure for evaluation of the audibility for low frequency sound and a literature study. *DELTA Report EP- 06*.
- Persson Waye, K. 2004. Effects of low frequency noise on sleep. *Noise and Health* 6 (23): 87-91.

- Persson Wayne, K., et E. Öhrström 2002. Psycho-acoustic characters of relevance for annoyance of wind turbine noise. *J. Sound & Vibration* 250 (1): 65-73.
- Persson R. M. Albin, J. Ardö, J. Björk, et K. Jakobsson. 2007. Trait anxiety and modeled exposure determinants of self reported annoyance to sound, air pollution and other environmental factors in the home. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 18: 179-191
- Peters, A. J. M., R.M. Abrams, K.J. Gerhardt, et S.K. Griffiths. 1993. Transmission of airborne sound from 50 to 20,000 Hz into the abdomen of sheep. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration* 12: 16-24.
- Pierpont, N. 2009, ébauche préalable à la publication. *Wind Turbine Syndrome: a report on a natural experiment*. <http://www.windturbinesyndrome.com/wp-content/uploads/2009/03/ms-ready-for-posting-on-wtscom-3-7-09.pdf>.
- Porter, N.D., I.H. Flindell, et B.F. Berry. 1998. Health-Based Noise Assessment Methods – A Review and Feasibility Study. NPL Report CMAM 16.
- Sadock, B. J., et V.A. Sadock, Eds. 2005. *Kaplan & Sadock's Comprehensive Textbook of Psychiatry*, 8^e édition. Philadelphie, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Sakai, A. L.P. Feigen et A.A. Luisada. 1971. Frequency distribution of the heart sounds in normal man. *Cardiovascular Research* 5 (3): 358-363.
- Sasser, S.M., R.W. Sattin, R.C. Hunt, et J. Krohmer. 2006. Blast lung injury. *Prehospital Emergency Care* 10: 165-72.
- Schust, M. 2004. Effects of low frequency noise up to 100 Hz. *Noise & Health* 6 (23): 73-85.
- Smith, S.D. 2002. Characterizing the effect of airborne vibration on human body vibration response. *Aviation, Space and Environmental Medicine* 73: 36 - 45.
- Spiegel, H. 1997. 1997. Nocebo: The power of suggestibility. *Preventive Medicine* 26: 616.
- Suter, AH. 1991. Noise and its Effects. Report to the Administrative Conference of the United States. <http://www.nonoise.org/library/suter/suter.htm>.
- Takahashi, Y., K. Kanada, Y. Yonekawa, et N. Harada. 2005. A study on the relationship between subjective unpleasantness and body surface vibrations induced by high-level low-frequency pure tones. *Industrial Health* 43: 580-587.
- Takahashi, Y., Y. Yonekawa, K. Kanada, et S. Maeda. 1999. A pilot study on human body vibration induced by low frequency noise. *Industrial Health* 37: 28-35.
- Todd, N., S.M. Rosengren, et J.G. Colebatch. 2008a. Tuning and sensitivity of the human vestibular system to low frequency vibration. *Neuroscience Letters* 444: 36-41.
- Todd, N.P., S.M. Rosengren, et J.G. Colebatch. 2008b. A source analysis of short-latency evoked potentials produced by air- and bone-conducted sound. *Journal of Clinical Neurophysiology* 119: 1881-94.
- Truax, Barry, ed. 1999. *Handbook for Acoustic Ecology*, deuxième édition. Initialement publié par le World Soundscape Project, Simon Fraser University, et ARC Publications, 1978

- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 1974. *Information on Levels of Environmental Noise Requisite to Protect Public Health and Welfare with an Adequate Margin of Safety*. EPA/ONAC 550/9-74-004, mars 1974.
<http://www.nonoise.org/library/levels/levels.htm>.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). 1975. Model Noise Control Ordinance.
<http://www.nonoise.org/epa/Roll16/roll16doc6.pdf>.
- van den Berg, G. P. 2004: Do Wind Turbines produce significant low frequency sound levels? *Proc 11th International Meeting on Low Frequency Noise and Vibration and its Control, Maastricht August 2004*, 367-376.
- van den Berg, G. P. 2003. Effects of the wind profile at night on wind turbine noise. *Journal of Sound and Vibration*. <http://www.nowap.co.uk/docs/windnoise.pdf>.
- Van Dijk F.J.H., J.H. Ettema, et R.L. Zielhuis. 1987. Non-auditory effects of noise: VII. Evaluation, conclusions, and recommendations. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 59: 147 – 152.
- van Kamp , M. Haines, J. Hatfield, R.F. Job, S.A. Stanfield et R.K. Stellato. 2004. The role of noise sensitivity in the noise response relation: A comparison of three international airport studies. *Journal of the Acoustical Society of America* 116: 3471-79.
- Webster, J.C. 1978. Speech interference aspects of noise. In *Noise and Audiology*, ed. Lipscomb DL, Baltimore: University Park Press.
- Wilder D.G., D.E. Wasserman, et J. Wasserman. 2002. Occupational vibration exposure. In *Physical and Biological Hazards of the Workplace*, ed. Wald PH, Stave GM. John Wiley and Sons, New York.
- Wolsink, M., M. Sprengers, A. Keuper, T.H. Pedersen, et C.A. Westra. 1993. Annoyance from wind turbine noise on sixteen sites in three countries. *Proceedings of the European Community Wind Energy Conference*. Lübeck, Travemünde. 273-276.
- Organisation mondiale de la Santé (OMS). 1999. Guidelines for Community Noise (édité par B. Berglund, T. Lindvall, D. Schwela, K-T. Goh). L'Organisation mondiale de la Santé, Genève, Suisse. ISBN: 9971: 9971-88-770-3
<http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf>.
- Organisation mondiale de la santé (OMS). 1993. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems, 10^e révision (ICD-10), *Classification of Mental and Behavioural Disorders*. Genève.
- Yamada, S., 1980. Hearing of low frequency sound and influence on the body. Conference on Low Frequency Noise and Hearing. Aalborg, Danemark. 95-102. (Eds. H Møller et P Rubak).
- Yamada, S., M. Ikuji, S. Fujikata, T. Watanabe, et T. Kosaka. 1983. Body sensations of low frequency noise of ordinary persons and profoundly deaf persons. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration* 2: 32-36.
- Young, E.D., C. Fernandez, et J.M. Goldberg. 1977. Responses of squirrel monkey vestibular neurons to audio-frequency sound and head vibration. *Acta Otolaryngol* 84: 352-60.

Références supplémentaires

- Alberts, D. 2006. Primer for Addressing Wind Turbine Noise. <http://www.maine.gov/doc/mfs/windpower/pubs/pdf/AddressingWindTurbineNoise.pdf>.
- American National Standards Institute. 1996. *American National Standard Specification for Audiometers*, ANSI S3.6-1996. New York: Acoustical Society of America.
- Chatham-Kent Public Health Unit. 2008. The Health Impact of Wind Turbines: a Review of the Current White, Grey and Published Literature 2008. <http://www.wind-works.org/LargeTurbines/Health%20and%20Wind%20by%20C-K%20Health%20Unit.pdf>.
- Copes, R. et K. Rideout. Wind Turbines and Health: A Review of Evidence. Ontario Agency for Health Protection and Promotion 2009. <http://www.oahpp.ca/Documents/Wind%20Turbines%20-%20Sept%2010%202009.pdf>.
- Ébauche de la norme de la Nouvelle-Zélande pour le son des éoliennes. <http://shop.standards.co.nz/drafts/DZ6808-DZ6808Publiccommentdraft.pdf>.
- Hellwig, R., et Lampeter, R. 2009. Critiques on Kamperman and James paper on wind turbine noise. March. http://www.dekalbcounty.org/Planning/Exhibit_M.pdf.
- Stelling, K., et D. Phyt. 2009. Summary of recent research on adverse health effects of wind turbines. <http://windconcernsontario.files.wordpress.com/2009/08/adverse-health-effects-of-wind-turbines1.pdf>.
- Fox Business. 2009. Ontario citizen takes legal aim at government of Ontario's flagship Green Energy Act. <http://www.foxbusiness.com/story/markets/industries/energy/ontario-citizen-takes-legal-aim-government-ontarios-flagship-green-energy-act/>.
- Industrial Wind Action Group. 2009. Maine Osteopathic Association Resolution: Wind Energy and Public Health. <http://www.windaction.org/documents/23515>.
- Kamperman, G., et R. James. 2008. Why noise criteria are necessary for proper siting of wind turbines. <http://www.windturbinesyndrome.com/wp-content/uploads/2008/11/kamperman-and-james-9-pp.pdf>.
- Kamperman, G., et R. James. 2008. The how to guide to siting wind turbines to prevent health risks from sound. <http://www.savethebluffs.ca/archives/files/kamperman-james-8-26-08-report.pdf>.
- Klug, H. Noise from wind turbines – standards and noise reduction procedures. <http://www.sea-acustica.es/Sevilla02/envgen013.pdf>.
- Keith, S. E., D. S. Michaud, et S. H. P. Bly. 2008. A proposal for evaluating the potential health effects of wind turbine noise for projects under the Canadian Environmental Assessment Act. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 27 (4):253-265.

- Ramakrishnan, R. 2007. Acoustic Consulting Report Prepared for the Ontario Ministry of the Environment: Wind Turbine Facilities Noise Issues. Aiolos Engineering Corporation. <https://ospace.scholarsportal.info/bitstream/1873/13073/1/283287.pdf>.
- Regan, B., et T.G. Casey. 2006. Wind Turbine Noise Primer, *Canadian Acoustics Journal* 34 (2).
- Rogers, A., et J. Manwell . Wright, S. 2002. Wind turbine acoustic noise. http://www.ceere.org/erl/publications/whitepapers/Wind_Turbine_Acoustic_Noise_Rev2006.pdf/
- Soysai, H., et O. Soysai. Wind farm noise and regulations in the eastern United States. 2007. *Proceedings of the Second International Meeting on Wind Turbine Noise*. Lyon, France: September 20-21, 2007. INCE/Europe.
- State of Rhode Island, Department of Environmental Management. 2009. *Terrestrial Wind Turbine Siting Report*. <http://www.dem.ri.gov/cleanrg/pdf/terrwind.pdf>.
- Ward, W.D, L.H. Royster, et J.D. Royster. 2003. Anatomy and Physiology of the Ear: Normal and Damaged Hearing. In *The Noise Manual*, Eds. Berger EH, Royster LH, Royster JD, Driscoll DP, Layne M. AIHA Press, Fairfax VA.
- Welgampola, M.S., S.M. Rosengren, G.M. Halmagyi, et J.G. Colebatch. 2003. Vestibular activation by bone conducted sound. *Journal of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* 74: 771-778.
- Wilder, D.G., D.E. Wasserman, et J. Wasserman. 2002. Occupational Vibration Exposure. In *Physical and Biological Hazards of the Workplace*, Ed. Wald PH, Stave GM. John Wiley and Sons, New York.
- Organisation mondiale de la Santé (OMS). 2009. Night Noise Guidelines for Europe. L'Organisation mondiale de la Santé, Genève, Suisse. <http://www.euro.who.int/document/e92845.pdf>.

ANNEXE A

Notions de base sur le son

Notions de base sur le son

L'annexe ci-dessous donne de l'information de base supplémentaire sur le son et sur la façon dont on le définit.

La pression atmosphérique est exprimée par 100 000 pascals (Pa), un pascal étant un newton par mètre carré (N/m²) et une pression sonore de 94 dB à 20µPa est exprimée par 1 Pa (voir plus loin pour les décibels). La fréquence des fluctuations peut aller de 20 fois à la seconde (20 Hz) jusqu'à 20 000 fois à la seconde (20 000 Hz) pour le bruit « audible ». Les fréquences en deçà de 20 Hz sont habituellement appelées les « infrasons », bien que la limite soit floue entre les infrasons et le bruit de basse fréquence. Les infrasons à des niveaux élevés sont audibles. Le bruit de basse fréquence pourrait se situer entre 10 Hz et environ 200 Hz.

En plus de la fréquence, les données qui définissent une onde sonore comprennent :

- la pression, soit P;
- la longueur d'onde, soit λ ; et
- la célérité, soit $c = 340$ m/s env., selon la température.

La célérité et la longueur d'onde sont liées ainsi : célérité = longueur d'onde x fréquence,

La fréquence associée et la longueur d'onde par la célérité donnent

Fréq. (Hz)	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000
Longueur d'onde (m)	21	11	5,4	2,7	1,4	0,68	0,34	0,17	0,085

Les basses fréquences ont de longues longueurs d'onde. Il est utile d'apprendre à évaluer les fréquences et les longueurs d'onde associées, car cela aide à comprendre la propagation du bruit et le contrôle.

La pression sonore d'une onde est une force par unité de superficie de l'onde et est exprimée en N/m², dont l'abréviation est Pa. La pression sonore fluctue au-dessus et au-dessous de la pression atmosphérique selon une quantité minime.

La puissance acoustique est une caractéristique de la source et indique son taux de production d'énergie; elle est exprimée en watts. La puissance acoustique est la propriété fondamentale de la source, tandis que la pression acoustique à l'endroit de la mesure varie selon le trajet de transmission de la source au récepteur. La plupart des sources sonores, dont les éoliennes, sont exprimées selon leur puissance sonore. La puissance sonore d'une éolienne se situe généralement dans la plage de 100 à 105 dBA, laquelle est semblable à celle d'une souffleuse à feuilles. La puissance sonore sert à prévoir la propagation du son, dont la source est supposée se situer au moyen.

Niveaux acoustiques

Le décibel est le logarithme du rapport entre deux valeurs d'une quantité comme la puissance, la pression ou l'intensité, avec une constante de multiplication afin de donner des facteurs numériques pratiques. Les logarithmes sont utiles pour comprimer une vaste gamme de quantités en une gamme plus petite. Par exemple :

$$\begin{aligned}\log_{10}10 &= 1 \\ \log_{10}100 &= 2 \\ \log_{10}1000 &= 3\end{aligned}$$

Le rapport de 1000:10 est comprimé en un rapport de 3:1.

Cette approche est avantageuse pour traiter les niveaux acoustiques, lorsque le ratio entre le son le plus élevé et le plus bas que nous pouvons avoir est aussi élevé que 1 000 000 pour 1. Un développement utile, il y a de nombreuses années, a été de considérer les ratios selon le niveau le plus bas que nous pouvons entendre. Il s'agit du seuil d'audition à 1 000 Hz, ce qui correspond à 20 micropascals (μPa) ($2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$) de pression pour une personne moyenne jeune et en santé. La puissance acoustique en décibels est mesurée selon un niveau de référence de 10^{-12} watts.

Lorsque le terme « niveau » est ajouté au terme d'une quantité physique, cela signifie implicitement le niveau sonore en décibels, indiqué par L_x , où x est le symbole pour la quantité.

$$\text{Niveau sonore } L_p = 20 \log_{10} \left[\frac{P}{P_0} \right] \text{ dB}$$

où P est la pression mesurée et P_0 est le niveau de pression de référence de $2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$

Un petit calcul nous permet d'exprimer le niveau sonore à une distance d'une source dont on connaît le niveau de puissance acoustique comme suit :

$$\text{Niveau de pression acoustique, } L_p = L_w - 20 \log[r] - 11 \text{ dB}$$

où L_p est le niveau de pression acoustique
 L_w est le niveau de puissance acoustique de la source
 r est la distance de la source

Il s'agit de l'équation de base pour la propagation sphérique du son. On l'utilise pour prévoir le son d'une éolienne, mais, dans un calcul réel, plusieurs autres données s'y ajoutent afin de tenir compte des conditions atmosphériques, au sol et topographiques. Toutefois, pour un calcul simple, le niveau acoustique à une distance de 500 m d'une source d'une puissance acoustique de 100 dBA est de 35 dBA.

Niveau continu équivalent (L_{eq}) : Il s'agit d'un niveau stable pendant une période, qui a la même énergie que celle du niveau fluctuant se produisant pendant cette période. Un niveau équivalent pondéré A, indiqué par L_{Aeq} , sert pour de nombreuses fins de réglementation, incluant l'évaluation du son d'une éolienne.

Centiles (LN)L : Il s'agit d'une mesure statistique pour les fluctuations du niveau global de bruit, c'est-à-dire pour l'enveloppe de bruit, qui est habituellement échantillonnée selon un

nombre de fois à la seconde, généralement dix fois. Les centiles les plus utilisés sont L90 et L10. Le nombre L90 est le niveau qui est dépassé 90 pour cent du temps et représente un faible niveau de bruit. On l'utilise souvent pour évaluer le bruit de fond. Le nombre L10 est le niveau qui est dépassé 10 pour cent du temps et est une mesure des niveaux les plus élevés d'un bruit. Les appareils modernes de calcul du niveau acoustique donnent une plage de centiles. Prendre note que le centile est une mesure statistique pendant un intervalle de temps précis.

Analyse de fréquence

Ceci donne plus de détails sur les éléments de la fréquence d'un bruit. L'analyse de fréquence utilise habituellement une de ces trois méthodes : bande d'octave, bande de tiers d'octave ou bande étroite.

L'analyse à bande étroite est la plus utile pour les bruits tonaux complexes. Elle pourrait être utilisée, par exemple, en vue de déterminer la fréquence de tonalité d'un ventilateur, pour trouver les fréquences de la transmission des vibrations d'une machinerie ou pour détecter la résonance d'un système. Toutes les analyses doivent être faites selon une moyenne pendant une période, de manière à ne pas conserver le détail des fluctuations de bruit.

Les critères d'évaluation du bruit reposent sur le dBA, les bandes d'octave ou les mesures de bande de tiers d'octave. Ces mesures donnent sans contredit de l'information de plus en plus détaillée sur le bruit.

ANNEXE B

L'oreille humaine

L'oreille humaine

L'oreille humaine comprend trois grandes régions :

1. *L'oreille externe*, incluant un canal auriculaire (auditif)
2. *L'oreille moyenne* contenant de l'air qui comprend un tympan et de petits os appelés les osselets (trois chez les mammifères, un chez les autres animaux)
3. *L'oreille interne* qui comprend les organes de l'audition (chez les mammifères, il s'agit de l'organe de Corti dans la cochlée) et de l'équilibre (labyrinthe vestibulaire).

Le son aérien passe à travers le canal auriculaire, faisant vibrer le tympan et les osselets, et cette vibration fait bouger les fluides à l'intérieur de la cochlée. Des « cellules ciliées » spécialisées transforment ce mouvement du liquide en impulsions nerveuses qui se rendent au cerveau par le nerf auditif. Les cellules ciliées, les cellules nerveuses et les autres cellules de la cochlée peuvent être endommagées par le bruit excessif, des traumatismes, des toxines, des maladies de l'oreille, ainsi que lors du processus de vieillissement. Des dommages à la cochlée provoquent la « perte d'audition neurosensorielle », soit le type le plus courant de perte auditive aux États-Unis.

Il est essentiel de comprendre le rôle de l'oreille moyenne, ainsi que la différence entre la conduction aérienne et la conduction osseuse. L'oreille moyenne effectue la tâche essentielle de convertir le son aérien en un mouvement du fluide dans l'oreille interne, un processus qu'on appelle l'adaptation d'impédance (l'air est un médium à faible impédance, ce qui signifie que ses molécules bougent facilement en réponse à la pression sonore, tandis que l'eau est un médium à impédance élevée). Sans adaptation d'impédance, plus de 99,9 pour cent de l'énergie sonore aérienne est réfléchi loin du corps. L'oreille moyenne permet aux animaux qui vivent dans l'air d'entendre des sons très doux qui seraient autrement inaudibles, mais cela est inutile pour les animaux qui vivent dans l'eau, car le son voyageant dans l'eau passe facilement à travers le corps (lequel est principalement composé d'eau). Lorsqu'un enfant a une otite, ou qu'un adulte met des bouchons dans ses oreilles, la « perte d'audition neurosensorielle » diminue considérablement la transmission des sons aériens dans l'oreille interne. Les personnes avec une perte d'audition neurosensorielle peuvent encore entendre les sons envoyés directement au cerveau par « conduction osseuse ». Voilà comment les humains et les poissons entendent sous l'eau ou lorsqu'un diapason en vibration est appliqué sur la tête, mais cela demande beaucoup plus d'énergie acoustique que l'audition par conduction aérienne.

ANNEXE C

Mesure du son

Mesure du son

L'utilisation d'un sonomètre constitue la façon habituelle de mesurer le son. Le son ambiant est généralement évalué par pondération A. Bien que les appareils portatifs semblent faciles d'utilisation, le manque de compréhension quant à leur fonctionnement et à leurs limites, ainsi que la signification des diverses données obtenues, peuvent donner lieu à des lectures erronées.

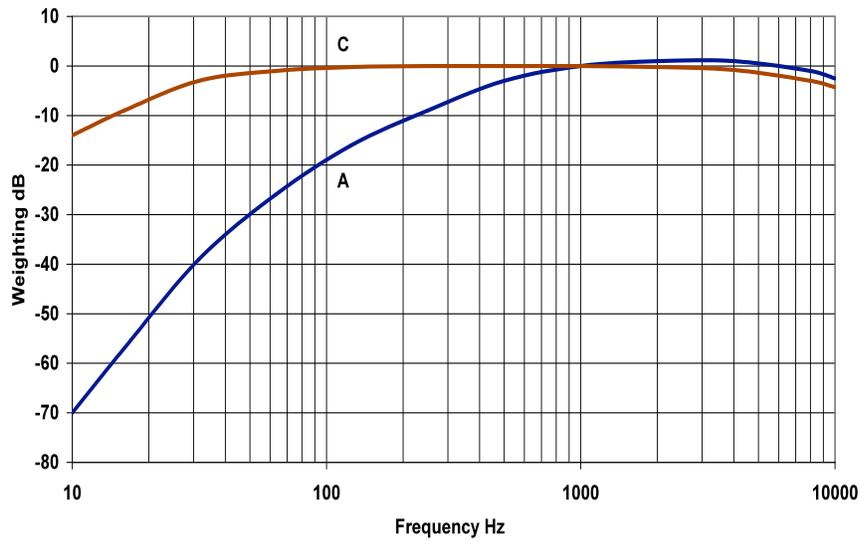
Les filtres électriques et de réseau de pondération sont un élément important du sonomètre, car ils donnent une indication des aspects du son concernant la fréquence. Les filtres sont comme suit :

- Pondération A : sur tous les sonomètres
- Pondération C : sur la plupart des sonomètres
- Linéaire (pondération Z) : sur plusieurs sonomètres
- Filtres d'octave : sur certains sonomètres
- Filtres de tiers d'octave : sur certains sonomètres
- Bande étroite : sur quelques sonomètres

Les réseaux de pondération des sonomètres sont illustrés à la figure C-1. Initialement, la pondération A était destinée aux faibles niveaux de bruit. La pondération C était destinée aux niveaux élevés de bruit. Les réseaux de pondération ont été basés sur les courbes d'audition humaine à des niveaux faibles et élevés et on espérait que leur utilisation imiterait la réponse auditive. Ce concept, qui n'a pas fonctionné en pratique, a désormais été abandonné et la pondération A et C est utilisée à tous les niveaux. La pondération linéaire sert à détecter les basses fréquences. On a recours à un spécialiste de la pondération G pour les infrasons en deçà de 20 Hz.

La figure C-1 montre que la pondération A abaisse le niveau des basses fréquences, car l'oreille y est moins sensible. Le consensus est que la pondération A est appropriée pour estimer le risque de déficience auditive due au bruit. En ce qui concerne les autres effets, comme le dérangement, la pondération A est acceptable s'il y a surtout du bruit de fréquence moyenne ou élevée, mais si le bruit se situe à des fréquences inhabituellement élevées ou basses, ou s'il contient des tonalités dominantes à basse fréquence, la pondération A risque de ne pas donner une mesure valide. Par rapport aux autres sources de bruit, le spectre des éoliennes, selon ce qui est entendu à l'intérieur des maisons aux distances de retrait types, contient moins de basses fréquences que la plupart des autres sources (Pedersen, 2008).

FIGURE C-1
Réseaux de pondération



ANNEXE D

Propagation du son

Propagation du son

La propagation du bruit des éoliennes est déterminée par plusieurs facteurs, dont :

- La dispersion géométrique, exprimée par $K = 20\log[r] - 11$ dB, à une distance r
- L'absorption moléculaire. Il s'agit de la transformation en chaleur de l'énergie acoustique et elle varie selon la fréquence
- La diffusion de turbulence due aux variations locales de vitesse du vent et de température de l'air; elle est modérément dépendante de la fréquence
- Les effets de sol – la réflexion, la topographie et l'absorption dépendent de la fréquence; leur effet augmente lorsque la fréquence augmente
- Les effets près de la surface – les gradients de vent et de température.

La pression acoustique à un point, éloigné de la source, est obtenue par

$$L_P = L_W - K - D - A_A - A_G \quad (\text{dB})$$

Où :

L_P est la pression acoustique au point récepteur

L_W est la puissance acoustique de l'éolienne en décibels exprimée selon 10^{-12} watts

K exprime la dispersion géométrique, laquelle est inhérente à toutes les sources

D est un indice de directivité, qui tient compte de la dispersion non uniforme

A_A exprime l'absorption atmosphérique et les autres effets près de la surface

A_G exprime l'absorption terrestre et les autres effets de sol

Les effets météorologiques près de la surface sont complexes, car les gradients de vent et de température ont des incidences sur la propagation dans l'air.

ANNEXE E

Membres du comité d'experts

Membres du comité d'experts

Les membres du comité d'experts sont indiqués ci-dessous. La biographie de chaque membre est donnée après la liste.

Membres du comité d'experts

W. David Colby, M.D.

Médecin hygiéniste du comté de Chatham-Kent en Ontario (intérimaire)
Professeur agrégé à la Schulich School of Medicine and Dentistry de l'Université Western Ontario

Robert Dobie, M.D.

Professeur clinicien, University of Texas, San Antonio
Professeur clinicien, University of California, Davis

Geoff Leventhall, Ph.D.

Conseiller sur le bruit, les vibrations et l'acoustique, R.-U.

David M. Lipscomb, Ph.D.

Président, Correct Service, Inc.

Robert J. McCunney, M.D.

Chercheur, Massachusetts Institute of Technology, département de génie biologique
Médecin membre du personnel, Massachusetts General Hospital, département de médecine pulmonaire; Harvard Medical School

Michael T. Seilo, Ph.D.

Professeur d'audiologie, Western Washington University

Bo Søndergaard, M.Sc. (Physics)

Conseiller en chef, Danish Electronics Light and Acoustics (DELTA)

Conseiller technique

Mark Bastasch

Ingénieur acousticien, CH2M HILL

Biographie des membres du comité d'experts

W. David Colby, M.D.

W. David Colby, M.Sc, M.D., FRCPC, est membre du Collège royal des médecins et chirurgiens du Canada en microbiologie médicale. Il est médecin agréé intérimaire responsable de la santé publique du comté de Chatham-Kent en Ontario et professeur agrégé de médecine, de microbiologie, d'immunologie et de physiologie/pharmacologie à la Schulich School of Medicine and Dentistry de l'Université Western Ontario. Il a reçu son doctorat en médecine de l'Université de Toronto et a fait sa résidence à l'University Hospital de London, en Ontario. Alors qu'il était encore médecin en résidence, il a obtenu une nomination au sein du corps professoral de la faculté et a par la suite été nommé médecin en chef du département de microbiologie et expert-conseil en maladies infectieuses à l'University Hospital. Le docteur Colby est maître de conférences donnant un grand nombre de cours magistraux sur la chimiothérapie antimicrobienne, la résistance microbienne et les infections fongiques en plus d'avoir une pratique clinique fort occupée en médecine des voyages. Il est aussi coroner de la province de l'Ontario. Il a reçu de nombreuses récompenses pour son travail en enseignement. Le docteur Colby compte plusieurs articles publiés dans des revues évaluées par les pairs et est l'auteur de l'ouvrage de référence *Optimizing Antimicrobial Therapy: A Pharmacometric Approach*. Il a également été président de l'Association canadienne des médecins microbiologistes. En comptant sur son expertise en santé publique, la municipalité du docteur Colby a demandé ce dernier d'évaluer l'impact des éoliennes sur la santé. Son rapport, intitulé *The Health Impact of Wind Turbines: A Review of the Current White, Grey, and Published Literature*, est abondamment cité sur la scène internationale.

Robert Dobie, M.D.

Robert Dobie, M.D. est professeur clinicien en otolaryngologie à la fois au University of Texas Health Science Center de San Antonio et à l'Université de California-Davis. Sa firme de consultants, Dobie Associates, se spécialise dans l'ouïe et l'équilibre, la préservation de l'ouïe et les maladies auditives. Auteur de plus de 175 publications, ses intérêts en recherche comprennent les pertes de l'ouïe reliées au vieillissement et à l'exposition au bruit, de même que les troubles liés aux acouphènes et aux autres problèmes de l'oreille interne. Il a été président de l'Association for Research in Otolaryngology, et président du conseil du Hearing and Equilibrium Committee de l'American Academy of Otolaryngology-Head and Neck Surgery, et a siégé sur des conseils d'administration et des conseils de plusieurs autres organisations professionnelles et rédactions de publications savantes.

Geoff Leventhall, Ph.D.

Basé au Royaume-Uni, Geoff Leventhall est un consultant sur le bruit et les vibrations qui oeuvre à l'échelle internationale. Ses compétences universitaires et professionnelles comprennent un doctorat en acoustique, un Fellowship du UK Institute of Physics, le titre de membre titulaire honoraire du UK Institute of Acoustics (dont il est l'un des anciens présidents), le titre de membre international distingué du USA Institute of Noise Control Engineering et le titre de membre de la Acoustical Society of America.

Il était auparavant un universitaire et pendant cette carrière, il a supervisé quelque 30 étudiants chercheurs terminant leurs études doctorales en acoustique. Beaucoup de son travail comme universitaire et expert-conseil a porté sur des problèmes des infrasons, les

bruits à basse fréquence et la limitation des ondes sonores à basse fréquence au moyen de mesures actives d'atténuation.

Il a fait partie de plusieurs comités nationaux et internationaux sur le bruit et l'acoustique et il a été récemment membre de deux comités ayant élaboré des rapports sur les répercussions du bruit sur la santé : le UK Health Protection Agency Committee on the Health Effects of Ultrasound and Infrasound, et le UK Department of Health Committee on the Effects of Environmental Noise on Health

David M. Lipscomb, Ph.D.

Le docteur David M. Lipscomb a obtenu un doctorat en sciences de l'audition de l'Université de Washington (Seattle) en 1966. Il a été professeur à l'Université du Tennessee pendant plus de 20 ans au sein de la faculté d'audiologie et des pathologies du langage. Alors qu'il occupait un poste dans cette faculté, le docteur Lipscomb a mis en place un laboratoire de recherche sur le bruit dont il a eu la direction. Au cours de son mandat à l'Université du Tennessee et après avoir accepté un poste à Pacific Northwest en 1988, le docteur Lipscomb a offert ses services de consultant à plusieurs organisations, dont des organismes communautaires, des agences gouvernementales, des entreprises et des entités juridiques.

Il est agréé comme témoin-expert en cour en tant qu'expert en audiologie depuis 1966-67. Il enquête actuellement sur des accidents afin de déterminer si un avertisseur sonore a fourni à des personnes les avertissements pour éviter des blessures et, si c'est le cas, combien de secondes se sont écoulées avant l'accident. De plus, grâce à son bagage comme clinicien en audiologie et chercheur en audiologie, il réalise des évaluations sur les déficiences auditives à des fins d'indemnisation pour le règlement de litiges reliés à des maladies industrielles et par rapport à la responsabilité pour des produits.

Il était expert-conseil en bioacoustique auprès du U. S. Environmental Protection Agency Office of Noise Abatement and Control (ONAC) au moment où cette agence gouvernementale remplissait les mandats confiés par le Congrès des États-Unis en vertu du Noise Control Act de 1972. Il a été l'un des auteurs du document établissant des balises et a été examinateur de celui sur les niveaux sonores qui ont été produits par l'ONAC. C'est cette expérience qui lui a été particulièrement utile pour examiner les données de l'AWEA en ce qui a trait à l'emplacement des parcs d'éoliennes.

Robert J. McCunney, M.D.

Robert J. McCunney, M.D., M.PH, M.S., est détenteur d'un certificat de spécialiste de l'American Board of Preventive Medicine en tant que médecin spécialiste en médecine du travail et hygiène du milieu. Le docteur McCunney est médecin membre du personnel au département de médecine pulmonaire du Massachusetts General Hospital, où il évalue et traite les maladies liées au travail et à l'environnement, y compris les maladies pulmonaires allant de l'amiantose à l'asthme aux problèmes de santé associés aux moisissures, pour ne nommer que celles-là. C'est aussi un professeur chargé de cours à la Harvard Medical School et un chercheur au département de génie biologique du Massachusetts Institute of Technology où il participe aux recherches épidémiologiques se rapportant aux risques pour la santé liés au travail et à l'hygiène du milieu.

Le docteur McCunney a obtenu un diplôme de baccalauréat en sciences en génie chimique de l'Université Drexel, une maîtrise en hygiène du milieu de l'Université du Minnesota, un doctorat en médecine de la Thomas Jefferson University Medical School et une maîtrise en hygiène publique de la Harvard School of Public Health. Il a complété sa formation en médecine interne au Northwestern University Medical Center de Chicago. Le docteur McCunney a été président du American College of Occupational and Environmental Medicine (ACOEM). Auteur chevronné, il a publié de nombreux traités de médecine du travail et de l'hygiène du milieu et a signé plus de 80 articles scientifiques et chapitres dans des ouvrages sur ces sujets. Il est directeur de la rédaction de chacune des trois éditions de l'ouvrage de référence *A Practical Approach to Occupational and Environmental Medicine*, dont la plus récente parution remonte à 2003. Le docteur McCunney a été récipiendaire du prix *Health Achievement Award* du ACOEM en 2004.

Le docteur McCunney possède une vaste expérience de l'évaluation des répercussions du bruit sur l'ouïe au moyen de l'examen de tests audiométriques. Il a rédigé des chapitres dans des ouvrages sur ce sujet et livre fréquemment des conférences à la Harvard School of Public Health sur le thème « Bruit et Santé ».

Michael T. Seilo, Ph.D.

Le docteur Michael T. Seilo a obtenu son doctorat en audiologie de l'Université de l'Ohio en 1970. Il est actuellement professeur en audiologie au département des sciences et des troubles des communications de l'Université Western Washington de Bellingham, dans l'État de Washington où il a été recteur de la faculté pendant plus de 20 ans. Le docteur Seilo est clinicien agréé de l'American Speech-Language-Hearing Association (ASHA) à la fois en audiologie et en orthophonie et c'est un membre émérite de l'ASHA, (l'American Academy of Audiology) et de la Washington Speech and Hearing Association.

Durant plusieurs années, le docteur Seilo a donné des cours sur la préservation de l'ouïe aux étudiants de premier et de deuxième cycle. Ses champs d'intérêt couvrent la perception de la parole et les répercussions du bruit sur la sensibilité auditive des humaines, y compris les acouphènes.

Le docteur Seilo a été consultant auprès des industries sur la prévention des déficiences auditives dues au bruit et il a oeuvré avec d'autres professionnels de la santé pour évaluer les demandes d'indemnités associées aux pertes d'audition se rapportant au bruit.

Bo Søndergaard, M.Sc. (Physique)

Bo Søndergaard compte plus de 20 ans d'expérience en services-conseils dans la mesure, l'anticipation et l'évaluation des niveaux sonores dans l'environnement. Au cours des 15 dernières années, il s'est particulièrement intéressé au bruit produit par les éoliennes. M. Søndergaard est responsable du groupe de travail MT11 de la Commission électronique internationale (CEI TC88) qui se penche sur la révision de la norme de mesure CEI 61400-11 pour les éoliennes. Il a aussi travaillé comme gestionnaire de projet pour les projets de recherche suivants : niveaux sonores à basse fréquence des éoliennes de grande taille pour l'agence de l'énergie du Danemark; bruit et optimisation énergétique des parcs d'éoliennes et bruits en provenance du sillage aérodynamique des éoliennes pour Energinet.dk.

Biographie du conseiller technique

Mark Bastasch

M. Bastasch est un ingénieur acousticien agréé auprès de CH2M HILL. M. Bastasch a aidé l'AWEA et la CanWEA pour la formation du comité d'experts et a fourni de l'aide technique au comité pendant le processus d'examen. L'expérience en acoustique de M. Bastasch inclut les études préliminaires de choix du site, l'élaboration réglementaire et les évaluations, les mesures du bruit ambiant, les mesures industrielles en vue de l'élaboration d'un modèle et aux fins de conformité, l'analyse des mesures d'atténuation, ainsi que la modélisation du bruit du transport et industriel. Son expérience avec les éoliennes inclut certains des premiers projets importants d'exploitation de l'énergie éolienne, dont le projet Stateline qui, lors de sa construction en 2001, était le plus gros du monde. Il siège aussi au comité organisateur du congrès international biennal sur le bruit des éoliennes, dont le premier a eu lieu à Berlin, en Allemagne, en 2005.

Remerciements

Nous remercions la personne ci-dessous pour ses suggestions et ses commentaires sur le manuscrit. La responsabilité finale du contenu appartient aux auteurs.

Richard K. Jennings, M.D. —Psychiatre, retraité