



canwea

CANADIAN WIND
ENERGY ASSOCIATION

ASSOCIATION CANADIENNE
DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE

290 P NP **DM10**

Projet de parc éolien de la Seigneurie de
Beauté – 4 dans la MRC de La Côte-de-Beaupré

6211-24-053

Mémoire concernant le projet de parc éolien de la Seigneurie de Beauté 4

Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE)

Mémoire présenté par l'Association canadienne de l'énergie éolienne (CanWEA)
Juin 2012

1. Association canadienne de l'énergie éolienne (CanWEA)

L'Association canadienne de l'énergie éolienne (CanWEA) est une association sans but lucratif représentant plus de 450 membres du secteur de l'énergie éolienne, notamment des fabricants d'éoliennes, des fournisseurs de composants, des promoteurs et des propriétaires de parcs éoliens ainsi que de nombreux fournisseurs de services (environnement, génie et de services). La mission de CanWEA est d'appuyer le développement responsable et durable de l'énergie éolienne au Canada.

Au Québec, les activités de CanWEA sont assurées par le caucus québécois de l'Association regroupant plus de 40 membres. Le siège social est situé à Ottawa et CanWEA occupe également des bureaux à Montréal, Toronto, Calgary et Vancouver.

2. L'acceptabilité sociale : une priorité de l'industrie

L'acceptabilité sociale et l'engagement envers les communautés sont essentiels dans le développement de projets éoliens. Transparence, ouverture face aux préoccupations soulevées et communication avec les citoyens et les élus constituent les pierres d'assise pour s'assurer d'un développement harmonieux et durable. CanWEA travaille avec ses membres pour promouvoir et mettre en œuvre les meilleures pratiques de l'industrie. L'Association a d'ailleurs publié un guide des Pratiques d'excellence en matière d'engagement communautaire et de consultation publique.

La signature d'un code de conduite de l'industrie est obligatoire pour tous nos membres depuis 2011. De plus, CanWEA a publié un guide des Pratiques d'excellence en matière d'engagement communautaire et de consultation publique. Ce guide outille nos membres développeurs, mais également les communautés d'accueil dans le développement de projets basés sur les meilleures pratiques de l'industrie.

Il est tout de même important de mentionner qu'acceptabilité sociale ne veut pas nécessairement dire unanimité. Tout projet de développement peut avoir ses opposants, et ceci n'est pas exclusif au secteur éolien. Il est essentiel pour les promoteurs de tenter de développer un consensus dans la communauté et c'est sur cette recherche de consensus qu'il faut se concentrer et tenter d'atténuer les effets indésirables pour certains et répondre aux préoccupations des citoyens.

Un sondage Léger Marketing publié en février 2012 démontre que les Québécois soutiennent de façon très majoritaire l'énergie éolienne et la poursuite de son développement au Québec (**Annexe I**). La très grande majorité des Québécois (83%) ont une opinion positive de l'énergie éolienne. De façon encore plus importante, 77 % des personnes interrogées disent souhaiter que le Québec poursuive le développement de la filière éolienne et 87 % des répondants croient que le Québec devrait continuer de développer une expertise en énergie éolienne, comme il l'a fait avec l'hydroélectricité.

Constat I :

Le développement éolien au Québec est bien amorcé et l'expérience parle d'elle-même : les projets construits et ceux en cours de construction s'intègrent bien aux communautés qui les soutiennent dans une très large proportion. De plus, les Québécois appuient le développement de cette filière et souhaitent même la poursuite de son développement.

3. L'énergie éolienne : une filière créatrice d'emplois et de développement économique régional

La *Stratégie énergétique 2006-2015* du gouvernement du Québec a permis l'éclosion d'une importante activité manufacturière dans la MRC de Matane et la région Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine, favorisant ainsi la revitalisation d'une région durement touchée par les difficultés des secteurs de la forêt et des pêches.

En novembre 2010, CanWEA rendait publique une étude sur les retombées économiques de la filière de l'énergie éolienne au Québec de 2005 à 2025 (**voir Annexes II et III**). Il s'agit de l'étude la plus détaillée et la plus complète sur le sujet au Québec, mais également au Canada. L'étude a été réalisée par la firme Hatch avec la collaboration de M. Jean-Claude Thibodeau, professeur honoraire à l'INRS-Urbanisation, afin de mesurer l'impact économique de la filière éolienne au Québec.

a. 4 000 MW d'énergie éolienne entre 2005 et 2015 : 37 000 emplois et 10 milliards d'investissements

L'étude démontre que plus de 37 000 emplois auront été créés au terme de la Stratégie énergétique en 2015. En moyenne, entre 2011 et 2015, plus de 5 210 emplois personne-année seront créés annuellement pour la construction des parcs éoliens au Québec. En 2015, ce sont près de 1 390 personnes qui travailleront à l'exploitation des parcs éoliens. Dans plusieurs cas, ces emplois sont créés dans des régions où l'on constate très peu de nouvelles créations d'emplois. L'industrie de l'énergie éolienne est en train de s'établir au Québec et devient un secteur économique crucial et incontournable.

Constat II :

La chaîne d'approvisionnement de l'énergie éolienne au Québec est en plein développement et chaque parc construit contribue à son développement, mais également à sa pérennité. Selon l'étude de Hatch, pour chaque mégawatt (MW) d'énergie éolienne construit au Québec, il en résulte la création de 11,5 emplois personne-année. Une éolienne de 2 MW par exemple contribuerait à la création de l'équivalent de 23 emplois temps plein pendant une année. Pour la période de 2005 à 2015, la filière éolienne aura créé plus de 37 000 emplois et généré des investissements de 10 milliards \$.

b. Des retombées économiques considérables pour le Québec

En plus de la création d'emplois et des investissements liés à la construction des parcs, au transport, à la construction de routes, à la production de pièces et composants ainsi qu'aux services de génie-conseil (génie, environnement et juridique), la filière de l'énergie éolienne participe de façon importante à l'économie des régions du Québec. Toujours selon l'étude de Hatch et de Jean-Claude Thibodeau, plus de 25 150 000 \$ seront versés annuellement aux municipalités et propriétaires terriens en 2015, et ce, pour la durée entière des contrats avec Hydro-Québec. Pour les 4 000 MW d'énergie éolienne de la Stratégie énergétique, ce seront plus de 500 millions \$ qui seront versés aux municipalités et propriétaires sur une période de 20 ans. Dans un contexte où plusieurs régions peinent à attirer des investissements et de nouveaux capitaux, ces retombées économiques sont essentielles.

Constat III :

Les retombées économiques de la filière éolienne au Québec se déclinent en plusieurs milliers d'emplois, et aussi en dizaines de millions de dollars qui sont versés aux municipalités et aux propriétaires. Il s'agit d'un outil de création de richesse exceptionnelle pour toutes les régions du Québec.

4. L'énergie éolienne : une filière 100% renouvelable, fiable et sécuritaire

Dans un contexte de lutte aux changements climatiques, alors que les sociétés industrialisées doivent se tourner vers une utilisation croissante des énergies renouvelables pour réduire leurs émissions de gaz à effet de serre (GES), le Québec jouit d'une position enviable grâce à son potentiel éolien. Avec une ressource de classe mondiale distribuée sur un territoire immense, un réseau de transport étendu et en bonne condition, une capacité de stockage énergétique exceptionnelle grâce à ses réservoirs hydrauliques, il possède une richesse encore peu exploitée qui est répartie sur l'ensemble du territoire québécois. Aujourd'hui, des projets totalisant une puissance de 3 300 MW sont en exploitation ou en développement et un appel d'offres de 700 MW doit encore être émis, ce qui porterait la puissance des parcs éoliens en exploitation à l'horizon 2015 à 4 000 MW. Ce mode de production d'énergie propre et renouvelable constitue un élément positif pour la qualité de l'environnement et la population québécoise.

a. La santé humaine

L'énergie éolienne produit de l'électricité 100 % renouvelable, fiable et sécuritaire. Plusieurs études sur les impacts du son et des infrasons émis par les éoliennes sur la santé humaine ont été publiées dans les

dernières années et démontrent clairement que les éoliennes n'ont pas d'impact sur la santé. Les études produites par l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ)¹, celle du médecin hygiéniste en chef de l'Ontario², ainsi que celle de l'Association canadienne de l'énergie éolienne (CanWEA) et de l'American Wind Energy Association (AWEA) détaillent les résultats obtenus (**Annexe IV**). Cette somme des connaissances sur le sujet permet de répondre aux préoccupations des citoyens qui accueilleront un parc éolien dans leur communauté.

Constat IV :

Les populations qui habitent à proximité des parcs éoliens vivent dans la très grande majorité des cas une expérience très positive. L'énergie éolienne est une technologie éprouvée qui, bien qu'assez récente au Québec, est déjà très bien implantée ailleurs dans le monde, notamment en Europe. Nous évaluons qu'il y a plus de 80 000 éoliennes en opération dans le monde dont plus de 24 000 en Amérique du Nord seulement. Il n'y a aucune raison de croire que le son et les infrasons émis par les éoliennes aient des impacts sur la santé.

b. L'énergie éolienne pour réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES)

Le Québec a fait les bons choix énergétiques. Avec le développement des projets hydroélectriques de concert avec Hydro-Québec, le gouvernement du Québec s'est ainsi assuré que le Québec devienne un leader mondial en énergie renouvelable. Aujourd'hui, plus de 98 % de la production d'électricité de la province provient de sources renouvelables. Ainsi, la lutte aux changements climatiques se transporte sur d'autres fronts au Québec, soit les transports, mais également le chauffage des résidences et des édifices commerciaux ainsi que les procédés industriels existants. En 2006, ces trois secteurs comptaient à eux seuls pour plus de 86 pour cent des émissions de GES au Québec³.

Constat V :

De nouveaux débouchés pour l'électricité renouvelable québécoise, incluant l'électricité de source éolienne, sont à prévoir, et ce, tant pour le marché domestique que pour les marchés d'exportation. L'idée d'un Québec où l'utilisation du pétrole est substantiellement réduite fait son chemin et devient de plus en plus envisageable. L'énergie éolienne a un rôle substantiel à jouer pour le Québec d'aujourd'hui et de demain.

¹ INSPQ, *Éoliennes et santé publique : synthèse des connaissances*, Dominique Blackburn et Lucien Rodrigue et al. 2009, 67 pages + annexes, http://www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1015_EoliennesSantePublique.pdf, consulté en ligne le 30 novembre 2010.

² Rapport du médecin hygiéniste en chef de l'Ontario, *Répercussion possibles des éoliennes sur la santé*, Mai 2010, http://www.health.gov.on.ca/fr/public/publications/ministry_reports/wind_turbine/wind_turbine.pdf, consulté en ligne le 30 novembre 2010.

³ *Le Québec et les changements climatiques – Quelle cible de réduction d'émissions de gaz à effet de serre à l'horizon 2020?*, Gouvernement du Québec, Octobre 2009, p. 12, http://www.mddep.gouv.qc.ca/chang-clim/2005-2020/Brochure-Changement-Climatique_LOW.pdf, consulté le 30 novembre 2010.

5. L'énergie éolienne et l'hydroélectricité : des ressources complémentaires

L'énergie éolienne et l'hydroélectricité sont des partenaires naturels. La complémentarité entre les deux sources de production d'électricité vient principalement du fait que les barrages hydroélectriques servent de batteries naturelles en accumulant l'eau (donc l'énergie) lorsque le vent souffle, et en ouvrant les vannes lorsque le vent diminue. Par ailleurs, plus les parcs éoliens sont répartis sur le territoire, plus on réduit la variabilité de l'énergie éolienne et plus on renforce le réseau électrique du Québec.

Constat VI :

L'énergie éolienne est une ressource complémentaire à l'hydroélectricité québécoise. L'ajout de production éolienne sur le réseau constitue une forme de diversification du portefeuille de production d'électricité du Québec, lequel est présentement hydroélectrique à plus de 95 %. Dans un contexte où l'ampleur des impacts résultants des changements climatiques est encore mal connue, il apparaît prudent de ne pas dépendre d'une source unique de production à long terme. En poursuivant le développement de son potentiel éolien en parallèle avec le développement des ressources hydroélectriques, le Québec sera mieux positionné pour faire face aux changements à venir dont la portée nous est encore inconnue.

6. Conclusions

Pour assurer un développement harmonieux et durable des projets éoliens, il est essentiel de travailler conjointement avec les municipalités et les citoyens, et ce, bien en amont dans l'élaboration des projets. L'acceptabilité sociale, nécessaire, n'est pas synonyme d'unanimité, et nous devons en tenir compte dans chacune des analyses des projets. CanWEA travaille avec l'industrie pour améliorer constamment les meilleures pratiques, en s'inspirant de ce qui se fait le mieux dans le monde.

L'énergie éolienne est bénéfique pour le Québec et ses régions, et ce, tant sur les plans économique, environnemental et social. La chaîne d'approvisionnement de l'énergie éolienne est en pleine expansion et a un excellent potentiel de croissance. Les 4000 MW d'éolien prévus d'ici 2015 créeront plus de 37 000 emplois à temps plein dans les régions du Québec et généreront des investissements totaux de 10 milliards de dollars. Chaque parc éolien est essentiel à l'atteinte de l'objectif et chacune des régions qui les accueillent en bénéficient grandement.

Le projet du parc éolien Seigneurie de Beupré 4 est situé entièrement sur des terres privées ne comptant aucune résidence permanente. Toutes les éoliennes projetées sont situées à plus de 500 mètres des résidences secondaires présentes sur le territoire. De plus, les activités de chasse, de pêche et d'exploitation forestière pourront continuer à être pratiquées sur le territoire. Des infrastructures déjà existantes (routes, lignes et poste d'interconnexion, bâtiment d'opération) pourront servir cette nouvelle phase. Enfin, le projet amènera des investissements qui bénéficieront au propriétaire ainsi qu'aux

communautés avoisinantes qui, à la lumière des informations reçues, ont une opinion favorable face à ce projet. Il s'agit là des nombreux atouts de ce projet aux plans environnemental et social.

L'énergie éolienne est une filière énergétique 100% renouvelable, fiable et sécuritaire. Des centaines de milliers de personnes résident près de parcs éoliens et la très grande majorité vivent une expérience positive. Plusieurs études scientifiques ont confirmé le fait que les éoliennes ne sont nullement dangereuses pour la santé, incluant des agences de santé publique au Québec ainsi qu'ailleurs au Canada et dans le monde. De plus, l'électricité 100 % renouvelable produite par les éoliennes fait partie de la solution : elle permet de réduire les émissions polluantes et les gaz à effet de serre.

En somme, l'énergie éolienne est la forme d'énergie toute désignée pour compléter l'hydroélectricité. Le Québec a fait les bons choix dans le passé et continue de le faire en choisissant l'énergie éolienne.

Avec l'énergie éolienne, c'est tout le Québec qui y gagne !

Liste des annexes

- | | |
|-------------------|--|
| Annexe I | Sondage d'opinion <i>Léger Marketing</i> quant à l'énergie éolienne, février 2012 |
| Annexe II | Résumé de l'étude sur les retombées économique de la filière de l'énergie éolienne sur le Québec, octobre 2010 |
| Annexe III | Étude des retombées économiques de la filière de l'énergie éolienne sur le Québec et en Gaspésie, octobre 2010 |
| Annexe IV | Le son des éoliennes et ses répercussions sur la santé : examen d'un comité d'experts |



Rapport Omnibus

Sondage d'opinion quant à l'énergie éolienne
au Québec

Projet 14515-003
Février 2012

L'intelligence Marketing

Léger
MARKETING

- Léger Marketing est la plus importante firme de recherche marketing et de sondages à propriété canadienne avec plus de 600 professionnels travaillant à ses bureaux au Canada et aux États-Unis.
- Léger Marketing est le partenaire nord-américain du plus important réseau mondial de recherche Worldwide Independent Network (WIN) of Market Research.



WIN
Worldwide
Independent Network
Of Market Research



Canada

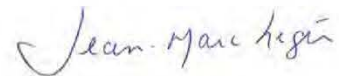
Montréal
Québec
Toronto
Ottawa
Edmonton
Calgary

États-Unis

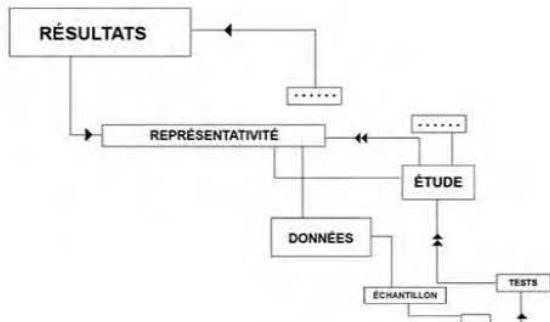
Philadelphie, PA
Denver, CO
Tampa, FL

La plus importante
firme de recherche
marketing et de sondages
à propriété canadienne

Nous sommes fiers de vous présenter ce rapport de recherche qui a été réalisé selon les normes rigoureuses de qualité de notre entreprise et de l'Association canadienne de recherche et d'intelligence marketing (ARIM). Nous sommes persuadés que cela répondra à vos préoccupations et nous espérons avoir le privilège de vous servir de nouveau dans un avenir rapproché.



Jean-Marc Léger
Président





MÉTHODOLOGIE

6

Léger Marketing a été mandatée par Canwea pour réaliser une étude auprès de la population québécoise afin de connaître leur opinion quant à l'énergie éolienne au Québec.

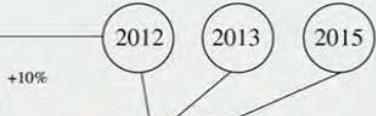
Pour atteindre les objectifs de recherche, un sondage Web a été réalisé du 30 janvier au 1^{er} février 2012 auprès d'un échantillon représentatif de 1001 Québécois(es), âgé(e)s de 18 ans ou plus et pouvant s'exprimer en français ou en anglais.

À l'aide des données de Statistique Canada, les résultats ont été pondérés selon le sexe, l'âge, les régions, la langue parlée à la maison, la scolarité et la présence d'enfants dans le ménage afin de rendre l'échantillon représentatif de l'ensemble de la population à l'étude.

Notes pour la lecture du rapport :

- Les chiffres présentés dans ce rapport étant arrondis, les sommes dans les graphiques et tableaux (basées sur les chiffres réels avant arrondissement) peuvent ne pas correspondre à l'addition manuelle des nombres arrondis.
- Les résultats présentant des différences statistiquement significatives sont indiqués à la suite de la présentation des résultats globaux.
- Lorsque possible, les résultats sont comparés à ceux obtenus lors d'un sondage Web effectué par Léger Marketing en octobre 2010, auprès d'un échantillon similaire de 1000 Québécois(es).

2005	25%
2006	35%
2007	36%
2008	48%
2009	55%
2010	80%
2011	85%



+40%

+10%





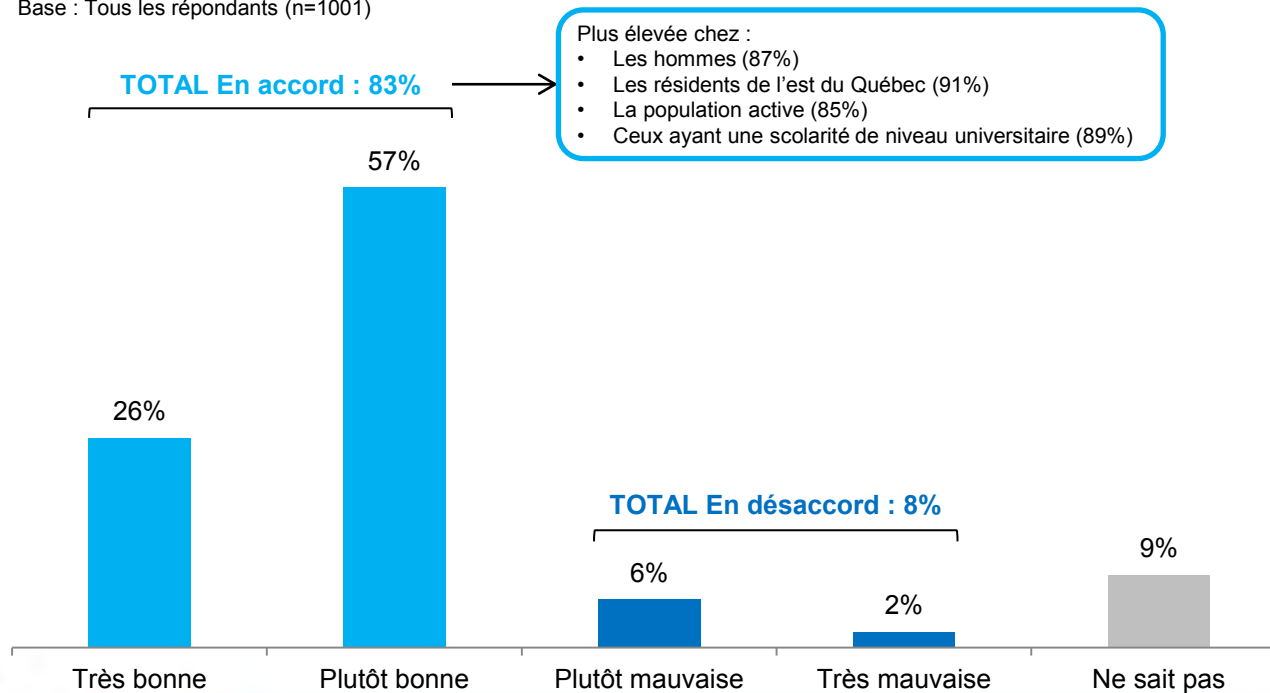
ANALYSE DÉTAILLÉE DES RÉSULTATS

1. Opinion quant à l'énergie éolienne

La grande majorité (83%) des Québécois(es) ont une opinion positive de l'énergie éolienne.

Q1. Veuillez compléter la phrase suivante :
J'ai aujourd'hui une opinion... de l'énergie éolienne.

Base : Tous les répondants (n=1001)





ANALYSE DÉTAILLÉE DES RÉSULTATS

9

2. Perception quant à l'expertise que pourrait développer le Québec

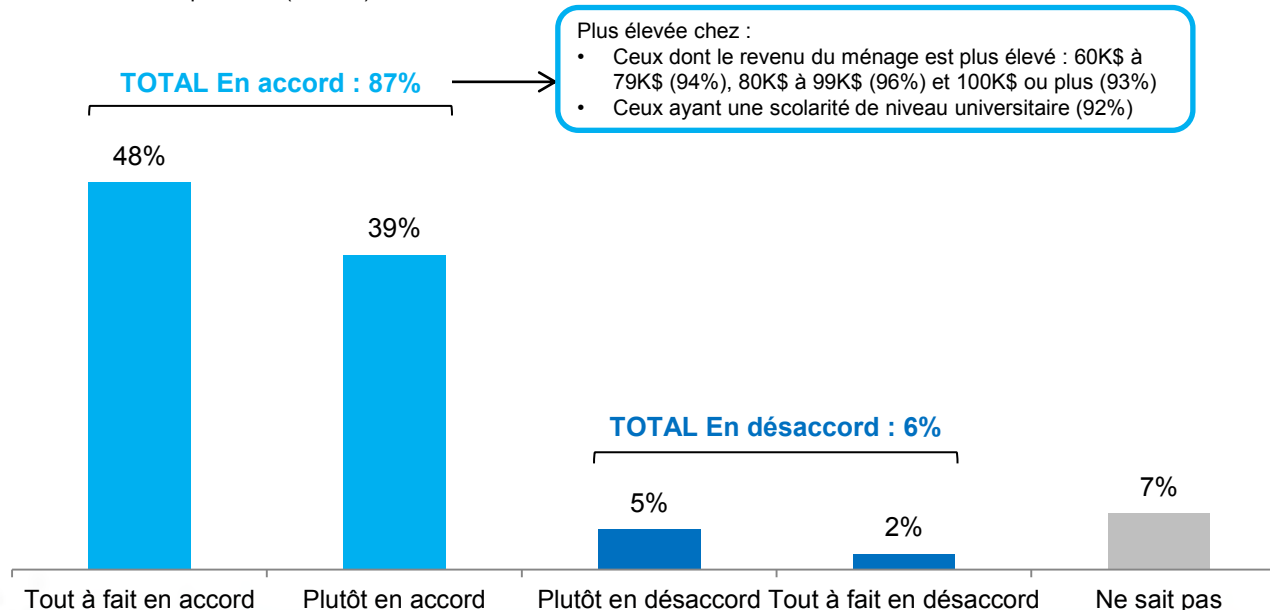
Près de neuf Québécois(es) sur dix (87%) sont d'accord pour dire que le Québec pourrait développer une expertise avantageuse en énergie éolienne, comme il l'a fait avec l'hydroélectricité.

Il s'agit d'une hausse significative du niveau d'accord depuis octobre 2010 (82%).

Q2. Veuillez indiquer votre niveau d'accord ou de désaccord avec l'énoncé suivant :

Le Québec pourrait développer une expertise avantageuse en énergie éolienne, comme il l'a fait avec l'hydroélectricité.

Base : Tous les répondants (n=1001)





ANALYSE DÉTAILLÉE DES RÉSULTATS

10

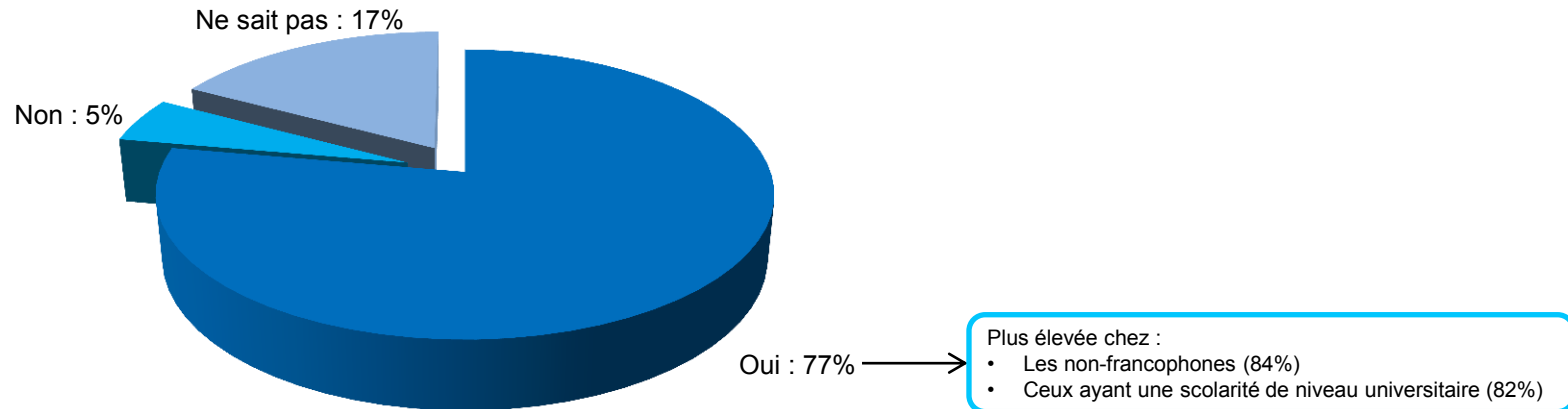
2. Perception quant aux retombées économiques des parcs éoliens

Plus des trois quarts (77%) des Québécois(es) sont en accord avec la poursuite du développement de l'énergie éolienne après 2015, au Québec.

Ce résultat est stable comparativement à octobre 2010, où 75% des Québécois(es) répondaient par l'affirmative à cette question.

Q3. Le gouvernement du Québec mise sur le développement de l'énergie éolienne jusqu'en 2015. Selon vous, devrait-on poursuivre le développement éolien au Québec après 2015 ?

Base : Tous les répondants (n=1001)





PROFIL DES RÉPONDANTS



PROFIL DES RÉPONDANTS

12

Base : Tous les répondants (n=1001)

Sexe	
Hommes	49%
Femmes	51%
Âge	
18 à 24 ans	11%
25 à 34 ans	17%
35 à 44 ans	17%
45 à 54 ans	20%
55 à 64 ans	16%
65 ans et plus	19%
Région	
Montréal RMR	47%
Québec RMR	9%
Est du Québec	9%
Centre du Québec	16%
Ouest du Québec	18%
Présence d'enfant(s) dans le ménage	
Oui	32%
Non	66%
Niveau de scolarité	
Primaire / Secondaire	37%
Collégial	27%
Universitaire	33%

Base : Tous les répondants (n=1001)

Occupation principale	
Services / Vente / Bureau	20%
Travailleurs manuels	7%
Professionnels	26%
Au foyer	5%
Étudiants	8%
Retraités	26%
Sans emploi	6%
Revenu du ménage	
Moins de 40K\$	30%
40K\$ à 59K\$	22%
60K\$ à 79K\$	13%
80K\$ à 99K\$	8%
100K\$ ou plus	12%
Langue maternelle	
Français	79%
Autres	20%

Note : Pour chacune des catégories de profil, le complément à 100% correspond aux mentions « Ne sait pas » et « Refus ».

RAPPORT EXÉCUTIF

L'objectif de la politique gouvernementale québécoise en matière d'énergie éolienne est de doter le Québec d'une nouvelle énergie verte et renouvelable. Cependant, cette politique génère aussi des activités créatrices d'emplois (construction, entretien, gestion). Qu'elles soient temporaires ou permanentes, ces activités de haute technologie peuvent constituer un levier économique important dans certaines régions. En matière de développement régional, le gouvernement du Québec a choisi d'utiliser la mise en place de cette filière pour appuyer le développement économique de la Gaspésie. La politique gouvernementale s'est concrétisée autour de trois appels d'offres qui fixent l'objectif en termes de puissance visée et précisent les conditions, entre autres en termes de contenu québécois et gaspésien. Suite à celle menée en 2006 pour CanWEA, la présente étude tente de mesurer l'impact économique de cette politique.

Les retombées classiques

En 2005, 212,5 MW étaient installés au Québec et, si les calendriers sont respectés, ce chiffre devrait passer à 3 470,25 MW en 2015. De ce nombre, 26 % seront installés en Gaspésie. Combien d'emplois auront été créés pour la construction de cette puissance et combien resteront pour l'entretien et la gestion de ces parcs une fois construits ? À la demande de CanWEA, l'impact économique d'un scénario de 8 000 MW supplémentaires au Québec entre 2015 et 2025 fut aussi vérifié.

PHASE CONSTRUCTION

Durant la période 2005-2010, la construction des parcs d'éoliennes a créé en moyenne annuellement sur l'ensemble du Québec, 1 866 emplois p/a dont 736 emplois en Gaspésie. La projection pour la période 2011-2015 montre que, sur l'ensemble du Québec, ce chiffre fera plus que doubler. En moyenne durant cette période, ce chiffre passerait à 5 210 emplois p/a dont 894 en Gaspésie.

Il s'agit d'emplois directs 561 p/a (118 en Gaspésie, sur les chantiers de construction), indirects 2 614 p/a (598 en Gaspésie, chez les fournisseurs spécialisés et autres) et induits 1 049 p/a (178 en Gaspésie, via la consommation). De plus, la réalisation du scénario CanWEA entre 2016 et 2025 générerait en moyenne pour chacune de ces années un total de 9 144 emplois p/a sur l'ensemble du Québec, dont 984 emplois directs, 6 320 emplois indirects et 1 840 emplois induits. Aucune base ne permettait de préciser la part de la Gaspésie dans ce scénario.

PHASE EXPLOITATION

Pour la Phase Exploitation, quatre portraits de la situation des retombées économiques furent réalisés : en 2005, il y avait 212,5 MW en opération; en 2010, on en était à 663,25 MW; en 2015, on exploiterait 3 470 MW et, enfin, en 2025, 11 470 MW.

En 2005, les retombées économiques en phase exploitation étaient minimales : 85 emplois p/a sur l'ensemble du Québec. Mais déjà en 2010, les retombées deviennent plus importantes passant à 264 emplois p/a. Il est bien certain que plus le potentiel se mettra en place, plus les retombées deviendront importantes. Ce processus semble assez linéaire. En 2015, si le calendrier des mises en exploitation est respecté, on comptera quelques 1 387 emplois p/a permanents : 520 emplois sur les sites pour l'entretien et les réparations, 624 emplois chez divers fournisseurs et 243 emplois induits générés par les dépenses de consommation.

Quelle part de ces emplois sera en Gaspésie puisque les deuxième et troisième appels d'offres ne font pas obligation de se localiser en Gaspésie ? En 2005, les parcs d'éoliennes en opération étaient tous en Gaspésie et généraient globalement 52 emplois p/a. En 2010, le nombre est passé à 164 emplois p/a (99 sur les sites, 36 chez les fournisseurs, et 29 emplois induits). En 2015, si le calendrier est respecté, les parcs d'éoliennes en Gaspésie généreront 223 emplois p/a (135 sur les sites, 49 chez les fournisseurs locaux et 39 via la consommation). Les retombées en Phase d'Exploitation en Gaspésie pour le scénario 2016-2025 n'ont pas été estimées.

Synthèse des autres retombées économiques

CRÉATION D'ENTREPRISES

Les conditions fixées lors du premier appel d'offres ont amené la localisation en Gaspésie de quatre fournisseurs importants (Marmen, LM WIND BLADES, Composites VCI, Bellemare Transport). Le 2^e appel d'offres verra l'ajout de trois autres fournisseurs (Énercon, Woodward, KR Vent), pour un total d'emplois permanents oscillant entre 500 et 600. De plus, Fabrication

Delta, une entreprise locale, vient de faire des investissements pour orienter une partie de ces activités vers l'éolien.

Quelques plus petites entreprises locales de type *spin-off* et *start-up* sont aussi venues s'ajouter (Éocycle technologie, Groupe Ohméga, Énergie PGE fermée et Pesca environnement) et créent une cinquantaine d'emplois. Mais le phénomène le plus important est certainement l'arrivée de plusieurs nouvelles entreprises dans le domaine de l'éolien représentant plus d'un millier d'emplois. La liste préparée par le ministère du Développement économique, de l'Innovation, des Exportations en présente 124.

CRÉATION ET ORIENTATION D'ORGANISMES PUBLICS

Stimulées par les besoins de formations et de nouvelles connaissances, la plupart des universités ont ajouté des programmes et des effectifs dédiés à l'éolien, qui attirent plusieurs dizaines d'étudiants de niveau maîtrise et doctorat. Le Collégia Gaspésia (Cégep de Gaspé) offre une formation spécialisée dans l'entretien des parcs d'éoliennes, qui comble à peine les besoins. Le Techno-Centre de Gaspé est là pour favoriser divers maillages dans le domaine de l'éolien et faire la promotion de cette filière en Gaspésie.

LES REDEVANCES ET LES LOYERS

De quelques milliers de dollars en 2005, ces montants atteindront quelques millions en 2015 et près d'une centaine de millions en 2025 (avec le scénario 8 000 MW). Ces montants versés aux municipalités et aux propriétaires terriens où sont localisés les parcs d'éoliennes constitueront un important apport de revenus (dépassant dans certains cas les revenus de taxes foncières). Et constituant un complément aux revenus agricoles pour la plupart des propriétaires terriens. En 2015, un agriculteur chez qui on aurait installé

quelques éoliennes (moyenne de trois éoliennes de 2 MW) recevrait plus de 30 000 \$ annuellement.

LA PARTICIPATION DES ENTREPRENEURS QUÉBÉCOIS

La création de parcs d'éoliennes nécessite des capitaux et une expertise importante qui ne s'invente pas. Les premiers développements de gré à gré (1997-2005) ont donc normalement donné lieu à des consortiums, à des montages financiers impliquant une entreprise québécoise et des entreprises extérieures ayant déjà une expertise dans le domaine (Axor avec Neg-Micon et Nichimen corp, 3Ci avec Nortland et Creststreet).

L'entreprise québécoise y avait une participation minoritaire. Aujourd'hui en 2010, 27,3 % des prochains développements seront réalisés par des entreprises exclusivement québécoises (Boralex, 3Ci, Kruger). Et on continue quand même à profiter des capitaux et des expertises extérieures sous forme de consortium et de capitaux étrangers : Cartier (Innergex et Trans-Canada), St-Laurent (EDF et RES), Enerfin Sociedad de Energia, Trans Alta, Invenergy Wind, B&B VOK. La participation des entrepreneurs québécois au développement de cette filière s'affirme donc et prend de l'importance.

CONCLUSION

- Création d'environ 37 000 (2005-2015) emplois en Phase Construction sur l'ensemble du Québec dont près de 9 000 emplois en Gaspésie.
- Création (2015) de plus d'un millier d'emplois permanents à l'exploitation de ces parcs (1 387) emplois au Québec dont 223 en Gaspésie.
- Main-d'oeuvre spécialisée pour l'entretien formée par le Collégia Gaspésia à Gaspé.
- Création d'entreprises «fournisseurs» procurant quelques centaines d'emplois réguliers en Gaspésie (400-500 emplois).
- Versements annuels de plusieurs millions de dollars sous forme de redevances et de loyers aux municipalités ($\pm 7,5M\$$) et aux propriétaires ($\pm 17M\$$).
- Développement de la recherche et de la formation dans le domaine de la filière éolienne dans nos universités et centres de recherche.
- Orientation d'une partie des activités de plusieurs dizaines d'entreprises (génie conseil, fabrication, gestion, financement) et création de nouvelles vers la filière éolienne.
- Des entrepreneurs québécois qui prennent de plus en plus d'assurance dans le développement et la gestion de parcs d'éoliennes pour en devenir les promoteurs majoritaires.
- Création d'opportunités d'affaire suffisamment alléchantes pour attirer des développeurs et des capitaux extérieurs.
- Sans oublier, évidemment, le premier objectif de cette stratégie qui est de créer une seconde filière d'énergie propre, verte et renouvelable au Québec.

Toutes ces retombées existent déjà à des degrés divers et augmentent sensiblement avec la mise en place du deuxième et du troisième appel d'offres d'ici 2015. Par contre, nombre d'entre elles risqueraient de disparaître si rien n'était très rapidement prévu après cette date.

ÉTUDE DES RETOMBÉES ÉCONOMIQUES DE LA FILIÈRE DE L'ÉNERGIE ÉOLIENNE SUR LE QUÉBEC ET EN GASPÉSIE, 2005-2025

Étude réalisée pour l'Association canadienne de l'énergie éolienne (CanWEA)

par Dr Jean-Claude Thibodeau, économiste

en collaboration avec GPCo, membre du groupe Hatch



Octobre 2010

TABLE DES MATIÈRES

Objectifs	5
Méthodologie	6
Première période, 2005-2010	8
<i>Les retombées de la Phase Construction</i>	8
<i>Les retombées sur l'ensemble du Québec</i>	8
<i>Les retombées en Gaspésie</i>	9
<i>Les retombées de la Phase Exploitation</i>	11
<i>Retombées en 2005</i>	12
<i>Retombées en 2010</i>	12
<i>Résumé des retombées économiques classiques, ensemble du Québec et Gaspésie, 2005-2010</i>	12
<i>Les fournisseurs spécialisés</i>	13
<i>De multiples nouvelles entreprises</i>	16
<i>Des services publics dédiés à l'éolien</i>	17
Seconde période, 2011-2015	19
<i>Les retombées de la Phase Construction</i>	19
<i>Les retombées sur l'ensemble du Québec</i>	19
<i>Les retombées en Gaspésie</i>	20
<i>Les retombées de la Phase Exploitation</i>	21
<i>Résumé des retombées économiques classiques sur l'ensemble du Québec et en Gaspésie, 2011-2015</i>	22
<i>Les retombées liées aux redevances et aux loyers payés du 1er et du 2e appel d'offres</i>	23
<i>La participation des entrepreneurs québécois</i>	24
<i>Pour la suite des choses, 2016-2025</i>	25
<i>Les retombées de la construction de 8000 MW supplémentaires</i>	26
<i>Les retombées de l'exploitation de 8000 MW supplémentaires</i>	26
<i>Les autres retombées</i>	27
Synthèse-conclusion	28
<i>Phase construction</i>	28
<i>Phase exploitation</i>	29
<i>Création d'entreprises</i>	32
<i>Création et orientation d'organismes publics</i>	33
<i>Les redevances et les loyers</i>	33
<i>La participation des entrepreneurs québécois</i>	33

Conclusion	35
Références bibliographiques et électroniques	36
Annexe 1 - Le calendrier des projets	37
Annexe 2 - Les références de base du calcul des coefficients de retombées économiques.....	39
Annexe 3 - Liste des entreprises et organismes contactés pour les entrevues téléphoniques en 2010.	41
Annexe 4 - Liste des entreprises de la filière éolienne au Québec	42

LISTE DES TABLEAUX ET GRAPHIQUES

Tableau 1 : Les coefficients de retombées économiques classiques en phase de construction sur l'ensemble du Québec en p/a par MW	9
Tableau 2 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase Construction des parcs d'éoliennes de 2005 à 2010 sur l'ensemble du Québec	9
Tableau 3 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase Construction des parcs d'éoliennes, Gaspésie, 2005-2010	10
Tableau 4 - Les coefficients de retombées économiques classiques en Phase d'Exploitation sur l'ensemble du Québec en p/a par MW	11
Tableau 5 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a en Phase d'Exploitation des parcs d'éoliennes sur l'ensemble du Québec et en Gaspésie, 2005	12
Tableau 6 - Les retombées économiques en termes d'emplois (p/a) de la Phase d'Exploitation des parcs d'éoliennes en 2010 sur l'ensemble du Québec et en Gaspésie	12
Tableau 7 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase Construction des parcs d'éoliennes de 2011 à 2015 sur l'ensemble du Québec	20
Tableau 8 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase Construction des parcs d'éoliennes de 2011 à 2015 en Gaspésie	21
Tableau 9 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase d'Exploitation des parcs d'éoliennes en 2015 sur l'ensemble du Québec et en Gaspésie *	21
Tableau 10 – Montants annuels versés aux propriétaires terriens et aux municipalités sur la base des MW installés	23
Tableau 11 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase Construction des parcs d'éoliennes, ensemble du Québec et Gaspésie, 2016-2025	26
Tableau 12 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase Exploitation de l'ensemble des parcs d'éoliennes, ensemble du Québec, 2015-2025	27
<i>Tableau 13 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase d'Exploitation des parcs d'éoliennes des 8000 MW, ensemble du Québec, 2025</i>	27
Tableau 14 - Synthèse des retombées économiques classiques des phases construction sur l'ensemble du Québec, moyenne annuelle des emplois p/a	28
Tableau 15 - Synthèse des retombées économiques classiques des Phases Construction en Gaspésie, moyenne annuelle des emplois p/a	29
Tableau 16 - Synthèse des retombées économiques classiques en Phase d'Exploitation sur l'ensemble du Québec. Emplois p/a	29
Tableau 17 - Synthèse des retombées économiques classiques en Phase d'Exploitation en Gaspésie. Emplois p/a	30

Les photos des pages 10, 11, 13, 14, 15 et 16 sont une gracieuseté du Techno-Centre éolien

Mise en pages et éditng réalisés par France Lamontagne, Écoquartier du Barrage, Montréal-Nord

OBJECTIFS

En 2006, l'Association canadienne de l'énergie éolienne (CanWEA) commandait une étude des retombées économiques du développement de la filière éolienne au Québec. Rappelons que cette étude incluait la phase 1997-2005 ainsi que les deux appels d'offres (1000 MW et 2000 MW) dont la mise en place devait s'effectuer de 2005 à 2015. Ces retombées étaient mesurées en Gaspésie et sur l'ensemble du Québec. Comme cette étude avait été réalisée en 2006, une bonne partie de ces analyses devait donc se faire sur un calendrier prévisionnel de mise en place de ces développements. Ces retombées devaient être mesurées pour les phases de construction et d'exploitation de ces parcs. La présente étude constitue une mise à jour de l'étude de 2006.

En principe, les développements liés au premier appel d'offres (1000 MW) devaient presque tous être en opération en 2010-2012 et le développement des parcs liés au deuxième appel d'offres (2000 MW) serait déjà enclenché à cette date, pour s'échelonner jusqu'en 2015. Qu'en est-il vraiment ? Ce calendrier prévisionnel s'est-il réalisé (voir le calendrier des projets en 2010 à l'annexe 1) ? De plus, l'étude de 2006 n'avait pas pu tenir compte du développement du troisième appel d'offres de 500 MW entre 2010 et 2015. Ce troisième appel d'offres est dédié pour moitié aux collectivités locales et pour moitié aux nations autochtones. Enfin, CanWEA postule que le Québec continuera à développer son potentiel éolien après ces trois appels d'offres. À cet effet, il présente un scénario de développement de 8000 MW supplémentaires entre 2015 et 2025 à raison de 800 MW par an. La présente étude analyse donc les retombées

économiques de ces différents éléments sur l'ensemble du Québec et en Gaspésie.

Les retombées économiques qui seront mesurées sont de même nature que celles de l'étude de 2006, soit les retombées classiques directes, indirectes et induites en phase de construction et en phase d'exploitation. Puis, seront estimées les retombées liées aux redevances qui ont été et seront versées aux municipalités ainsi que les loyers versés aux propriétaires des terrains où sont et seront installées ces éoliennes. De plus, compte tenu des exigences des appels d'offres, plusieurs fournisseurs spécialisés dans le secteur de l'énergie éolienne se sont installés en Gaspésie. Ces fournisseurs sont-ils toujours en opération ? Comment ont-ils évolué de 2005 à 2010 ? De nouveaux fournisseurs ont-ils vu le jour ? On sait que, sur l'ensemble du Québec, la liste des fournisseurs spécialisés s'est sensiblement allongée durant cette période. Au moment du développement de cette filière en 2006, quelques petites entreprises de type *spin-off* et *start-up* étaient apparues ainsi que certains services et organismes. Sont-ils toujours là ? Comment ont-ils évolué, et y en a-t-il de nouveaux ? Enfin, dans la mesure du possible, nous tenterons de mesurer l'étendue de la participation des entrepreneurs québécois à ces développements.

MÉTHODOLOGIE

La méthodologie retenue ici s'apparente à celle utilisée pour l'étude de 2006. Normalement, pour mesurer les retombées économiques d'une activité, il faut procéder à partir du vecteur dépenses (incluant les emplois) de cette activité. Ce vecteur «dépenses» constitue les retombées **directes** de cette activité. Ce même vecteur, après avoir été codifié correctement, sert d'intrant, d'impulseur au Tableau Inter-industriel du Québec de l'Institut de la Statistique du Québec. Ce tableau double entré représentant l'ensemble de l'économie du Québec, permet de mesurer l'impact de ce vecteur «dépenses» chez les principaux fournisseurs et chez les fournisseurs de ces derniers. Il s'agit des retombées **indirectes**, résultant d'une double boucle du tableau inter-industriel. Une partie de ces retombées indirectes impliquent les services qui commencent avant même que la construction débute. Les travaux de recherche de la localisation des meilleures corridors de vent, les travaux ingénierie et d'arpentage, les études d'impact environnementales, les travaux des conseillers juridiques, des conseillers comptables, de l'hébergement et de la restauration, mais aussi ceux que l'on considère intégrés à la chaîne d'approvisionnement soit les fabricants d'éoliennes ou de parties d'éoliennes, des transports spécialisés ou non. Il s'agit là d'une liste non exhaustive des premiers fournisseurs. Mais ces premiers fournisseurs doivent recourir eux-mêmes à des fournisseurs. Au total, le tableau inter-industriel de l'ISQ procède à deux itérations sur 207 sous-secteurs d'activités de l'économie québécoise.

Enfin, les salaires versés aux travailleurs des retombées directes et indirectes seront vraisemblablement dépensés de la même façon que chez l'ensemble des ménages québécois. La matrice des dépenses des ménages québécois de l'ISQ permet de mesurer l'impact de ces dépenses, dites retombées **induites**. Ce dernier type de retombées est relativement discutable dans la mesure où l'on présume que les travailleurs pris en compte pour l'estimation des retombées directes et indirectes auraient été sans revenu n'eût été de l'activité éolienne. À tout le moins, on devrait supposer qu'ils reçoivent des prestations de chômage ou d'assistance sociale, c'est-à-dire des revenus équivalant à plus ou moins 20-30 % de ce qu'ils recevraient en situation d'emploi. La retombée induite est donc de 70-80 % de celle qui sera estimée. Ces différents impacts sont habituellement mesurés non seulement en termes d'emplois, mais aussi en termes de salaires, d'autres revenus, d'impôts et de taxes. Il fut convenu en 2006 de s'en tenir à l'impact en termes d'emplois, qui est le plus important et le plus communément utilisé. Il en sera de même dans la présente étude.

Étant donné que pour l'étude de CanWEA en 2006, l'impact de plusieurs projets de parc d'éoliennes répartis dans le temps devait être mesuré, il paraissait difficile de procéder de la façon décrite ci-haut. Cependant, à cette date, plusieurs études d'impacts de développement de parcs d'éoliennes au Québec avaient déjà été réalisées et ce, depuis 1995. Ces informations furent donc complétées avec quelques études réalisées aux États-Unis (voir la liste des études en annexe 2). Grâce à ces études, furent établis des coefficients moyens de retombées directes, indirectes et induites par MW, tant pour la phase de construction que pour la phase d'opération.

Selon les informations obtenues de l'ISQ (juin 2010) et des développeurs de projets (Cartier, Boralex, 3Ci), en cours ou à venir, il ne semble pas y avoir eu de changements majeurs dans les coefficients techniques, ni dans le tableau interindustriel du Québec ni dans ceux de la construction et des opérations des parcs d'éoliennes depuis 2006. Conséquemment, les mêmes coefficients moyens (directs, indirects, induits) pour l'ensemble de l'étude seront utilisés ici.

En ce qui concerne les autres types de retombées (créations d'entreprises fournisseurs, spin-off, start-up, création d'organismes, participation des entreprises québécoises à ces développements), les informations proviennent d'entrevues réalisées auprès des informateurs dont la liste apparaît à la fin de ce rapport, du ministère du Développement économique, de l'innovation et de l'exportation, ainsi que du Technocentre éolien.

En ce qui a trait au partage géographique des retombées entre l'ensemble du Québec et la Gaspésie¹, les mêmes règles de partage que celles utilisées dans le rapport de 2006 ont été retenues. Dans la mesure où les retombées indirectes et induites sont générées au départ via des instruments statistiques de l'ensemble du Québec, l'étude commencera donc par évaluer les retombées sur l'ensemble du Québec.

On laisse souvent entendre que les emplois de la Phase Construction sont temporaires, car il s'agit surtout des emplois directs, et sur un site précis. Avec un programme de construction s'étalant sur plusieurs années sur l'ensemble du Québec, un nombre moyen d'emplois directs perdure sur l'ensemble de la période. De plus, les emplois chez les fournisseurs (emplois indirects) peuvent être plus stables que les emplois directs, dans la mesure où les exportations peuvent se substituer à la demande locale ou nationale. Toutefois, il faut bien admettre que si les programmes de construction prenaient fin, plusieurs de ces fournisseurs disparaîtraient éventuellement.

¹ Aux fins de la politique de développement de l'énergie éolienne au Québec, la Gaspésie est définie comme étant constituée de la région Administrative Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine et de la MRC de Matane.

PREMIÈRE PÉRIODE, 2005-2010

Les retombées économiques classiques sur l'ensemble du Québec et en Gaspésie

LES RETOMBÉES DE LA PHASE CONSTRUCTION

À partir d'informations provenant du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF), le calendrier des mises en service des différents parcs d'éoliennes du 1^{er} appel d'offres et quelques-uns du 2^e appel d'offres pour la période 2005-2010 fut mis à jour. Durant cette période, dix parcs d'éoliennes ont été construits ou sont en cours de construction au Québec pour un total de 978,7 MW. Six de ces parcs étaient du premier appel d'offres et sont évidemment (par conditions du premier appel d'offres) localisés en Gaspésie; il s'agit des parcs Baie-des-Sables, L'Anse-à-Valeau, Carleton, Le Jardin d'Éole, Montagne-Sèche et Gros-Morne, phase I et II². Ces parcs sont tous équipés d'éoliennes Général Électrique de 1,5 MW. Ils ont une puissance installée totale de 503,6 MW (incluant les 4 MW du T-Cé. Les quatre autres parcs (deuxième appel d'offres) qui seront construits durant cette période sont situés à l'extérieur de la Gaspésie; un dans la Matapédia, un dans le Centre du Québec, un en Beauce et un en Estrie. Ces quatre parcs totalisent 474,6 MW et seront équipés d'éoliennes RE Power ou ENERCON de 2 MW.

Comme indiqué dans la section Méthodologie, les coefficients de retombées économiques classiques sur l'ensemble du Québec seront les mêmes que ceux utilisés en 2006. Ce choix est dicté par le fait qu'après informations prises, ni les coefficients techniques du Tableau inter-industriel du Québec, ni ceux de la construction d'un parc d'éoliennes n'ont été modifiés durant cette période.

LES RETOMBÉES SUR L'ENSEMBLE DU QUÉBEC

Sur la base de ces coefficients, on peut donc estimer que les retombées économiques de la construction de parcs d'éoliennes d'une capacité de 978,6 MW entre 2005 et 2010 furent de 11 197 emplois p/a³ sur l'ensemble du Québec, soit 1 205 emplois directs, 7 739 emplois indirects et 2 253 emplois induits. Il s'agit de p/a; cela signifie qu'en moyenne chaque année, selon la répartition du calendrier de construction durant cette période (6 ans), c'est plus de 1 860 emplois plein temps qui furent créés. Cette moyenne est assez représentative de la réalité annuelle puisqu'il s'est construit chaque année un nombre assez constant d'éoliennes, e.i. entre 100 et 150 MW.

² Gros-Morne et Montagne-Sèche sont effectivement en cours de construction en 2010, mais une partie importante de la construction de ces parcs sera effectuée après 2010. Aux fins de cette étude, 20 % des impacts économiques (informations Innergex) de la construction de ces projets a été imputé à la période 2005-2010.

³ Personnes/année.

Il faut rappeler que, durant la Phase Construction, les emplois directs sont les emplois nécessaires sur les sites de construction (manœuvre, grutier, électriciens industriels, chauffeurs de machinerie lourde, ingénieurs de terrain, etc.); les emplois indirects sont ceux des premiers fournisseurs de produits et services nécessaires à la construction (fabricants de génératrices, de pales, de tours, de bois de construction, de béton, services d'arpentage, services juridiques, bancaires, etc.) mais aussi les emplois chez les fournisseurs de tous ces premiers fournisseurs); enfin, les retombées induites sont celles générées par les dépenses des salaires (moins épargnes et impôts) des emplois directs et indirects.

Tableau 1 - Les coefficients de retombées économiques classiques en phase de construction sur l'ensemble du Québec en p/a par MW

Types de retombées	Coefficients p/a par MW *
Directes	1,23
Indirectes	7,9
Induites	2,3

* Nous tenons à rappeler que ces coefficients ont été estimés à partir de plusieurs études réalisées au Québec entre 1995 et 2005, d'autres réalisées aux USA et aussi à partir d'informations provenant des propriétaires de parcs eux-mêmes.

Tableau 2 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase Construction des parcs d'éoliennes de 2005 à 2010 sur l'ensemble du Québec

Types de retombées	Emplois p/a
Directes	1 205
Indirectes	7 739
Induites	2 253
Totales	11 197

LES RETOMBÉES EN GASPÉSIE

Quelle part de ces retombées économiques sur l'ensemble du Québec a eu lieu en Gaspésie ? Il faut rappeler que, durant cette période, la plupart des parcs d'éoliennes construits ou en construction étaient issus du 1^{er} appel d'offres (4 sur 8) et furent construits en Gaspésie. On peut facilement imaginer l'impact de ces circonstances sur la localisation des retombées directes. Par ailleurs, compte tenu des exigences en termes de contenu gaspésien⁴, plusieurs principaux fournisseurs ont dû s'installer en Gaspésie, ce qui a eu un impact important sur les retombées indirectes.

Pour l'évaluation des retombées en Gaspésie, on procédera ici de la même façon que pour l'étude de 2006.

Les retombées directes sont liées, comme on vient de le voir, à l'importance relative des constructions en Gaspésie par rapport au total construit au Québec. Or, des 978,2 MW construits au Québec durant cette période, 503,6 MW l'ont été en Gaspésie, soit 51 % du total. Des 1 205 emplois directs ainsi créés sur l'ensemble du Québec, 615 le furent en Gaspésie. Ceci ne signifie pas pour autant que tous ces emplois étaient occupés par des Gaspésiens. En 2006, suite aux informations obtenues auprès de propriétaires de parcs qui venaient de terminer la construction, il a été estimé que la main-d'oeuvre gaspésienne sur les sites de construction devait représenter environ 75 % de la main-d'oeuvre totale.

⁴ Le contenu gaspésien doit représenter 60 % des coûts de construction des parcs du 1^{er} appel d'offres et au moins 30 % du coût des éoliennes du 2^e appel d'offres.

On peut présumer qu'au fil du temps, avec le développement de l'expertise et les conditions économiques générales défavorables, ce pourcentage tendrait à augmenter pour atteindre 80 %. D'ailleurs, les consultations récentes confirment que, sur les parcs présentement en construction, la main-d'oeuvre gaspésienne peut combler jusqu'à 83 % des besoins. Ainsi, des 615 emplois p/a directs créés en Gaspésie durant cette période, 492 emplois directs étaient occupés par de la main-d'oeuvre gaspésienne.

Les retombées indirectes en région sont tributaires de l'importance et de la diversification de la structure économique de cette région. Les études réalisées avant 2005, c'est-à-dire avant l'implantation en Gaspésie des fournisseurs spécialisés (Marmen, LG Glasfiber, Composite VCI, SRS Transport, Fabrication Delta) estimaient les retombées indirectes à environ 13 % des retombées indirectes sur l'ensemble du Québec. Il s'agissait de retombées chez les fournisseurs de base, non spécialisés (béton, bois de construction, transport non spécialisé) et aussi chez les fournisseurs de services (service juridique, service financier quotidien, service d'arpentage, service d'hôtellerie et de restauration, entretien de véhicules, etc.). Ce 13 % reste toujours à la base de la part des retombées indirectes en Gaspésie. D'autre part, durant la période 2005-2010, certains fournisseurs spécialisés se sont implantés. Suite aux entrevues effectuées, les emplois chez ces fournisseurs devaient être d'environ 400 en moyenne durant cette période, pour un total de quelque 2 400 emplois p/a pour l'ensemble de la période (6 ans). Puisque 51 % des travaux de construction ont eu lieu en Gaspésie, 3 947 emplois p/a de retombées indirectes sur l'ensemble du Québec sont donc tributaires de cette région. Mais tous ces emplois ne furent pas créés en Gaspésie; 513 emplois p/a (13 %) de base le furent, plus les 2 400 emplois p/a chez les fournisseurs spécialisés.

Au total, les retombées indirectes en termes d'emplois p/a occupés par des Gaspésiens durant cette période furent de 2 913 emplois p/a.



Inventaire forestier

Tableau 3 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase Construction des parcs d'éoliennes, Gaspésie, 2005-2010

Types de retombées	Emplois p/a
Directes	615 *
Indirectes	2 913
Induites	896
Totales	4 424

* dont 492 emplois occupés par des Gaspésiens

Les retombées induites sont constituées des retombées imputables aux dépenses des salaires des travailleurs des emplois directs et indirects. Dans la mesure où ces dépenses sont principalement des dépenses d'achats courants (logement, nourriture, vêtements, transport, meuble, loisirs, etc.) et que l'essentiel de ces achats peut se faire dans la région, on peut supposer que la part des retombées induites de la Gaspésie par rapport à celle de l'ensemble du Québec est au pro rata du poids des emplois directs et indirects en Gaspésie. Or, des 8 944 emplois p/a directs et indirects créés sur l'ensemble du Québec durant cette période, 3 528 l'ont été en Gaspésie. On peut donc estimer que 40 % des retombées induites sur l'ensemble du Québec ont été créées en Gaspésie, soit 896 emplois p/a.

Durant cette période de six ans (2005-2010), la construction des parcs d'éoliennes en Gaspésie aurait donc créé localement plus de 4 400 emplois p/a. Puisqu'il s'est construit chaque année entre 100 et 150 MW d'éoliennes, nous pouvons estimer qu'une moyenne annuelle de 730 emplois p/a est très représentative de la réalité.

LES RETOMBÉES DE LA PHASE EXPLOITATION

Afin de bien voir l'évolution de ces retombées, deux mesures seront effectuées; l'une en début de période et l'autre en fin de période. Les coefficients de retombées par MW installé seront les mêmes que ceux utilisés dans l'étude de 2006. La justesse de ces coefficients, entre autres celui des retombées directes, avait été vérifiée auprès de propriétaires de parc qui étaient en opération à cette date et fut reconfirmée lors de nos récentes entrevues.

En 2005, au début de notre période d'analyse, il n'y avait en opération que les parcs lancés de gré à gré avant cette date. Tous ces parcs étaient localisés en Gaspésie et avaient une capacité de 212,25 MW.

En fin de période, en 2010, quelques parcs supplémentaires, issus du premier appel d'offres, sont entrés en opération. Au total, à cette date, la capacité installée est de 663,25 MW. Ce chiffre diffère de celui de la Phase Construction parce que quelques parcs de ce nombre sont encore en construction. Tous les parcs en opération sont localisés en Gaspésie.

Les retombées directes en phase d'exploitation sont les emplois nécessaires à la gestion et à l'entretien d'un parc d'éoliennes. La plus grande partie de ces emplois sont sur le site même du parc ou dans la région. Quelques emplois sont au siège social du propriétaire.

Les retombées indirectes sont liées aux achats de biens et services nécessaires à la gestion et à l'entretien de ces parcs. Ce sont les emplois chez les fournisseurs de ces biens et services et les fournisseurs de ces derniers.

Comme en phase de construction, les retombées induites sont les emplois générés par les dépenses des salaires des emplois directs et indirects (moins l'épargne et les impôts).



Construction de chemins forestiers

Tableau 4 - Les coefficients de retombées économiques classiques en Phase d'Exploitation sur l'ensemble du Québec en p/a par MW

Types de retombées	Coefficients p/a par MW
Directes	0,15
Indirectes	0,18
Induites	0,07

RETOMBÉES EN 2005

Selon ces coefficients, les retombées économiques en Phase d'Exploitation en 2005 sur l'ensemble du Québec seraient de l'ordre de 85 p/a, soit 32 emplois directs, 38 emplois indirects et 15 emplois induits. Il s'agit évidemment d'emplois permanents.

Puisque tous ces projets se trouvaient en Gaspésie, on peut considérer que la presque totalité des emplois directs (32 p/a) était localisée dans cette région. Par contre, en ce qui concerne les emplois indirects, les informations que nous avons à cette époque montraient qu'environ 30 % de ces emplois étaient en Gaspésie (11 p/a). Enfin, étant donné qu'environ 60 % du total des emplois directs et indirects (43/70) sont dans la région, on peut estimer que cette même proportion des retombées induites l'est aussi (9 p/a).

Tableau 5 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a en Phase d'Exploitation des parcs d'éoliennes sur l'ensemble du Québec et en Gaspésie, 2005

Types de retombées	Québec (emplois p/a)	Gaspésie (emplois p/a)
Directes	32	32
Indirectes	38	11
Induites	15	9
Totales	85	52

RETOMBÉES EN 2010

Rappelons qu'il y avait 663,25 MW d'énergie éolienne en exploitation sur l'ensemble du Québec en 2010, et que tous étaient localisés en Gaspésie. Les coefficients seront les mêmes que précédemment et les bases de répartition Québec/Gaspésie aussi.

Tableau 6 - Les retombées économiques en termes d'emplois (p/a) de la Phase d'Exploitation des parcs d'éoliennes en 2010 sur l'ensemble du Québec et en Gaspésie

Types de retombées	Québec (emplois p/a)	Gaspésie (emplois p/a)
Directes	99	99
Indirectes	119	36
Induites	46	29
Totales	264	164

Ainsi, en 2010, le fonctionnement des dix parcs d'éoliennes (11 avec Renard) et T-Cé d'une capacité de 663,25 MW créaient sur l'ensemble du Québec 264 emplois plein temps dont 164 étaient localisés en Gaspésie.

RÉSUMÉ DES RETOMBÉES ÉCONOMIQUES CLASSIQUES, ENSEMBLE DU QUÉBEC ET GASPÉSIE, 2005-2010

Clairement, la Phase Construction de la filière éolienne amène une effervescence économique importante durant cette période. Sur l'ensemble du Québec, plus de 11 100 emplois p/a directs, indirects, induits (sur les chantiers de construction, chez les fournisseurs, et via la structure de consommation) furent créés sur une période de six ans. Annuellement, on estime donc une moyenne de plus de 1 850 emplois p/a.

Or, près de 51 % de ces constructions se situaient en Gaspésie (503,6 MW / 978,2 MW). Rien d'étonnant alors qu'une partie importante de ces retombées ait eu lieu dans cette région. Au cours de ces six années, 4 424 emplois p/a y furent créés (directs, indirects et induits), soit une moyenne annuelle de 730 emplois p/a. Il faut souligner la présence dans cette région de cinq importants fournisseurs de biens et services spécialisés qui contribuent à augmenter la part des retombées indirectes qui, autrement, auraient été beaucoup plus faibles et aussi beaucoup moins visibles.

Pendant que ces constructions se faisaient, certains parcs étaient déjà en opération. En début de période

(2005), cinq parcs étaient en opération (six avec Renard) pour une puissance de 212,25 MW. Durant cette période, quatre autres vinrent s'y ajouter, de telle sorte qu'à la fin de la période (2010) la puissance installée était passée à 663,25 MW. L'impact sur le Québec de cette production éolienne est passé de 85 emplois p/a en 2005 à 264 emplois p/a en 2010. Et puisque toute cette production était localisée en Gaspésie, la plus grande partie de ces retombées le furent aussi. On parle de 100 % des emplois directs qui sont passés de 32 emplois en 2005 à 99 emplois en 2010 et, au total, de 52 emplois en 2005 à 164 emplois en 2010.

Il faut peut-être ajouter que tous les projets dont la réalisation était prévue durant cette période ne l'ont pas été. À ce jour, plus de 400 MW planifiés à l'origine ont été soit abandonnés soit reportés. En juillet 2010, le gouvernement annonçait la relance du projet Mt Louis (100 MW) qui devrait être mis en service en 2012.



Les autres retombées économiques sur l'ensemble du Québec et en Gaspésie, 2005-2010

En plus des retombées économiques dites classiques, l'engouement pour cette filière, les conditions fixées dans les appels d'offres ainsi que

la nouvelle demande en main-d'oeuvre et en produits/services plus spécialisés ont généré des activités⁵.

Au Québec, la Gaspésie est la région pionnière en matière d'énergie éolienne. Déjà dans les années 1970, Hydro-Québec menait des recherches dans ce domaine à Cap-Chat et aux Îles-de-la-Madeleine avec apparemment peu de succès. Mais le premier coup d'envoi sérieux fut donné par Axor avec ses implantations à Matane et à Cap-Chat à partir de 1997. Le second coup d'envoi, encore plus important est venu du gouvernement du Québec en 2003-2004 avec l'annonce d'un développement de 1000 MW réservés à la Gaspésie, avec obligation aux développeurs de prévoir 60 % (40 % en début de période) du coût du projet dans la région. Enfin, presque en même temps, fut annoncé le deuxième appel d'offres de 2000 MW.

En Gaspésie, cet ensemble d'événements a créé un engouement, sinon une forme d'euphorie, pour la filière éolienne, engouement qui s'est traduit dans la région, et même dans l'ensemble du Québec, par le développement de toutes sortes d'activités. C'est ce que nous allons passer en revue dans cette section. La plus grande partie des informations nécessaires à cette section provient d'entrevues téléphoniques que nous avons menées auprès d'entreprises et d'organismes publics et privés. Certaines informations ont été complétées par des informations documentaires sur Internet.

LES FOURNISSEURS SPÉCIALISÉS

La maximisation des retombées économiques régionales de tels développements est liée à la présence dans la région d'un bon réseau de fournisseurs (fabrication et services) en mesure de satisfaire localement les besoins de la construction. La Gaspésie et le Bas-Saint-Laurent possèdent certainement, comme la plupart des régions périphériques, un excellent réseau de fournisseurs

⁵ Ces activités ont déjà été prises en compte dans la mesure des retombées indirectes.

de base (matériaux de construction, bois de construction, ciment préparé, acier de construction, services d'arpentage, services juridiques, etc.). Cela avait d'ailleurs été constaté lors de l'analyse de la structure économique de cette région lors de l'étude d'implantation du projet Kenetech (Axor) en 1995. Mais dans le cas d'un développement très spécialisé comme celui de parcs d'éoliennes, ces fournisseurs de base ne représentent qu'une assez faible partie du coût de construction. Par conséquent, pour maximiser les retombées économiques régionales, le gouvernement a imposé un contenu régional de 60 % dans le cas du 1 000 MW. Et de 60 % sur l'ensemble du Québec et de 30 % (du coût de l'éolienne) en Gaspésie pour le deuxième appel d'offres. Pour la période 2005-2010, ces obligations ont amené l'implantation dans la région de la Gaspésie de cinq entreprises importantes de fabrication et d'assemblage, de transport des composantes et d'entretien des éoliennes et la réorientation d'une sixième entreprise déjà existante vers la fabrication de tours. Celles-ci sont plus ou moins en sous-traitance avec Général Électrique (GE) qui agit comme donneur d'ordres dans la fabrication et l'assemblage des éoliennes requises pour le développement des 1000 MW.

Marmen. Cette entreprise de Trois-Rivières s'est implantée à Matane en 2005. Elle fabrique les tours et assemble les nacelles. En 2006, elle employait sur place environ 135 personnes; en 2010, le nombre d'employés est rendu à 110 personnes. À partir de 2011, elle ne sera plus liée à GE et elle n'assemblera plus de nacelle. Par contre, elle fabriquera des tours pour RE Power et Énercon, les deux nouveaux turbiniers pour le deuxième appel d'offres. Elle pense avoir suffisamment de souplesse dans l'organisation de sa production pour rencontrer la demande avec les effectifs actuels. Actuellement, l'usine fonctionne 24 heures par jour, cinq jours par semaine. Elle pourra fabriquer environ 160 tours par an. Elle produit aussi des tours pour éolienne à son usine de Trois-Rivières, principalement pour l'exportation.

Composite VCI. Cette entreprise de Mirabel s'est installée à Matane en janvier 2006. Elle fabriquait la coquille en fibre de verre de la nacelle, l'assemblait et l'expédiait chez Marmen. Elle employait environ 45 personnes qui travaillaient sur deux quarts, cinq jours sur sept. Elle travaillait en phase avec la cadence de Marmen. Par contre, à partir de 2010, les prochains nouveaux développements se feront avec de nouvelles turbines qui arrivent avec leur nacelle. Composite VCI donc n'est pas certain de l'avenir de son usine à Matane. On pense à une réorientation de l'usine avec des effectifs d'une trentaine de personnes. À l'heure actuelle, une seule personne travaille à cette usine.



Transport d'une section de tour

LM WIND BLADES (LM Glasfiber). Entreprise danoise implantée à Gaspé en 2005, elle était aussi en sous-traitance avec GE suite à l'appel d'offres de 1 000 MW. En opération depuis le printemps 2006, elle employait au départ une cinquantaine de travailleurs passant rapidement à 150. Elle emploie actuellement 230 personnes. Elle peut fabriquer trois dimensions de pale. Elle continuera ainsi à fabriquer pour GE pour l'exportation, tout en fabriquant aussi pour RE Power. L'éolienne d'ENERCON arrive avec ses pales.

SRS Transport (SRS Bellemare Transport). Cette entreprise de la région de Trois-Rivières s'est implantée à Murdochville. Spécialisée dans le transport de pièces surdimensionnées, elle transporte les composantes d'éoliennes fabriquées à Gaspé, Matane et Trois-Rivières vers les sites de construction. Elle vise aussi le marché de l'exportation de ces composantes. Bien qu'elle soit principalement installée à Trois-Rivières, elle opère à Murdochville avec une vingtaine d'employés et ce nombre pourrait augmenter dans les mois à venir.

KR VENT. Cette entreprise danoise se spécialise principalement dans l'entretien et la réparation des éoliennes. Elle vient de s'installer à Murdochville. Elle prévoit l'embauche rapide de 20 à 30 techniciens.

Fabrication Delta. Cette entreprise située à St-Simon de Bonaventure était spécialisée dans la production de produits métalliques pour l'industrie des pâtes et papier et des mines et qui, en 2009, a investi dans une division pour la fabrication de tours pour éoliennes. Elle travaille principalement pour le marché de l'exportation. Une partie des tours de RE Power, surtout celles pour l'exportation, sera fabriquée par eux.

Ces cinq nouvelles entreprises indiquent une réorientation directement imputable au développement de la filière éolienne et, surtout, à l'obligation issue des conditions fixées dans le premier appel d'offres (contenu régional de 60 %). Près de 400 emplois ont donc été créés par ces entreprises (nous les avons déjà pris en compte dans le calcul des retombées indirectes). Le nombre d'emplois risque d'augmenter dans ce domaine, dans la mesure où

- Enercon, le turbinier allemand, complète présentement la construction d'une usine à Matane pour la fabrication de la section béton de ses tours et l'assemblage de ses E-modules, avec une prévision d'emplois de 150 personnes;
- RE Power, un autre turbinier allemand, en partenariat avec Woodward, construirait une usine à New Richmond pour la fabrication de convertisseurs électriques qui emploierait au départ 40 employés. À partir de 2011, le nombre d'emplois total dans ces entreprises se situerait entre 500 et 600 emplois.

Par ailleurs, ces entreprises ne semblent pas avoir de difficulté à exporter leurs produits vers d'autres régions du Québec et même vers les Maritimes et la Nouvelle-Angleterre. En plus du transport routier, la proximité du transport naval et du transport ferroviaire leur permet d'atteindre tous les points où pourrait se faire du développement éolien. Les seuls freins à l'exportation hors Québec sont les exigences provinciales ou nationales en matière de contenu local. Car, on s'en doute, le Québec n'est pas le seul à se préoccuper de création d'emplois. Un des commentaires entendus à cet égard est le suivant : «On risque de devoir produire sous des chapiteaux démontables, un peu comme des gens de cirque». Ce commentaire n'est pas nécessairement rassurant quant à la pérennité de ces activités.

DE MULTIPLES NOUVELLES ENTREPRISES

Au début de cette période, nous assistions à l'éclosion de petites entreprises de type *start-up* ou *spin-off*, liées au développement de l'éolien. Deux de ces entreprises sont d'ailleurs encore en opération.

Éocycle technologie. Cette entreprise, créée en 2002 se spécialise dans le développement d'alternateurs basse vitesse. Elle vise le marché des éoliennes de petite puissance mais pense éventuellement développer un produit pour la moyenne et la grande puissance. D'abord centrée sur la R&D, elle est maintenant entrée en production. Elle emploie pour le moment 12 personnes et est presque exclusivement orientée vers l'exportation.

Groupe Ohméga. Ici, il ne s'agissait pas à proprement parler d'une «start up» car elle existait depuis 1996. Mais l'engouement pour l'éolien l'a bien favorisée. Elle fabriquait des tours anémométriques utilisées pour bien définir les potentiels éoliens sur une échelle micro-spatiale. Depuis 2007, elle a abandonné cette fabrication pour se consacrer au génie conseil et aux télécommunications dans le domaine de l'éolien. Elle emploie actuellement 35 personnes.

Énergie PGE. Cette entreprise installée à Chandler produisait des pales d'éoliennes de petite puissance (35 kw). Son principal marché devait être celui de l'exportation, entre autres vers des pays en voie de développement. Elle employait au démarrage une vingtaine de personnes. Pour différentes raisons, elle fut malheureusement amenée à cesser ses opérations en 2007.

Pesca Environnement. Grâce à son équipe multidisciplinaire d'une quarantaine (40) de personnes, cette entreprise offre des services diversifiés dans la planification et la réalisation de parcs

d'éoliennes. Elle vise principalement le marché d'exportation de ses différentes expertises.

Mais, depuis ce temps, c'est moins le phénomène *start-up* ou *spin-off* qui surprend mais plutôt l'arrivée vers l'éolien de plusieurs entreprises grandes ou petites, multinationales étrangères (présentes au Québec) ou québécoises. Des entreprises comme **Technostrobe** (dans le domaine des systèmes de contrôle ou de sécurité), **Unigear** (dans le domaine des boîtes d'engrenage), **Freins Alco** (dans le domaine des systèmes de freinage), **Gurit** (dans le domaine des matériaux composite) complètent de plus en plus la « chaîne d'approvisionnement » dans le domaine de l'éolien au Québec (voir annex 4). Vouloir être exhaustif en cette matière nécessiterait de passer systématiquement en revue la liste produite par le ministère du Développement économique, de l'innovation et des exportations (MDEIE) pour l'ensemble du Québec. Cette liste de 124 entreprises ou organismes contient tout ce qui, de près ou de loin, est susceptible de s'intéresser au domaine éolien. On y retrouve de grandes firmes de génie-conseil, des fabricants d'éoliennes de toutes tailles, des fabricants de génératrices et de tours, des développeurs de parcs, des consultants de tous genres, des assureurs, etc. Il s'agit là certainement de quelque milliers d'emplois. Mais quelle est la participation réelle de ces entreprises aux travaux générés par les deux ou trois appels d'offres ? Il n'est pas facile de le dire. Cependant, compte tenu du type d'activités représentées par ces entreprises, la mesure de nos retombées indirectes classiques, tant pour la Phase Construction que pour celle de l'Exploitation, prend certainement en compte une part importante de ces emplois. Rappelons que pour la période 2005-2010 en phase construction les retombées indirectes représentaient annuellement plus de 1300 emplois p/a.

DES SERVICES PUBLICS DÉDIÉS À L'ÉOLIEN

Le développement de la filière éolienne depuis 1997 a généré des besoins en formation (entre autres pour l'entretien de ces parcs) et en recherche importants. Avec les avancées dans certains pays (France, Allemagne, Danemark), on pourrait penser qu'il s'agit d'une filière arrivée à maturité et que les besoins de connaissances nouvelles sont minimes. Or, tel n'est pas le cas car, entre autres, les conditions particulières au Québec nécessitent l'acquisition de nouvelles connaissances pour bien optimiser les rendements de cette filière : climat nordique (problèmes d'air froid sur la performance, problèmes de givre et de neige sur les pales), intégration de cette production fluctuante à un réseau plus stable, difficulté de prévoir les bons potentiels éoliens, difficultés de tirer le meilleur parti d'un emplacement, planification de l'implantation de parcs dans les communautés, etc. Nous sommes loin de posséder toutes les réponses dans ces domaines et c'est pourquoi la plupart des champs de recherche de nos universités et de l'IREQ gravitent autour de ces questions.

UQAR (Université du Québec à Rimouski). En 2010, elle dédie 17 employés à l'éolien. Créé en 2006, le Laboratoire de recherche en énergie éolienne développe des outils pédagogiques pour une meilleure insertion des parcs dans les communautés. Il s'intéresse aussi aux conditions nordiques de nos parcs, à la planification de ces parcs dans les communautés, au couplage de cette énergie avec le diesel et avec d'autres sources d'énergie renouvelable, à la sécurité au travail dans ce domaine. Actuellement, elle accueille une cinquantaine d'étudiants à la maîtrise et au doctorat. Cinq professeurs y sont affectés à temps plein et plusieurs professeurs invités y séjournent.

ETS (École de Technologie Supérieure). Chaire de recherche en énergie éolienne financée par trois programmes du CRSNG. S'y trouvent deux professeurs à plein temps, plusieurs professeurs du département de génie mécanique à temps partiel et, en plus, des infrastructures du département (secrétariat, informatique), pour un total d'environ 15 personnes dédiés à l'éolien. Elle accueille actuellement, une trentaine d'étudiants de maîtrise et de doctorat, dont les champs de recherche portent sur l'aérodynamique, l'aménagement optimal d'un parc, l'évaluation du potentiel éolien et le comportement des matériaux composites en milieu nordique. Dans quelques cas, ces travaux sont menés en collaboration avec des professeurs d'autres universités, dont l'UQAR.

Polytechnique. La Chaire Bombardier en aérodynamique accueille présentement un professeur à plein temps et un technicien, six étudiants au doctorat et deux post-doctorants. Elle offre un programme de maîtrise et de doctorat en génie mécanique et électrique avec des éléments touchant les éoliennes. Champs de recherche : éolienne verticale, simulation et prédiction de l'efficacité de l'aérodynamique, prédiction de la performance des rotors.

IREQ (Institut de Recherche sur l'Énergie au Québec). Ce Centre de recherche d'Hydro-Québec regroupe actuellement une vingtaine de personnes affectées au domaine de l'éolien (sept p/a chercheurs dont deux à plein temps, personnel de soutien), en collaboration avec l'ETS. Champs de recherche : caractéristiques et prévisions de la production, modèle et simulation des comportements des éoliennes, optimisation de l'intégration de la production éolienne au réseau, branchement effectif du réseau.



Collège Gaspésia (CÉGEP de Gaspé). Ce collège offre deux types de formation en lien avec le développement de la filière éolienne, une formation pour l'entretien des éoliennes et des formations spécifiques qui répondent sur demande aux besoins des entreprises. Pour chaque formation en relation avec le développement de l'éolien, on trouve un professeur à temps complet et quelques professeurs à temps partiel. En ce qui concerne la formation pour l'entretien, le collège vient de se doter, grâce à un investissement important du Gouvernement du Québec, d'un nouveau bâtiment qui abritera des équipements d'éolienne et même une tour afin que les étudiants puissent faire leur apprentissage de l'entretien avec de vrais équipements. De plus, les étudiants auront accès aux éoliennes acquises par le Techno-Centre (deux éolienne de RE Power). À partir de cette année, cette formation sera offerte à deux cohortes de 18 étudiants. Cet accroissement des effectifs étudiants est dicté par des besoins de plus en plus grands pour une main-d'oeuvre qualifiée dans l'entretien des parcs d'éoliennes.

Techno-centre éolien. Le centre a comme mission première la promotion des activités de la filière éolienne en Gaspésie-Îles-de-la-Madeleine. Par ses liens étroits avec le CÉGEP de Gaspé, le Collège Gaspésia et l'UQAR, il contribue aussi à la formation et à la recherche et, entre autres, à la recherche appliquée. Créé en 2000, cet organisme, avec 14 employés à temps plein, fait la promotion de la Gaspésie et des Îles comme lieu de prédilection pour ce type d'énergie. En collaboration avec les instances municipales et régionales, il favorise les maillages d'entreprises dans le domaine de l'éolien, aide aux transferts technologiques, fait le suivi en matière de recherche-développement sur les caractéristiques du climat nordique, attire les développeurs de parcs d'éoliennes et les fournisseurs spécialisés. En collaboration avec la firme RE Power, il vient d'acquérir deux éoliennes qui serviront, entre autres, à la recherche et à la formation des étudiants du Collège Gaspésia.

Formation, recherche, promotion, depuis quelques années toutes nos universités ont développé des programmes de formation de niveau maîtrise et doctorat dans le domaine de l'éolienne. Actuellement, plusieurs étudiants y sont inscrits. Des chaires de recherche ont aussi été créées pour répondre à certaines difficultés rencontrées dans le développement de cette jeune filière. En Gaspésie, on veut profiter au maximum des retombées de cette nouvelle filière en formant une main-d'œuvre spécialisée qui trouvera preneur dans ces nouveaux parcs d'éoliennes. Habitée depuis des décennies à faire la promotion du développement économique, cette région a senti le besoin, compte tenu du potentiel éolien de la région et de l'importance du potentiel économique de cette filière, de se doter d'un organisme spécifique pour en faire la promotion. Ces retombées économiques et sociales sur l'ensemble du Québec et en Gaspésie débordent les analyses classiques de retombées économiques mais revêtent une importance majeure dans l'accompagnement et le développement de cette filière au Québec.



SECONDE PÉRIODE, 2011-2015

Les retombées classiques sur l'ensemble du Québec et en Gaspésie

LES RETOMBÉES DE LA PHASE CONSTRUCTION

Selon le calendrier des projets, il devrait se construire dix nouveaux parcs d'éoliennes du deuxième appel d'offres au Québec entre 2011 et 2015. De plus, avec le troisième appel d'offres, dédié aux municipalités et aux communautés autochtones, on peut ajouter une vingtaine de petits parcs supplémentaires. Nous parlons de petits parcs car les conditions du troisième appel spécifiaient que ces parcs ne devaient pas excéder 25 MW. Enfin, le gouvernement vient d'annoncer le redémarrage du projet Mt Louis du premier appel d'offres. Au total, on augmentera donc la puissance éolienne installée au Québec de 2 279,6 MW durant cette période : 1461,9 MW du deuxième appel d'offres (voir le calendrier des mises en service à l'annexe 1); 500 MW du troisième appel; 100,5 MW du premier appel d'offres; et 217,7 MW de report des projets Gros-Morne et Montagne-Sèche. Quelles seront les retombées économiques de la construction de ces parcs et quelle part la Gaspésie accaparerait-elle de ces retombées ?

Les coefficients de retombées utilisés sont les mêmes que ceux de la partie précédente (voir tableau 1, page 6). Puisque les développements du deuxième appel d'offres se feront avec des éoliennes de 2 MW (donc plus hautes, plus lourdes) plutôt que de 1,5 MW, nous croyions, de prime abord, devoir ajuster les coefficients de retombées directes de la construction.

Or, tel n'est pas le cas. En effet, si effectivement l'érection de ces tours nécessite des bases en béton plus importantes, des grues plus hautes et plus puissantes, des temps de levée plus longs et, en somme, plus de main-d'oeuvre⁶, il faut comprendre qu'au total le surplus de puissance obtenu compense cette augmentation. Pour chaque 6 MW installé, trois éoliennes au lieu de 4 sont nécessaires, soit un gain équivalent de 25 %. Il est donc justifié d'utiliser les mêmes coefficients de retombées directes pour la construction de ces parcs (voir tableau 1). Pour les autres coefficients (indirects et induits, rien ne justifie de les modifier, car nous ne sommes pas en mesure de prévoir les modifications des coefficients techniques du tableau interindustriel et, s'il y en a, leur ordre de grandeur et leur direction. Il en va de même pour les coefficients de la matrice de consommation des ménages québécois.

LES RETOMBÉES SUR L'ENSEMBLE DU QUÉBEC

Compte tenu de ces coefficients, les retombées économiques classiques de la construction de ces parcs durant cette période (période de 5 ans) seraient de 26 045 emplois p/a. De ce total, 2 803 emplois p/a seraient créés directement sur les sites de construction, 18 000 le seraient chez l'ensemble des fournisseurs (premier et second niveau) et 5 243 emplois p/a seraient créés via la dépense des salaires (moins épargne et impôts) des emplois directs et indirects. Ceci signifie qu'en moyenne chaque année durant cette période, plus de 5 210 emplois p/a seront créés.

⁶ On estime d'ailleurs à 25 % de plus la main-d'oeuvre nécessaire pour l'installation d'une telle éolienne.

Cette activité semble donc très importante sur l'ensemble du Québec.



Placement d'une nacelle sur sa tour

Tableau 7 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase Construction des parcs d'éoliennes de 2011 à 2015 sur l'ensemble du Québec

Types de retombées	Emplois p/a
Directes	2 803
Indirectes	18 000
Induites	5 243
Totales	26 045

LES RETOMBÉES EN GASPÉSIE

Quelle part de ces emplois serait créée en Gaspésie ? On se rappelle que les emplois directs de la construction sont sur le site même du projet. Par conséquent, pour apprécier le nombre d'emplois directs créés en Gaspésie, il faut préciser les MW qui y seront construits durant cette période. Selon le calendrier des projets du deuxième appel d'offres, 66 MW du 1461,7 MW seront construits dans la région. En fait, il n'y a que le parc de New Richmond qui soit effectivement en Gaspésie.

Il faut ajouter évidemment le 100 MW reporté en 2012 de Mt Louis du premier appel d'offres ainsi que les 217,7 MW de report des projets Gros-Morne et Montagne-Sèche. Enfin, quelle part du troisième appel d'offres reviendra à la Gaspésie ? Au moment de la rédaction de ce rapport, les projets de cet appel d'offres n'ont pas encore été adjugés. Mais,

des 44 projets qui ont été soumis, huit seulement se situent en Gaspésie, soit 18 % du total des projets.

En tenant compte de ces différentes considérations, il est vraisemblable de penser que 473,7 MW des 2279,6 MW qui seront construits au Québec durant cette période seront localisés dans la région Gaspésie-Bas-St-Laurent, soit 21 % du total. C'est ce pourcentage qui sera retenu pour effectuer le partage des retombées directes entre la Gaspésie et le reste du Québec, de la construction des parcs d'éoliennes durant cette période.

L'estimation des retombées indirectes est plus complexe dans la mesure où, même pour les projets à l'extérieur de la Gaspésie, les principaux fournisseurs spécialisés y sont localisés. Pour le 2^e appel d'offres, les développeurs n'ont pas retenu les éoliennes GE mais celles d'ENERCON et de RE Power. Le partage entre ces deux entreprises se fera à peu près également. Dans le cas des éoliennes Énercon, Marmen fabriquera la partie métallique de la tour. La partie béton de celle-ci sera fabriquée à la nouvelle usine d'ENERCON à Matane de même que les E-modules. Et on peut penser que le transport spécialisé (qui devient plus important pour les projets hors Gaspésie) sera contracté aussi en Gaspésie. Il en va de même pour les éoliennes de RE Power pour qui Marmen fabriquera les tours (un certain pourcentage sera peut-être fabriqué par Fabrication Delta, mais cette entreprise est aussi localisée en Gaspésie).

De plus, RE Power devrait ouvrir une usine à New Richmond pour la fabrication de convertisseurs électriques, en collaboration avec Woodward. Et leurs pales seront fabriquées par LM Wind Blades (LM Glasfiber). Dans ce cas aussi, le transport spécialisé proviendra vraisemblablement de la Gaspésie. L'ensemble de ces fournisseurs spécialisés représentera autour de 500-600 emplois qui devront donc être imputés à la Gaspésie (retenons 500) quelle que soit la localisation des projets. En p/a, pour une période de 5 ans, on parle donc de 2 500 emplois p/a. Enfin, pour les projets construits en Gaspésie, il faudra considérer les retombées chez les fournisseurs de base dont on avait estimé l'importance à 13 % des retombées indirectes.

Les retombées induites seront déduites en fonction de l'importance relative des retombées directes et indirectes en Gaspésie par rapport au total de ces retombées au Québec, soit 17 %.

Au total pour cette période, 4 471 emplois p/a seront localisés en Gaspésie. En moyenne, c'est 895 emplois par année, même si la plus grande partie des développements de parcs se feront hors Gaspésie, grâce à la présence des fournisseurs spécialisés.

Tableau 8 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase Construction des parcs d'éoliennes de 2011 à 2015 en Gaspésie

Types de retombées	Emplois p/a
Directes	589
Indirectes	2 991
Induites	891
Totales	4 471

LES RETOMBÉES DE LA PHASE EXPLOITATION

Pour la période précédente, deux estimés de ces retombées avaient été réalisés, en début de période et en fin de période. Le but était évidemment de pouvoir mesurer une certaine évolution. Mais puisque la mesure de la fin de cette période et celle du début de la présente ne sont séparées que par une année, il fut décidé de ne mesurer que les retombées en Phase d'Exploitation de la dernière année de cette période (2015) pour l'ensemble du Québec et pour la Gaspésie

On se rappelle qu'à la fin de la période précédente, 663,25 MW d'éoliennes étaient en opération et toutes étaient localisées en Gaspésie. De plus, 744,6 MW étaient en construction en 2010 mais ne sont entrés en opération qu'en 2011. Durant la période 2011-2015, 2274,6 MW auront donc été construits. Ce qui fait qu'au total en 2015, nous devrions avoir au Québec 3470,25 MW d'éoliennes en opération dont 919 MW seraient localisés en Gaspésie soit 26 %.

*Tableau 9 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase d'Exploitation des parcs d'éoliennes en 2015 sur l'ensemble du Québec et en Gaspésie **

Types de retombées	Québec (emplois p/a)	Gaspésie (emplois p/a)
Directes	520	135
Indirectes	624	49
Induites	243	39
Totales	1 387	223

* Pour les coefficients utilisés, voir le tableau 4 en page 8 de ce document.

On se rappelle qu'en Phase d'Exploitation, les retombées directes sont presque essentiellement des dépenses de maintenance, d'entretien, donc liées à la localisation des parcs, et pour la Gaspésie, au pro rata du nombre de MW par rapport au Québec. En ce qui concerne les retombées indirectes pour la Gaspésie, la part de ces retombées qui reste effectivement dans la région avait été estimée à 30 %.



Par conséquent, si tout ce qui est prévu pour 2015 est construit, l'exploitation de tous ces parcs d'éoliennes devrait créer sur l'ensemble du Québec quelque 1 387 emplois permanents, dont 223 en Gaspésie.

RÉSUMÉ DES RETOMBÉES ÉCONOMIQUES CLASSIQUES SUR L'ENSEMBLE DU QUÉBEC ET EN GASPÉSIE, 2011-2015

Cette période est celle où l'on aura vu se développer le plus grand nombre de parcs, de puissance et aussi d'éoliennes sur le territoire du Québec. Nous serons passés de 663,25 MW installés en 2010 à 3466,25 MW en 2015. Il faut cependant avouer que l'objectif visé à cette date était de 4 000 MW. Rien n'interdit pourtant d'imaginer que les 544 MW manquants ne pourront pas aussi se développer durant cette période. La Gaspésie continuera aussi à se développer, passant des 663,25 MW de 2010 à plus de 900 MW en 2015.

Cette effervescence amène des retombées économiques classiques importantes tant sur l'ensemble du Québec qu'en Gaspésie.

De 2011 à 2015, la construction de ces parcs générera au total 26 045 emplois p/a sur l'ensemble du Québec dont 2 803 emplois p/a directs sur les sites, 18 000 emplois p/a indirects chez les fournisseurs de toutes sortes et 5 243 emplois p/a induits par la consommation (voir tableau 7). En moyenne, il s'agit de 5 210 emplois par année sur l'ensemble du Québec. Pour la Gaspésie, la construction de ces parcs générera au total, pour l'ensemble de la période, 4 471 emplois p/a dont 589 emplois p/a directs sur les sites, 2 991 emplois p/a indirects chez les fournisseurs localisés en Gaspésie et 891 emplois p/a induits par la consommation (voir tableau 8). C'est en moyenne, durant cette période, plus de 890 emplois par année.



Mais les retombées de la phase exploitation sont importantes aussi. En 2015, l'exploitation de ces 3470,25 MW créera, sur l'ensemble du Québec, plus de 1 380 emplois p/a dont 520 emplois p/a directs (essentiellement des emplois de gestion, de maintenance et d'entretien sur les sites), 624 emplois p/a indirects chez les fournisseurs et 243 emplois induits par la consommation. En Gaspésie, l'exploitation de ces parcs créera 223 emplois p/a dont 135 emplois p/a directs, 49 emplois p/a indirects et 39 emplois p/a induits (voir tableau 9). Rappelons qu'il s'agit, dans ce cas, d'emplois permanents.

En plus, en Gaspésie, durant cette période au moins deux nouveaux fournisseurs importants se seront installés (impact déjà pris en compte dans les retombées indirectes) et la formation et la recherche auront continué à se développer.

Les autres retombées économiques

LES RETOMBÉES LIÉES AUX REDEVANCES ET AUX LOYERS PAYÉS DU 1ER ET DU 2E APPEL D'OFFRES

Ces retombées peuvent être très importantes et, d'ailleurs, elles ne peuvent être saisies d'aucune façon dans la démarche précédente. En marge de la démarche classique, il faut donc procéder à une mesure spécifique de ces retombées. Durant la période 2005-2015, combien auront été versés en redevances et loyer aux municipalités et aux propriétaires des terrains où sont localisées les éoliennes? Il s'agit de versements annuels. Nous procéderons, comme dans la section précédente sur les retombées en Phase d'Exploitation en faisant deux mesures, la première en début de période en 2005 et la seconde en fin de période 2015.

Lors de l'étude de 2006, il n'existait pas beaucoup d'information sur cette question. Après être entré en contact avec quelques municipalités et quelques propriétaires terriens, il a été considéré qu'une base de calcul de 1 000 \$ par MW installé versé par le développeur était une base valable tant pour le calcul des redevances aux municipalités que pour le loyer aux propriétaires terriens. On a ajouté que, dans les deux cas, d'autres montants étaient versés par le développeur. Pour les municipalités, il s'agissait de contributions volontaires à des activités promues par la ville et, pour les propriétaires terriens, de montants versés en plus pour les espaces occupés par le développement. Après vérification récente, il semble bien que, pour le premier appel d'offres, cette donnée était, à peu de chose près, valable surtout pour les municipalités.

Par contre, pour le loyer aux propriétaires terriens, il aurait fallu ajouter les contributions pour les terres consenties sous option et pour des redevances collectives. Même si celles-ci ne sont pas exprimées sur la base des MW installés, il serait vraisemblablement plus réaliste de parler de 2 500 \$ par MW installé (en \$ courants 2010 indexés). Ce sont les bases qui seront retenues pour les parcs du premier appel d'offres.

Tableau 10 – Montants annuels versés aux propriétaires terriens et aux municipalités sur la base des MW installés

Année et (n. MW)	Loyers (\$ 2010)	Redevances (\$ 2010)	Total (\$ 2010)
2005 (212,25 MW)	530 625	212 250	742 875
2010 (659 MW)	1 647 500	659 100	2 306 600
2015 (1029 MW du 1 ^{er} appel d'offres et de gré à gré)	2 572 500	1 029 600	3 602 100
2015 (2435 MW du 2 ^e et 3 ^e appel d'offres)	15 011 920	6 536 034	21 547 954
Total en 2015	17 584 420	7 565 634	25 150 054

En ce qui concerne les développements du deuxième appel d'offres, il semble que les redevances annuelles aux municipalités seront calculées, entre autres, sur la base des revenus bruts réalisés par les développeurs et selon des montants fixes. Ramenés sur la base du nombre de MW installés, le montant (moyenne de cinq projets) serait près de 2.682 \$ par MW installé (indexé, \$ courants 2010). Pour les propriétaires terriens, les montants versés seront calculés comme pour le premier appel d'offres : un montant selon le nombre de MW installés, et un montant versé collectivement aux propriétaires selon un pourcentage convenu (variable selon les projets) des revenus bruts. Ramené sur la base des MW installés, le loyer devrait se situer à près de 6 160 \$.

- En 2005, les propriétaires terriens auraient reçu plus de 530,000 \$ et les municipalités plus de 212,000 \$. Il faut dire qu'il n'y avait que 212,25 MW d'installés et certains l'étaient sur les terres de la Couronne.
- En 2010, le nombre de MW installés passe à 663.25 MW. Les retombées chez les propriétaires atteignent 1 647 600 \$ et les redevances aux municipalités 659 100 \$. Tous ces parcs sont en Gaspésie.
- En 2015, avec la mise en place du 2^e et du 3^e appel d'offres, les redevances et les loyers augmentent de façon fulgurante. Les propriétaires terriens pourraient recevoir plus de 17 millions de dollars et les municipalités plus de 7 millions de dollars.

Il faut rappeler que ces retombées sont annuelles et indexées. Étant donné que nous ne connaissons ni les niveaux de rentabilité ni les ententes de partage entre les promoteurs et les municipalités dans le cadre du troisième appel d'offres, il devient difficile de faire un estimé ⁷ des retombées spécifiques dans ces municipalités. On peut penser qu'elles pourraient être largement supérieures aux bases que nous venons de leur appliquer.

Ces retombées deviennent très importantes pour les propriétaires et les municipalités, surtout à partir du moment où le plein potentiel des trois appels d'offres sera en place. Un propriétaire (souvent un agriculteur) chez qui on a installé deux ou trois éoliennes recevra annuellement des montants très appréciables complémentaires à ses revenus agricoles sans affecter négativement ceux-ci.

⁷ À titre purement indicatif et en utilisant les données provenant d'une étude réalisée pour Hélimax (scénario 1000 MW, les dépenses d'opération) et du Rapport du BAPE pour le projet Les Moulins (156 MW, prix au MWh) et en supposant que les fonctions sont linéaires (ce qui n'est certainement pas le cas), on peut estimer que le profit annuel (avant impôt) réalisé par la municipalité et le développeur, pour un parc de 25 MW, serait d'environ 100 000 \$ avec un taux d'intérêt de 8 %, et à un peu plus d'un million de dollars avec un taux d'intérêt de 5 %.

Pour leur part, les municipalités trouveront là une source de revenus non négligeables; dans certains cas, ces revenus dépasseront même les revenus de taxes foncières.

LA PARTICIPATION DES ENTREPRENEURS QUÉBÉCOIS

Lors de l'étude de 2006, la plupart des consortiums mis en place pour le développement des projets conclus de gré à gré et du premier appel d'offres impliquaient une entreprise québécoise dont la participation au consortium était importante, mais minoritaire. Les développements Le Nordais avaient été réalisés par le consortium Axor (Québec) Neg Miconet (Danemark) Nichimen Corp. (Japon). Les informations obtenues laissaient entendre que les investisseurs québécois auraient participé à hauteur de 30 % aux investissements totaux nécessaires.

Le développement des deux parcs de Murdochville s'est fait par un consortium dont la base québécoise était 3Ci : le parc du Mt Copper s'est fait par 3Ci en consortium avec Creststreet et le parc Mt Miller avec Northland Power qui sont toutes les deux des entreprises ontariennes. L'entrevue réalisée pour ces deux parcs indiquait que 90 % des investissements nécessaires au développement de ces parcs étaient ontariens. Les développements de Baie-des-Sables, de l'Anse à Valeau, de Carleton, de Montagne-Sèche et de Gros-Morne ont été réalisés par Cartier Énergie Éolienne, consortium constitué d'Innergex (Québec) et de Trans-Canada (Alberta). La participation d'Innergex au consortium était de 32 % et celle de Trans-Canada de 68 %. De cette situation, on peut conclure que les sommes nécessaires à ces développements étaient très importantes, qu'elles exigeaient donc des montages financiers, que les entrepreneurs québécois n'avaient pas l'expérience nécessaire pour se lancer comme actionnaire (ou leader) majoritaire et que, d'une certaine façon, le Québec était en apprentissage de cette filière.

Qu'en est-il du deuxième appel d'offres, c'est-à-dire de l'ensemble des projets qui se réalisent de 2010 à 2015 ? Le consortium le plus important pour cette phase est St-Laurent Énergie qui devrait construire près de la moitié de l'appel d'offres, soit 954 MW des 1 936,5 MW. Or, ce consortium qui devait avoir un bras québécois (Hydro-méga) n'est plus constitué présentement que de deux multinationales étrangères : EDF (filiale de EDF France) et RES (multinationale française ayant son siège social à Avignon). Le partage de ce consortium se fait 70 % EDF et 30 % RES. Par contre, une partie non négligeable de cet appel d'offres sera réalisée par des entreprises québécoises non maillées avec des entreprises étrangères : Boralex (271,9 MW), consortium constitué de Boralex inc. et de Gaz-Métro (participation respective de 50 %), 3Ci (156 MW) qui se lance seule, et Kruger (100 MW).

Donc, plus du quart (527,9 MW) du deuxième appel d'offres sera réalisé par des entreprises québécoises autonomes.

Les autres développements du deuxième appel d'offres seront réalisés par des multinationales non québécoises sans participation d'entreprises québécoises : Trans-Alta, entreprise canadienne ayant son siège social à Calgary, Enerfin Sociedad de Energia Espagne, Invenergy Wind (entreprise canadienne filiale d'une entreprise américaine) et B&B VOK Holding.

Il faut en conclure que le développement de l'éolien au Québec crée des opportunités d'affaires qui attirent l'expertise et, vraisemblablement, les capitaux étrangers. Cela est un élément très positif de ce développement dans la mesure où tous les pays sont à la recherche d'investissements productifs; la concurrence est donc très forte. Il faut par conséquent se réjouir de la venue de ces entreprises. De plus, par le biais de ces consortiums, l'expertise québécoise s'est développée. De telle sorte qu'elle commence même à être en mesure de profiter pleinement de ce développement.

Ainsi, le fait que plus du quart du deuxième appel d'offres sera développé par des entreprises québécoises sans appui étranger, montre bien que l'expérience s'acquiert en matière de développement du secteur éolien chez les entrepreneurs québécois et que cette expertise pourrait à son tour être exportée. C'est d'ailleurs déjà le cas de Boralex inc. qui participe à des développements en France. À quelques détails près, nous suivons (comme société) la même courbe d'apprentissage dans la filière éolienne que celle suivie lors du développement de la filière hydro-électrique au moment de la création d'Hydro-Québec. Il serait vraiment très dommage que l'expertise acquise en matière de montage financier, de construction et de gestion de parcs d'éoliennes par les entreprises québécoises ne soit plus requise après le troisième appel d'offres.

POUR LA SUITE DES CHOSSES, 2016-2025

Après 2015, que risque-t-il de se passer en matière d'énergie éolienne au Québec ? Présentement, rien ne semble être prévu dans la poursuite du développement de cette filière. Certains documents laissent entendre que, pour des raisons de stabilité et de fiabilité du réseau, 10 % de la puissance de production d'Hydro-Québec provenant de l'éolien est le maximum qui peut y être intégré. Cela correspond aux 4 000 MW déjà planifiés. Par ailleurs, suite à une étude réalisée par monsieur Gaétan Lafrance (INRS-IREQ), il semble qu'on pourrait envisager d'accroître sensiblement la contribution de l'éolien à la puissance totale d'Hydro-Québec sans menacer d'aucune façon ni la stabilité, ni la fiabilité du réseau.

CanWEA propose un scénario de 8 000 MW supplémentaires qui pourraient se déployer entre 2016 et 2025, à raison de 800 MW par année. Nous allons tenter d'estimer les retombées économiques d'un tel scénario en Phase Construction et en Phase d'Exploitation sur l'ensemble du Québec.

Les retombées économiques classiques

LES RETOMBÉES DE LA CONSTRUCTION DE 8000 MW SUPPLÉMENTAIRES

Il semble évident que, sur un période aussi lointaine et aussi longue, les principaux coefficients techniques de cette filière tant à la construction qu'à l'exploitation, de même que ceux du Tableau inter-industriel du Québec auront été modifiés. Et ce changement devrait être dans le sens d'une plus grande productivité du travail. Donc, la mise en place de nouveaux MW entre 2015 et 2025 devrait vraisemblablement générer moins d'emplois par MW.

Mais compte tenu de ce qui s'est passé depuis 2006 en ce domaine, il devient difficile de préciser l'importance de cette évolution. Et la présente étude n'est pas le lieu de faire une étude prospective de l'évolution des coefficients cette filière et de ceux de l'économie du Québec. Ainsi, sous réserve de ce commentaire, un estimé de ce que pourraient être les retombées économiques d'un tel scénario sur l'ensemble du Québec sera fait selon les coefficients de retombée utilisés pour les périodes précédentes (voir tableaux 1 et 4).

Si un tel scénario devait se réaliser, ceci permettrait à l'ensemble des éléments de la filière éolienne de se maintenir en place et même de croître. Selon ce scénario, la construction de ce 8 000 MW s'étalerait sur les dix ans à raison de 800 MW par année. Or, pour la période 2011-2015, le maximum de la construction de parc d'éoliennes est atteint en 2012 avec 660 MW, soit 330 éoliennes de 2 MW. Passer systématiquement, pendant une période de 10 ans, à la production de 400 éoliennes par année nécessiterait certainement une augmentation de la capacité des fournisseurs soit par des investissements (agrandissements, nouveaux équipements), soit par une modification des cadences. Ou bien, il nous faudra passer à une nouvelle technologie de l'éolienne avec des éoliennes beaucoup plus puissantes.

Ainsi, dans nos coefficients de retombées indirectes, nous pouvons présumer que les fournisseurs spécialisés (ou d'autres concurrents) actuellement présents au Québec et en Gaspésie le demeureront durant cette période. Ils pourront même devoir augmenter leur capacité.

Pour l'ensemble de cette période, le développement de 8 000 MW d'énergie éolienne créerait plus de 90 000 emplois p/a dont 9 800 emplois p/a directs sur les chantiers, 63 200 emplois p/a indirects chez les fournisseurs et 18 400 emplois p/a induits via la consommation. Ceci signifie que, pour chaque année de cette période, un total moyen de 9 000 emplois p/a (près de 1 000 emplois p/a directs, 6 300 emplois p/a indirects, et 1 800 emplois p/a induits) seraient créés.

Tableau 11 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase Construction des parcs d'éoliennes, ensemble du Québec et Gaspésie, 2016-2025

Types de retombées	Emplois p/a
Directes	9 840
Indirectes	63 200
Induites	18 400
Totales	91 440

LES RETOMBÉES DE L'EXPLOITATION DE 8000 MW SUPPLÉMENTAIRES

Nous mesurons donc les retombées économiques classiques en 2025 au moment où les 8 000 MW seront en opération. La mesure sera faite pour ce nouveau potentiel mais aussi pour le total du potentiel en place à ce moment.

En Phase d'Exploitation, ces 8 000 MW nécessiteront 3 200 emplois p/a dont 1 200 directs à l'entretien sur les parcs, 1 440 emplois indirects p/a chez les fournisseurs et 560 emplois p/a induits générés via la consommation. Il faut souligner qu'il s'agit d'emplois permanents.

Ces nouveaux emplois à l'exploitation viendront s'ajouter à ceux des 3 466,25 MW déjà en exploitation en 2015. Au total en 2025, il y aurait donc au Québec quelques 11 466,25 MW en exploitation.

La situation en 2025 serait celle-ci : l'exploitation des 11 466,25 MW créerait au total 4 587 emplois p/a alors qu'en 2015 le nombre total était de 1 387 emplois p/a. Les emplois directs sur les sites auraient plus que triplé passant de 520 à 1 720, les emplois indirects passeraient de 624 à 2 064 et les emplois induits de 243 à 803 emplois p/a.

Tableau 12 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase Exploitation de l'ensemble des parcs d'éoliennes, ensemble du Québec, 2015-2025

Types de retombées	En opération en 2015 (emplois p/a)	En opération en 2025 (emplois p/a)
Directes	520	1 720
Indirectes	624	2 064
Induites	243	803
Totales	1 387	4 587

Tableau 13 - Les retombées économiques en termes d'emplois p/a de la Phase d'Exploitation des parcs d'éoliennes des 8000 MW, ensemble du Québec, 2025

Types de retombées	Emplois p/a
Directes	1 200
Indirectes	1 440
Induites	560
Totales	3 200

LES AUTRES RETOMBÉES

On peut présumer que le développement de cette filière sur une période aussi longue, surtout si les intentions gouvernementales sont précisées assez rapidement, aura une multitude d'autres retombées.

- Nous avons indiqué précédemment l'impact que ce développement pourrait avoir sur les principaux fournisseurs en phase de construction : au lieu de 500-600 emplois, on parlera de plus ou moins 800 emplois.
- Mais même en phase exploitation, on peut supposer que le volume de produits spécialisés nécessaires amènera les fabricants actuels à augmenter leurs effectifs et favorisera même l'implantation de nouveaux fabricants au Québec.
- On peut présumer aussi que du côté recherche-développement, et formations pour l'entretien de ces parcs, les programmes se multiplieront, les effectifs de professeurs et de chercheurs passeront de 20-25 à plus d'une quarantaine.
- Enfin, les entrepreneurs québécois auront acquis suffisamment d'expérience pour davantage profiter de ces développements. Leur part passerait de 25 % durant la période 2010-2015 à 30 % ou même 40 % lors de ces nouveaux développements.
- En 2017 (2015 + 800 MW), les redevances aux municipalités passeraient à 9 millions de dollars (\$ 2010) et les loyers aux propriétaires à 20 millions \$ (\$ 2010). En 2025, quand tout le potentiel 2015 ainsi que les 8 000 MW seront en place, les redevances atteindront annuellement 28 millions de dollars et les loyers aux propriétaires 66 millions de dollars (\$ 2010).
- Investissement de 25 MM\$, dont au moins 60 % au Québec.

Avec l'ajout de ces 8 000 MW, l'éolien fait non seulement une contribution majeure au bilan énergétique du Québec mais devient une filière économique de premier plan.



SYNTHÈSE-CONCLUSION

Synthèse des retombées économiques classiques, 2005-2025

L'objectif premier de la politique gouvernementale québécoise en matière d'énergie éolienne est de doter le Québec d'une nouvelle énergie verte, renouvelable et pas nécessairement de créer des emplois. Cependant, cette politique génère des activités de construction, d'entretien, de gestion créatrice d'emplois. Temporaires pour certaines, permanentes pour d'autres, ces activités peuvent constituer un levier économique important dans certaines régions dans un secteur de haute technologie. La présente étude, suite à celle menée en 2006, tente de mesurer l'impact économique de cette politique. En matière de développement régional, le gouvernement du Québec a choisi d'utiliser la mise en place de cette filière pour appuyer le développement économique de la Gaspésie. La politique gouvernementale s'est concrétisée autour de trois appels d'offres qui fixent l'objectif en termes de puissance visée et précisent les conditions, entre autres en termes de contenu québécois et gaspésien. Cette étude constitue une mise à jour de l'étude de 2006 que nous avons effectuée pour CanWEA. Les retombées économiques analysées sont de différente nature. En premier lieu, nous avons considéré les retombées classiques en termes d'emplois durant la Phase Construction et durant la Phase d'Exploitation de ces parcs. Nous avons aussi évalué l'impact de cette politique sur la création d'entreprises et d'organismes, sur le rôle de cette politique sur le développement d'un entrepreneurship québécois en matière d'énergie éolienne et, enfin, sur les retombées en termes de redevances aux collectivités et de loyer aux propriétaires terriens.

PHASE CONSTRUCTION

En 2005, il y avait au Québec 212,5 MW installés et, si les calendriers sont respectés, ce chiffre devrait passer à 3 470,25 MW en 2015. De ce nombre, 26 % seront installés en Gaspésie. Combien d'emplois auront été créés pour la construction de cette puissance et combien d'emplois resteront pour l'entretien et la gestion de ces parcs une fois construits ? À la demande de CanWEA, nous avons aussi vérifié l'impact économique d'un scénario de 8 000 MW supplémentaires au Québec entre 2015 et 2025.

Tableau 14 - Synthèse des retombées économiques classiques des phases construction sur l'ensemble du Québec, moyenne annuelle des emplois p/a

Types de retombées	2005-2010 (emplois p/a)	2011-2015 (emplois p/a)	Scénario CanWEA 2016-2025
Directes	200	561	984
Indirectes	1 292	3 600	6 320
Induites	374	1 049	1 840
Totales	1 866	5 210	9 144

Durant la période 2005-2010, la construction des parcs d'éoliennes a créé en moyenne annuellement sur l'ensemble du Québec, 1 866 emplois p/a dont 736 emplois p/a en Gaspésie. Notre projection pour la période 2011-2015 montre que, sur l'ensemble du Québec, ce chiffre fera plus que doubler.

En moyenne durant cette période, ce chiffre passerait à 5 210 emplois p/a dont 894 en Gaspésie. Il s'agit d'emplois directs 561 p/a (118 p/a en Gaspésie, sur les chantiers de construction), indirects 3 600 p/a (598 p/a en Gaspésie, chez les fournisseurs spécialisés et autres) et induits 1 049 p/a (178 p/a en Gaspésie, via la consommation).

De plus, la réalisation du scénario CanWEA entre 2016 et 2025 générerait en moyenne pour chacune de ces années un total de 9 144 emplois p/a sur l'ensemble du Québec, dont 984 emplois p/a directs, 6 320 emplois p/a indirects et 1 840 emplois p/a induits.

Nous n'avons aucune base pour préciser la part de la Gaspésie dans ce scénario. Mais si certaines circonstances se maintiennent, on peut penser que, même sans aucune construction de ce scénario en Gaspésie, les emplois chez les fournisseurs spécialisés localisés en Gaspésie, seront maintenus. On peut les estimer entre 600 et 800 emplois p/a. Les tableaux 14 et 15, et le graphique 1 présentent la vision synthèse de la Phase Construction.

Tableau 15 - Synthèse des retombées économiques classiques des Phases Construction en Gaspésie, moyenne annuelle des emplois p/a

Types de retombées	2005-2010 (emplois p/a)	2011-2015 (emplois p/a)
Directes	102	118
Indirectes	485	598
Induites	149	178
Totales	736	894

PHASE EXPLOITATION

Pour la Phase Exploitation, quatre portraits de la situation des retombées économiques furent réalisés, soit en 2005, 2010, 2015 et 2025. En 2005, il y avait 212,5 MW en opération. En 2010, on en était à 663,25 MW. En 2015, on exploiterait 3 470 MW et, enfin, en 2025, 11470 MW.

En 2005, les retombées économiques en phase exploitation étaient minimales : 85 emplois p/a sur l'ensemble du Québec. Mais déjà en 2010, les retombées deviennent plus importantes passant à 264 emplois p/a. Il est bien certain que plus le potentiel se mettra en place, plus les retombées deviendront importantes. Ce processus semble assez linéaire.

En 2015, si le calendrier des mises en exploitation est respecté, il devrait y avoir quelques 1 387 emplois p/a. Il faut rappeler qu'il ne s'agit pas d'emplois temporaires mais d'emplois permanents. De ce nombre, 520 emplois p/a seront sur les sites pour l'entretien et les réparations, 624 emplois p/a seront requis chez les fournisseurs de toutes sortes et 243 emplois p/a induits seront générés par les dépenses de consommation de tous ces travailleurs. On voit donc qu'avec la mise en place des projets du deuxième et du troisième appel d'offres, la filière éolienne commence à prendre de l'importance au Québec.

Tableau 16 - Synthèse des retombées économiques classiques en Phase d'Exploitation sur l'ensemble du Québec. Emplois p/a

Année	Retombées directes	Retombées indirectes	Retombées induites	Total
2005	32	38	15	85
2010	99	119	46	264
2015	520	624	243	1 387
2025	1 200	1 440	560	3 200

Quelle part de ces emplois sera en Gaspésie ? Il faut rappeler que le deuxième et le troisième appel d'offres ne font pas obligation de se localiser en Gaspésie.

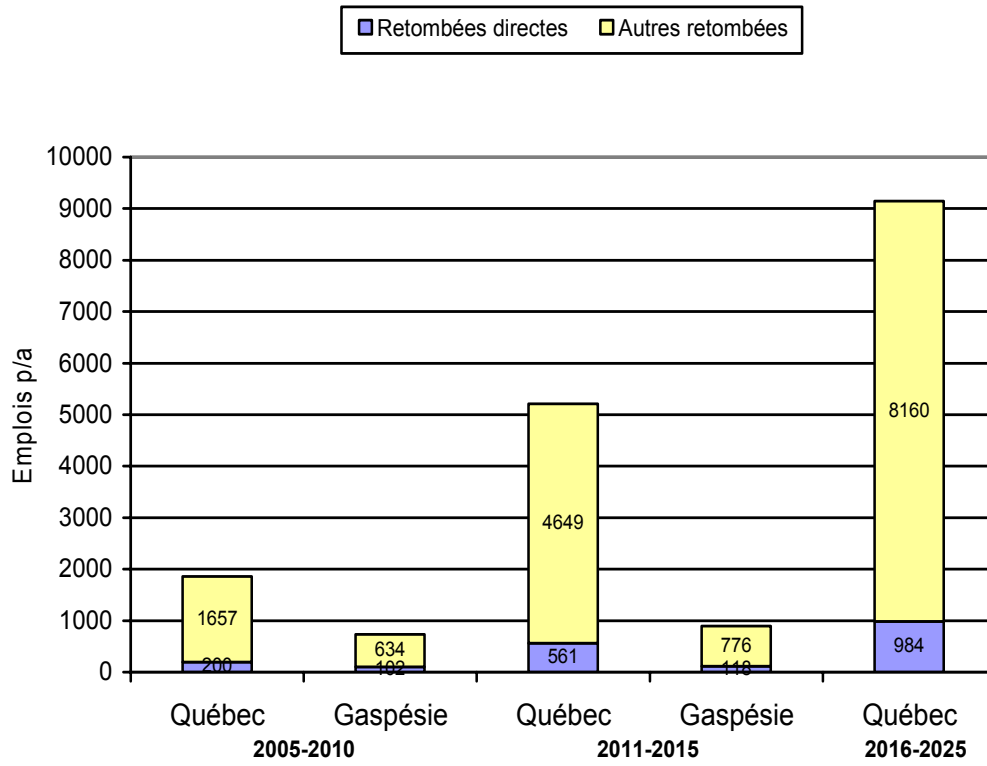
Tableau 17 - Synthèse des retombées économiques classiques en Phase d'Exploitation en Gaspésie. Emplois p/a

Année	Retombées directes	Retombées indirectes	Retombées induites	Total
2005	32	11	9	52
2010	99	36	29	164
2015	135	49	39	223

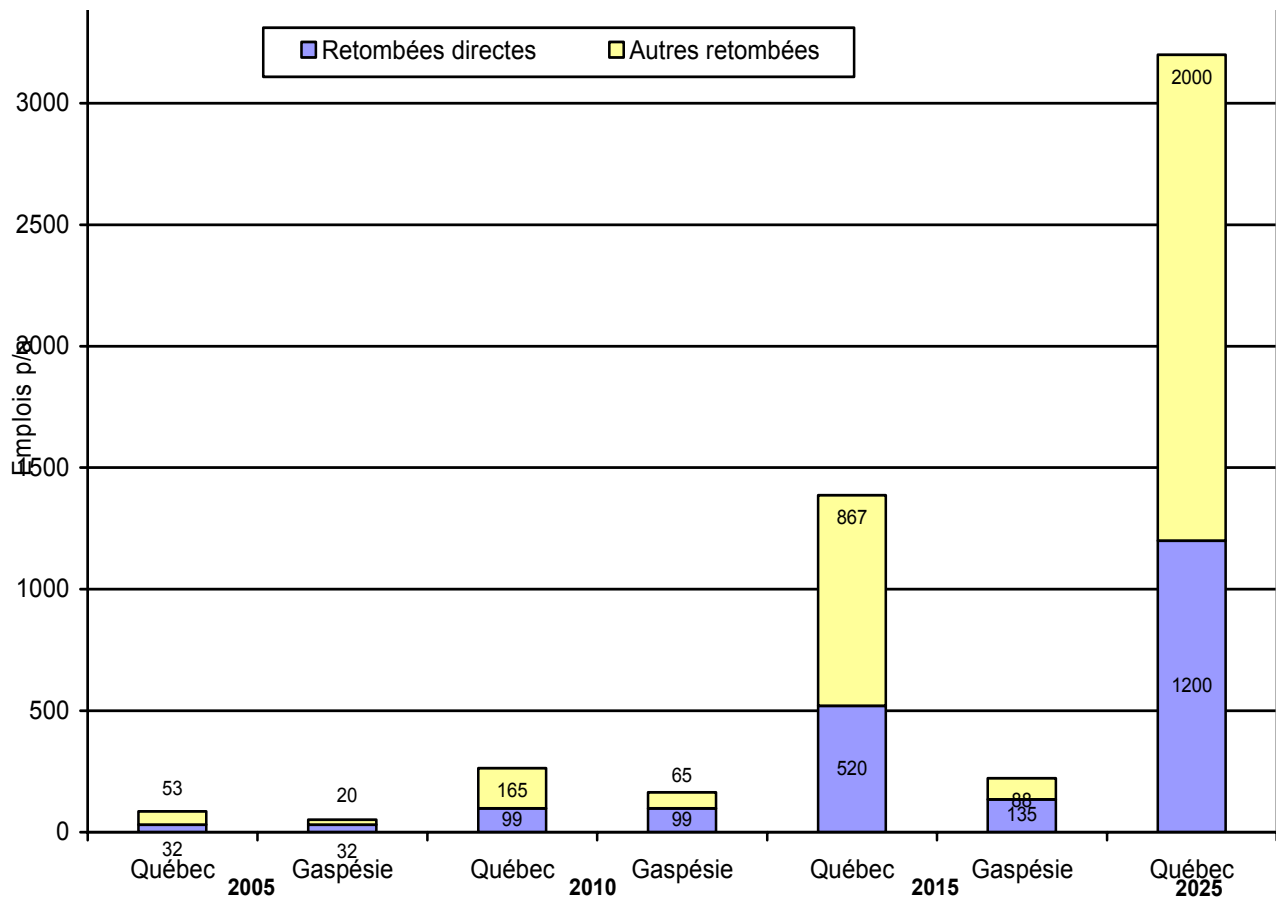
Tous les projets du premier appel d'offres devaient être localisés en Gaspésie, ce qui explique que tous les emplois directs indiqués pour l'ensemble du Québec en 2005 se retrouvent en Gaspésie. Par ailleurs, pour le deuxième appel d'offres, les projets qui verront le jour en Gaspésie sont connus. Donc, il en a été tenu compte dans les calculs. Tandis que pour le troisième appel d'offres, le choix des projets n'est pas arrêté, mais la liste des projets avec leur localisation était disponible. Ainsi, le poids relatif des projets gaspésiens dans cette liste a pu être établi, ce qui permettait de présumer que le choix final devrait vraisemblablement refléter ce poids.

En 2005, les parcs d'éoliennes en opération étaient tous en Gaspésie et généraient globalement 52 emplois p/a. En 2010, le nombre est passé à 164 emplois p/a dont 99 sur les sites, 36 chez les fournisseurs, et 29 emplois p/a induits. En 2015, si le calendrier est respecté, les parcs d'éoliennes en Gaspésie généreront 223 emplois p/a dont 135 sur les sites, 49 chez les fournisseurs locaux et 39 via la consommation. Les retombées en Phase d'Exploitation en Gaspésie pour le scénario 2016-2025 n'ont pas été estimées.

Graphique 1 – Phase Construction, Québec-Gaspésie, moyenne annuelle par période



Graphique 2 - Phase Exploitation, Québec-Gaspésie, moyenne annuelle par fin de période



Synthèse des autres retombées économiques

CRÉATION D'ENTREPRISES

Les conditions fixées lors du premier appel d'offres ont amené la localisation en Gaspésie de quatre fournisseurs importants (Marmen, LM Glasfiber, Composites VCI, Bellemare Transport). À ces quatre fournisseurs viendront s'en ajouter trois autres (Énercon, Woodward, KR Vent), justifiés par le deuxième appel d'offres, pour un total d'emplois oscillant entre 500 et 600 emplois permanents. De plus, Fabrication Delta, une entreprise locale, vient de faire des investissements pour orienter une partie de ces activités vers l'éolien. Ces entreprises ont déjà été prises en compte dans l'analyse des retombées indirectes.

À ces entreprises sont venues s'ajouter quelques plus petites entreprises locales de type *spin-off* et *start-up* (Éocycle technologie, Groupe Ohméga, Énergie PGE fermée et Pesca environnement). Ces entreprises créent une cinquantaine d'emplois.

Mais le phénomène le plus important est certainement la création d'entreprises dédiées à l'éolien et, surtout, le virage éolien de plusieurs entreprises déjà présentes au Québec dans d'autres domaines. La liste préparée par le Ministère du Développement Économique, de l'Innovation, des Exportations en présente 124 qui permettent de compléter davantage la chaîne d'approvisionnement de la filière éolienne.

CRÉATION ET ORIENTATION D'ORGANISMES PUBLICS

Les besoins de formations et de nouvelles connaissances ont amené la plupart des universités à ajouter des programmes et des effectifs dédiés à l'éolien qui attirent plusieurs dizaines d'étudiants de niveau maîtrise et doctorat. Le CÉGEP de Gaspé avec Collégia Gaspésia donne une formation spécialisée dans l'entretien des parcs d'éoliennes. Il comble à peine les besoins. Et le Techno-Centre de Gaspé est là pour favoriser les maillages de toutes sortes dans le domaine de l'éolien et faire la promotion de cette filière et de la Gaspésie comme lieu de prédilection pour le développement de cette filière.

LES REDEVANCES ET LES LOYERS

De quelques milliers de dollars en 2005, les redevances et les loyers atteindront quelques millions en 2015 et près d'une centaine de millions en 2025 (avec le scénario 8 000 MW). Ces montants versés en partie aux municipalités où sont localisés les parcs d'éoliennes constitueront un important apport de revenus qui, dans certains cas, dépassera même les revenus de taxes foncières. Pour les propriétaires terriens (souvent des agriculteurs) où seront localisées les éoliennes, les loyers perçus constitueront des revenus importants complémentaires à leur activité agricole sans pour autant affecter négativement ceux-ci. En 2015, un agriculteur chez qui on aurait installé quelques éoliennes (moyenne de trois éoliennes de 2 MW) recevrait plus de 30 000 \$ annuellement.

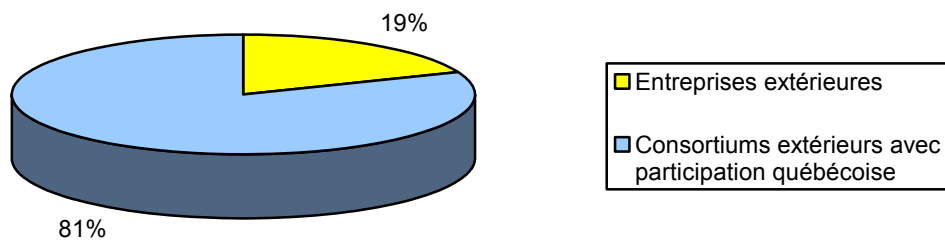
LA PARTICIPATION DES ENTREPRENEURS QUÉBÉCOIS

La création de parcs d'éoliennes nécessite des capitaux et une expertise importante qui ne s'invente pas. Les premiers développements de gré à gré (1997-2005) ont donc normalement donné lieu à des consortiums, à des montages financiers impliquant une entreprise québécoise et des entreprises extérieures ayant déjà une expertise dans le domaine (Axor avec Neg-Micon et Nichimen corp, 3Ci avec Nortland et Creststreet). L'entreprise québécoise y avait une participation minoritaire.

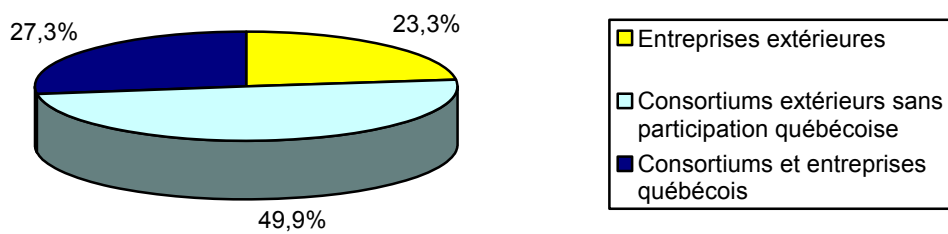
Aujourd'hui en 2010, 27,3 % des prochains développements seront réalisés par des entreprises exclusivement québécoises (Boralex, 3Ci, Kruger). Et on continue quand même à profiter des capitaux et des expertises extérieures sous forme de consortium et de capitaux étrangers : Cartier (Innergex et Trans-Canada), St-Laurent (EDF et RES), Enerfin Sociedad de Energia, Trans Alta, Invenergy Wind, B&B VOK.

Tout en continuant à attirer des capitaux et des expertises étrangers, la participation des entrepreneurs québécois au développement de cette filière s'affirme et prend de l'importance.

Graphique 3 – Participation des entreprises québécoises au développement et à la gestion des parcs d'éoliennes, ententes de gré à gré et premier appel d'offres (en % des MW adjudgés)



Graphique 4 - Participation des entreprises québécoises au développement et à la gestion des parcs d'éoliennes, deuxième appel d'offres (en % des MW adjudgés)



CONCLUSION

- Création de plusieurs milliers d'emplois (environ 37 000 emplois p/a 2005-2015) en Phase Construction sur l'ensemble du Québec dont près de 9 000 emplois p/a (2005-2015) en Gaspésie.
- Création de plus d'un millier d'emplois permanents à l'exploitation de ces parcs 1 387 emplois p/a (2015) au Québec dont 223 p/a en Gaspésie.
- Main-d'oeuvre spécialisée pour l'entretien formée par le Collégia Gaspésia à Gaspé.
- Création d'entreprises «fournisseurs» procurant quelques centaines d'emplois réguliers en Gaspésie (400-600 emplois).
- Versements annuels (2015) de plusieurs millions de dollars sous forme de redevances et de loyers : aux municipalités ($\pm 7,5M\$$) et aux propriétaires ($\pm 17M\$$).
- Développement de la recherche et de la formation (plusieurs maîtrises et doctorats) dans le domaine de la filière éolienne dans nos universités et centres de recherche.
- Orientation d'une partie des activités de plusieurs dizaines d'entreprises, et création de plusieurs nouvelles entreprises (génie conseil, fabrication, gestion, financement) vers la filière éolienne.
- Des entrepreneurs québécois qui prennent de plus en plus d'assurance dans le développement et la gestion de parcs d'éoliennes pour en devenir les promoteurs majoritaires.
- Création d'opportunités d'affaire suffisamment alléchantes pour attirer des développeurs et des capitaux extérieurs.
- Sans oublier, évidemment, le premier objectif de cette stratégie qui est de créer une seconde filière d'énergie propre, verte et renouvelable au Québec.

Toutes ces retombées existent déjà à des degrés divers et augmenteront sensiblement avec la mise en place du deuxième et troisième appel d'offres d'ici 2015. Mais elles risquent de disparaître, pour plusieurs d'entre elles du moins, si rien n'est prévu après 2015. Quel scénario devons-nous retenir pour l'après-2015 : 2 000 MW, 4 000 MW ? Pour sa part, CanWEA propose un scénario de 8 000 MW sur dix ans. Ce scénario, techniquement et économiquement réalisable, permettrait non seulement de maintenir les retombées actuelles mais de les augmenter.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET ÉLECTRONIQUES

Bureau d'audiences publiques 2010, Projet d'aménagement du parc éolien Des Moulins à Thetford Mines, Kinnear's Mills et Saint-Jean-de-Brébeuf, Rapport No 264.

Institut de la statistique du Québec: Les études de retombées économiques, édition 2007.

Lafrance G. 2009, Éolien Horizon 2025, Un potentiel réaliste pour le Québec, Avis technique, pour CanWEA.

Pedden, M. 2006, Analysis : Economic impact of Wind Application in Rural Communities, June 18, 2004 – Subcontract Report NREL\ SR – 500 – 39099, January 2006.

Thibodeau, J.-C. 2004, Analyse des retombées économiques de deux scénarios de projets fondés sur le potentiel d'énergie éolienne au Québec, dans «Étude sur l'évaluation éolien, de son prix de revient et des retombées économiques pouvant en découler au Québec» Dossier No R-3526-2004, ROÉÉ, ACÉÉ et RNCREQ. Pour Hélimax.

Thibodeau, J.-C. 2005, Évaluation des retombées économiques du développement d'un projet éolien à la Baie-James commandée par GPCO pour Yudin Energy Energy inc.

Thibodeau, J.-C. et Rioux, P. 1995, Impact économique de la construction de deux parcs d'éoliennes en Gaspésie par la société en commandite KW Gaspé, pour Énergie éolienne Kenetech Inc. Cette étude fut mise à jour début 1997 pour Axor inc.

www.mdeie.gouv.qc.ca/windpower. Liste des entreprises s'intéressant à la filière éolienne, 2010.

www.hydroquebec.com/distridution/fr/marchequbécois/parcéoliens

www.hydroquebec.com/comprendre/éolienne/historique

ANNEXE 1 - LE CALENDRIER DES PROJETS

Projets conclus de gré à gré

Tableau A 1 - Construit et mise en service avant 2005

Nom	Lieu	Date de mise en service	Puissance MW	Consortium
Le Nordais	Cap-Chat	1998	57	Canadian-Hydro
Le Nordais	Matane	1999	42,75	Canadian-Hydro
St-Ulric	St-Ulric de Matane	2001	2,25	-----
Renard	Rivière au Renard	2003	2,25	Ohméga-Hélimax
Mt Cooper	Murdochville	2004-2005	54	Creststreet
Mt Miller	Murdochville	2004-2005	54	Northland
Le Nordais (2)	Matane	2009	0	Canadian-Hydro
Murdoc (3)	Murdochville	2009	0	3Ci
Rivière-du-Loup	Rivière-du-Loup	2009	0	Terra Vent (abandonné)
TOTAL			212,25	

Premier appel d'offres : Tous les projets sont en Gaspésie (1 000 MW)

Tableau A 2 - Construit et mise en service entre 2005-2010

Nom	Lieu	Date de mise en service	Puissance planifiée MW	Puissance en opération MW	Consortium
Baie-des-Sables	Baie-des-Sables	2006	109,5	109,5	Cartier
L'Anse-à-Valeau	L'Anse-à-Valeau	2007	100,50	100,5	Cartier
Carleton	Carleton	2008	109,5	109,5	Cartier
St-Ulric-St-Léande	St-Ulric-St-Léande	2009-2010	150,0	127,5	Northland
Mt Louis	Mt Louis	2012	100,5	100,5	Northland
Les Méchins	Les Méchins	2009	-150,0	0,0	Abandonné
TOTAL			703,5	547,5	

Tableau A 3 - En construction en ou avant 2010 mais mis en service en 2011 et 2015

Nom	Lieu	Date de mise en service	Puissance MW	Consortium
Montagne-Sèche	Péninsule de Gaspé	2011	58,5	Cartier
Gros-Morne	Gros-Morne	2011-2012	211,5	Cartier
TOTAL			270,0	

Deuxième appel d'offres : Les projets peuvent être partout au Québec (2000 MW)

Tableau A 4 - En construction en 2010 et mise en service après 2010

Nom	Date de mise en service	Puissance MW	Consortium
Aguanish	2011	0,0	St-Laurent Energie (abandonné)
Robert-Bellarmin	2011	80,0	St-Laurent Energie
De L'Érable	2011	100,0	Enerfin Sociedad d'Energia
Des Moulins	2011	156,0	3Ci
Le Plateau	2011	138,6	Energy Wind Canada
TOTAL		474,6	

Tableau A 5 - Construit et mise en service après 2010

Nom	Date de mise en service	Puissance MW	Consortium
Sainte-Luce	2012	-68,0	Khruger Energie (abandonné)
Lac Alfred	2012	300,0	St-Laurent Énergie
Massif du Sud	2012	150,0	St-Laurent Énergie
New Richmond	2012	66,0	Venterre NRG
St-Rémi	2012	100,0	Khruger Énergie
St-Valentin	2012	50,0	Venterre NRG
Seigneurie de Beaugré 2	2013	132,6	Boralex-Gaz Métro
Seigneurie de Beaugré 3	2013	139,3	Boralex-Gaz Métro
Vent du Kent	2014	100,0	B&B VOK Holding
Rivière du Moulin	2014-2015	350,0	St-Laurent Énergie
Clermont	2015	74,0	St-Laurent Énergie
TOTAL		1461,9	

ANNEXE 2 - LES RÉFÉRENCES DE BASE DU CALCUL DES COEFFICIENTS DE RETOMBÉES ÉCONOMIQUES

Note générale : Lors des études pour Le Nordais, celles pour Hélimax 1 et 2 et celle pour Yudinn Energy, les retombées directes classiques avaient été estimées en utilisant le vecteur dépenses de ces projets tant en phase Construction qu'en phase Exploitation. Par contre, les retombées indirectes furent estimées à partir des résultats du Tableau inter-industriel du Québec (ISQ). Les retombées induites furent évaluées à partir de la Matrice de dépenses des ménages (ISQ). Pour le projet de 2006 pour CanWEA, étant donné la pluralité des projets, il fut décidé d'utiliser les résultats des études précédentes pour estimer des coefficients moyens de retombées par MW.

Construction : coefficients des retombées directes par MW installé

Projets	MW installés	N. pers./an sur le site	Coefficients pers.an/ MW
Le Nordais ¹	100	250	2,5
Hélimax 1 ¹	1000	1378	1,4
Hélimax 2 ¹	4000	4920	1,23
Yudinn Energy ¹	1650	2344	1,42
Monts Miller et Copper *	108	130	1,2
Saint-Arsène *	202	225	1,2
Baie-des-Sables *	90	150	1,4
North Dakota ²	100	125	1,25
Washington ²	1700	4050	2,3
Total	8950	13572	1,52/1,54

1. Études réalisées par J.-C. Thibodeau, 1995, 2004 et 2005.

2. Tirées de NREL, M. Pedden. Ce document ne donnait que l'estimé des retombées directes.

* Entrevues, 3Ci-Northland, Skypower, Cartier énergie éolienne.

Construction : coefficients des retombées indirectes par MW installé

Projets	MW installés	N. pers./an indirectes	Coefficients pers.an/ MW
Le Nordais	100	667	6,6
Hélimax 1	1000	7706	7,7
Hélimax 2	4000	31906	7,9
Yudinn Energy	1650	11213	6,8
Total	6750	51492	7,6/7,3

Construction : coefficients des retombées induites par MW installé

Projets	MW installés	N. pers./an indirectes	Coefficients pers.an/ MW
Le Nordais	100	203	2,03
Hélimax 1	1000	2028	2,028
Hélimax 2	4000	8312	2,08
Yudinn Energy	1650	5440	3,3
<i>Total</i>	<i>6750</i>	<i>15983</i>	<i>2,36/2,359</i>

Exploitation : coefficients des retombées directes par MW installé

Ce coefficient avait été estimé suite aux informations que nous avons obtenues en 2006 d'Axor et de 3Ci, à partir des parcs en opération à ce moment : **0,15 p/a par MW installé**. Ce chiffre confirmait les estimés que nous avons faits en 1995-1996 pour les parcs Le Nordais.

Exploitation : coefficients des retombées indirectes par MW installé

Projets	MW installés	N. pers./an sur le site	Coefficients pers.an/ MW
Le Nordais	100	24	0,24
Hélimax 1	1000	187	0,187
Hélimax 2	4000	660	0,165
Yudinn Energy	1650	342	0,207
Washington	1700	320	0,188
<i>Total</i>	<i>8450</i>	<i>1533</i>	<i>0,18/0,197</i>

Exploitation : coefficients des retombées induites par MW installé

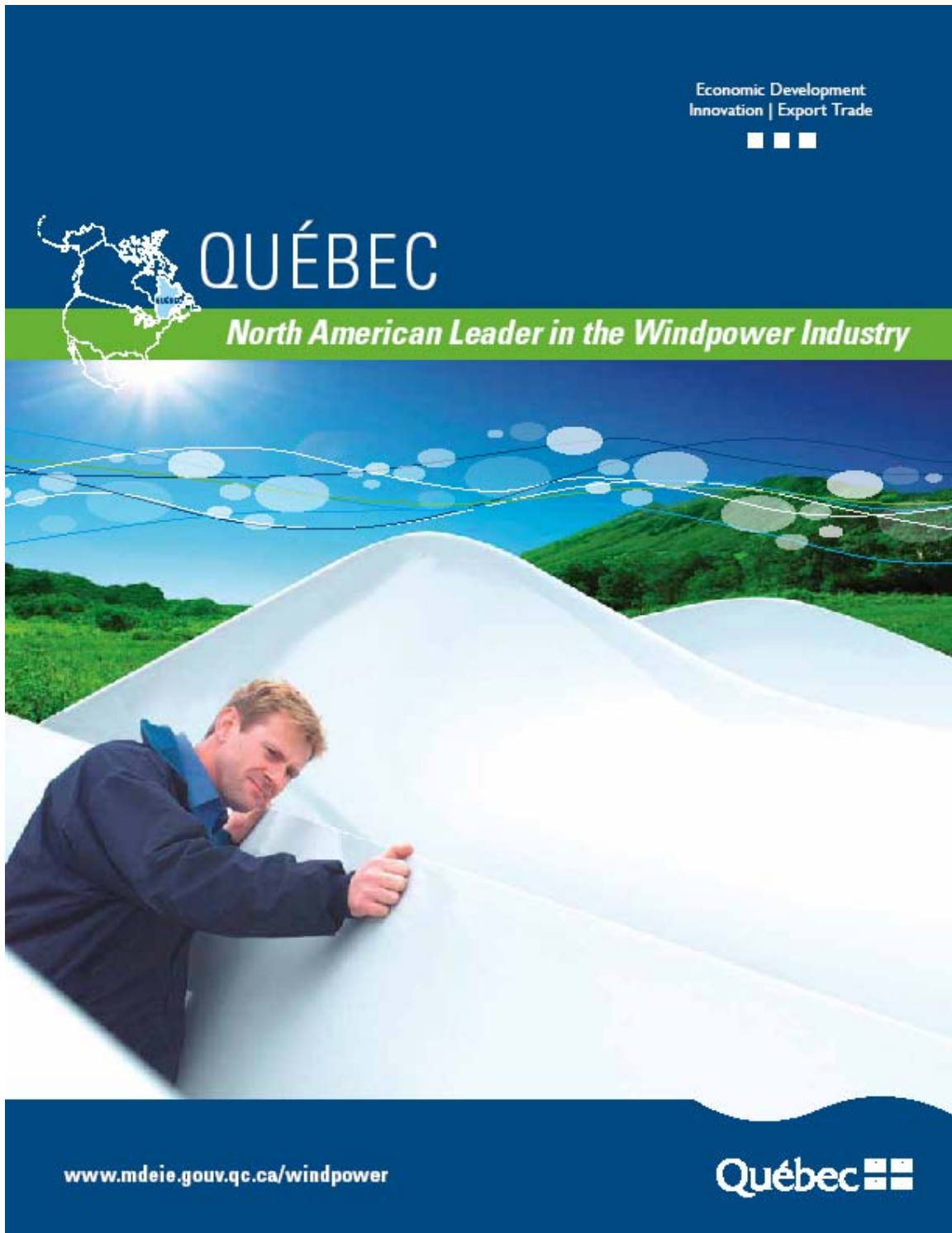
Projets	MW installés	N. pers./an sur le site	Coefficients pers.an/ MW
Le Nordais	100	10	0,10
Hélimax 1	1000	81	0,08
Hélimax 2	4000	291	0,072
Yudinn Energy	1650	255	0,157
<i>Total</i>	<i>6750</i>	<i>637</i>	<i>0,09/0,1</i>

ANNEXE 3 - LISTE DES ENTREPRISES ET ORGANISMES CONTACTÉS POUR LES ENTREVUES TÉLÉPHONIQUES EN 2010

Nom de l'entreprise	Contacts
Boralex inc.	Mme Patricia Lamaire
Composite VCI	M. L. Legoff
Colégia Gaspésia	Mme Annie Bachand
Énercon	M. Marc Antoine Renaud
Éocycle Technology	M. Daniel Massicote
École de technologie supérieure	M. Christian Masson
Groupe Ohméga	M. Martin Boulé
Innergex	Mme Julie Boudreau
Institut de la Statistique du Québec	M. Sébastien Gagnon
IREQ	M. Alain Forcione
LM Wind Blades (LM Glasfiber)	M. Yvan Laniel
Marmen	M. Daniel Gélinas
St-Laurent	Mme France Desbiens
Techno-Centre éolien	M. Frédéric Côté
UQAR	M. J.L. Chaumel
Ville de New-Richmond	M. Alain Grenier

ANNEXE 4 - LISTE DES ENTREPRISES DE LA FILIÈRE ÉOLIENNE AU QUÉBEC

Double-cliquez l'image pour ouvrir le document pdf



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.

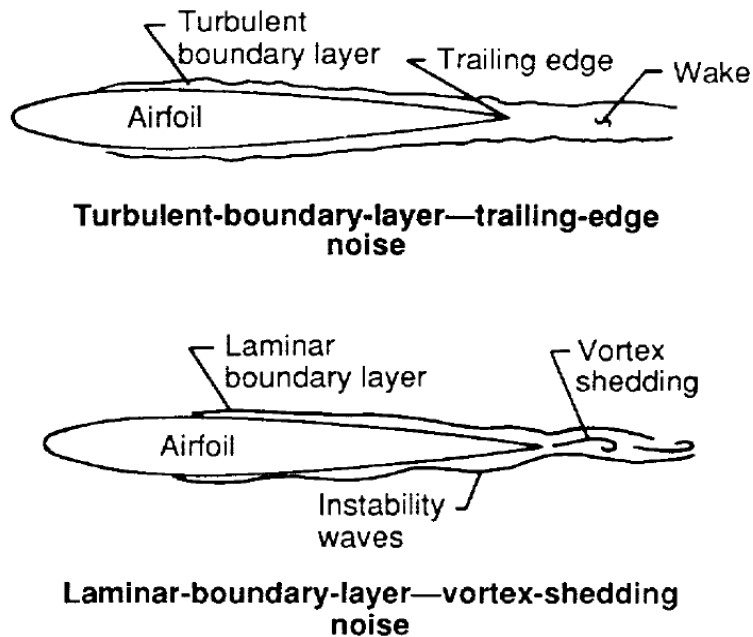
Le bruit aérodynamique est produit par la rotation des pales de l'éolienne dans l'air. Une pale d'éolienne a la forme d'une surface portante, cette dernière consistant simplement en une structure dont la forme produit une force de sustentation lorsque l'air passe au-dessus. Initialement mise au point 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



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).

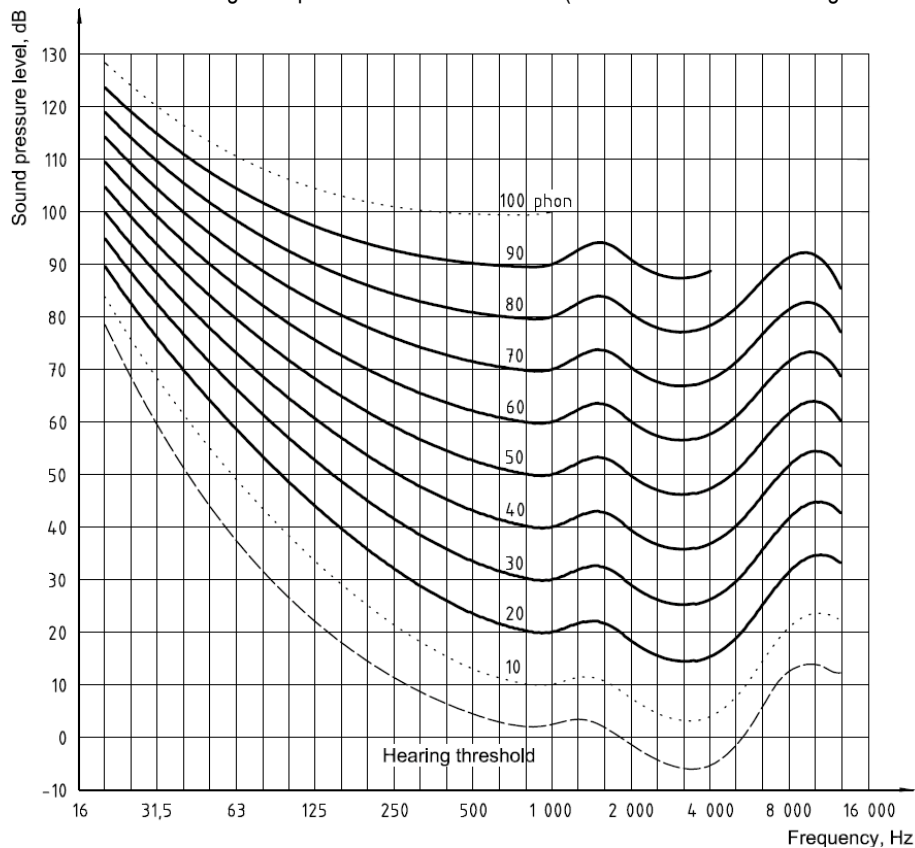
Le son à basse fréquence associé aux éoliennes a récemment attiré l'attention, car l'échelle de pondération A qui est utilisée pour la conformité réglementaire en milieu de travail et environnementale ne fonctionne pas bien avec les sons qui ont principalement des composantes à basse fréquence. La plupart 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.

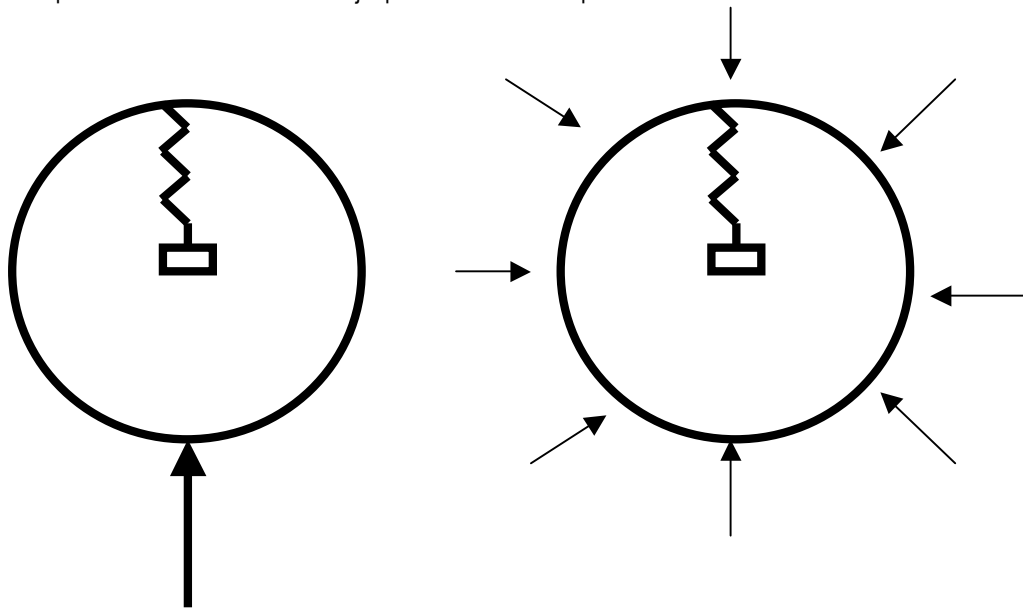
On mesure souvent les vibrations selon l'accélération de la surface en mètres par seconde, au carré (m/s^2), bien qu'on utilise d'autres unités connexes. Les vibrations peuvent aussi être exprimées en décibels, le niveau d'excitation de référence utilisé dans les bâtiments étant souvent $10^{-5} m/s^2$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

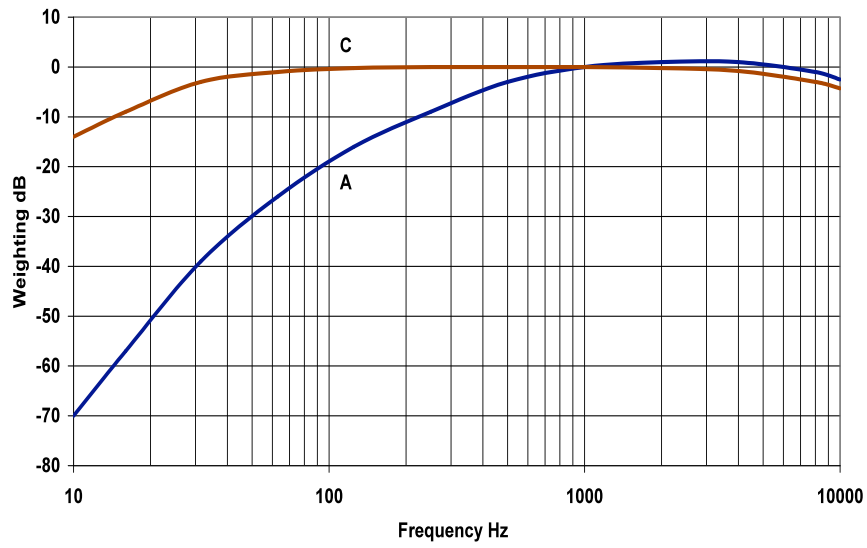
Les filtres électriques et de réseau de pondération sont un élément important du sonomètre, car ils donnent une indication des aspects du son concernant la fréquence. Les filtres sont comme suit :

- 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