

310

DA26

Projet de parc éolien communautaire
Pierre-De Saurel

6211-24-073

Éoliennes et santé publique

SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES – MISE À JOUR

INSTITUT NATIONAL
DE SANTÉ PUBLIQUE
DU QUÉBEC

Québec 

Éoliennes et santé publique

SYNTHÈSE DES CONNAISSANCES – MISE À JOUR

Direction de la santé environnementale
et de la toxicologie

Mars 2013

AUTEURS

Geneviève Brisson, conseillère-expert, coordination scientifique de la mise à jour
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

Marie-Christine Gervais, conseillère scientifique
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

Richard Martin, conseiller scientifique
Direction des risques biologiques et santé au travail, Institut national de santé publique du Québec

Et le groupe de travail du Comité éoliennes, mandaté par la Table nationale de concertation en santé environnementale (TNCSE) entre 2003 et 2004 pour la première version du document :

Dominique Blackburn, chargée de projet
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

Marie Chagnon, agente de planification, de programmation et de recherche
Agence de la santé et des services sociaux de la Gaspésie–Îles-de-la-Madeleine/Direction de santé publique

Karine Martel, agente de planification, de programmation et de recherche
Agence de la santé et des services sociaux de la Mauricie et du Centre-du-Québec/Direction de santé publique

André Morasse, agent de planification, de programmation et de recherche
Agence de la santé et des services sociaux de Chaudière-Appalaches/Direction de santé publique et de l'évaluation

Bernard Pouliot, médecin-conseil
Agence de la santé et des services sociaux du Bas-Saint-Laurent/Direction de santé publique et des soins de santé primaires

Lucien Rodrigue, médecin-conseil
Agence de la santé et des services sociaux de la Capitale-Nationale/Direction de santé publique

Isabelle Tardif, agente de planification, de programmation et de recherche
Agence de la santé et des services sociaux de la Montérégie/Direction de santé publique

RÉVISION SCIENTIFIQUE

Marie-José Fortin, professeure agrégée (chapitre 2)
Titulaire de la Chaire de recherche du Canada sur le développement
Département Sociétés, Territoires et Développement, Université du Québec à Rimouski

Tony Leroux, professeur agrégé (chapitres 3, 4 et 5)
École d'orthophonie et d'audiologie, Faculté de médecine, Université de Montréal

Laurent Giraud, ingénieur génie mécanique et chercheur (chapitre 7)
Équipe Prévention des risques mécaniques et physiques, Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail

SECRETARIAT

Nicole Dubé
Direction de la santé environnementale et de la toxicologie, Institut national de santé publique du Québec

Ce document est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec au : <http://www.inspq.qc.ca>.

Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue en formulant une demande au guichet central du Service de la gestion des droits d'auteur des Publications du Québec à l'aide d'un formulaire en ligne accessible à l'adresse suivante : <http://www.droitauteur.gouv.qc.ca/autorisation.php>, ou en écrivant un courriel à : droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca.

Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.

DÉPÔT LÉGAL – 2^e TRIMESTRE 2013
BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES NATIONALES DU QUÉBEC
BIBLIOTHÈQUE ET ARCHIVES CANADA
ISBN : 978-2-550-67626-3 (PDF)

©Gouvernement du Québec (2013)

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont apporté leur soutien à l'élaboration du contenu de la première version et de la mise à jour du document :

Simon Arbour, Jean-Pierre Vigneault (Agence de la santé et des services sociaux de Chaudière-Appalaches); Gwendaline Kervran (Agence de la santé et des services sociaux de la Capitale-Nationale); Gilles Daigle (Conseil national de recherche Canada); Daniel Bolduc, Pierre Deshaies, Dominique Gagné, Denis Gauvin, Serge André Girard, Richard Larocque, Patrick Poulin, Claire Laliberté et Jean-Marc Leclerc (Institut national de santé publique du Québec); Mario Dessureault (ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs); Daniel Goulet (Hydro-Québec TransÉnergie); Chantal Laroche (École des sciences de la réadaptation, Université d'Ottawa); Michel Plante (Hydro-Québec); Carol Saucier (Département Sociétés, Territoires et Développement, Université du Québec à Rimouski); Marion Schnebelen (Direction générale de la santé publique, ministère de la Santé et des Services sociaux), Josée Chartrand (Agence de la santé et des services sociaux de la Mauricie et du Centre-du-Québec) et Équipe de santé environnementale (Direction de santé publique et de l'évaluation, Agence de la santé et des services sociaux de l'Estrie).

Nous remercions également le ministère de la Santé et des Services sociaux pour le soutien financier à l'équipe des évaluations environnementales qui a coordonné cette mise à jour.

RÉSUMÉ

Cette recension d'écrits présente une version remise à jour de la synthèse des connaissances sur les liens entre les éoliennes et la santé publique, réalisée initialement en 2009. Le premier document avait pour objectif de fournir une base de connaissances communes au réseau de la santé publique québécois. Le document avait permis de déterminer les principales classes d'effets de la santé environnementale associés au dossier éolien, et de tracer l'état des connaissances en matière d'effets psychologiques et sociaux, de bruit et d'infrasons, d'ombres mouvantes, de sécurité des travailleurs, de sécurité publique, et de champs électromagnétiques. Par ailleurs, la recherche scientifique sur les éoliennes est en constante évolution, et en 2012 il a donc semblé nécessaire de refaire le point sur l'état des connaissances de ce secteur d'activité.

La mise à jour ajoute aux documents déjà recensés ceux de la période de 2008 à 2011. Même si la démarche ne constitue pas une revue systématique, l'approche de mise à jour s'en est inspirée en rendant plus explicites les stratégies de recherche employées, en consultant plusieurs sources documentaires, et en sélectionnant les documents intégrés en fonction de critères de qualité et de pertinence. Plus de 50 textes ont été retenus pour cette mise à jour.

Le présent document rassemble ainsi l'information la plus récente sur les préoccupations pour la santé. Ces constats, basés sur les connaissances scientifiques rassemblées, visent à favoriser une meilleure analyse des projets éoliens par les directions de santé publique.

Voici les principaux résultats, présentés pour chaque classe d'effets sanitaires et selon l'état des connaissances actuelles du domaine :

Acceptabilité sociale des projets de développement éolien

- La liste des facteurs d'acceptabilité sociale est maintenant bien établie en regard des éoliennes, même si la catégorisation de ces facteurs varie. Le contexte est primordial pour déterminer si ces facteurs influencent de manière positive ou négative cette acceptabilité;
- le NIMBY ne peut être considéré comme un facteur explicatif significatif de l'opposition au développement éolien;
- le paysage semble être une préoccupation importante au sein des communautés, entre autres quant à l'attachement au lieu;
- le cadre institutionnel et ses modalités d'application peuvent moduler l'acceptabilité sociale. Notamment la participation d'acteurs locaux est reconnue comme un facteur important facilitant cette acceptabilité;
- des consensus scientifiques demeurent à obtenir sur certains liens avec l'acceptabilité, par exemple quant à la proximité de résidences ou les aspects socioéconomiques.

Impacts sociaux des projets éoliens sur les communautés

- L'implantation de projets éoliens est susceptible d'entraîner des divisions et des controverses au sein des communautés, notamment en raison de points de vue conflictuels sur des droits, des valeurs, l'usage du territoire ou la gestion des ressources. Les controverses en lien avec un projet éolien peuvent toutefois mobiliser toute une communauté et renforcer les liens sociaux;
- les limites imposées par les cadres institutionnels peuvent limiter la portée des revendications des citoyens opposés au développement d'un projet éolien;
- les processus décisionnels actuels sont souvent critiqués quant aux limites de leur consultation, de l'écoute, de la capacité de participer, la disponibilité d'une information adéquate ou l'impartialité des acteurs;
- les processus de planification de projets éoliens participatifs ont un effet bénéfique sur la communauté, sur ses liens sociaux et sur l'acceptabilité du projet;
- les retombées économiques soulèvent aussi des questions éthiques (p. ex., équité) et culturelles. Le thème de l'équité semble central et s'il n'est pas pris en compte adéquatement, il peut constituer un moteur important de conflits dans les communautés.

Nuisance sonore

- Le niveau de bruit engendré par les éoliennes n'entraîne pas d'impact direct sur la santé auditive (fatigue ou perte auditive) des personnes vivant à proximité;
- la documentation scientifique ne retient que deux effets potentiellement associés aux niveaux de bruit engendré par les éoliennes, soit la nuisance et la perturbation du sommeil :
 - l'exposition au bruit des éoliennes peut représenter une nuisance pour les populations avoisinantes dans certaines conditions, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des maisons, mais des connaissances scientifiques restent à acquérir sur les niveaux et les facteurs qui l'influencent ainsi que les critères à appliquer pour l'évaluer et la réduire;
 - l'effet de nuisance occasionné par le bruit des éoliennes a été associé au niveau sonore, mais aussi à d'autres facteurs, notamment à la visibilité des éoliennes et à l'attitude des personnes exposées envers celles-ci;
 - les niveaux de bruit engendrés par les éoliennes sont perçus comme plus dérangeants que ceux provenant d'autres sources de bruit. Cependant, la relation effet-exposition (dose-réponse) suggérée à partir des études actuelles reste à être améliorée
 - en raison du type d'études réalisées et de leur faible nombre, les preuves scientifiques sur les impacts sur le sommeil sont limitées;
- pour la gestion des risques à la santé liés au bruit des éoliennes, certains pays possèdent des critères de niveau absolu et d'autres, des critères d'appréciation relatifs au niveau de bruit;
- plusieurs études utilisent les modèles prévisionnels pour estimer l'exposition au bruit, mais des conditions doivent être respectées pour leur validité.

Infrasons et basses fréquences

- Bien que les éoliennes émettent des infrasons et que de nouvelles études proposent des voies de transmission permettant à l'oreille de les détecter, il demeure qu'aucune preuve ne supporte formellement que des effets sur la santé soient occasionnés par des infrasons;
- les sons de basses fréquences peuvent être masqués par le bruit du vent lorsqu'il y a de la turbulence;
- l'intensité des sons de basses fréquences produits par les éoliennes modernes est modérée et peut se situer autour du seuil de détection selon la distance de séparation;
- rien ne permet de conclure à un effet quelconque des sons de basses fréquences sur la santé physique lorsque leur intensité est inférieure au seuil de la perception humaine;
- il n'est pas possible de conclure que les sons de basses fréquences produits par les éoliennes constituent une nuisance pour les populations avoisinantes. Il est néanmoins important de considérer que des plaintes peuvent leur être attribuées, nécessitant alors de les analyser.

Par ailleurs, aucune étude n'a analysé les vibrations transmises par les éoliennes dans le sol en lien avec la santé, quoique des problèmes de vibrations aient déjà été documentés pour les résidences à proximité des voies de chemin de fer ferroviaire ou de chantiers de construction.

Ombres mouvantes ou effet stroboscopique

- Aucun cas de crises photoconvulsives relié aux éoliennes n'a été documenté;
- les ombres mouvantes pourraient constituer une nuisance dans certaines conditions. Toutefois, des connaissances restent à acquérir sur ce point, ainsi qu'au niveau des seuils d'exposition et des critères à appliquer les limiter;
- des modélisations permettent de prévoir ce phénomène;
- pour l'instant, les normes de distance utilisées dans certains pays ne sont pas fondées sur des données probantes ou des études scientifiques.

Sécurité des travailleurs et sécurité publique

Comme pour toute autre installation industrielle, les points suivants sont notés :

- La construction ou le démantèlement de même que l'entretien peuvent entraîner des situations imprévues mettant en cause la sécurité des personnes;
- dans le cas des parcs éoliens, les blessures ou les décès sont peu fréquents et touchent généralement des travailleurs durant la phase de construction et l'entretien;
- les éoliennes sont munies de plusieurs systèmes permettant de réduire le risque de mauvais fonctionnement;
- les politiques publiques proposent des mesures de prudence, qui mettent l'accent sur les distances séparatrices.

Champs électromagnétiques

- Aucune étude sur les effets à la santé liés aux champs électromagnétiques produits spécifiquement par les éoliennes n'a été répertoriée;
- selon les valeurs disponibles, les niveaux de champs électriques et magnétiques des éoliennes ne sont pas suffisants pour entraîner des effets à la santé;
- malgré plus de 30 ans d'importantes recherches, des incertitudes demeurent quant au risque que présentent les lignes de transport qui peuvent engendrer des champs électromagnétiques significatifs pour les populations demeurant à proximité. Chez l'enfant, un risque supérieur à la normale de développer une leucémie pourrait exister à la suite d'une exposition prolongée aux champs magnétiques à proximité immédiate des lignes de transport d'électricité. Néanmoins, si ce risque s'avérait réel, il demeurerait faible;
- il y a possibilité de dépassements des recommandations de l'ACGIH quant à l'exposition au champ électrique pour les porteurs de stimulateur cardiaque;
- des tensions ou courants parasites peuvent être présents dans différentes structures métalliques et l'on sait que ce phénomène peut entraîner une certaine morbidité chez les animaux de ferme. Des mesures simples et reconnues permettent de contrôler ces situations. Aucun effet néfaste sur la santé des humains n'a été démontré jusqu'à maintenant.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	IX
LISTE DES FIGURES	XI
LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES	XIII
LISTE DES UNITÉS DE MESURE.....	XV
INTRODUCTION.....	1
1 MÉTHODE	3
1.1 Méthode employée pour la réalisation du document initial (2009)	3
1.2 Méthode employée lors de la mise à jour (2011)	3
1.2.1 Stratégie de recherche documentaire dans les bases de données.....	3
1.2.2 Stratégies de recherche complémentaires.....	5
2 EFFETS SOCIAUX ET COMMUNAUTAIRES ENTOURANT L'IMPLANTATION D'UN PARC ÉOLIEN.....	7
2.1 Acceptabilité sociale des projets de développement éolien	7
2.1.1 Définitions des concepts.....	7
2.1.2 Acceptabilité sociale des éoliennes et ses facteurs d'influence	8
2.1.3 Conclusion	16
2.2 Impacts des éoliennes sur les communautés	17
2.2.1 Définitions	17
2.2.2 Impacts sociaux mesurés dans la littérature	18
2.2.3 Conclusion	23
2.3 En résumé.....	23
Références.....	25
3 AIDE-MÉMOIRE — NOTIONS GÉNÉRALES SUR LE SON.....	29
3.1 Physique du son	29
3.2 Mesure et description du son	33
Références.....	41
4 LE BRUIT	43
4.1 Description de la situation	43
4.1.1 Le bruit des éoliennes	43
4.1.2 Facteurs influençant le niveau du bruit	44
4.2 Préoccupations pour la santé	45
4.2.1 Santé physique.....	45
4.2.2 Cas particulier : l'hypothèse du syndrome des éoliennes	48
4.2.3 Nuisance	48
4.3 Gestion du bruit généré par les éoliennes	55
4.3.1 Exigences, critères et réglementations existants	55
4.3.2 Préoccupations quant à la mesure d'exposition.....	65
4.4 En résumé.....	66
Références.....	68

5	LES INFRASONS ET LES SONS DE BASSES FRÉQUENCES	75
5.1	Infrasons : description de la situation	75
5.1.1	Niveaux mesurés des infrasons	75
5.1.2	Échelle de mesure des infrasons	76
5.2	Infrasons : préoccupations pour la santé	76
5.2.1	« Inaudibilité » des infrasons	76
5.2.2	Réponse physiologique de l'oreille aux infrasons (et basses fréquences) et plausibilité des effets	77
5.2.3	Infrasons et risques pour la santé : état de la littérature scientifique.....	78
5.3	Sons de basses fréquences : description de la situation	78
5.3.1	Modulation d'amplitude et sons de basses fréquences	79
5.3.2	Intensité et importance des basses fréquences dans le bruit émis	79
5.4	Sons de basses fréquences : préoccupations pour la santé	80
5.4.1	État de la littérature scientifique sur les sons de basses fréquences	83
5.4.2	Vibrations possibles transmises dans le sol	83
5.5	En résumé	84
	Références	85
6	L'EFFET STROBOSCOPIQUE ET LES OMBRES MOUVANTES	89
6.1	Préoccupations pour la santé.....	89
6.2	En résumé	91
	Références	92
7	SÉCURITÉ AU TRAVAIL ET SÉCURITÉ PUBLIQUE EN LIEN AVEC LES ÉOLIENNES.....	95
7.1	Sécurité au travail	95
7.2	Sécurité publique	96
7.3	En résumé	98
	Références	99
8	LES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES	101
8.1	Champs électriques : description de la situation	101
8.2	Champs électriques : préoccupations pour la santé	101
8.3	Champs magnétiques : description de la situation	102
8.4	Champs magnétiques : préoccupations pour la santé.....	103
8.5	Autres considérations sanitaires	105
8.5.1	Les champs électromagnétiques et les stimulateurs cardiaques	105
8.5.2	Tensions ou courants parasites	105
8.6	En résumé	106
	Références	107
	CONCLUSION.....	109
	Références	112
ANNEXE 1	ÉTUDES EXCLUES À LA SUITE DE L'APPRÉCIATION DE LA QUALITÉ	113
ANNEXE 2	ÉTUDES SUR LA NUISANCE SPÉCIFIQUE AUX ÉOLIENNES.....	123
ANNEXE 3	INFORMATIONS ADDITIONNELLES SUR L'ÉMERGENCE SPECTRALE DU BRUIT.....	131

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Stratégies de recherche documentaire	4
Tableau 2	Bilan des articles par thématique	5
Tableau 3	Sommaire des facteurs identifiés dans la littérature comme affectant les perceptions publiques des parcs éoliens et de l'énergie renouvelable	9
Tableau 4	Causes de l'écart et de l'opposition à un projet spécifique	15
Tableau 5	Types de bénéfices communautaires	21
Tableau 6	Échelle des fréquences sonores	29
Tableau 7	Illustration des seuils auditifs applicables aux infrasons et aux basses fréquences.....	30
Tableau 8	Exemple du critère d'émergence fréquentielle selon deux vitesses de vent en mètres par seconde (m/s)	37
Tableau 9	Effets liés à l'exposition prolongée au bruit, classification de l'évidence d'une relation de causalité et valeurs seuil observées	47
Tableau 10	Synthèse des résultats de niveaux sonores mesurés selon diverses distances avec les éoliennes	54
Tableau 11	Normes et valeurs guides applicables au bruit des éoliennes dans plusieurs pays.....	56
Tableau 12	Distances séparatrices pour les éoliennes fixées par règlement en Ontario.....	63
Tableau 13	Niveaux sonores maximums des sources fixes utilisés par le MDDEP	63
Tableau 14	Travailleurs décédés ou blessés entre 2000-2011 dans le secteur éolien (tous pays).....	96
Tableau 15	Recommandations de limites d'exposition aiguë pour les champs électriques pour un courant alternatif à 60 Hertz.....	101
Tableau 16	Recommandations de limites d'exposition aiguë pour les champs magnétiques pour un courant alternatif à 60 Hertz	103
Tableau 17	Articles exclus à la suite de l'appréciation de la qualité par chapitre	116

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Comparaison des pondérations A et C (en haut) avec la pondération G (en bas) utilisée pour les infrasons	32
Figure 2	Schéma d'une onde sonore modulée en amplitude	33
Figure 3	Représentation graphique de l'émergence globale	36
Figure 4	Représentation de l'émergence spectrale	36
Figure 5	Regroupement des fréquences autour d'une fréquence centrale	38
Figure 6	Exemples des indices statistiques (ou niveaux fractiles) L_{A5} et L_{A90} comparés avec le L_{Aeq} , L_{Amin} et le L_{Amax} pour une période de mesure donnée	39
Figure 7	Échelle de perception du bruit	40
Figure 8	Proportion de répondants très incommodés par le bruit des éoliennes comparée à ceux très incommodés par le bruit des transports routier, aérien et ferroviaire, des industries et des gares de triage	51

LISTE DES SIGLES ET ACRONYMES

ACGIH	American conference of governmental industrial hygienists
ADEME	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie de France
Afsset	Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail
AWEA	American Wind Energy Association
BAPE	Bureau d'audiences publiques sur l'environnement
CAN/CSA	Canadian Standard Association
CanWEA	Association canadienne de l'énergie éolienne
CCE	Cellules ciliées externes
CCI	Cellules ciliées internes
CEI-TS	Commission électrotechnique internationale – Spécification technique
CIPRNI	Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants
CIRC	Centre international de Recherche sur le Cancer
CREBSL	Conseil régional de l'environnement du Bas-St-Laurent
CWIF	Caithness Windfarm Information Forum
DEFRA	Department for Environment, Food and Rural Affairs
EDC	Électricité de France
IEEE	Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens
INRS	Institut national de recherche et de sécurité
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
IRSSST	Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail
ISO	International Organization for Standardization
LOAEL	<i>Lowest Observable Adverse Effect Level</i>
MAMR	Ministère des Affaires municipales et des Régions du Québec
MAMROT	Ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire
MDDEP	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec
MRC	Municipalité régionale de comté
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
NIMBY	<i>Not in my backyard syndrome</i>
NOEL	<i>No observed effect level</i>
OSHA	Occupational Safety and Health Association
OMS	Organisation mondiale de la Santé

PAE	Plan d'aménagement d'ensemble
RCI	Règlement de contrôle intérimaire
SAD	Schéma d'aménagement et de développement
SEL	<i>Sound Exposure Level</i>
TNCSE	Table nationale de concertation en santé environnementale
UQAR	Université du Québec à Rimouski
US-EPA	United States-Environmental Protection Agency
ZDE	Zone de développement éolien

LISTE DES UNITÉS DE MESURE

dB	Décibels
Hz	Hertz
j/n	jour/nuit
kW	Kilowatts
m/s	Mètres/seconde
MW	Mégawatts
Pa	Pascal

INTRODUCTION

Depuis quelques années, la production d'énergie éolienne se développe considérablement au Québec. En effet, dans la stratégie énergétique 2006-2015, le gouvernement du Québec mise sur la production d'énergie renouvelable, dont l'énergie éolienne en complément de l'hydroélectricité. L'objectif gouvernemental est de produire 4 000 mégawatts (MW) d'ici 2015. Les appels d'offres lancés par Hydro-Québec Distribution en 2003 et en 2005 contribuent à la stratégie avec respectivement 1 000 MW et 2 000 MW. Tandis que le premier appel d'offres était destiné précisément à la région de la Gaspésie et à la municipalité régionale de comté (MRC) de Matane, le deuxième s'est adressé à toutes les régions. Un troisième appel d'offres, d'un bloc de 500 MW, a été lancé en 2009. Il est réservé à des projets communautaires ou de nations autochtones. Les projets de ce troisième appel sont limités à 25 MW pour favoriser la participation directe des petites communautés^A.

Plusieurs règles et processus balisent les projets éoliens. Lorsqu'ils sont de plus de 10 MW, les projets retenus par Hydro-Québec Distribution doivent faire l'objet d'une autorisation ministérielle. Au préalable, les promoteurs doivent fournir une étude afin d'anticiper et de gérer les impacts, négatifs et positifs, prévus sur l'environnement et les collectivités. Cette étude doit être réalisée selon la directive émise par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP)^B. De plus, lorsque des organismes ou citoyens en font la demande, un projet peut faire l'objet d'une audience publique par le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE). À la suite des audiences, le BAPE émet des constats et des avis quant aux conditions de réalisation du projet qui tiennent compte des préoccupations soulevées par les organismes et la population locale^C. Le BAPE a un rôle consultatif, et ses avis peuvent être ensuite inclus dans la décision ministérielle et lors de l'émission du certificat d'autorisation au promoteur. Les projets de 10 MW et moins ne sont pas soumis à ces procédures, mais doivent notamment obtenir une autorisation d'une direction régionale du MDDEP.

Par ailleurs, les MRC peuvent statuer sur certains aspects du développement éolien sur leur territoire tel que la protection du paysage et les distances minimales des zones vulnérables. Différents outils appuient leur démarche, notamment le règlement de contrôle intérimaire (RCI), le schéma d'aménagement et de développement (SAD) et les PAE (plan d'aménagement d'ensemble).

L'arrivée d'un parc éolien peut soulever des préoccupations pour la santé et des craintes chez la population qui proviennent, par exemple, d'informations diffusées par les médias, par la communauté scientifique, par Internet ou par des groupes de promotion ou de critique du développement éolien. Les directions régionales de santé publique sont appelées à participer à diverses étapes du processus de planification d'un projet de parc éolien à titre de

^A Site Internet du ministère des Affaires municipales et des Régions sur l'énergie éolienne. <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/eolien>.

^B Directive pour la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement d'un projet de parc éolien du MDDEP, cette directive a été mise à jour en juin 2010. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/evaluations/documents/Eolien.pdf>.

^C Rapports du BAPE sur les projets de parc éolien. <http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/rapports/themes/eoliennes.htm>.

représentants du ministère de la Santé et des Services sociaux (MSSS). Elles sont ainsi amenées à analyser divers documents tels que les études d'impacts, les règlements de contrôle intérimaire (RCI) et les schémas d'aménagement et de développement (SAD) des MRC. Afin de les soutenir dans ces démarches, la Table nationale de concertation en santé environnementale (TNCSE) a mis sur pied le Comité éoliennes qui a été actif du 12 novembre 2007 au 30 septembre 2009. Ce groupe de travail a été chargé de produire des outils visant à aider les directions de santé publique à répondre de façon harmonisée aux demandes portant sur les éoliennes, d'où découle la première version du présent document. Quoique ce comité ne soit plus actif, des membres de directions régionales de santé publique concernées par l'enjeu éolien ont également participé au processus de mise à jour.

La mise à jour de ce rapport a été réalisée afin de fournir l'information la plus complète à l'égard des aspects liés à la santé humaine. Les sujets qui y sont abordés ont été identifiés selon les préoccupations ou inquiétudes soulevées par la population en matière de santé lors d'audiences publiques ou lors de demandes d'informations adressées aux directions de santé publique, ou selon les problématiques potentielles perçues par les membres du comité. Ces sujets comprennent les effets sociaux et communautaires entourant l'implantation d'un parc éolien (chapitre 1), le bruit (chapitre 3), les infrasons et les sons de basses fréquences (chapitre 4), l'effet stroboscopique ou les ombres mouvantes (chapitre 5), les nuisances en phase de construction et la sécurité (chapitre 6) et les champs électromagnétiques (chapitre 7). Afin d'aider les intervenants dans la compréhension des notions générales liées au son, un aide-mémoire a été préparé et se trouve au chapitre 2. Sauf exception, les autres chapitres sont généralement présentés selon la structure suivante : description de la situation/définitions, préoccupations pour la santé et résumé.

1 MÉTHODE

Ce document a été réalisé en deux périodes distinctes. Il importe de distinguer les méthodes empruntées pour réaliser chacune des deux étapes de production du document, soit d'une part le document initial (publié en 2009) et d'autre part, la présente mise à jour.

1.1 MÉTHODE EMPLOYÉE POUR LA RÉALISATION DU DOCUMENT INITIAL (2009)

La recherche d'informations ayant conduit à la première publication de la synthèse des connaissances Éoliennes et santé publique (2009) portait sur la période allant de 1997 à 2008 à l'aide de bases de données telles que PubMed et EBSCOhost et d'outils de recherche Internet. Des documents ont aussi été proposés par les personnes-ressources consultées. Les informations rassemblées par le comité sont donc issues de revues scientifiques, de présentations lors de conférences, de documents d'organismes gouvernementaux québécois, canadiens, étrangers et internationaux, de différents sites internet et d'échanges avec des experts de certains domaines spécifiques.

1.2 MÉTHODE EMPLOYÉE LORS DE LA MISE À JOUR (2011)

La présente mise à jour du document Éoliennes et santé publique a été faite entre les mois d'avril et juillet 2011. Elle couvre la période de 2008 à 2011. Même si ce document ne constitue pas une revue systématique, l'approche de mise à jour s'en est inspirée en rendant plus explicites les stratégies de recherche employées, en consultant plusieurs sources documentaires et en sélectionnant les documents intégrés en fonction de critères de qualité et de pertinence. Le « Comité éoliennes » déjà en place a joué un rôle consultatif pour cette étape, ainsi que d'autres experts, et notamment les réviseurs externes. Enfin, certaines informations ajoutées, associées aux aspects du son, du bruit (p. ex., notion exposition-effet, nuisance, sensibilité, etc.), et sur les effets infrasons et des sons de basses fréquences, sont tirées d'un avis de l'INSPQ en préparation et portant sur la pertinence d'une politique publique de lutte contre le bruit au Québec.

1.2.1 Stratégie de recherche documentaire dans les bases de données

Pour la mise à jour, une recherche a d'abord été effectuée avec des bases de données scientifiques afin de colliger les articles publiés entre 2008 et 2011 dans des périodiques scientifiques avec révision par les pairs, publiés en français ou en anglais. Les métabases documentaires suivantes ont été consultées :

- Willey Interscience
- ProQuest
- Ovid SP
- EbscoHost

Ce processus a été réalisé en combinant des mots-clés tirés du document publié en 2009 (tableau 1).

Tableau 1 Stratégies de recherche documentaire

<i>Wind mills OR Wind turbines OR Wind farms OR Wind energy OR Wind power OR Wind park OR Renewable energy</i>				
AND				
Causes/Sources OR	Effets à la santé OR	Sécurité OR	Impact OR	Social OR
<i>Noise* Vibrations Shadow Flickers Infrasound Low Frequency noise Stroboscopic Effect Environmental Noise Psychoacoustics Sound Electromagnetic Fields Acoustics Sound Pressure Transportation noise Sound emergence</i>	<i>Auditory perception Visual perception Body sensations Stress Sleep disturbance Health effect Harmful effect Debilitating effects Adverse effects</i>	<i>Accident* Security Emergency response planning Workplace security Public safety Safety management Mitigation Technologic risk (MESH) injuries/</i>	<i>(MESH) impact Social impact Environmental impact Environmental impact statements Modelisation uncertainties</i>	<i>Social acceptance Social perception Attitude measure MESH communities Local communities Rural communities</i>
Willey Interscience, ProQues ^a , Ovid SP ^b PubMed	Willey Interscience, ProQuest, PubMed	Willey Interscience, ProQuest, Pubmed	Willey Interscience, ProQuest, Pubmed	Willey Interscience, ProQuest, EBSCOhost

^a Seules les bases de données suivantes ont été retenues : PILOTS, Environmental Science And Pollution Management, Sociological Abstracts, Proquest Sociology, Worldwide Political Science, Proquest Political Science.

^b Seules les bases Embase, Medline et Global Health ont été conservées.

En raison de leur pertinence pour le sujet, les tables des matières de certains périodiques ont aussi été revues pour repérer les parutions pertinentes publiées entre 2008 et 2011. Voici la liste des périodiques consultés :

- *Wind Energy*
- *Energy Policy*
- *Renewable and Sustainable Energy Reviews*
- *Renewable Energy*
- *Journal of the Acoustical Society of America*
- *Occupational and Environmental medicine*
- *Wind Engineering*
- *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*
- *Journal of Low Frequency Noise*
- *Vibration and Active Control*
- *Noise & Health*

Pour la section sociale, la bibliographie des articles mis au jour a également été consultée. Ces articles ont ensuite été évalués globalement^A selon des critères de pertinence et de qualité de la démarche scientifique proposée. Dans un premier temps, ces textes devaient aborder spécifiquement ce mode de production d'énergie, traiter d'un contexte comparable au Québec et des thématiques en lien avec la santé humaine. Les projets éoliens dits « off-shore » n'ont pas été retenus car ce développement n'est pas présent au Québec. Les articles ont ensuite été évalués selon les critères suivants :

- financement indépendant;
- chercheurs sans apparence de conflits d'intérêts;
- objectifs clairs;
- méthode explicite;
- résultats cohérents avec les objectifs (validité interne).

Tous les articles rejetés à la suite de cette appréciation de la qualité sont énumérés à l'annexe 1, ainsi que les critères ayant motivé leur exclusion.

Au final, 50 textes ont été retenus, et alimentent la mise à jour de chaque thématique (tableau 2).

Tableau 2 Bilan des articles par thématique

Thématique (numéro de chapitre)	Nombre d'articles scientifiques retenus
Effets sociaux et communautaires entourant l'implantation d'un parc éolien (chapitre 2)	33
Le bruit (chapitre 4)	9
Les infrasons et les sons de basses fréquences (chapitre 5)	6
L'effet stroboscopique et les ombres mouvantes (chapitre 6)	1
Sécurité au travail et sécurité publique en lien avec les éoliennes (chapitre 7)	1
Les champs électromagnétiques (chapitre 8)	s. o. ^a

^a Aucun nouvel article n'a été trouvé pour cette thématique.

1.2.2 Stratégies de recherche complémentaires

Une démarche de consultation de personnes-clés a été menée pour compléter la recherche documentaire et s'est déployée en deux phases.

^A L'évaluation a été réalisée par une professionnelle de recherche. Cependant, pour certaines thématiques particulières (bruit, sciences sociales), une deuxième appréciation a été effectuée par des experts des domaines concernés.

D'abord les membres du comité d'utilisateurs^A et de l'équipe scientifique de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) sur les rayonnements ionisants ont été consultés. Ces personnes ont soumis des documents dits de « littérature grise », c'est-à-dire des rapports scientifiques dans leur démarche mais issus d'agences gouvernementales, de groupes de recherche universitaires, de firmes d'ingénierie, etc. Ici aussi, seuls les documents de nature scientifique et spécifiques à la problématique des éoliennes ont été retenus, et ils ont été appréciés quant à leur pertinence et leur qualité à partir des mêmes critères que pour les articles scientifiques. Notons que ces personnes ont peu fourni de documents associés au secteur social.

Ensuite, les experts consultés lors de la révision scientifique du présent document ont proposé de nouveaux documents, articles scientifiques ou rapports de littérature grise. Ces ajouts ont été acceptés sans évaluation subséquente.

Parmi les documents retenus à la suite de ces consultations, certaines études sont prospectives (évaluations d'impacts^B, etc.). D'autres documents sont plutôt des études de cas qui évaluent les impacts de parcs éoliens déjà implantés. Enfin, des synthèses d'information ont aussi été recensées. Par ailleurs, les documents déjà cités dans la version 2009, et en provenance d'organismes gouvernementaux, ont été repérés de nouveau afin de s'assurer de leurs mises à jour possibles et des modifications qu'elles pourraient apporter au texte^C.

^A Composé de professionnels des DSP dédiés à la problématique des éoliennes et, dans plusieurs cas, des auteurs de la première version du document *Éoliennes et santé publique* (2009).

^B Les évaluations d'impacts réalisées au Québec n'ont pas été retenues car elles sont réalisées par les promoteurs, donc par des auteurs pouvant avoir une apparence de conflits d'intérêts. Quant aux rapports du Bureau des audiences publiques sur l'environnement, ils recensent les inquiétudes sociales mais ne documentent pas directement les impacts. Leurs approches méthodologiques ne correspondent pas non plus aux critères scientifiques retenus pour cette recension, car ces audiences ont une visée de participation publique et non de résultats scientifiques.

^C Entre autres quant aux normes citées.

2 EFFETS SOCIAUX ET COMMUNAUTAIRES ENTOURANT L'IMPLANTATION D'UN PARC ÉOLIEN

S'intéresser aux aspects sociaux associés aux éoliennes s'explique dans une perspective de santé globale, soit celle considérant non seulement l'absence de maladie, mais aussi le bien-être général et les capacités de développement personnel et communautaire^A. Dans cette optique, plusieurs dimensions peuvent être relevées dans la littérature en lien avec les installations éoliennes. Ce chapitre en présente les principales, en s'attardant à chaque fois à définir les concepts associés, puis à présenter les résultats de recherches scientifiques sur le sujet. L'aspect d'acceptabilité sociale sera d'abord abordé, puis les impacts sociaux et communautaires des projets éoliens. Puisque la littérature attribue une place importante à la gouvernance des projets de parc éolien en tant que facteur contribuant à minimiser ou accroître les effets sociaux des éoliennes, ce sujet fera l'objet d'une section particulière. Un résumé des principaux constats et des pistes de recherche prometteuses viendra clore la section.

2.1 ACCEPTABILITÉ SOCIALE DES PROJETS DE DÉVELOPPEMENT ÉOLIEN

Le fait que les projets soient acceptés ou non par les communautés où ils sont planifiés et où ils s'implantent occupe souvent beaucoup d'espace dans les discours et les recherches sur les éoliennes. Cette notion est de plus en plus considérée comme une condition requise tant par les décideurs privés que publics¹. Cette formulation de la question ne peut être ignorée ici, mais il importe, d'entrée de jeu, de noter ses limites quant à la santé publique, surtout si elle est interprétée exclusivement à partir de dimensions psychosociales. En effet, même si l'étude de l'acceptabilité est pertinente, elle ne permet pas de statuer sur les risques potentiels ou avérés de problématiques données : ce n'est pas parce que l'acceptabilité est présente que le projet demeure sans risques². Un projet jugé acceptable socialement peut encore comporter des risques sanitaires, sociaux, psychosociaux, porter atteinte à la qualité de vie et engendrer d'autres types d'effets potentiels. C'est pourquoi nous distinguerons les deux notions.

2.1.1 Définitions des concepts

Dans la plupart des écrits consultés, le concept d'acceptabilité s'insère dans une perspective plus large qui englobe les notions d'attitude et de perception du risque. L'idée de « pas dans ma cour », souvent appelée « phénomène NIMBY », y est également évoquée, soit comme argument expliquant les conflits, soit comme argument à rejeter en raison de ses biais et de ses lacunes.

Le concept d'acceptabilité sociale revêt généralement deux acceptions fort distinctes :

- Sur un plan purement théorique, l'acceptabilité est considérée comme une attitude de stabilité sociale issue d'un processus de délibération au sein de la communauté concernée^{1,3,4}. Peu importe sa forme, le processus de délibération doit permettre de statuer sur les conditions permettant l'intégration harmonieuse d'une activité⁴.

^A Selon la définition de la Loi québécoise pour la santé publique, qui s'inspire de la constitution de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS).

- Cependant, dans le langage courant, l'acceptabilité sociale est plutôt comprise comme l'assentiment de la population face à une intervention susceptible d'avoir un impact sur ses activités ou ses valeurs^{5,6}.

La coexistence de ces deux définitions ainsi que le manque de conceptualisation du phénomène sèment présentement de la confusion dans la compréhension des acteurs sociaux associés au dossier.

L'attitude est un terme décrivant des réactions stables et des prises de position bien ancrées au sujet d'un objet et des situations s'y rapportant⁷. Plusieurs facteurs moduleront l'attitude, dont les normes sociales, les valeurs, les croyances, les perceptions, les émotions, les habitudes et l'expérience antérieure, les connaissances, etc. Parmi les facteurs modulant l'attitude, la perception du risque est souvent mentionnée et il arrive même, à tort, qu'elle soit confondue avec l'étude des impacts sociaux, car elle les influence aussi^A. La perception du risque peut être définie de plusieurs manières selon les écoles de pensée⁸. En santé publique québécoise, on tend maintenant à la définir comme une différence entre l'évaluation experte et populaire d'un même risque qu'on attribue à des savoirs distincts et à des méthodes différentes pour juger du risque, mais qu'on ne doit pas d'emblée hiérarchiser⁹ (p. 82-83).

Enfin, le NIMBY (*not in my backyard*/pas dans ma cour) peut se décrire comme une attitude contre l'intérêt public, quant à des développements pour le bien commun de la société¹⁰. Pour qu'il s'agisse d'une opposition de type NIMBY, les opposants doivent être motivés par des raisons individuelles et égocentristes, « liées à la sauvegarde d'intérêts personnels »⁶. Le NIMBY peut devenir un argument péjoratif, servant à discréditer les opposants^{11,12}.

2.1.2 Acceptabilité sociale des éoliennes et ses facteurs d'influence

Comme nous l'avons mentionné, l'étude de l'acceptabilité sociale des éoliennes constitue une part importante de la recherche en sciences sociales sur ce mode de production d'énergie. Ces recherches se posent surtout quant aux facteurs qui influencent l'acceptabilité, à la positive ou à la négative. Cependant, en raison de l'importance du contexte (p. ex., géographique, institutionnel) dans ce genre de résultats, la généralisation des constats émis dans cette section reste très limitée.

Plusieurs facteurs sont avancés au sujet de l'acceptabilité sociale des éoliennes, et des exercices de catégorisation ont mené à l'élaboration de bon nombre de listes. Notons par exemple que l'Unité de recherche sur le développement territorial durable et la filière éolienne de l'Université du Québec à Rimouski (UQAR) a identifié dans la littérature un grand nombre de facteurs constitutifs de l'acceptabilité sociale des éoliennes^B qui ont été regroupés sous quatre catégories, soit ceux liés à la filière éolienne, au projet spécifique, au processus décisionnel et au milieu social⁶. Parmi les nouveaux écrits recensés, plusieurs articles proposent aussi des catégorisations à partir d'études de cas, de listes de ces facteurs dans des contextes particuliers ou de cumul de cas^{10,13-18}. Comparer ces exercices

^A Tout en reconnaissant cette influence, nous avons choisi d'aborder ce concept dans la section des attitudes car c'est l'angle habituel des recherches recensées sur les éoliennes.

^B Après avoir complété une recension analytique des écrits scientifiques sur le sujet.

nous amène à supposer que la liste des facteurs d'acceptabilité est maintenant bien établie en regard des éoliennes, même si leur catégorisation varie. Ces différentes études ont été synthétisées (tableau 3).

Tableau 3 Sommaire des facteurs identifiés dans la littérature comme affectant les perceptions publiques des parcs éoliens et de l'énergie renouvelable

Catégorie	Sous-catégorie	Facteurs
Filière éolienne	Politique et institutions	<ul style="list-style-type: none"> • Politiques énergétiques; • Politiques d'aménagement; • Niveau de complexité du cadre légal; • Niveau de coordination intergouvernementale; • Niveau de collaboration entre les paliers gouvernementaux (notamment : central-municipal); • Capacité institutionnelle
	Retombées sociétales	<ul style="list-style-type: none"> • Retombées sur les risques à l'échelle globale (p. ex., changements climatiques); • Bien commun (sécurité d'approvisionnement)
Processus décisionnel	Collaboration et participation	<ul style="list-style-type: none"> • Processus collaboratif communautaire (planification et décisions); • Collaboration entre promoteurs et décideurs locaux; • Processus d'évaluation du projet ancré dans le milieu; • Consultations publiques (échelle territoriale, nombre, moments, types); • Réponse à l'opposition et aux critiques formulées
	Niveaux décisionnels	<ul style="list-style-type: none"> • Processus décisionnel local; • Rôle des autorités locales; • Niveau de dispersion des décisions entre plusieurs paliers décisionnels; • Liens entre les échelles de décision
	Communication	<ul style="list-style-type: none"> • Structure de communication directe entre les parties
Milieu social	Histoire communautaire	<ul style="list-style-type: none"> • Expériences antérieures (avec le promoteur ou l'éolien); • Initiatives locales antérieures (tous types); • Conflits antérieurs (toutes raisons)
	Capital social	<ul style="list-style-type: none"> • Processus et groupes d'influence (groupes de pression); • Résistance; • Caractéristiques sociodémographiques; • Capacité d'influencer les décisions ou les politiques
	Attitudes	<ul style="list-style-type: none"> • Préoccupations et impacts appréhendés; • Connaissances sur les éoliennes; • Perception des politiques publiques; • Attitude face à l'énergie éolienne
	Symboles et idéologies	<ul style="list-style-type: none"> • Représentations sociales des éoliennes; • Représentations et valeurs communautaires associées au paysage, à la nature et à la région (ex. : sens du lieu, appartenance, vocation); • Identité communautaire; • Intérêts des parties impliquées (convergenents ou non); • Intégration du projet au milieu
	Retombées locales	<ul style="list-style-type: none"> • Bénéfices et contrôle au niveau local et communautaire (possibilité de participation financière locale ou de copropriété locale); • Effets sur le développement social (emploi, effets sur le tourisme, etc.); • Effets sur la valeur des propriétés; • Modalités de financement du projet; • Taux d'imposition

Tableau 3 Sommaire des facteurs identifiés dans la littérature comme affectant les perceptions publiques des parcs éoliens et de l'énergie renouvelable (suite)

Catégorie	Sous-catégorie	Facteurs
Aspects matériels	Caractéristiques physiques de l'éolienne	<ul style="list-style-type: none"> • Couleur de l'éolienne; • Taille de l'éolienne; • Propriétés acoustiques de l'éolienne; • Efficience de la technologie choisie
	Contexte matériel du projet	<ul style="list-style-type: none"> • Choix du lieu (proximité des citoyens ou de particularités importantes du territoire); • Taille et forme du parc éolien; • Écosystèmes (impacts sur la faune, les plantes, les écosystèmes, la qualité de l'eau); • Effets cumulatifs associés à plusieurs projets éoliens dans un même périmètre; • Intégration du projet dans le paysage et aux autres activités; • Nuisances en phase de construction

^a Au Québec, la taille des parcs québécois est presque toujours plus grande que les parcs européens qui sont étudiés, ce qui limite le degré de comparabilité des études citées à cet effet.

Source : Synthèse des écrits de plusieurs auteurs^{6,10,13-18}.

Au niveau des communautés concernées, plusieurs rationalités viendraient influencer l'attitude face aux projets éoliens. Il semble se dégager une division assez claire entre les enjeux locaux et ceux relevant du niveau national ou global. En effet, les préoccupations associées aux conditions de vie des individus ou du groupe prévaudraient davantage au plan local alors que les autres enjeux intéressent plus les acteurs nationaux^{15,19}. Pour notre part, nous nous attarderons à décrire les facteurs analysés dans la littérature, soit : la proximité résidentielle, les caractéristiques sociodémographiques du milieu, le cadre institutionnel, le processus décisionnel, les effets sur le paysage et le milieu de vie et les retombées économiques du projet. Les études présentant l'argument du « NIMBY » et des réflexions sur le caractère fluctuant de l'acceptabilité et ses écarts seront aussi analysées. Il est à noter que plusieurs de ces critères s'appliquent également aux impacts sociaux des éoliennes, et plus particulièrement aux conflits sociaux. Ces aspects seront mentionnés à la seconde section mais, pour éviter la redondance, les critères communs à l'acceptabilité et aux conflits seront traités dès maintenant.

2.1.2.1 Les caractéristiques sociodémographiques

L'association possible entre des variables sociodémographiques et l'attitude face aux éoliennes a été peu explorée si ce n'est du critère de proximité. Sur le plan des individus, quelques études ont été réalisées. Le critère de l'âge peut se révéler être une caractéristique à prendre en compte pour comprendre l'opposition, mais pour l'instant, il est impossible de conclure sur la manière dont ce critère influence dans l'absolu les attitudes face aux éoliennes, les conclusions variant d'une étude à l'autre^A. Sur le plan des communautés, une

^A Par exemple, les personnes âgées de plus de 49 ans et de plus de 55 ans (selon les deux modèles d'analyse présentés dans l'étude) seraient moins favorables que les plus jeunes au développement éolien au Danemark²⁰ alors que dans un sondage national aux États-Unis, les répondants plus âgés étaient plus favorables²¹.

seule étude est disponible^A. Selon celle-ci, dans le contexte particulier de la recherche, une plus grande espérance de vie et un fort taux de votation aux élections nationales ont présenté une association statistique hautement significative ($p < 0,001$) avec la possibilité d'une opposition face à un projet éolien, du moins lors d'un appel de décision²². D'autres variables se sont également révélées statistiquement significatives mais avec une force d'association plus faible^B.

2.1.2.2 *Le cadre institutionnel du développement énergétique et de la filière éolienne*

Le cadre institutionnel, et notamment les politiques publiques et les stratégies de développement prévues pour la filière éolienne, est considéré comme un élément pouvant moduler l'acceptabilité sociale^{6,18,23,24,25}. On souligne par ailleurs le manque de participation de la population et des autorités locales aux débats sur ce cadre. À l'instar des plans d'aménagement du territoire, par exemple, ces stratégies sont plutôt remises en question lors des discussions sur des projets concrets et locaux²⁶.

Certaines stratégies nationales paraissent favoriser certains types de projets, ou sites, et ce, au détriment de certains autres ou sans nécessairement prendre en considération les communautés. Par exemple, les politiques axées sur le plus bas coût d'achat semblent favoriser des projets de grande envergure, concentrés dans les secteurs les plus venteux⁶. Cependant, une étude scientifique suggère que les individus présentent une attitude plus positive envers les projets éoliens à petite échelle, en comparaison aux projets de plus grande envergure²⁷. Étant donné que les recherches sont contradictoires, rien ne peut être établi à cet effet pour l'instant.

Par ailleurs, l'absence ou la faiblesse d'un cadre institutionnel peut aussi comporter des effets sur l'acceptabilité. Par exemple, cette lacune peut amener des inquiétudes chez la population qui réclame un fondement autre que politique pour les décisions⁶. Ce contexte peut générer à son tour un manque de confiance envers les institutions et la démocratie, ce sentiment pouvant par la suite engendrer certains impacts sociaux. Au contraire, un projet pilote mené en France montre que l'adoption de règles d'implantation pourrait réduire le sentiment d'incertitude autant chez la population que chez les promoteurs, et même favoriser de meilleures résolutions de conflits et un réseautage entre les acteurs²⁴.

2.1.2.3 *Le processus décisionnel*

Selon des chercheurs de l'UQAR, l'une des catégories de facteurs constitutifs de l'acceptabilité sociale regroupe des facteurs liés au processus décisionnel, particulièrement à la participation des parties prenantes à la planification du projet⁶. Ces aspects de

^A Elle a été analysée par une étude de type exploratoire en Angleterre²².

^B Ceux qui s'opposent davantage aux projets dans le cas étudié en Grande-Bretagne présentaient les caractéristiques suivantes : une plus forte proportion de travailleurs autonomes, une plus faible proportion de personnes âgées de 16 à 24 ans, un plus faible indice de défavorisation de la santé, un plus faible indice de défavorisation de la criminalité, peu d'étudiants, davantage de petites entreprises, une plus faible proportion de personnes travaillant dans l'administration publique, la défense et la sécurité sociale, peu de maladies et d'incapacités, peu d'accidents de la route, une plus grande proportion de maisons secondaires et de vacances. D'autres facteurs, également étudiés dans cette étude, ne se sont pas révélés statistiquement significatifs (p. ex., salaire, niveau d'éducation). Rappelons qu'il est impossible de généraliser ces critères pour l'instant.

gouvernance semblent incontournables²⁸ et constitueraient la trame de fond des controverses au sujet des valeurs²⁶. Par exemple, il est possible que le processus soit critiqué quant à la consultation, l'écoute, la capacité de participer, la disponibilité d'une information adéquate ou l'impartialité des acteurs^{29,30}. Ces critiques semblent souvent associées à des effets sociaux auxquels nous reviendrons^A, entre autres sur le capital social des communautés, sur la baisse de confiance envers les institutions et la démocratie, ou sur des sentiments d'injustice et d'inégalité³⁰.

Même si ces facteurs agissent sur l'acceptabilité, il semble difficile de prévoir leur degré d'influence³⁰. Ainsi, ce n'est pas parce qu'il existe déjà des réseaux stables d'appui ou d'opposition aux projets éoliens qu'on pourra prédire les réactions d'une communauté donnée. De plus, il est certain que lorsque des moyens de participation sont mis en œuvre, ils influencent les interactions entre les parties prenantes et peuvent modifier les attitudes. Tout comme dans plusieurs autres dossiers environnementaux, un contexte de planification à participation réelle et élevée du public serait vraisemblablement associé à un niveau plus bas d'opposition et de conflits^{15,18,26}. Or, pour parler de « participation réelle », il paraît nécessaire qu'elle implique un effet sur les décisions entourant le projet, sa conception ou son autorisation. Ainsi, d'autres auteurs soulignent aussi que la mise en place d'un processus participatif n'est pas suffisante, car il importe également que les méthodes sous-tendant l'approche permettent cette participation pleine et entière^{B31}. Notamment, le dialogue doit être bidirectionnel, les savoirs locaux doivent être colligés, les options doivent être examinées de concert et les citoyens doivent constater leur apport aux décisions. Or, il semble que ce ne soit pas souvent le cas, dans le dossier éolien comme ailleurs^C.

2.1.2.4 Les retombées économiques

Dans les écrits consultés, on fait souvent état du fait que des mesures maximisant les retombées économiques à l'échelle locale peuvent contribuer l'acceptation des projets, ces effets étant susceptibles d'engendrer des impacts sociaux positifs sur les plans individuel et collectif⁶. Le fait d'investir économiquement ou selon d'autres formes de partenariats dans un projet éolien peut-il en favoriser l'acceptabilité^{12,16,33}? Deux projets de développements éoliens établis dans des communautés allemandes, l'un basé sur un modèle de copropriété et l'autre, appartenant à une compagnie privée, ont été comparés quant à leur acceptabilité. Une différence statistiquement significative a été observée au niveau de l'acceptabilité : la communauté où un modèle en copropriété a été implanté était plus favorable aux éoliennes¹² ce qui a aussi été conclu dans une autre étude¹⁶. D'autres auteurs³³ ont quant à eux montré que le fait pour une communauté de participer économiquement à un projet éolien n'a fait qu'améliorer une attitude déjà positive en réduisant les perceptions négatives face au projet. À noter que la communauté étudiée en parallèle, qui ne participait pas financièrement au projet, n'était pas non plus défavorable. Ces études ne permettent toutefois pas de conclure que l'acceptabilité sociale est acquise par la mise en place de partenariats financiers dans des projets éoliens. Au Japon, le contrôle local d'un projet éolien sur le plan financier a montré non seulement un impact positif sur la perception et l'acceptabilité du projet, tout en

^A Ces effets seront abordés dans la section 2.2.

^B Et notamment en n'adoptant pas une perspective où l'expert reste trop fortement valorisé.

^C Voir par exemple le cas des projets porcins³².

ayant des effets réels sur les liens sociaux³⁴. D'autres études font état du potentiel positif sur l'acceptabilité sociale du contrôle local de projets éoliens au plan financier^{6,18}.

D'autres études indiquent que la taille du parc éolien et des éoliennes influence l'élaboration de partenariats locaux avec les communautés. L'implantation de parcs éoliens considérés de faible envergure à l'échelle européenne^A, demandant des capitaux financiers moins importants, faciliterait la mise en place de partenariats avec les communautés locales²⁷. Autre exemple, le Danemark, qui se caractérise par un historique de participation de fermiers et de petites coopératives locales au développement éolien, a rencontré pour la première fois de l'opposition face aux projets éoliens avec l'implantation d'éoliennes de plus grande taille et à des coûts plus élevés^{B33}.

2.1.2.5 Les effets appréhendés sur le paysage et le milieu de vie

Les impacts appréhendés des projets sur le paysage, en raison de leur envergure et de leur localisation, joueraient un rôle important dans l'attitude face aux éoliennes^{20,31,35,36}. En raison de conditions favorables, tant matérielles (p. ex., vent) que structurales (p. ex., politiques publiques), les propositions de développements éoliens sont faites généralement dans des environnements ruraux souvent proches de littoraux très valorisés et reconnus pour la beauté de leur paysage et leur vulnérabilité écologique³³. L'effet visuel peut souvent être perçu comme une atteinte à la valeur du paysage bien que l'implantation d'un parc éolien soit considérée par certains comme ayant une valeur esthétique positive sur le paysage¹⁸. Cependant, il existe encore trop peu d'études sur la perception esthétique des éoliennes : les opinions divergent au sujet de cette appréciation, qui semble dépendre du type de paysage en cause^{18,35}. Quant au tourisme, une étude réalisée au Québec auprès de touristes ne montre pas de fortes réactions négatives³⁷. Ailleurs dans le monde, les études ne sont pas de qualité suffisante pour conclure à ce sujet^C.

Le paysage ne se limite cependant pas à l'aspect visuel, et médiatise d'autres préoccupations^{13,28} : « Les discours sur le paysage permettent entre autres de saisir des préoccupations sociales bien actuelles. »³¹(p. 10). Pour comprendre les appréhensions associées aux impacts des éoliennes, il importe d'aller au-delà des caractéristiques esthétiques du paysage, et de s'intéresser également à des aspects affectifs et expérientiels : « Le territoire retient l'attention non plus seulement en tant qu'espace-support ou « ressource » pour une entreprise ou une industrie, mais aussi comme un milieu de vie pour des acteurs qui n'ont pas forcément de lien productif ou marchand avec le territoire qu'ils habitent »³¹(p. 11). Dans ce cadre, l'attachement au lieu^D semble un critère important pour toutes les relations au territoire naturel³⁹. Dans le cas des éoliennes, des auteurs proposent ainsi la notion de « perturbation de l'attachement à un lieu », cet attachement se définissant comme la relation émotionnelle avec les lieux familiers qu'individus et collectivités habitent ou visitent et ayant une influence sur l'acceptabilité¹¹. Le sentiment de déni des significations du lieu et de la communauté, dont l'attachement au lieu, fait alors partie des

^A Donc difficiles à comparer selon l'échelle québécoise, où les parcs sont habituellement plus grands.

^B Au Québec, il pourrait être intéressant de lancer une recherche scientifique pour mieux comprendre les conflits sociaux et l'acceptabilité sociale. Elle pourrait notamment se réaliser en compilant les rapports du BAPE.

^C Si l'on exclut les projets « *off-shore* », qui ne sont pas étudiés ici.

^D En anglais : *sense of place*³⁸.

éléments sous-tendant l'opposition¹⁰. Bref, le choix de lieux dits « acceptables » résulte de la compréhension, de l'analyse et de la considération de plusieurs facteurs locaux dans la planification des projets éoliens et qui vont bien au-delà du potentiel géographique (biophysique) du territoire visé^{10,13,15,16}.

Dans un autre ordre d'idées, les facteurs associés à la qualité du milieu de vie dans ses dimensions sociales peuvent aussi influencer sur l'acceptabilité tout comme sur les conflits sociaux^{A6,18}. On mentionne par exemple l'historique du territoire (controverses environnementales ou changements vécus), le contexte socioculturel et la résilience communautaire, soit la capacité de résoudre des problèmes et des divergences. L'influence du réseau social, par exemple l'opinion de l'entourage, jouerait aussi un rôle important dans la perception d'un projet¹⁸. Enfin, les valeurs et les convictions sont aussi des facteurs invoqués⁴⁰.

Ainsi, l'importance accordée aux facteurs du milieu de vie nuance encore plus l'importance de la proximité géographique comme critère d'acceptabilité. Notamment, la valeur du paysage peut avoir des échos au-delà de la population de proximité^{22,31}. Ainsi, la détermination de l'étendue de la communauté qui pourra être importunée par un éventuel projet de développement éolien est un exercice complexe^{36,41}, constituant un enjeu méthodologique majeur, notamment dans le cadre des études d'impacts.

2.1.2.6 *Le phénomène « pas dans ma cour » et la proximité*

Même si dans les écrits scientifiques le phénomène « pas dans ma cour » n'est pas considéré comme un facteur, il est très présent dans le discours populaire pour interpréter l'opposition à l'énergie éolienne. Or, même s'il est souvent entendu, l'argument est contesté par bon nombre de scientifiques^{6,10,11,18,28,35,36,42,43}. En effet, les conclusions des études sur le sujet ne convergent pas et sont d'une grande variabilité, échouant à montrer l'influence du facteur NIMBY¹⁰. Une recension sur le sujet montre que le concept de NIMBY est lui-même très contestable scientifiquement¹⁰, ou du moins est un phénomène très rare : « many Europeans studies show that NIMBYism in its strictest terms is quite rare »³⁶(p. 3108).

De plus, le NIMBY ne reflète pas à lui seul la complexité des motivations humaines et leur interaction avec les institutions sociales et politiques⁴³. Interpréter l'opposition aux éoliennes comme un phénomène NIMBY ne permet pas de bien comprendre les enjeux et dévalorise les groupes d'opposition^{10,28}. Enfin, taxer les gens de NIMBYistes a des conséquences sociales et renforce l'opposition au projet¹⁴.

^A Cet aspect sera traité plus en détail à la section 2.2.

Par ailleurs, des études de cas et des enquêtes ont cherché à comprendre si l'attitude face à un projet éolien pouvait être modulée par la proximité résidentielle^{17,20,36,44}. Les conclusions de la littérature ne sont pas convergentes à cet effet et il n'est pas prouvé que les résidents habitant plus près des parcs présentent davantage une perception négative des éoliennes^A. Voir le parc éolien, même en étant éloigné du site, pourrait d'ailleurs s'avérer être un critère plus significatif d'opposition que la proximité physique en soi³⁶.

2.1.2.7 L'écart entre les attitudes

Des recensions d'écrits et des études originales^{6,17,19,36,42} abordent la présence de différences^B, dites écart social⁴³, entre une attitude initialement positive face à la filière des énergies renouvelables, dont les éoliennes, et un accueil négatif réservé à un projet particulier. Entre autres, cet écart semble invoqué pour expliquer la difficulté de plusieurs pays à atteindre leurs objectifs d'implantation de parcs éoliens au rythme espéré^{C43}.

Les causes de cet écart sont souvent documentées (tableau 4). Certaines études attribuent cet écart à un phénomène « pas dans ma cour »⁴⁵⁻⁴⁷. Cependant, comme on l'a vu, cette explication ne tient pas la route pour d'autres chercheurs, car les arguments invoqués par les opposants pour expliquer leur volte-face ne concernent pas uniquement des intérêts personnels, et sont le plus souvent liés à de multiples raisons d'opposition, tels que décrits précédemment et résumés ci-après (tableau 4).

Tableau 4 Causes de l'écart et de l'opposition à un projet spécifique

Perception de la filière éolienne	Perception du projet spécifique	Cause de la perception du projet spécifique ou de l'écart
Positive	Négative	« Pas dans ma cour »
		Changement de la perception à la suite d'un débat public
		Projet déficient. Par exemple, plans de conception
		Perception d'injustice
Négative	Négative	Stratégies d'implantation axées sur le bas coût d'achat
		Absence d'un cadre institutionnel Et manque de confiance envers les institutions
		Opposition de principes qui se répercute sur les projets spécifiques

Sources : Synthèse de deux articles^{18,35}.

Enfin, des auteurs ont mis au jour un écart important entre les intérêts et les retombées globales (diminution des gaz à effet de serre, etc.) et les effets locaux, qui ne sont pas nécessairement positifs et qui amènent des préoccupations différentes^{10,14,15,19}.

^A Une étude constate un lien entre la proximité à un parc éolien et le manque d'acceptabilité bien que cette opposition puisse être représentée par une minorité⁴⁴. Deux auteurs n'arrivent pas à dégager de différences claires au niveau de l'attitude selon la proximité ou non à un parc éolien^{17,20}. Par ailleurs, des raisons d'ordre pratiques peuvent faire en sorte que les communautés à proximité manifestent une opposition, notamment le fait qu'ils peuvent être les premiers à être mis au fait d'un futur développement éolien²².

^B Parfois nommé « écart-social » ou « écart valeurs-action »⁴³.

^C À noter que plusieurs autres facteurs d'ordre techniques et économiques peuvent également contribuer au ralentissement du processus de construction de parcs éoliens tels que des problèmes avec la chaîne de production des matériaux constitutifs d'une éolienne, des problèmes de transmission du matériel, etc.³⁶.

Des travaux récents, notamment au Royaume-Uni, démontrent que les premiers obstacles au développement éolien reflètent l'incapacité à réconcilier les préoccupations locales aux considérations d'intérêt national²⁶. Concrètement, des citoyens peuvent ainsi éprouver un sentiment d'iniquité et s'opposer aux projets lorsqu'ils considèrent que leur région, souvent rurale, éloignée et de faible densité de population, est « sacrifiée » par les décideurs publics au profit d'intérêts ou de besoins externes, de préoccupations environnementales globales, et dans un processus qui ne tient pas compte des aspects locaux⁴². Les mêmes travaux montrent, ici encore, qu'un processus mieux planifié permettrait de résoudre certaines de ces tensions en tenant compte des préoccupations locales, favorisant la propriété et les initiatives locales, ainsi qu'en adoptant une approche participative.

2.1.2.8 *L'acceptabilité, une attitude fluctuante?*

Les réactions sociales et l'acceptabilité d'un projet éolien sont très difficilement prédictibles, ne serait-ce qu'en considérant la complexité de la question, le nombre de facteurs en jeu et l'importance majeure de la question du contexte. De surcroît, l'acceptabilité sociale d'un projet éolien pourrait varier au cours des diverses phases qui le caractérisent et quelques recherches présentent ce fait sans toutefois pouvoir en modéliser les variations. De plus, des études sont contradictoires sur la question. Ainsi, l'acceptabilité peut suivre une courbe « en U »^{35,48} : une attitude au départ favorable pouvant potentiellement se détériorer avec l'accumulation de renseignements sur les impacts potentiels et revenir à un niveau favorable en raison de la familiarité acquise face au projet et la constatation que les impacts sont moindres qu'anticipés. D'autres études mettent en garde contre ce modèle, avançant l'hypothèse qu'une baisse de l'opposition vers la fin du processus ne témoigne pas nécessairement d'une plus grande acceptabilité, mais peut plutôt être un signe d'essoufflement des opposants, qui ne croient plus être en mesure de modifier l'issue du projet⁴¹. Dans une autre analyse, le projet était initialement favorablement perçu mais cette perception est devenue négative en raison du processus de planification⁴⁹. Il importe donc de conserver l'idée qu'on ne peut prédire comment varie l'acceptabilité sociale pour un projet donné, mais que des changements d'attitudes sont possibles en raison de facteurs tels la planification, la familiarisation, les effets réels ou le désengagement social.

2.1.3 **Conclusion**

Les études consultées montrent qu'une prise de décision éclairée devrait tenir compte de la complexité des éléments influençant l'acceptabilité sociale du dossier éolien, car ils déterminent les enjeux propres à chaque projet^{13,16}.

Par ailleurs, le fait que les projets ne soient pas acceptés d'emblée, ou qu'ils soulèvent des controverses, est souvent perçu comme un élément négatif. On cherche souvent à éviter cette étape de tension, notamment du point de vue des décideurs ou des promoteurs. Cependant, il est possible de considérer ces tiraillements comme créatifs, à condition qu'ils débouchent sur des changements. Pour reprendre le terme de Marie-José Fortin et de ses collaboratrices, il s'agirait alors « de moments de négociation sociale » stimulant l'innovation dans la recherche de solutions³¹ (p. 10). Le sens véritable du concept d'acceptabilité sociale serait alors retrouvé. Les conditions favorisant ce climat de médiation ont été soulignées précédemment.

2.2 IMPACTS DES ÉOLIENNES SUR LES COMMUNAUTÉS

Un important mandat de la santé publique demeure de se pencher sur les effets des activités humaines et sur les éléments permettant d'identifier les impacts et de les mesurer. Cette section concerne donc les effets sociaux pouvant résulter d'un projet éolien. Dans un premier temps seront présentés les concepts en lien avec la thématique. Par la suite, les effets sociaux des éoliennes et les facteurs y contribuant seront traités en s'appuyant sur les écrits recensés.

2.2.1 Définitions

Lorsqu'on aborde la question des impacts sociaux, plusieurs concepts sont mis en cause; il importe donc de bien cadrer ce domaine.

Par impact, on entend un effet produit sur un individu ou une situation par un événement ou une action. Ce terme a un sens plus fort que le mot « influence »⁵⁰ (p. 216). Les impacts sur les dimensions sociales se réfèrent *stricto sensu* aux liens qui s'établissent entre les individus et à l'organisation de ces liens⁵⁰ (p. 374). Notons cependant que le terme social est aussi employé pour tout ce qui concerne les êtres humains en société, ce qui entraîne des confusions sur ce terme. Ainsi, le mot « social » recouvre sans distinction les mondes économiques, politiques et les conditions de vie humaine, ainsi que toutes les structures affiliées à ces milieux. Des éléments aussi variés que la confiance, la réciprocité, l'identité collective, le bien commun, la démocratie, la participation, la gouvernance, les luttes sociales, etc. peuvent se retrouver dans le terme social.

Par ailleurs, des impacts psychologiques sont également identifiés dans le cas des éoliennes. Comme ils sont particulièrement liés aux nuisances, ils seront abordés dans un chapitre suivant. Notons aussi que la perception du risque et l'acceptabilité sociale interagissent étroitement dans les manifestations sociales entourant le développement éolien.

Plusieurs types d'impacts sociaux se présentent dans le cas des éoliennes :

- Les impacts sur le capital social font référence à la cohésion entre les membres d'une communauté et aux structures et réseaux sous-tendant ces liens. Ces impacts se manifestent notamment par le renforcement ou l'affaiblissement de liens sociaux. Ainsi, la mobilisation civile et les conflits communautaires font partie des effets sur le capital social^A. On réfère aussi à la confiance établie entre les gens et envers les institutions et à la capacité de prendre en charge sa destinée et son développement (*empowerment*).
- Les impacts sur l'équité concernent l'équilibre entre les avantages et les inconvénients d'un projet : il faut éviter que le fardeau des inconvénients soit subi par les mêmes personnes, et qu'elles n'aient pas de bénéfices, ou de compensation, en retour⁹.

^A Comme nous l'avons vu à la section précédente, ces éléments peuvent également constituer des indicateurs de l'acceptabilité sociale d'un projet.

- Les impacts sur le développement des communautés concernent le capital social mais vont au-delà, afin de considérer des éléments socioéconomiques (emplois, fiscalité, infrastructures, etc.).

2.2.2 Impacts sociaux mesurés dans la littérature

Les écrits consultés mettent au jour la possibilité que, dans certaines conditions, les éoliennes entraînent des impacts sociaux. Plusieurs études font état d'effets sur le capital social en lien avec des projets éoliens précis, et qui se manifestent par des conflits communautaires, par une mobilisation accrue de certains citoyens, ainsi que par des sentiments associés à l'équité. De plus, une autre classe d'effets concerne le développement des communautés où s'implante un parc éolien. Les dimensions économiques sont particulièrement étayées.

2.2.2.1 Les conflits

Des divisions dans les communautés locales semblent survenir fréquemment dans les projets éoliens. Au Québec, à la suite de la recension des préoccupations exprimées lors d'enquêtes et d'audiences publiques, l'équipe de l'UQAR a constaté que l'implantation des projets éoliens est susceptible d'entraîner des divisions et des controverses au sein des communautés⁶. Les facteurs associés à l'acceptabilité mis au jour dans la section précédente (section 2.1) peuvent être utilisés pour dresser une liste exhaustive des possibilités de controverses ou de conflits au sujet des éoliennes. Ainsi, les attitudes envers les énergies renouvelables et la filière éolienne, celles associées au phénomène NIMBY et aux préoccupations personnelles, de même que l'anticipation d'atteinte au milieu de vie (paysage, environnement, communauté) sont souvent notées dans la littérature. Il en va de même des caractéristiques du milieu social et des traits propres au projet lui-même et au processus décisionnel qui l'accompagne.

On met de l'avant le fort potentiel de conflits lorsque un ou plusieurs de ces éléments sont présents :

- 1) des points de vue conflictuels sur des valeurs ou des droits;
- 2) différents degrés de pouvoir entre les intervenants;
- 3) des intérêts conflictuels pour l'usage du territoire ou pour la gestion des ressources naturelles³⁰.

Ce dernier point semble particulièrement important. En effet, selon la recension une recension des écrits⁶, les conflits se manifestent particulièrement au sujet du partage des ressources, par exemple au sujet de décisions concernant l'utilisation de ressources naturelles ou le développement d'infrastructures. La perception d'injustice, entre autres quant au partage des ressources et au processus^A, semble intrinsèquement associée aux impacts sociaux qui en découlent. Il peut alors en résulter des protestations, des relations endommagées et des communautés divisées³⁰. Certaines controverses peuvent aussi

^A Un sentiment d'injustice peut être lié à un processus décisionnel jugé défectueux, par exemple quant à la consultation, l'écoute, la capacité de participer, la disponibilité d'une information adéquate ou l'impartialité des acteurs³⁰.

témoigner du fait que de « vieux conflits » persistent, notamment sur des dimensions telles que centre contre régions/périphérie²⁸. De nouveaux arguments, tels l'écologie, réactivent alors ces tensions. Les conflits peuvent aussi révéler une résistance communautaire face aux discours officiels sur la « valeur du milieu local », discours distillé par des personnes qui ne sont pas considérées comme impliquées dans le milieu local. Les controverses deviennent alors un moyen local de demander que ce soit les populations concernées qui définissent ce qui à leurs yeux est significatif, important et « valorisable ». Enfin, l'absence d'espaces de délibération et d'importance accordée à ce principe de participation dans les prises de décision semble une source importante de conflits.

Par ailleurs, des études de type « analyse de discours » permettent de constater qu'une autre forme de controverses associées aux éoliennes est de nature environnementale^{51,52}. Il s'agit de l'échelle où se situe le débat. Les promoteurs mettent de l'avant des idées « globales »^A afin de légitimer la construction de ces nouvelles infrastructures, tandis que les groupes d'opposition se préoccupent de leur milieu de vie local^B. Ces raisons sont cependant à nuancer, puisque certaines études montrent aussi que les opposants aux projets éoliens ne mettent pas nécessairement de l'avant toutes leurs réelles motivations, de crainte de les voir discréditées en raison de leur aspect émotif. Selon ces études, afin de se faire entendre, des opposants pourraient calquer les thématiques et la forme du discours des experts^{49,53,54}.

Une chercheuse s'est intéressée à la portée des revendications des communautés affectées sur la décision d'implanter ou non un parc éolien lors de consultations publiques^{54,55}. Le pouvoir détenu par la population locale peut contribuer à retarder le processus d'implantation. Il peut aussi avoir un impact sur les structures de planification du projet, sans toutefois en compromettre l'issue^{54,55}. Ce dernier constat vient poser la question de l'impartialité des instances gouvernementales et de leurs cadres décisionnels quant à la prise en compte des revendications des acteurs locaux, compte tenu de l'intérêt envers le développement des énergies renouvelables. Ces instances sont-elles à la fois juge et partie? Les objectifs poursuivis par les activités consultatives sont-ils de canaliser les critiques face à un projet éolien, voire à les neutraliser ou encore, à véritablement acquérir une nouvelle connaissance permettant d'enrichir les projets³¹? Ces questions seraient à considérer dans les évaluations de projets.

2.2.2.2 *Le renforcement de liens sociaux*

L'implantation de projets éoliens, et particulièrement lorsqu'elle est contestée, peut également amener un effet de renforcement du capital social, du moins entre certains membres partageant la même position. En effet, la présente recension d'écrits a montré que ces controverses sont fréquentes dans les cas étudiés, et qu'elles peuvent mener à une mobilisation des personnes concernées par le sujet. Cette mobilisation permet de tisser des liens à l'intérieur de la communauté mais révèle aussi l'importance de ceux créés à

^A Par exemple, la réduction des émissions de carbone et la vision de développement durable.

^B Ils mettent de l'avant la préservation du paysage, la protection de l'environnement immédiat, etc.

l'extérieur de celle-ci^A. Quelques articles traitent de ce fait⁵⁴⁻⁵⁶. La mobilisation de certains citoyens peut aussi avoir un effet-levier pour un engagement de toute une communauté. Certains facteurs semblent favorables à cet effet. Dans une étude comparative de trois cas d'opposition on note 1) la familiarité (proximité) entre les membres des groupes d'opposition et la population locale et 2) la taille des groupes de pression, facilitant des interactions fréquentes⁵⁶. La confiance entre les parties intéressées est un autre critère important pour le processus d'implantation d'un projet⁵⁷. Certaines communautés locales peuvent déjà avoir des caractéristiques facilitant la création de pareils liens de confiance. C'est notamment le cas quand les communautés présentent beaucoup de cohésion sociale. Elles sont alors des terrains fertiles pour des processus participatifs, coopératifs et consensuels, mais sont aussi des milieux fragiles qu'il importe de traiter avec respect et délicatesse⁵⁷.

À un autre niveau que la mobilisation civile dans des controverses, certains projets éoliens peuvent contribuer à renforcer les liens sociaux dans les communautés, à susciter un engagement social communautaire, à développer les capacités locales et les apprentissages collectifs. Au contraire, de mauvais processus peuvent fragiliser des communautés et éroder le capital social, même dans des communautés fortement cohésives⁵⁷. Le mode de gestion du projet semble alors jouer un rôle positif lorsqu'il adopte une approche participative, et ce par différents moyens. Tout comme dans plusieurs autres dossiers environnementaux, des études de cas montrent qu'un contexte de planification à participation réelle et élevée du public serait vraisemblablement associé à un niveau plus bas d'opposition et de conflits¹⁸. Par ailleurs, amener les gens à participer ne se fait pas nécessairement en mettant en place des dialogues au moment de la planification. D'autres moyens peuvent être efficaces. Ainsi, une recherche menée au Japon montre qu'une implication financière à la population a favorisé l'émergence d'un mouvement social caractérisé notamment par la création de relations entre les gens d'une communauté locale et les gens à l'extérieur de cette communauté. Les gens participent alors à ces projets en raison d'une combinaison de motivations environnementales, économiques et sociales³⁴.

2.2.2.3 Effets sur le développement socioéconomique des communautés

Une part des écrits consultés met en lumière les retombées positives et négatives des projets éoliens pour le développement socioéconomique des communautés concernées. Un auteur les divise en cinq catégories développées dans le tableau 5^{B58}.

^A Les auteurs ont observé que les acteurs (et leurs réseaux) qui ne proviennent pas du milieu local peuvent avoir une importance particulière pour l'expertise et l'information. Ils contribuent souvent aux choix stratégiques, notamment quant au processus légal et au vocabulaire approprié. Ces acteurs externes sont souvent mobilisés dans les premières phases du projet⁵⁶.

^B Cette catégorisation a été réalisée par l'analyse de 29 projets éoliens au Pays de Galles.

Tableau 5 Types de bénéfices communautaires

Catégories de bénéfices communautaires	Exemples
Bénéfices économiques conventionnels	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation de matériaux manufacturés localement et embauche d'entrepreneurs (construction, opération, entretien) • Revenu aux propriétaires pour la location de leur terre • Bénéfices pour les entreprises locales (p. ex., taxes)
Distribution en continu de bénéfices aux communautés locales	<ul style="list-style-type: none"> • Implication financière dans le projet des populations locales • Fonds communautaires (montant forfaitaire et/ou paiements annuels) destinés à des projets spécifiques ou non • Électricité à meilleur coût • Parrainage d'événements locaux
Contributions « en nature » aux installations locales	<ul style="list-style-type: none"> • Mesures d'amélioration au niveau écologique et du paysage • Contribution pour le tourisme, installations pour les visiteurs
Mise à la disposition d'autres services locaux	Visites éducatives ou programmes éducatifs, liés aux énergies renouvelables
Implication dans le processus de développement	Activités de liaison et de communication

Adapté de Munday *et al.*, 2011 (réf. 58).

Des synthèses réalisées montrent que ces retombées peuvent prendre différentes formes⁶. La création d'emploi, les retombées économiques découlant de l'achat de biens et de services et les redevances en sont des exemples.

2.2.2.4 Les redevances et les autres retombées

La forme la plus évidente de retombées est peut-être celle des redevances versées à différentes personnes : aux propriétaires pour l'usage de leur terrain, aux personnes du voisinage touchées par la présence d'éoliennes, aux municipalités ou aux communautés locales pour la réalisation de projets sociaux ou socioéconomiques, à des coopératives locales ou à des communautés d'intérêt^A. Au Québec, les communautés locales, régionales et autochtones peuvent participer financièrement à l'implantation d'un parc éolien et tirer profit des bénéfices de la vente d'électricité produite. Un modèle d'analyse financière ainsi qu'un guide d'utilisation sont mis à leur disposition pour entreprendre ces démarches. La communauté qui n'est pas partenaire d'un parc éolien peut bénéficier quant à elle de contributions volontaires de la part du soumissionnaire^B.

2.2.2.5 Considérations culturelles et éthiques sur les retombées

Les retombées économiques, présentées précédemment, soulèvent aussi des questions culturelles et éthiques. Les auteurs se penchant sur le sujet estiment qu'une distribution appropriée des bénéfices s'accompagne nécessairement d'une réflexion sur l'ampleur, le rôle, les objectifs et les perceptions de ces avantages. Ces derniers doivent aussi être mis

^A Ces communautés d'intérêt se distinguent des communautés locales. Dans ce premier cas, un groupe d'individus partagent un même intérêt sans qu'ils ne résident nécessairement dans la même aire géographique définie¹².

^B Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, les retombées économiques : <http://www.mrnf.gouv.qc.ca/energie/eolien/eolien-retombees.jsp>, consulté le 7 octobre 2011.

en relation avec des enjeux en termes de justice, de durabilité à long terme et de développement rural^{51,58-60}.

Certains chercheurs ont orienté leurs travaux sur les perceptions et les justifications sous-tendant l'idée de retombées communautaires^{51,58-60}. Parmi les justifications apportées par les autorités gouvernementales ou agences publiques, la notion d'équité semble prédominante. Dans le discours de ces organisations, les retombées seraient une forme de réparation des impacts subis par les communautés. Les bénéfices économiques sont aussi considérés comme un moyen de rendre le développement des parcs éoliens plus acceptables socialement. Le discours des promoteurs sur ces bénéfices est souvent associé à un souci de bon voisinage, de responsabilité corporative (éthique). L'idée de compenser pour les nuisances imposées, ainsi que celle de partager les bénéfices avec la communauté, sont aussi invoquées, mais de façon minime; ces deux points sont plutôt contournés. Si l'on se situe à l'autre bout de la loupe, l'étude des perceptions du public permet de contrebalancer ces discours. La perception publique des intentions sous-jacentes aux bénéfices offerts à une communauté a été étudiée^{A59,60}. Tandis que certains ont jugé que les redevances communautaires proposées étaient adéquates, d'autres l'ont perçue comme une façon de soudoyer les communautés. Les redevances représentent alors à leurs yeux des tentatives de corruption, et ce peu importe le moment où elles sont versées. Selon certains auteurs⁶⁰, prêter d'emblée une intention de corruption à ceux qui versent des compensations serait une question de culture, et ce jugement négatif face aux offres financières n'est pas nécessairement présent dans toutes les sociétés. Par ailleurs, l'intégration de la communauté dans le processus et la mise en place d'approches participatives et transparentes favorise, ici aussi, l'acceptation positive des bénéfices versés. Précisons enfin que dans tous les cas étudiés, les compensations n'équivalent pas nécessairement les pertes encourues quant aux valeurs accordées à l'environnement ou à des paysages jugés irremplaçables.

Les études consultées examinent aussi les enjeux éthiques de ces bénéfices, et soulignent l'importance de distinguer les bénéfices qui visent directement quelques individus situés dans une aire géographique donnée (p. ex., les fermiers qui lèguent leurs terres), et ceux qui bénéficient à la majorité ou à l'ensemble des individus d'une communauté⁵⁸. Par ailleurs, l'équité suppose aussi une juste compensation entre les inconvénients vécus et les dommages subis⁹. Dans certains projets éoliens, la capacité des redevances et autres compensations économiques de remédier aux pertes encourues dans les communautés est mise en doute, et les chercheurs recommandent d'examiner de plus près cette question⁵⁸.

Enfin, un autre enjeu à considérer est associé au fait que les retombées économiques, et particulièrement lorsque jugées inéquitables, peuvent entraîner des risques sociaux, notamment des conflits²². Au Québec, l'analyse des chercheurs de l'UQAR permet de constater cette situation. Dans certains cas, « la répartition des avantages et des inconvénients entre ses membres constitue une source de conflit. Aussi, des intervenants ont décrit la difficulté de la cohabitation entre les résidents qui retirent des bénéfices du fait

^A Cette étude s'est déroulée au Royaume-Uni, ce pays permettant d'étudier tous les scénarios de redevances compte tenu de l'absence d'une approche institutionnelle à cet égard. Ainsi, l'industrie éolienne peut, selon sa volonté, transmettre ou non des bénéfices à la communauté.

de l'installation d'éolienne sur leur propriété et leurs voisins qui, d'accord ou pas, en subissent les inconvénients sans recevoir aucune compensation »⁶.

2.2.3 Conclusion

Bref, l'implantation de projets éoliens semble aussi avoir des effets sur la justice et l'équité. Qu'ils soient perçus ou mesurés, ces effets entraînent à leur tour des impacts sociaux, par exemple sur les liens entre les personnes, sur la confiance envers les institutions ou sur l'implication communautaire. La participation des parties prenantes soit les acteurs et les réseaux sociaux du milieu au développement d'un parc éolien, tel que vu dans la section précédente, peut favoriser son acceptabilité sociale. Elle demeure aussi un élément clé pour contrer les risques sociaux associés à l'implantation de projets éoliens.

2.3 EN RÉSUMÉ

Acceptabilité sociale des projets de développement éolien

- La liste des facteurs d'acceptabilité sociale est maintenant bien établie en regard des éoliennes, même si la catégorisation de ces facteurs varie.
- Certains de ces facteurs peuvent, selon le contexte, influencer de manière positive ou négative cette acceptabilité.
- Les préoccupations et enjeux d'ordre local ne sont pas nécessairement réconciliables avec les enjeux d'ordre global.
- Les conclusions sur le lien entre la proximité de résidences et l'acceptabilité envers un projet éolien ne sont pas consensuelles. La notion de visibilité des parcs éoliens doit aussi être prise en compte.
- Le NIMBY ne peut être considéré comme le seul facteur explicatif de l'opposition au développement éolien.
- Le paysage semble être une préoccupation importante au sein des communautés, pas seulement pour motivations esthétiques, mais aussi pour des questions d'attachement au lieu.
- Bien que certains facteurs de nature socioéconomiques tentent d'apporter des explications sur l'opposition, les études en ce sens sont insuffisantes.
- Le cadre institutionnel et ses modalités d'application peuvent moduler l'acceptabilité sociale. La participation d'acteurs locaux est reconnue comme un facteur important facilitant cette acceptabilité.
- Il va de soi que le fait de maximiser les retombées économiques d'un projet éolien pour une localité semble être une avenue favorisant son acceptabilité sociale. En ce qui concerne l'implication financière des communautés dans ces projets, bien que plusieurs études semblent indiquer que cette implication peut contribuer à l'acceptabilité d'un projet, d'autres études seront nécessaires pour renforcer ce constat.

Impacts des éoliennes sur les communautés

- Les impacts des projets éoliens sur les communautés peuvent être regroupés sous trois grandes catégories : les impacts sur le capital social, sur l'équité et sur le développement des communautés.
- L'implantation de projets éoliens est susceptible d'entraîner des divisions et des controverses au sein des communautés, notamment en raison de points de vue conflictuels sur des droits, des valeurs, l'usage du territoire ou la gestion des ressources.
- Les controverses en lien avec un projet éolien peuvent mobiliser toute une communauté et renforcer les liens sociaux.
- La communauté peut aussi renforcer ces liens sociaux en prenant part au processus de planification de projets éoliens sur son territoire.
- Le processus décisionnel peut être critiqué quant à la consultation, l'écoute, la capacité de participer, la disponibilité d'une information adéquate ou l'impartialité des acteurs.
- Les limites imposées par les cadres institutionnels et celles que les communautés s'imposent elles-mêmes pour conserver un discours objectif (souvent calqué sur celui des experts) peuvent limiter la portée des revendications des citoyens opposés au développement d'un projet éolien.
- Les retombées économiques soulèvent aussi des questions éthiques (p. ex., équité) et culturelles. Le thème de l'équité semble central et s'il n'est pas pris en compte adéquatement, peut constituer un moteur important de conflits dans les communautés.

RÉFÉRENCES

1. Fortin M-J et Y Fournis (2011). L'acceptabilité sociale de projets énergétiques au Québec : la difficile construction par l'action publique, Colloque « Territoire et Environnement : des représentations à l'action », 8 et 9 décembre 2011, 16 pages.
2. Gagnon C (2010). L'évaluation des impacts sociaux : un incontournable pour une prise de décision éclairée, équitable et durable. Commission du BAPE sur le gaz de schiste, St-Hyacinthe, 12 octobre 2010, accessible à l'adresse : http://www.uqac.ca/cgagnon/conference/IS_industrie_Gaz_shale_BAPE.pdf (consulté le 24 janvier 2012).
3. Borraz O et D Salomon (2002). « Reconfiguration des systèmes d'acteurs et construction de l'acceptabilité sociale », dans Gilbert C (2002). Risques collectifs et situations de crise : apports de la recherche en sciences humaines et sociales. L'Harmattan, Paris, p. 145-56.
4. Caron-Malenfant J (2009). La participation des parties prenantes dans la construction de l'acceptabilité sociale. Institut du Nouveau-Monde, présentation au 77^e congrès de l'ACFAS, 13 mai 2009, 9 p.
5. Arditi S (2008). La concertation territoriale : un enjeu d'acceptabilité sociale? France Nature Environnement, présentation au 10^e Assises territoriales de la gestion des déchets, Paris, juin 2008, 18 p., accessible à l'adresse : http://www.agendechets.com/medias/interventions/a13/a13_stephane_arditi_concertation_territoriale_enjeu_acceptabilite_sociale.pdf (consulté le 24 janvier 2012).
6. Saucier C, Côté G, Fortin M-J, Jean B, Lafontaine D, Feurtey E *et al.* (2009). Développement territorial et filière éolienne. Rapport de recherche. Rimouski : UQAR. 227 p.
7. Mucchielli R (1993). Le questionnaire dans l'enquête psychosociale. Paris : ESF éditeur. 92 p.
8. Joffe H (1998). Risk and the Other. Cambridge: Cambridge University Press. 165 p.
9. Ricard, S (2003). Cadre de référence en gestion des risques pour la santé dans le réseau québécois de la santé publique. Québec : INSPQ. 85 p.
10. Hindmarsh R (2010). Wind Farms and Community Engagement in Australia: A Critical Analysis for Policy Learning, East Asian Science, Technology and Society: International Journal; 4: 541-63.
11. Devine-Wright P (2009). Rethinking NIMBYism: The role of place attachment and place identity in explaining place-protective action. Journal of Community & Applied Social Psychology; 19: 426-41.
12. Musall FD et O Kuik O (2011). Local acceptance of renewable energy-A case study from southeast Germany. Energy Policy; 39: 3252-60.
13. Cowell R (2010). Wind power, landscape and strategic, spatial planning-The construction of "acceptable locations" in Wales. Land Use Policy; 27: 222-32.

14. Wolsink M et S Breukers (2010). Contrasting core beliefs about effective wind power implementation. An international comparison of stakeholder views. *Journal of Environmental Planning and Management*; 53(5): 535-58.
15. Agterbosch S, Meertens RM et WJV Vermeulen (2009). The relative importance of social and institutional conditions in the planning of wind power projects. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; 13: 393-405.
16. Toke D, Breukers S et M Wolsink (2008). Wind power deployment outcomes: How can we account for the differences? *Renewable and Sustainable Energy Reviews*; 12: 1129-47.
17. Graham JB, Stephenson JR et IJ Smith (2009). Public perceptions of wind energy developments: Case studies from New Zealand. *Energy Policy*; 37: 3348-57.
18. Devine-Wright P (2005). Beyond NIMBYism: towards an integrated framework for understanding public perceptions of wind energy, *Wind Energy*; 8: 125-39.
19. Van der Horst D et S Vermeylen (2011). Local rights to landscape in the global moral economy. *Landscape Research*; 36(4): 455-70.
20. Ladenburg J (2008). Attitudes towards on-land and offshore wind power development in Denmark; choice of development strategy. *Renewable Energy*; 33: 111-8.
21. Klick H et E Smith (2010). Public understanding of and support for wind power in the United States. *Renewable Energy* 2010; 35(7): 1585-91.
22. Van der Horst D et D Toke (2010). Exploring the landscape of wind farm developments; local area characteristics and planning process outcomes in rural England. *Land Use Policy*; 27: 214-21.
23. Wolsink M (2000). Wind power and the NIMBY-myth: institutional capacity and the limited significance of public support, *Renewable energy*; 21: 49-64.
24. Jobert A, Laborgne P et S Mimler (2007). Local acceptance of wind energy: factors of success identified in French and German case studies. *Energy Policy*; 35 : 2751-60.
25. Nadaï A (2007). Planning, siting and the local acceptance of wind power: some lessons from the French case. *Energy Policy*, 35: 2715–26.
26. Fisher J et K Brown K (2009). Wind energy on the Isle of Lewis: implications for deliberative planning, *Environment and Planning A*; 41: 2516-36.
27. Barry M et R Chapman (2009). Distributed small-scale wind in New Zealand: Advantages, barriers and policy support instruments. *Energy Policy*; 37: 3358-69.
28. Zografos C et J Martínez-Alier (2009). The politics of landscape value: a case study of wind farm conflict in rural Catalonia. *Environment and Planning*; 41: 1726-44.
29. McLaren Loring J (2007). Wind energy planning in England, Wales and Denmark: Factors influencing project success. *Energy Policy*; 35: 2648-60.

30. Gross C (2007). Community perspectives of wind energy in Australia: The application of a justice and community fairness framework to increase social acceptance. *Energy Policy*; 35: 2727-36.
31. Fortin M-J, Devanne A-N et S Le Floch (2010). Le paysage politique pour territorialiser l'action publique et les projets de développement : le cas de l'éolien au Québec. *Développement durable et territoires*; 1(2): 1-15.
32. Brisson G, Richardson M et D Gagné (2011). Relation entre la qualité de vie et l'agriculture en milieu rural et péri-urbain. Québec : INSPQ. 76 p.
33. Warren CR et M McFadyen (2010). Does community ownership affect public attitudes to wind energy? A case study from south-west Scotland. *Land Use Policy*; 27: 204-13.
34. Maruyama Y, Nishikido M et T Lida (2007). The rise of community wind power in Japan: Enhanced acceptance through social innovation. *Energy Policy*; 35: 2761-69.
35. Wolsink M (2007). Wind power implementation: The nature of public attitudes: Equity and fairness instead of "backyard motives", *Renewable and sustainable energy reviews*; 11: 1188-1207.
36. Jones CR et JR Eiser (2010). Understanding "local" opposition to wind development in the UK: How big is a backyard? *Energy Policy*; 38: 3106-17.
37. Devanne A-S et M-J Fortin (2011). Construire l'image d'une destination touristique dans un paysage en changement: défi d'articulation autour de l'éolien en Gaspésie (Canada). *Mondes du Tourisme*, no 4, p. 61-76.
38. Feld S et K Basso (dirs.) (1996). *Senses of place*. Sante Fe: School of American Research Press. 293 p.
39. Brisson G (2007). Le sens du paysage dans le dossier du Parc Anticosti. *Études Canadiennes/Canadian Studies*; 62: 73-83.
40. Ellis G, Barry J et C Robinson (2007). Many ways to say « no », different ways to say « yes ». Applying Q-methodology to understand public acceptance of wind farm proposals. *Journal of Environment Planning and Management*; 50(4): 517-51.
41. Aitken M (2010a). Why we still don't understand the social aspects of wind power: A critique of key assumptions within the literature. *Energy Policy*; 38: 1834-41.
42. Phadke R (2011). Resisting and Reconciling Big Wind: Middle Landscape Politics in the New American West. *Antipode*; 43: 754-76.
43. Bell D, Gray T et C Hagggett (2005). The "social gap" in wind farm siting decisions: explanations and policy responses. *Environmental Politics*; 14(4): 460-77.
44. Swofford J et M Slattery (2010). Public attitudes of wind energy in Texas: Local communities in close proximity to wind farms and their effect on decision-making. *Energy Policy*; 38: 2508-19.
45. Gipe P (1995). *Wind energy comes to age*. New-York: John Wiley and Son. 536 p.

46. Kaldellis JK (2005). Social attitude towards wind energy applications in Greece. *Energy Policy*; 33(5): 595-602.
47. Lyrette E (2003). La dynamique sociale entourant l'implantation d'une infrastructure majeure : le cas du parc éolien Le Nordais. Mémoire de 2^e cycle, Institut national de recherche scientifique. 176 p.
48. Haggett C (2011). Understanding public responses to offshore wind power. *Energy Policy*; 39: 503-10.
49. Aitken M (2009). Wind Power Planning Controversies and the Construction of Expert and Lay Knowledges. *Science as Culture*; 18: 47-64.
50. Grawitz M (1994). Dictionnaire des sciences sociales. Paris : Dunod. 324 p.
51. Cowell R, Bristow G et M Munday (2011). Acceptance, acceptability and environmental justice: the role of community benefits in wind energy development. *Journal of Environmental Planning and Management*; 54: 539-57.
52. Wolsink M (2010). Contested environmental policy infrastructure: Socio-political acceptance of renewable energy, water and waste facilities. *Environmental Impact Assessment Review*; 30: 302-11.
53. Cass N et G Walker (2009). Emotion and rationality: The characterisation and evaluation of opposition to renewable energy projects. *Emotion, Space and Society*; 2: 62-9.
54. Aitken M, McDonald S et P Strachan (2008). Locating "power" in wind power planning processes: the (not so) influential role of local objectors. *Journal of Environmental Planning and Management*; 51: 777-99.
55. Aitken M (2010b). A three-dimensional view of public participation in Scottish land-use planning: Empowerment or social control? *Planning Theory*; 9: 248-64.
56. Moragues-Faus AM et D Ortiz-Miranda (2010). Local mobilisation against windfarm developments in Spanish rural areas: New actors in the regulation arena. *Energy Policy*; 38: 4232-40.
57. Walker G, Devine-Wright P, Hunter S, High H et B Evans (2010). Trust and community: Exploring the meanings, contexts and dynamics of community renewable energy. *Energy Policy*; 38: 2655-63.
58. Munday M, Bristow G et R Cowell (2011). Wind farms in rural areas: How far do community benefits from wind farms represent a local economic development opportunity? *Journal of Rural Studies*; 27: 1-12.
59. Aitken M (2010c). Wind power and community benefits: Challenges and opportunities. *Energy Policy*; 38: 6066-75.
60. Cass N, Walker G et P Devine-Wright (2010). Good neighbours, public relations and bribes. The politics and perceptions of community benefit provision in renewable energy development in the UK. *Journal of Environmental Policy and Planning*; 12(3): 255-75.

3 AIDE-MÉMOIRE — NOTIONS GÉNÉRALES SUR LE SON

Cet aide-mémoire a pour but d'aider à la compréhension des différentes lectures sur le son des éoliennes. Il décrit les principales notions liées au son qui seront abordées dans le présent document.

3.1 PHYSIQUE DU SON

Son

Le son est une variation de pression qui se propage dans un milieu (l'air, l'eau ou tout autre milieu) créant une onde sonore décelable à l'oreille. Il est aussi défini comme la sensation produite dans l'appareil auditif par une vibration de l'air dite « acoustique ».

Amplitude

Le son est une variation de pression qui se propage dans un milieu créant une onde sonore. La pression oscille entre un maximum et un minimum, et la moitié de la distance qui les sépare est définie comme l'amplitude de l'onde sonore. Pour une même fréquence, plus une source sonore est puissante, plus l'amplitude du son est grande et plus le son est fort et son intensité élevée.

Fréquence (voir également « spectre acoustique »)

Le son est aussi caractérisé par une fréquence, c'est-à-dire le nombre de fluctuations de la pression acoustique ou d'oscillations de l'onde sonore, par seconde. Cette fréquence est exprimée en hertz (Hz ou s^{-1}) : la fréquence de 100 Hz correspond à 100 oscillations par seconde. La fréquence d'un son est perçue par l'oreille humaine comme sa tonie (hauteur) : plus la fréquence est élevée, plus le son est aigu alors que plus la fréquence est basse, plus le son est grave. Le tableau 6 montre l'échelle des fréquences sonores. Bien que la sensibilité humaine au son varie considérablement d'une personne à l'autre, l'oreille humaine reste généralement sensible à des sons compris entre 20 et 20 000 Hz. La capacité auditive humaine de percevoir les sons n'est pas uniforme pour toutes les fréquences. Généralement, un son ayant une fréquence de 20 Hz est détecté à partir de 79 dB(L), alors qu'un son de 16 000 Hz s'entend à partir d'environ 13 dB(L). Le seuil d'audition pour une fréquence de 1 000 Hz est d'environ 0 dB(L).

Tableau 6 Échelle des fréquences sonores

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

Source : Tableau adapté de INRS (2009)¹.

Il est possible de distinguer les fréquences en fonction de la sensation de hauteur d'un son (grave ou aigu) ce qui correspond respectivement aux basses fréquences et aux hautes fréquences, avec comme catégorie intermédiaire, les fréquences moyennes. Chaque catégorie peut être définie comme suit :

Infrasons : Un infrason correspond à une onde sonore ayant une fréquence inférieure à environ 20 Hz. Toutefois, il n'y a pas de consensus sur la fréquence limite qui distingue les infrasons des basses fréquences². La Commission électrotechnique internationale (CEI) a indiqué dans la norme CEI-60050-801:1994 qu'il s'agissait des oscillations acoustiques inférieures à 16 Hz. Lorsque l'intensité d'un infrason est grande, il peut être détecté comme une vibration ou une pression de l'air. L'hypothèse communément admise que les infrasons sont inaudibles est incorrecte². En général, la détection des ondes sonores de fréquences inférieures à 20 Hz par l'humain nécessite une intensité supérieure à 79 dB(L). À 8 Hz, le niveau de détection passe à 100 dB(L) (voir figure 1). Les sources naturelles d'infrasons comprennent notamment les vagues, le tonnerre et le vent. Certains pays utilisent la pondération G pour évaluer les infrasons (voir Décibel G).

Basses fréquences : Les sons de basses fréquences sont compris entre 20 et 200 Hz. Lorsque leur intensité est suffisamment élevée, la distance de propagation peut être très importante. À titre d'illustration, les basses fréquences sont souvent associées au bruit urbain causé par la circulation routière ou le transport aérien ainsi que le bruit provenant de chantiers de construction, de postes de transformation électrique, d'appareils de ventilation, de climatisation ou de compresseurs. On mesure le niveau sonore de sources de bruit qui comporte une part importante de basses fréquences au moyen des dB(C).

Moyennes fréquences : Fréquences composant un son et comprises entre 200 et 2 000 Hz.

Hautes fréquences : Fréquences d'un son supérieures à 2 000 Hz.

Des seuils auditifs sont applicables aux infrasons et basses fréquences (tableau 7).

Tableau 7 Illustration des seuils auditifs applicables aux infrasons et aux basses fréquences

Seuils auditifs																
Fréquences (Hz)	4	8	10	12,5	16	20	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200
Seuil en dB	107	100	97	92	88	79	69	60	51	44	38	32	27	22	18	14

Source : Tableau traduit de Leventhall (2009)².

Décibel (dB)

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

En général, pour l'humain et à une fréquence de 1 000 Hz, les sons audibles se situent entre 0 dB (seuil d'audibilité moyen) et 130 dB (seuil de la douleur et au-delà). Une augmentation de 3 dB correspond à un doublement de l'intensité acoustique. Cependant, cela diffère de la perception auditive humaine puisqu'un son dont l'intensité augmente de 10 dB est perçu comme étant deux fois plus fort et vice-versa (voir aussi la définition de « Perception d'un son »). Le plus faible changement audible est de l'ordre de 1 dB. Généralement, un changement de 1 dB serait à peine perceptible par l'oreille humaine, une modification de 3 dB est perceptible, un changement de 6 dB est net et une modification de 10 dB est flagrante.

Décibel A (dB(A))

Le décibel A (dB(A)) est une unité de mesure exprimant le niveau sonore mesuré à l'aide du filtre A. Ce filtre correspond à la courbe de pondération fréquentielle A qui représente approximativement la sensibilité du système auditif selon la fréquence du son. En effet, la sensibilité de l'oreille est différente selon la fréquence. Par exemple, l'oreille est moins sensible aux fréquences basses, comprises entre 20 et 400 Hz, qu'aux fréquences moyennes. Le dB(A), bien qu'imparfait, permet de tenir compte de la sensibilité naturelle de l'oreille humaine et reflète mieux la sensation perçue au niveau auditif. La pondération fréquentielle A est généralement utilisée pour évaluer toutes les sources sonores, mis à part les bruits impulsionnels de niveau élevé et les sons avec un fort contenu en basses fréquences.

Décibel C (dB(C))

Le décibel C (dB(C)) est une unité de mesure exprimant le niveau sonore mesuré à l'aide du filtre C. Ce filtre correspond à la courbe de pondération fréquentielle C qui est parfois utilisée pour évaluer les sons qui présentent un contenu important en basses fréquences. Cette pondération tient compte de la sensibilité différente de l'oreille humaine pour les basses fréquences. Elle sert parfois à mesurer des sons de forte intensité de très forte amplitude. Dans la pratique, le dB(C) est surtout utilisé conjointement au dB(A) pour le calcul de l'indice harmonique ($L_A - L_C$) et ainsi estimer la part des basses fréquences dans le son émis (si écart > 20 dB)³.

Décibel G (dB(G))

Le décibel G (dB(G)) correspond à une mesure pondérée du niveau sonore (pondération de certaines fréquences) qui est utilisée spécifiquement pour les infrasons. La figure 1 illustre la pondération G comparée aux pondérations A et C. Cette pondération est appliquée en

tenant compte de la norme ISO 7196 (Pondération fréquentielle pour la mesure des infrasons)⁴. Les niveaux sonores pondérés G sous 90 dB ou 85 dB ne sont pas normalement considérés comme détectables par les humains⁵ (p. 3727). En 2008, l'Afsset⁶ a présenté cette pondération comme ayant été développée pour fournir une valeur de référence pour les basses fréquences en général et la considérait d'application restreinte dans le cas des éoliennes.

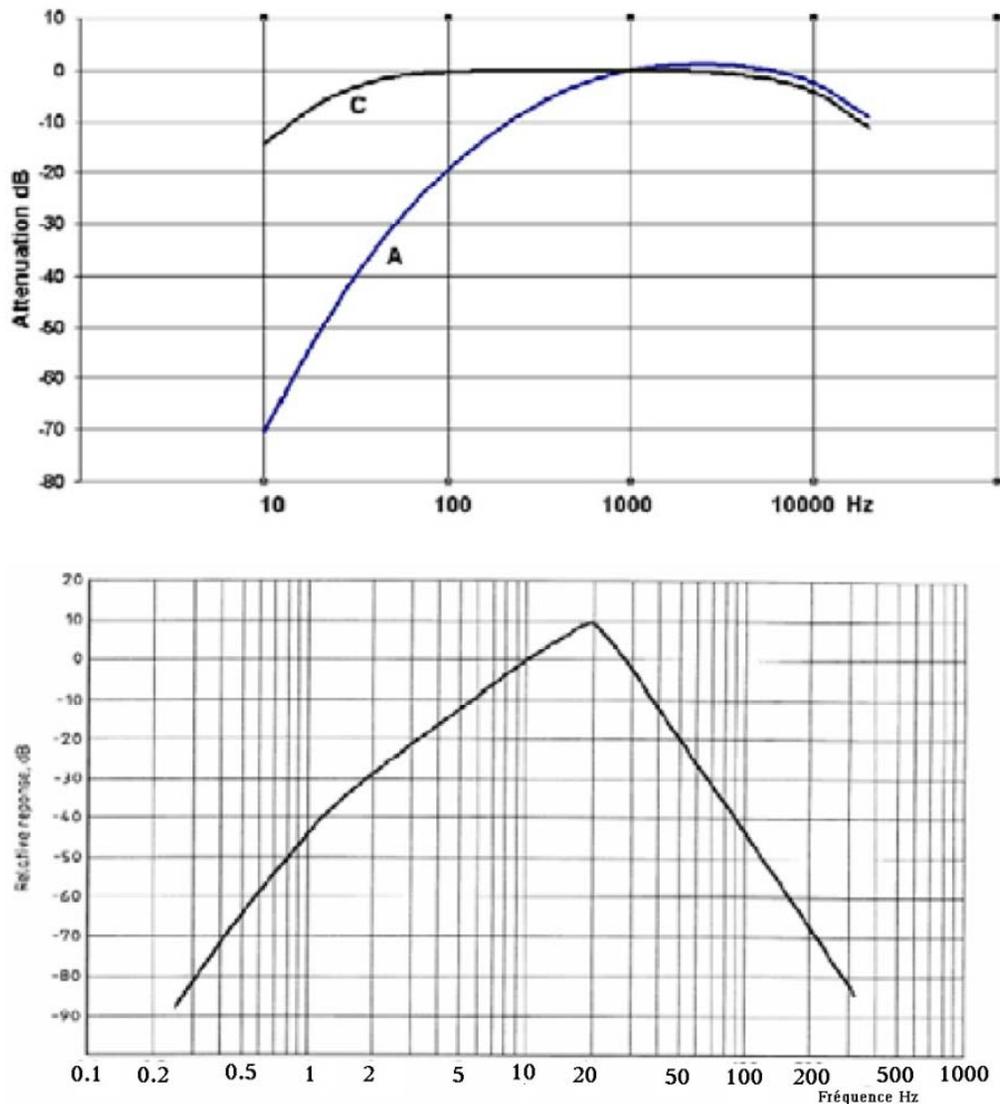


Figure 1 Comparaison des pondérations A et C (en haut) avec la pondération G (en bas) utilisée pour les infrasons

Source : British Wind Energy Association - BWEA (2005)⁷.

Décibel L (dB(L))

Une mesure du niveau sonore exprimée en dB(L) ou en dB équivaut à une mesure sans pondération.

Décibel L_{WA}

Pour les éoliennes, cela correspond au niveau sonore émis dénommé « niveau sonore apparent » (*apparent sound power level*). Il s'agit du niveau de puissance acoustique pondéré A mesuré au centre du rotor et établi pour chaque vitesse de vent situé entre 6 m/s et 10 m/s (CEI 61400-11)^{8A}. Il permet de comparer les émissions acoustiques de différents équipements. Habituellement, le L_{WA} correspond au niveau déclaré par le fabricant (voir GE Energy¹⁰, à titre d'exemple). Cette donnée est indépendante de l'environnement de l'éolienne.

Décibel L_{PA}

Niveau de pression acoustique pondéré A.

Modulation d'amplitude

La modulation d'amplitude est une variation cyclique du niveau sonore (voir figure 2) atteignant typiquement 3 dB, parfois jusqu'à 7 à 8 dB¹¹. La fréquence du cycle est liée à la vitesse de rotation des pales, laquelle varie entre une fois toutes les deux secondes (0,5 Hz) à 2 fois par seconde (2 Hz)¹². La variation d'amplitude est observable principalement lorsque les conditions atmosphériques créent une inversion de température, une situation se produisant surtout la nuit.

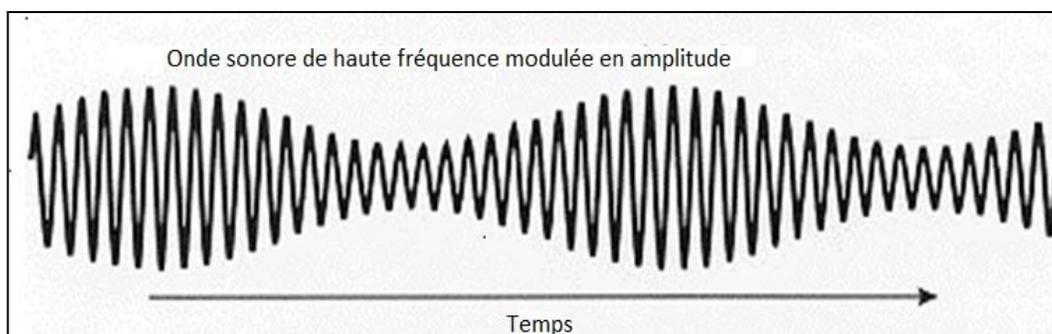


Figure 2 Schéma d'une onde sonore modulée en amplitude

Source : Figure tirée du site Web de l'OFCOM¹³.

3.2 MESURE ET DESCRIPTION DU SON**Addition du son**

Puisque l'échelle de décibels est logarithmique, les niveaux de son en décibel ne peuvent pas être directement additionnés. Ils doivent être d'abord convertis en valeurs linéaires. Ces valeurs sont alors additionnées pour ensuite revenir à une valeur logarithmique en décibel. La formule en décibel se définit comme suit :

$$\text{Niveau résultant} = 10 \log (10^{A/10} + 10^{B/10} + 10^{C/10}).$$

^A L'Association canadienne de normalisation dispose d'une norme (CAN/CSA-C61400-11)⁹ qui est identique à la norme établie par la CEI.

Par exemple, pour deux sons identiques de 54 dB :

$$\text{Niveau résultant} = 10 \log (10^{54/10} + 10^{54/10}) = 57 \text{ dB.}$$

En conclusion, l'addition de deux sources de niveau sonore identique conduit à un doublement de l'intensité sonore, soit une augmentation de 3 dB sur l'échelle logarithmique.

Audibilité

L'audibilité est la propriété pour un son d'être détecté par l'oreille.

Bruit

Le son, lorsque considéré comme indésirable ou, selon certaines sources, nocif pour la santé auditive, devient alors un bruit. Le bruit est un phénomène acoustique produisant une sensation auditive jugée gênante, désagréable ou traumatisante. Le son pour les uns peut se transformer en bruit pour les autres. Par contre, le bruit s'avère parfois agréable et synonyme de fête (p. ex., un feu d'artifice).

Bruit continu

Un bruit continu est constant et stable. Il peut notamment provenir de machines fonctionnant sans interruption, toujours sur le même mode, par exemple un ventilateur ou une pompe.

Bruit fluctuant

Le niveau sonore d'un bruit fluctuant varie de façon notable, mais pas de façon impulsionnelle, pendant une période d'observation.

Bruit impulsionnel

Un bruit impulsionnel est caractérisé par de brèves augmentations du niveau sonore. Un bruit impulsionnel isolé dure généralement moins d'une seconde. Il peut s'agir de sources explosives, d'armes, de martelage, de claquement de portière de voiture, de jeux de ballons à l'extérieur (p. ex., le basketball) ou de cloches d'église.

Bruit intermittent

Un bruit intermittent s'entend pendant certaines périodes seulement, à intervalles réguliers ou irréguliers. La durée de chaque occurrence est supérieure à environ cinq secondes. Le passage d'un véhicule la nuit sur une route généralement calme l'illustre bien.

Bruit initial

Le bruit initial est le bruit ambiant avant la modification envisagée. Dans le cas d'un projet de parc éolien, il s'agit du bruit ambiant existant avant l'installation des éoliennes.

Bruit particulier

Un bruit particulier est spécifiquement reconnu et associé à une source distinctive. Dans le cas d'un parc éolien, il s'agit du bruit émis par les éoliennes.

Bruit ambiant

Le bruit ambiant est le niveau de bruit mesuré dans une situation donnée, à un instant donné. Il se compose de bruits émis par plusieurs sources sonores, proches ou éloignées, telles que les industries, le transport (routier, ferroviaire et aérien), la faune, la végétation, le vent ou un cours d'eau. Il varie selon la période du jour et de l'année. Dans le cas d'un parc éolien, il s'agit du bruit total lors du fonctionnement des éoliennes.

Bruit résiduel

Le bruit résiduel est le niveau de bruit ambiant en l'absence d'un bruit particulier, mesuré dans une situation donnée, à un instant donné. Dans le cas d'un parc éolien, il s'agit du bruit ambiant lorsque les éoliennes ne fonctionnent pas.

Climat sonore

Le climat sonore est une notion utilisée dans la note d'instruction 98-01 du MDDEP (2006)¹⁴ sur le bruit communautaire qui semble renvoyer à des niveaux sonores ou niveaux de bruit prévalant au cours d'une période donnée que ce soit pour le bruit ambiant ou le bruit résiduel.

Émergence

L'émergence est la différence arithmétique entre le niveau de bruit ambiant et le niveau de bruit résiduel (voir figure 3). Elle est définie dans la norme internationale ISO 1996-1 : *Acoustique - Description, mesurage et évaluation du bruit de l'environnement*¹⁵. Dans le contexte d'un nouveau projet, l'émergence représente l'augmentation du bruit ambiant par rapport au bruit initial. Dans le cas d'un parc éolien, il s'agit de l'augmentation du niveau de bruit attribuable aux éoliennes.

Émergence spectrale

L'émergence spectrale (voir figure 4) est la différence arithmétique entre le niveau de bruit ambiant et le niveau de bruit résiduel pour une bande particulière de fréquences, par exemple une octave. Pour les sons ayant un contenu en basses fréquences, les valeurs des émergences spectrales diffèrent de l'émergence totale lorsque cette dernière est calculée à partir des valeurs pondérées selon la courbe A. Les différences se trouveront alors au niveau des bandes d'octaves situées dans les basses fréquences.

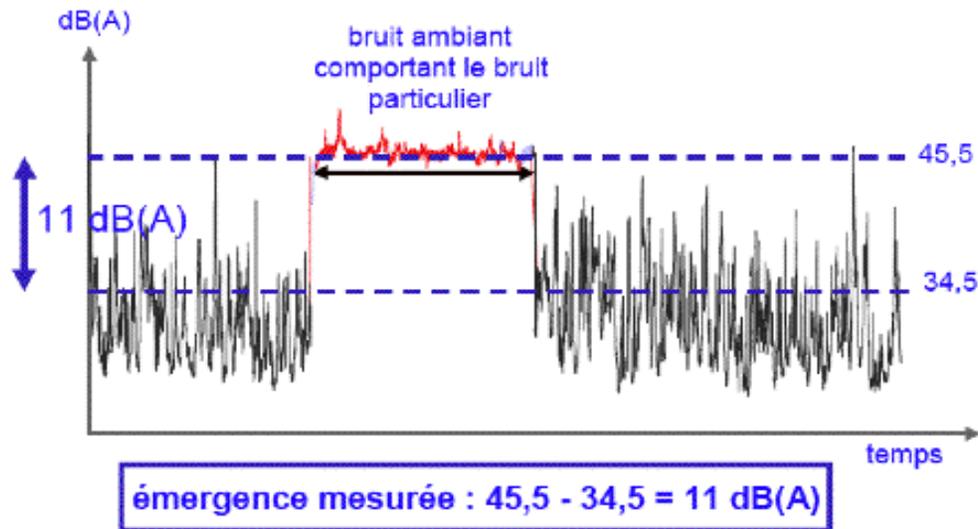


Figure 3 Représentation graphique de l'émergence globale

Source : Ministère de la Santé et des Solidarités, France (2006)¹⁶.

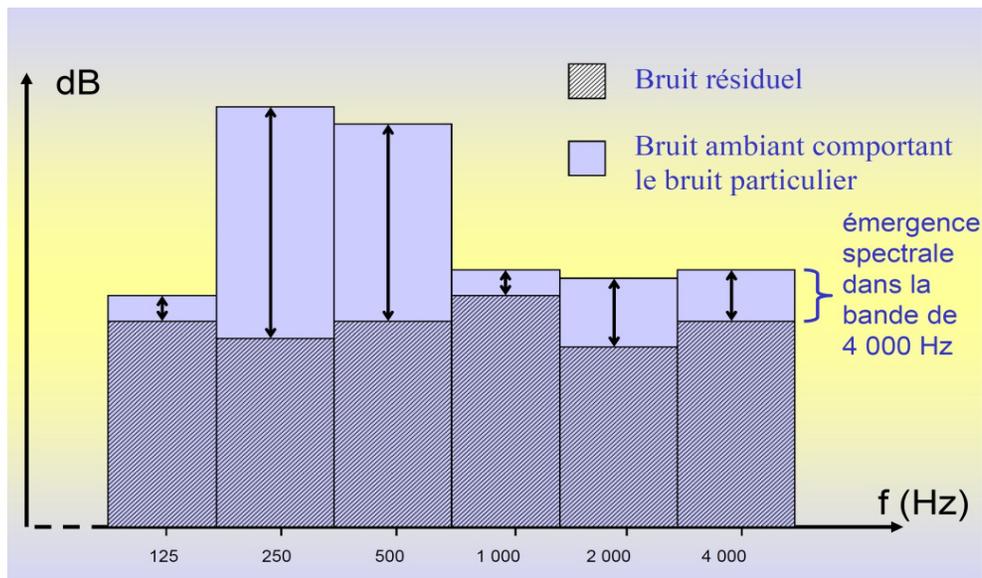


Figure 4 Représentation de l'émergence spectrale

Source : Le Rallier (2007)¹⁷.

Tableau 8 Exemple du critère d'émergence fréquentielle selon deux vitesses de vent en mètres par seconde (m/s)

Vitesse du vent à h = 100 m	Bande d'octave	Niveaux sonores en dB(Lin)			Émergence admissible en dB(Lin)	Dépassement d'émergence calculée en dB(Lin)
		Résiduel à l'extérieur	Contribution de l'éolienne à l'extérieur	Ambiant à l'extérieur		
4 m/s	A	29,3	37,8	38,5 dB(A)	-	-
	125 Hz	30,0	44,6	44,7	7	7,7
	250 Hz	27,0	39,4	39,6	5	5,6
	500 Hz	27,0	36,5	37,0	5	5,0
	1 000 Hz	24,0	32,4	33,0	5	4,0
	2 000 Hz	20,0	24,6	25,9	5	0,9
	4 000 Hz	20,0	7,2	20,2	5	0,0
8 m/s	A	43,8	43,4	46,6 dB(A)	-	-
	125 Hz	42,0	50,1	50,7	7	1,7
	250 Hz	40,0	44,9	46,1	5	0,0
	500 Hz	41,0	42,0	44,5	5	0,0
	1 000 Hz	39,0	37,9	41,5	5	0,0
	2 000 Hz	35,0	30,1	36,2	5	0,0
	4 000 Hz	35,0	12,7	35,0	5	0,0

Source : Delafosse (2008)¹⁸, p. 28.

Spectre acoustique

Un bruit se compose souvent d'une superposition de sons de différentes fréquences. Le spectre acoustique est le niveau de dB pour chaque fréquence qui compose ce bruit. L'analyse du bruit peut être faite par bande de fréquences, souvent des octaves ou des tiers d'octaves. Une telle analyse prend davantage en considération la sensibilité de l'oreille humaine, qui est différente selon les fréquences, et identifie les fréquences cibles permettant une réduction du bruit.

Pour l'analyse par bandes d'octaves, on a recours à des filtres à largeur de bande d'une octave afin de déterminer l'intensité du son pour cette bande spécifique de fréquences. Une octave correspond à douze demi-tons ou notes sur l'échelle musicale. Les bandes d'octaves sont centrées sur les fréquences 31,5, 63, 125, 250, 500, 1 000, 2 000, 4 000 et 8 000 Hz. Pour l'analyse par bandes de tiers d'octaves, des filtres à largeur de bande de tiers d'octaves sont employés. Un tiers d'octaves correspond à quatre demi-tons ou notes sur l'échelle musicale. La figure 5 montre en graphiques la représentation des bandes d'octaves et de tiers d'octaves. La somme d'énergie de toutes les bandes d'octaves, c'est-à-dire le niveau global est noté L (pour « level »). À noter que « N » (pour niveau) est utilisé dans certains documents pour représenter le « L ».

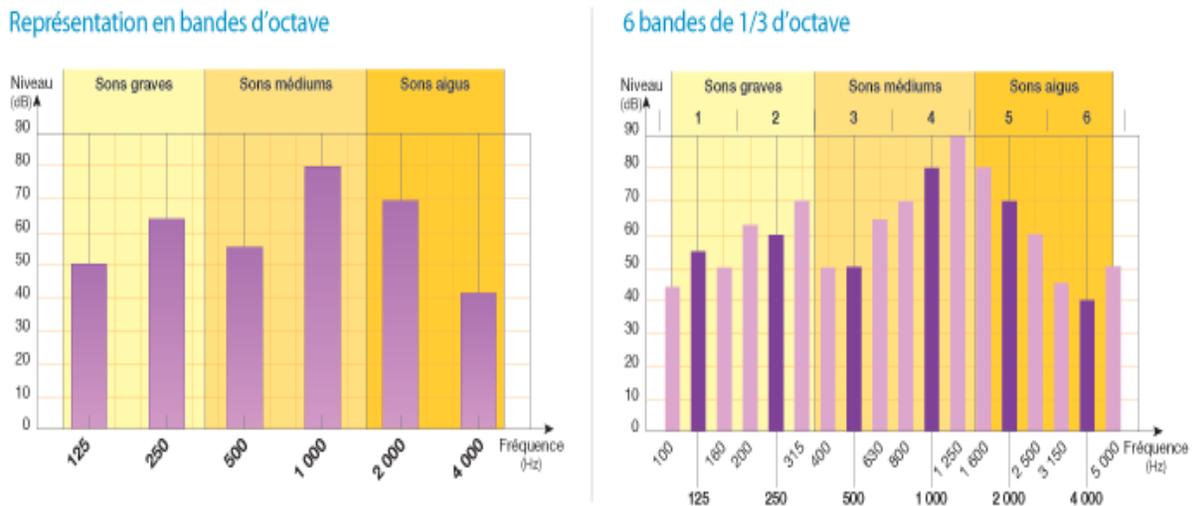


Figure 5 Regroupement des fréquences autour d'une fréquence centrale

Source : Spectra, <http://www.spectra.fr/notions-norme-acoustique-r9.html>¹⁹.

Indice énergétique, niveau de pression acoustique continu équivalent (L_{eq})

Pour un bruit variable perçu pendant un certain temps, le L_{eq} représente le niveau de bruit constant qui aurait été produit au cours de cette même période avec la même énergie. Il est une moyenne énergétique pour une période donnée et est exprimé en dB.

Le L_{eq} devient L_{Aeq} lorsqu'il repose sur des données corrigées en fonction de la pondération A (voir décibel A).

Parmi les unités de temps les plus fréquentes, il y a les périodes d'une heure et de 24 heures ($L_{eq, 1h}$; $L_{eq, 24h}$) qui deviennent alors des moyennes horaires ou journalières.

D'autres périodes de temps sont aussi utilisées comme le jour, le soir ou la nuit, respectivement de 12, de 4 et de 8 heures. Ces mesures, auxquelles des termes correctifs peuvent être appliqués pour mieux tenir compte de la gêne ressentie en soirée ou durant la nuit, décrivent l'environnement sonore d'une collectivité. Ces indices sont alors appelés niveaux d'évaluation journaliers composites (L_{dn} : jour/nuit; L_{den} : jour/soirée/nuit), tels que décrits dans la norme ISO 1996-1¹⁵.

Indices statistiques L_{90} , L_{50} et L_{10}

Les indices statistiques ou niveau acoustique fractile (ISO-1996-2)²⁰, L_{90} , L_{50} et L_{10} , exprimés en dB, servent aussi à l'évaluation du bruit. Pour une mesure d'un bruit variable sur une période donnée, le niveau L_{90} est dépassé pendant 90 % du temps (voir figure 6). Le niveau L_{50} l'est pendant 50 % du temps et L_{10} , pendant 10 % du temps. Les indices L_{90} , L_{50} et L_{10} représentent respectivement les niveaux ambiant, médian et de pointe. Lorsque ces indices sont utilisés pour des mesures pondérées selon la courbe A, ils sont notés L_{A90} , L_{A50} et L_{A10} .

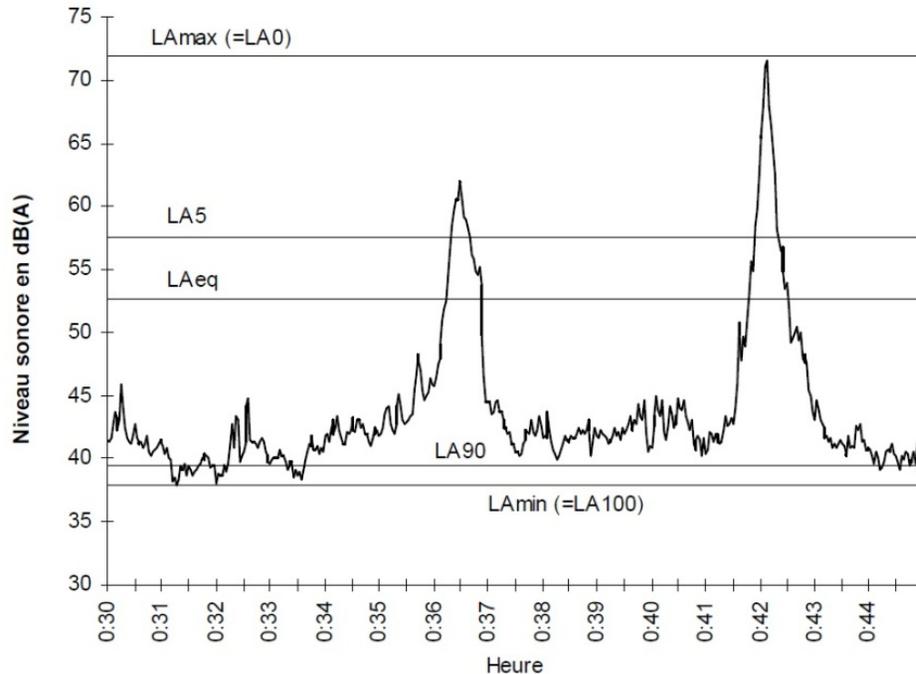


Figure 6 Exemples des indices statistiques (ou niveaux fractiles) L_{A5} et L_{A90} comparés avec le L_{Aeq} , L_{Amin} et le L_{Amax} pour une période de mesure donnée

Source : Bouland *et al.* (2010)²¹.

Indice L_{max}

L'indice L_{max} s'emploie pour exprimer le niveau maximum mesuré durant un intervalle de temps donné. Il sert à considérer la présence d'événements bruyants en plus du bruit continu. La période de temps pour la mesure peut être très courte (p. ex., millisecondes). Lorsque cet indice est utilisé pour des mesures pondérées selon la courbe A, il est noté L_{Amax} .

Perception d'un son

La perception du bruit réfère à une évaluation et une description subjective de l'intensité sonore telle que perçue par une personne. L'échelle de la perception du bruit semble dériver du concept de « *loudness* », en français « *sones* », soit la grandeur de la sensation du bruit relié à la perception de son intensité, c'est-à-dire l'unité psychoacoustique pour mesurer cette perception^{22,23}. Par convention, 1 sone correspond à l'intensité perçue d'un son de 40 dB à 1 000 Hz en champ libre. Un doublement de l'intensité sera perçu à chaque augmentation de 10 dB (voir figure 7), au-delà d'un niveau de 30 dB²². Ainsi, 2 sones = 40 dB, 3 sones = 50 dB, etc. À noter que pour des sons ≤ 30 dB, l'intensité perçue (subjective) sera différente avec une perception de doublement nécessitant un peu moins de 10 dB²³.

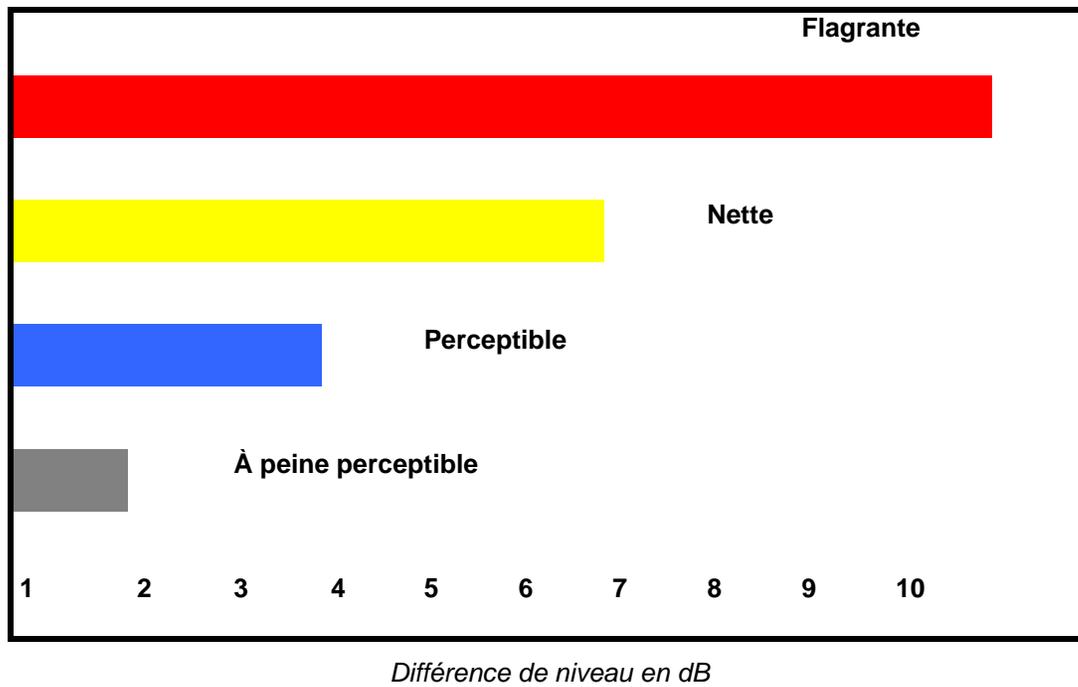


Figure 7 Échelle de perception du bruit

Source : Brüel et Kjaer (2000)²⁴.

RÉFÉRENCES

1. Institut national de recherche et de sécurité - INRS (2009). Le bruit (dossier INRS extrait du site www.inrs.fr). Paris, 16 avril 2009, 14 p., disponible à l'adresse : <http://www.inrs.fr/accueil/dms/inrs/CataloguePapier/DOSSIERWEB/TI-DW-24/dw24.pdf> (consulté le 4 janvier 2012).
2. Leventhall G (2009). Review: Low Frequency Noise. What we know, what we do not know, and what we would like to know. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*; 28(2): 79-104.
3. Leventhall HG (2004). Low frequency noise and annoyance. *Noise & Health*; 6 (23): 59-72.
4. International Organization for Standardization - ISO (1995). Norme internationale ISO-7196 : 1995-1. Acoustique — Pondération fréquentielle pour le mesurage des infrasons, Genève, 7 p.
5. Møller H et CS Pedersen (2011). Low-frequency noise from large wind turbines. *J Acoust Soc Am*; 129(6): 3727-44.
6. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail - Afsset (2008). Impacts sanitaires du bruit généré par les éoliennes - État des lieux de la filière éolienne et propositions pour la mise en oeuvre de la procédure d'implantation. Avis de l'Afsset et rapport du groupe d'experts, France, 116 p.
7. British Wind Energy Association - BWEA (2005). Low Frequency, Noise and Wind Turbine. Technical Annex. London, February 2005, 10 p.
8. Commission électrotechnique internationale — CEI (2006). Aérogénérateurs — Partie 11 : Techniques de mesure du bruit acoustique. CEI-61400-11, Édition 2.1, Genève, 2006-11. 46 p.
9. Association canadienne de normalisation (2007). Wind Turbine Generator Systems, CAN/CSA-C61400-11 - Part II: Acoustic Noise Measurement Techniques (adopted IEC 61400-11 2002 + A1: 2006, edition 2.1, 2006-11), October 2007, 60 p.
10. GE Energy (2010). Commercial Documentation Wind Turbine Generator Systems 2.5-103-60 Hz. 10 p., disponible à l'adresse : http://mcleansmountain.northlandpower.ca/site/northland_power___mclean_s_mountain/assets/pdf/GE_Acoustic_Specifications.pdf (consulté le 4 janvier 2012).
11. Siponen D (2011). Noise annoyance of Wind Turbines. Espoo, VTT Technical Research Centre of Finland, Rapport VTT-R-00951-11, 24 p.
12. Palmer WKG (2009). A new explanation for wind turbine whoosh - wind shear. Proceedings of the Third International Meeting on Wind Turbine Noise, Aalborg, Danemark, 17-19 juin.
13. The Office of Communication - OFCOM. Amplitude modulation. London, site accessible à l'adresse : <http://stakeholders.ofcom.org.uk/sitefinder/glossary/how/> (consulté le 20 décembre 2011).

14. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs - MDDEP (2006). Note d'instructions 98-01 sur le bruit des sources fixes: traitement des plaintes sur le bruit et exigences aux entreprises qui le génèrent. Gouvernement du Québec, 9 juin 2006, 23 p.
15. International Organization for Standardization - ISO (2003). Norme internationale ISO-1996-1 : 2003(F). Acoustique — Description, mesurage et évaluation du bruit de l'environnement. Partie 1 : Grandeurs fondamentales et méthodes d'évaluation. Genève, 27 p.
16. Ministère de la Santé et des Solidarités (2006). Information presse - La lutte contre les bruits de voisinage se renforce. Arrêté du 5 décembre 2006 relatif aux modalités de mesurage des bruits de voisinage, Journal officiel du 20 décembre 2006, Direction générale de la santé, ministère de la Santé et des Solidarités, France, 15 p.
17. Le Rallier F (2007). Gérer les bruits de voisinage. Évolution réglementaire récente, modification du Code de la Santé Publique par le décret 31/08/2006 dans : 5^e Assises de la Qualité de l'Environnement Sonore, Reims, 12 décembre 2007, 23 diapos.
18. Delafosse F (2008). Étude et contrôle d'impact de parcs éoliens. L'utilisation de la référence à 10 m est-elle pertinente? Écho-Bruit 121: 27-30.
19. Spectra. Notions et normes acoustiques, site accessible à l'adresse : <http://www.spectra.fr/notions-norme-acoustique-r9.html> (consulté le 23 novembre 2008).
20. International Organization for Standardization - ISO (1987). Norme internationale ISO-1996-2 : 1987(F). Acoustique — Caractérisation et mesurage du bruit de l'environnement. Partie 2 : Saisie des données pertinentes pour l'utilisation des sols. Genève, 7 p.
21. Bouland C, Dellisse G et J De Villers (2010). Bruit — Données de base pour le plan. Chapitre 2 : Notions d'acoustique et indices de gêne. Bruxelles, Institut bruxellois pour la gestion de l'environnement, 7 p., disponible à l'adresse : http://documentation.bruxellesenvironnement.be/documents/Bru_2.PDF (consulté le 22 mars 2012).
22. HEALTH COUNCIL (2004). The health effects of environmental noise - other than hearing loss. Commonwealth of Australia, Department of Health and Ageing, Canberra, May 2004, 71 p., disponible à l'adresse : [http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/33165540CB3C78CBCA256F1900042E72/\\$File/env_noise.pdf](http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/33165540CB3C78CBCA256F1900042E72/$File/env_noise.pdf) (consulté le 11 janvier 2012).
23. Traube C (2008). Psychoacoustique musicale (MUS 3321 - MUS 6321). Cours 4 : La sonie - les courbes d'isotonie. Montréal, Université de Montréal, Hiver 2008, p. 55-66. http://cours.musique.umontreal.ca/MUS3321/MUS3321_NOTES_DE_COURS/psychoacoustique-chapitre04.pdf (consulté le 10 janvier 2012).
24. Brüel & Kjaer (2000). Bruit de l'environnement. Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, Naerum, Danemark, 67 p.

4 LE BRUIT

Des inquiétudes liées au bruit sont évoquées lorsqu'il est question des impacts des parcs éoliens sur la santé. En effet, certaines personnes vivant à proximité de parcs éoliens existants ou projetés craignent que l'exposition continue et prolongée au bruit qu'ils génèrent n'entraîne des impacts sur leur santé physique et psychologique.

4.1 DESCRIPTION DE LA SITUATION

4.1.1 Le bruit des éoliennes

Les bruits émis par les éoliennes proviennent de deux sources : mécaniques et aérodynamiques.

Les bruits mécaniques résultent du fonctionnement des composantes de la nacelle¹. Leur spectre est caractérisé particulièrement par des fréquences inférieures à 1 000 Hz². Des améliorations de l'équipement auraient cependant permis de réduire leur intensité de moitié comparativement aux premières éoliennes installées³, les rendant pratiquement inaudibles à une distance de plus de 200 mètres⁴.

Les bruits aérodynamiques sont créés principalement par la contraction des molécules d'air devant la pale, la turbulence de traînée derrière la pale et le passage des pales devant le mât. Le bruit de bord de fuite, causé par les deux premiers phénomènes, est un bruit de large spectre dont la fréquence s'étend de 20 à 3 600 Hz et se concentre entre 500 et 2 000 Hz^{4,5}. Il est influencé par la vitesse et l'angle d'attaque de la pale dans l'air. Aujourd'hui, la majorité des éoliennes sont des systèmes à axe horizontal dont la nacelle, supportant trois pales, se tourne face au vent. Ces pales, dites à pas variable, tournent autour de leur propre axe radial afin de capter plus ou moins de vent, ce qui modifie la vitesse de la turbine et par conséquent, fait varier le bruit des éoliennes¹. Chaque modèle et format d'éolienne crée un niveau de bruit spécifique⁵ et, vraisemblablement, chaque éolienne aurait également son propre niveau sonore⁶.

Le niveau sonore, mesuré au centre des pales, d'une éolienne moderne de 660 à 2 000 kW se situe entre 98 et 105 dB(A) à une vitesse du vent de 8 mètres par seconde (m/s)^{1,3,7}. Ceci correspond à environ 33 à 40 dB(A) à une distance de 500 mètres en fonction des conditions météorologiques et des caractéristiques du terrain⁷. Ce bruit se manifeste comme un sifflement dont l'intensité est modulée de 1 à 2 dB lorsqu'une pale passe devant le mât, ce qui survient de 0,4 à 1,35 fois par seconde^{4,8,9}. Lorsque plusieurs éoliennes fonctionnent à proximité, ce battement peut devenir synchronisé. Deux ou trois battements simultanés auraient alors une intensité respective de +3 et de +5 dB en condition nocturne¹⁰. Sous certaines conditions, la modulation d'amplitude pourrait théoriquement atteindre 10 à 12 dB^{9,11} ce qui a pu être observé à proximité d'un parc éolien par Di Napoli¹². Selon Moorhouse et ses collaborateurs, la production d'une modulation de l'amplitude du bruit des éoliennes n'est pas totalement comprise¹³ et ne peut pas être parfaitement prédite¹⁴, bien que des travaux récents aient tenté d'intégrer cette dimension acoustique à la mesure de l'impact¹⁵. Par ailleurs, il est important de mentionner que selon Leroux et Gagné, un bruit impulsionnel est « caractérisé par un changement abrupt de pression sonore haussant, en

quelques dixièmes de secondes, le niveau de plusieurs dizaines de dB », et que, en conséquence, l'utilisation du qualificatif « impulsif » ne serait pas adéquate pour le bruit des éoliennes⁴.

Les méthodes et conditions de mesures du bruit des éoliennes dans un milieu ne s'avèrent pas encore bien définies et uniformes d'une organisation ou d'un pays à l'autre. À titre d'information, un projet de norme (NFS 31 114) pour la réalisation de mesures des niveaux sonores des parcs éoliens est en préparation en France³. Par ailleurs, les normes les plus utilisées sont celles sur la propagation (ISO 9613-2) qui sont employées dans le cadre de la modélisation des prévisions sonores ainsi que celles sur la quantification du bruit émis par les éoliennes (CEI/TS 61400-14)¹⁶ et les techniques de mesure de bruit (CEI 61400-11)^{A17}.

4.1.2 Facteurs influençant le niveau du bruit

Le bruit émis par les éoliennes varie selon les caractéristiques de la source, dont les principales sont : le nombre d'éoliennes, leur puissance et leur disposition. Les particularités du terrain jouent aussi un rôle dans la propagation du son. La topographie, la composition du sol et la présence de végétation ou de neige peuvent favoriser ou non la capacité du son à voyager^{3,4,18}. Dans le cas des éoliennes, les conditions météorologiques comme la température de l'air, l'humidité, la vitesse et le sens du vent de même que le couvert nuageux sont des exemples de facteurs qui influencent la propagation du son^{3,4}.

La perception du bruit des éoliennes varie selon le niveau de bruit initial ou résiduel du milieu d'implantation. Par exemple, dans certaines conditions, le bruit généré par les éoliennes peut être masqué (camouflé) par d'autres bruits présents dans l'environnement (voir section 4.3.3). Par ailleurs, il est affirmé que, considérant la modulation de l'intensité du bruit de bord de fuite^B lors du passage des pales devant le mât, le bruit des éoliennes serait faiblement masqué par les bruits environnants, particulièrement en présence de certaines conditions topographiques². Aussi, van den Berg rapporte que la modulation du bruit des éoliennes serait plus facilement détectable en condition atmosphérique stable (inversion de température). Cette condition, pouvant se produire la nuit lorsque le ciel est dégagé, favoriserait un vent plus fort à la hauteur de la nacelle qu'à la hauteur du sol. Le faible niveau de bruit produit par le vent à la hauteur du sol masquerait moins le bruit des éoliennes qui serait alors plus facilement perceptible¹⁰.

Enfin, il est intéressant de noter qu'un son dont l'intensité est modulée, comme parfois celui des éoliennes, peut être perçu par l'oreille humaine comme un son de basses fréquences, sans toutefois en être un²⁰.

^A Commission électrotechnique internationale (CEI), une organisation mondiale de normalisation dans le secteur de l'électricité.

^B Le bord de fuite correspond à la partie amincie d'une pale où s'écoule l'air. Le bruit de bord de fuite (*trailing edge noise*) provient des turbulences de l'air, une fois que l'air s'est écoulé de chaque côté de la pale et qu'il se rejoint en bordure de celle-ci. Le bruit de bord de fuite est considéré comme la source de bruit la plus importante pour les grandes éoliennes modernes¹⁹ (p. 16).

Variations entre les éoliennes

Les chercheurs Møller et Pedersen (2011)⁶, à partir de leurs mesures de bruit des éoliennes, ont observé que les niveaux sonores variaient entre plusieurs éoliennes d'un même modèle, de même taille et de même fabrication. Ils rapportent que les manufacturiers doivent déclarer les valeurs de bruit plus grandes que 1,645 fois l'écart-type entre les éoliennes les plus bruyantes et la moyenne d'un modèle d'éolienne donnée^A. Ils estiment à 5 % la probabilité qu'une éolienne choisie au hasard émette plus de bruit que le niveau sonore déclaré. Même si la norme internationale (CEI 61400-14)¹⁶ prévoit une telle marge de sécurité afin qu'elle puisse être incluse dans une étape de planification pour garantir que les éoliennes implantées respectent les valeurs sonores édictées, cette marge ne serait pas souvent employée⁶.

Taille des éoliennes

Compte tenu de l'accroissement de la taille des éoliennes avec les années, une estimation du bruit émis, selon leur taille et la quantité d'électricité produite, a été effectuée par Møller et Pedersen (2011)⁶. On a évalué qu'une éolienne, dont la taille doublerait, pourrait émettre plus du double du bruit en termes de puissance sonore^B. Selon la régression réalisée, la surface touchée par le bruit augmenterait plus en proportion que la puissance électrique nominale. Il semble donc que l'augmentation de la taille des éoliennes fait en sorte qu'une portion plus grande de territoire soit affectée au plan sonore en comparaison avec des éoliennes de plus petite taille⁶.

4.2 PRÉOCCUPATIONS POUR LA SANTÉ

4.2.1 Santé physique

Les impacts du bruit d'origine environnementale sur la santé varient notamment en fonction de sa fréquence, de son intensité, de son rythme, de la durée et du contexte d'exposition, de la vulnérabilité et de la sensibilité du récepteur. Ainsi, plus la fréquence et l'intensité d'un son sont élevées, plus ce dernier risque d'être néfaste³.

Outre les effets auditifs, soit la perte et la fatigue auditives, le bruit est susceptible d'entraîner d'autres conséquences sur la santé, telles que l'hypertension et la cardiopathie ischémique^C. Le tableau 9 résume les effets potentiels du bruit sur la santé, la classification de la preuve d'une relation de causalité entre le bruit et la santé, et les valeurs seuil observées lorsque les données sont suffisantes^{21,22}.

Le bruit d'origine environnementale pourrait déranger le sommeil sous différents aspects. En effet, il occasionnerait une difficulté à s'endormir ainsi que des éveils et altérerait les cycles du sommeil. Il engendrerait aussi des réactions neurovégétatives telles qu'une augmentation de la pression sanguine et du rythme cardiaque, une vasoconstriction^D et un changement de

^A Selon la norme CEI-TS 61400-14¹⁶.

^B C'est-à-dire : > + 3 dB.

^C Troubles ou maladies cardiaques (comme l'angine et l'infarctus du myocarde) causés par un arrêt ou la diminution de l'apport sanguin dans une région plus ou moins étendue du cœur.

^D Diminution du calibre des vaisseaux sanguins.

la respiration ainsi que des mouvements du corps. L'exposition au bruit durant le sommeil aurait également des effets secondaires le lendemain de l'exposition tels qu'une fatigue augmentée et une baisse de l'humeur²³. Le tableau 9 montre certains de ces changements possibles du sommeil causés par le bruit. Dans ses lignes directrices concernant le bruit communautaire (bruit environnemental), l'OMS recommande que le niveau de bruit continu ne dépasse pas 30 dB(A) à l'intérieur et 40 dB(A)^A ($L_{\text{ nuit-dehors}}$)²⁴ à l'extérieur (lorsque les fenêtres sont ouvertes) pour éviter un dérangement du sommeil²¹.

Il importe de noter que des études plus récentes pourraient modifier le niveau de preuve de certains de ces effets. Cependant, le présent document n'en fait pas la revue exhaustive. L'avis sur la pertinence d'une politique de lutte contre le bruit, en voie d'être terminé par l'INSPQ, apportera un examen plus approfondi de la littérature sur les effets sur la santé des bruits environnementaux et en milieu de travail, sans toutefois mettre un accent particulier sur les éoliennes.

^A L'OMS recommande un niveau de 40 dB défini selon le L_{night} de la Directive 2002/49/CE³⁴ sur le bruit environnemental²⁴ (p. 110), soit un niveau sonore moyen à long terme pondéré A, d'où le 40 dB(A).

Tableau 9 Effets liés à l'exposition prolongée au bruit^A, classification de l'évidence d'une relation de causalité et valeurs seuil observées

Effet	Classification de l'évidence	Observation des valeurs seuil		
		Mesure	Valeur (dB(A))	Intérieur/Extérieur
Détérioration auditive	Suffisante	L _{Aeq, 24 h}	70	Intérieur
Hypertension	Suffisante	L _{dn}	70	Extérieur
Cardiopathie ischémique	Suffisante	L _{dn}	70	Extérieur
Effets biochimiques	Limitée			
Effets immunologiques	Limitée			
Poids à la naissance	Limitée			
Effets congénitaux	Manquante			
Troubles psychiatriques	Limitée			
Nuisance	Suffisante	L _{dn}	42	Extérieur
Taux d'absentéisme	Limitée			
Bien-être psychosocial	Limitée			
Performance	Limitée			
Troubles du sommeil, changements dans :				
Tracé du sommeil	Suffisante	L _{Aeq, nuit}	< 60	Extérieur
Éveil	Suffisante	SEL	55	Intérieur
Stades	Suffisante	SEL	35	Intérieur
Qualité subjective	Suffisante	L _{Aeq, nuit}	40	Extérieur
Fréquence cardiaque	Suffisante	SEL	40	Intérieur
Niveaux hormonaux	Limitée			
Système immunitaire	Inadéquate			
Humeur du lendemain	Suffisante	L _{Aeq, nuit}	< 60	Extérieur
Performance du lendemain	Limitée			

Source : Traduit de Passchier-Vermeer et Passchier, 2000²².

En ce qui concerne le niveau de bruit des éoliennes, à l'heure actuelle, aucune évidence scientifique ne suggère qu'il engendre des effets néfastes pour la santé des personnes vivant à proximité (perte d'audition, effets cardiovasculaires, effets sur le système hormonal, etc.) autres que la nuisance^{B2,4,5,14}. Leroux et Gagné mentionnent que des témoignages de riverains amènent à soupçonner que le bruit des éoliennes pourrait déranger le sommeil. « Toutefois, les preuves scientifiques restent encore à établir »⁴.

^A Lors de la publication de l'avis sur la pertinence d'une politique publique de lutte contre le bruit, ce tableau sera probablement nuancé et modifié.

^B Tony Leroux et Jean-Pierre Gagné de l'École d'orthophonie et d'audiologie de l'Université de Montréal ont réalisé une revue documentaire des impacts des éoliennes sur la santé, particulièrement pour le bruit. Cette revue documentaire s'inscrit dans un mandat de recherche donné par Santé Canada visant globalement à « caractériser les impacts ressentis par les populations riveraines du parc éolien Le Nordais ».

4.2.2 Cas particulier : l'hypothèse du syndrome des éoliennes

L'hypothèse d'un syndrome des éoliennes (*wind turbine syndrome*) désigne un ensemble de symptômes (autodéclarés) dans un environnement où on constate la présence d'éoliennes. Ces symptômes ont d'abord été soulignés par la médecin britannique Amanda Harry en 2007²⁵ et repris par la suite par la pédiatre comportementale Nina Pierpont^{26,27}. Ils peuvent prendre la forme de troubles du sommeil, de maux de tête, de troubles de la concentration, d'irritabilité et de fatigue de même que des étourdissements ou vertiges, ainsi que d'acouphènes et de douleurs aux oreilles (sensations de pression). Dans certains cas, ces problèmes semblent avoir entraîné une dégradation de la qualité de vie pour les personnes les plus exposées²⁸.

Ce syndrome est présentement à l'état d'hypothèse, et plus de recherches sont nécessaires pour conclure à son sujet. En effet, nombre de chercheurs et d'autorités de santé publique ont constaté les limites des études actuelles quant à leur qualité méthodologique, à leur puissance statistique et à leur robustesse^{4,14,29,30}. Bien que le nombre de cas puisse constituer un indice de problèmes potentiels, l'effet n'est pas systématique. Les cas demeurent autodéclarés, la connaissance demeure théorique et les conséquences sur l'appareil auditif, le cerveau et le corps humain restent incertaines voire imprécises ou diffuses. Les publications actuelles ne permettent pas de tirer de conclusions pour l'instant, mais ne nient pas l'intérêt de continuer des recherches à ce sujet³¹.

Les études écologiques qui ont avancé un possible « syndrome des éoliennes » ne constituent donc pas une preuve de son existence, ni de sa plausibilité. Elles peuvent être considérées comme une première étape de documentation d'une situation qui demande à être vérifiée au moyen d'études plus complètes et plus robustes au plan méthodologique (p. ex., études cas-témoins).

4.2.3 Nuisance

L'OMS définit la santé comme un état de bien-être physique, mental et social, alors que la nuisance est considérée en raison de son impact potentiel sur la santé. Ainsi, la nuisance^A peut se définir comme « un sentiment de mécontentement, de contrariété, associé à tout contaminant ou condition, qui cause ou qui est soupçonné, par l'individu ou un groupe, de causer un effet adverse »^{B21,23}. La nuisance n'est pas une « maladie » au même titre que certains autres effets à la santé associés à l'exposition au bruit, tels la perte auditive ou les maladies cardiovasculaires. L'OMS considère toutefois que le fait d'avoir des personnes déclarant une nuisance importante à un tel bruit constitue un problème de santé publique. En effet, de tels niveaux de nuisance affectent le bien-être et la qualité de vie de ces populations³². Ceci constitue en soi un effet négatif sur la santé et devrait être considéré comme un des effets à la santé de ce risque environnemental^{32,33}. Un tel impact sur la santé

^A Le mot « nuisance » a été choisi pour traduire le terme anglais « *annoyance* ». Ce mot inclut des traductions tels « gêne », « dérangement », « perturbations » ou « mécontentement » utilisées dans d'autres documents comme la norme ISO/TS 15666:2003(F). Quant aux termes anglais « *to annoy* », « *annoying* » et « *annoyed* », ils sont traduits respectivement par « déranger », « dérangeant », « dérangé » ou « incommodé » selon le contexte.

^B Traduction libre de Lindvall & Radford 1973 et de Koelega 1987 cités dans Berglund *et al.*, 1999 et dans Berglund et Lindvall, 1995.

est aussi reconnu par certaines législations comme la directive européenne relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement (Directive 2002/49/CE)³⁴.

La nuisance spécifiquement associée au bruit a fait l'objet de nombreuses études et a ainsi pu être bien définie et circonscrite dans la documentation scientifique. Sa définition est donc plus spécifique que celles avancées dans le Code criminel^A ou encore habituellement utilisée dans le domaine de l'environnement^B. La façon de la mesurer repose sur une norme internationale (ISO/TS 15666:2003-F)³⁵. Dans ses lignes directrices concernant le bruit communautaire, l'OMS recommande une limite de 50 dB(A) ($L_{Aeq, 16h}$) pour éviter une nuisance modérée dans les espaces habitables extérieurs durant le jour et la soirée²¹. La préoccupation relativement au bruit des éoliennes est surtout associée à la nuisance.

Nuisance spécifique aux éoliennes

Six études réalisées par Pederson et divers collaborateurs³⁶⁻⁴⁰ ont porté sur la nuisance associée au bruit des éoliennes. Trois études originales dont deux en provenance de la Suède^{7,36} et une des Pays-Bas³⁸ ont évalué la prévalence de cette nuisance en s'interrogeant également sur ses facteurs explicatifs. Ces études sont décrites en détail à l'annexe 2. Une analyse groupée de ces trois études offrant des résultats d'une plus grande robustesse a été publiée récemment⁴⁰. La nuisance a été le seul effet à la santé lié au bruit des éoliennes et était directement associé aux niveaux sonores pondérés A. Un lien significatif a été observé entre la nuisance, tant à l'intérieur (association plus forte) qu'à l'extérieur et les troubles du sommeil. Pour les troubles du sommeil, l'augmentation n'est pas graduelle selon les niveaux sonores, mais est plus forte à compter de 40 dB(A) et de 45 dB(A) à l'extérieur. Un lien significatif a aussi été observé entre la nuisance extérieure et le fait d'être stressé, tendu et irritable; le stress n'a toutefois pas été corrélé avec les niveaux sonores pondérés A.

À partir de deux études citées précédemment^{7,36}, l'impact des éoliennes sur le repos (récupération du stress quotidien) a été analysé^{C37}. Les répondants dérangés par le bruit des éoliennes ont jugé que leur environnement n'était pas un endroit souhaitable pour récupérer et se reposer^D. Les auteurs avancent que le caractère intrusif d'une nuisance, à la fois sonore et visuelle (p. ex., pales en mouvement), pourrait expliquer les réactions observées, notamment dans un milieu où le repos et la récupération à sa résidence sont perçus comme moins possibles, et en fonction de qualités associées à des environnements naturels. L'impossibilité de faire abstraction de ces intrusions pourrait alors contribuer au stress. Les auteurs émettent l'hypothèse que des éléments de stress, faibles ou modérés comme les éoliennes, pourraient avoir un impact sur la santé, mais que d'autres études sont nécessaires. En effet, il est difficile de dire si le stress tire son origine du bruit des éoliennes,

^A Dans un sens juridique, au Canada, une nuisance publique est commise par « quiconque accomplit un acte illégal ou omet d'accomplir une obligation légale, et par là, selon le cas : a) met en danger la vie, la sécurité, la santé, la propriété ou le confort du public; b) nuit au public dans l'exercice ou la jouissance d'un droit commun à tous les sujets de Sa Majesté au Canada ». (Code criminel, LRC 1985, c. C-46, art. 221).

^B En environnement, l'idée de nuisance découle de l'intérêt porté à la pollution, quelque soit ses sources. Toutefois, « à la différence de pollutions, les nuisances ne provoquent aucune perturbation écologique ou toxicologique » (Encyclopédie Universalis 2009). La nuisance réfère à des torts et des inconvénients réels subis et ressentis par les êtres humains lesquels comportent une gradation.

^C Voir une description complète des résultats à l'annexe 2.

^D La capacité de se reposer étant vue comme la possibilité qu'offre un environnement à récupérer de la fatigue mentale et à restaurer les capacités d'attention.

d'un repos difficile ou d'un haut niveau général de stress. Les questions posées étaient d'ordre général et ne comportaient aucune question sur le stress vécu quotidiennement, par exemple.

Comparaison de diverses sources de nuisance

Le bruit éolien et le bruit routier ont été comparés quant à la nuisance dans le cadre d'une autre étude³⁹, cependant en utilisant les données de Pedersen *et al.* (2009)³⁸. La sensibilité au bruit, des symptômes de stress et une attitude négative quant à leur impact visuel^A sont associés à la nuisance due au bruit des éoliennes et au bruit routier (deux types de nuisances différentes). Des relations « exposition-effet »^B entre les niveaux sonores et la nuisance ont été observées pour les deux sources de bruit, mais les niveaux sonores de chaque source (éolien/route) n'influencent pas la nuisance par rapport à l'autre source, la nuisance étant spécifique à chacune des sources. La visibilité d'une source influence seulement la nuisance avec cette source et similairement, l'attitude envers la source de bruit est seulement liée à cette source. Concernant la sensibilité au bruit et les symptômes de stress rapportés, ils sont associés à la nuisance causée par chacune de ces deux sources³⁹.

Enfin, il semblerait que pour un même niveau sonore, le bruit des éoliennes pourrait occasionner une nuisance plus grande que les bruits des transports aérien, routier et ferroviaire, mais moindre que les gares de triage (voir figure 8). Ce phénomène est possiblement dû à l'interaction de plusieurs facteurs relatifs à la nuisance entraînée par les éoliennes, dont la nature du bruit produit (p. ex., la modulation de l'intensité) et l'impact visuel de leur présence^{2,36,38-40}. Une comparaison similaire a déjà été observée entre les bruits des transports routier, ferroviaire et aérien. En effet, pour un même niveau de bruit moyen, le dérangement perçu est plus grand pour les transports aériens que pour les transports routiers et que pour le transport ferroviaire^{42,43}. Toutefois, le nombre d'études et de répondants ayant servi à une telle analyse reste limité et Santé Canada juge nécessaire de faire d'autres études pour améliorer les mesures d'exposition et les intervalles de confiance⁴⁴.

^A Selon le chercheur, les éoliennes visibles composeraient le groupe dominant au plan sonore.

^B Dans les études recensées, les termes « dose-effet », « dose-réponse », « exposition-effet » et « exposition-réponse » sont utilisés de façon interchangeable selon les auteurs de l'avis sur la faisabilité d'une politique publique de lutte contre le bruit, en voie d'être finalisé à l'INSPQ. Plus récemment, des experts du domaine préfèrent l'expression « exposition-effet » ou « exposition-réponse » puisque contrairement au bruit au travail, l'exposition individuelle au bruit environnemental est très rarement quantifiée sur une base individuelle (dosimétrie individuelle), mais plutôt estimée à partir de modèles mathématiques ou de quelques mesures environnementales dans les zones à l'étude⁴¹.

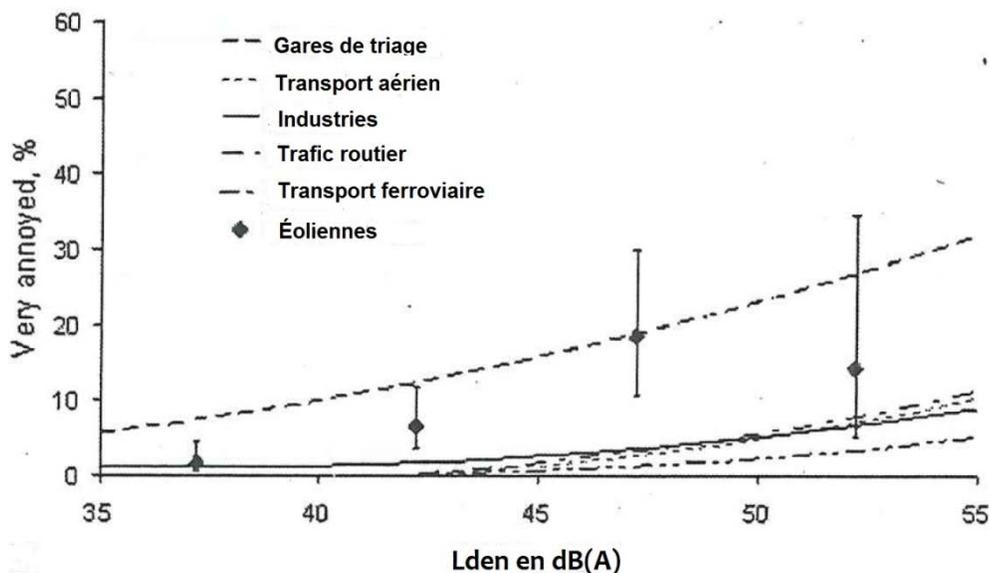


Figure 8 Proportion de répondants très incommodés par le bruit des éoliennes comparée à ceux très incommodés par le bruit des transports routier, aérien et ferroviaire, des industries et des gares de triage

Note : Pour le bruit des éoliennes, les résultats sont présentés selon la médiane pour chaque écart de 5 dB avec son intervalle de confiance et représentent le bruit à l'extérieur des résidences pour des résidents qui ne perçoivent pas de compensation financière. Les données concernant le bruit des transports routier, aérien et ferroviaire sont issues de Miedema et Oudshoorn (2001)⁴² tandis que celles concernant les industries et les gares de triage sont issues de Miedema and Vos (2004)⁴⁵.

Source : Traduit de Pederson *et al.* 2009 (p. 641)³⁸.

De plus, la norme ISO 1996-1 :2003⁵⁸, se référant sur la courbe exposition-réponse du bruit routier de Schultz, reconnaît que l'introduction d'une nouvelle source de bruit dans un milieu, pour laquelle la population n'est pas familière, peut occasionner une gêne plus importante équivalant à une nuisance de + 5 dB par rapport au bruit mesuré. Dans une zone rurale calme, les attentes de tranquillité peuvent aussi augmenter la nuisance ressentie (différence possible jusqu'à + 10 dB), et ces écarts peuvent se combiner. Pour une nouvelle source en milieu rural calme, l'augmentation de la nuisance pourrait alors s'exprimer par l'ajout de + 15 dB aux niveaux de bruit mesurés ou prévus.

Quant aux études sur la nuisance spécifique des éoliennes, elles présentent des limites puisque l'on fait référence à des symptômes et des problèmes de santé autorapportés. Deux revues de la littérature récentes portant sur les effets à la santé possiblement liés aux éoliennes^{46,47} appuient les constats émis sur la nuisance, le dérangement produit par les éoliennes ainsi que les effets perturbateurs sur le sommeil, sous certaines conditions. Les études sont aussi à poursuivre en ce qui concerne la perception du bruit caractéristique des éoliennes (en particulier considérant la modulation de l'intensité), le sentiment potentiel de nuisance, les différents facteurs qui l'influencent et les indicateurs qui permettent de l'évaluer.

Difficulté et pertinence de déterminer une distance séparatrice

Il semble difficile de déterminer une distance séparatrice minimale universelle adéquate pour éviter ou diminuer les nuisances potentielles. La détermination d'une distance minimale ne devrait pas seulement tenir compte de l'impact du bruit et des conditions topographiques et météorologiques qui influencent sa propagation, mais aussi d'autres aspects comme l'impact sur le paysage, le contexte d'implantation (p. ex., un milieu rural, récréotouristique ou de villégiature), le bruit initial et les ombres créées par le mouvement des pales. Des niveaux sonores maximaux ainsi que des indicateurs complémentaires, tels qu'un nombre maximal d'événements bruyants, sont plutôt utilisés.

Plusieurs publications scientifiques et organismes réfèrent à des niveaux sonores mesurés en fonction de distances séparatrices. Ces résultats sont résumés dans le tableau 10. En référence à ces publications scientifiques, il est à propos de dégager également les éléments suivants :

- Au Québec, la note d'instructions 98-01 du MDDEP précise des niveaux sonores maximaux de 40 dB(A) la nuit et 45 dB(A) le jour pour les zones les plus sensibles, sans toutefois avancer de distances séparatrices⁴⁸. Il devient alors intéressant de comparer avec les travaux de l'Afsset qui suggèrent qu'une distance de 500 m est probablement tout juste adéquate alors qu'une distance de 800 m semblerait appropriée pour un groupe de trois éoliennes, mais pas tout à fait suffisante pour un groupe de six éoliennes.
- En Ontario, les éoliennes de plus de 50 kW produisant un niveau de puissance acoustique (L_{wa}) supérieur à 102 dB(A) ou plus, doivent maintenant respecter la distance minimale de 550 m de tout bâtiment fréquenté⁴⁹.
- L'Afsset souligne qu'à une distance de 1 500 m (distance recommandée à titre de moratoire par l'Académie française de médecine), le bruit généré par une éolienne de 2 MW reste faible. L'Afsset³ et Santé Canada⁴⁴ suggèrent d'évaluer chaque situation cas par cas en tenant compte de leur variabilité. Dans un rapport préparé pour l'Association canadienne de l'énergie éolienne (CanWEA), la firme de consultants ontarienne Howe Gastmeier Chapnik ne recommande pas non plus l'application d'une distance minimale séparatrice universelle. Ce groupe recommande néanmoins de réaliser une analyse technique de l'impact sonore particulier d'un projet lorsqu'il y a des récepteurs potentiellement sensibles à moins d'environ un kilomètre¹.
- Di Napoli⁵⁰ a observé que le niveau sonore dépasse 40 dB à 750 m lorsque les vents ont une vitesse de plus de 10 m/s^A.
- Dans le cadre d'une étude sur les basses fréquences, des chercheurs ont calculé (dérivé) la distance minimale pour obtenir un niveau sonore limite de 35 dB(A) (L_{PA})^B, utilisé en Suède, pour chacune des grandes éoliennes incluses dans leur étude⁶. Ils ont noté que la distance obtenue varie considérablement entre les grandes éoliennes, même lorsqu'elles sont de taille assez semblable (2,3-3,6 MW). Dans le cas des éoliennes isolées (*individual turbines*), la distance varie entre 629 m et 1 227 m. Un autre calcul de distance a été

^A Éolienne avec un grondement pouvant être entendu lors de l'écoute des enregistrements.

^B Au Danemark, cette limite est de 37 dB(A) pour une vitesse de vent de m/s et de 39 dB(A) à 8 m/s.

établi pour une valeur limite de 44 dB(A)^A à l'extérieur et appliqué à des éoliennes groupées (*wind farm*), soit deux rangées de six éoliennes identiques (distancées de 300 m dans les deux directions — ou 200 m pour les plus petites); dans ces situations, la distance nécessaire a varié entre 530 m et 1 241 m.

^A Norme danoise pour des maisons en dehors des zones résidentielles ou de loisirs. De plus, cette législation prévoit également que pour des raisons visuelles, la distance des maisons doit équivaloir à quatre fois à la hauteur de l'éolienne⁶ (p. 3735).

Tableau 10 Synthèse des résultats de niveaux sonores mesurés selon diverses distances avec les éoliennes

Étude	Distances	Nombre d'éoliennes	Puissance	Niveaux sonores (dB(A))	Notes
Afsset 2008 ³	200 m	1	2 MWa	48,0	Mesures en fonction de la vue directe ^b . Hauteur du récepteur à 2 mc. Selon les auteurs, les valeurs ne sont que des ordres de grandeur en raison des variations des niveaux sonores sur de grandes distances à cause des fluctuations de la météo et de la précision des modèles de calcul. Les valeurs calculées correspondent à des situations extrêmes.
		3		52,1	
		6		53,9	
	400 m	1		41,1	
		3		45,7	
		6		48,2	
	800 m	1		33,7	
		3		38,4	
		6		41,3	
	1 500 m	1		26,3	
		3		31,1	
		6		34,1	
Howe Gestmeier Chapnik (CanWEA) 2007 ¹	250 à 600 m	10 ou plus	1 à 2 MW	Non précisé	En zone rurale, critères minimaux acceptés selon la caractérisation du site.
	< 1 km			Non précisé	Faire des analyses particulières du site lorsque récepteurs sensibles à moins de 1 km.
MEO (Ontario) 2011 ⁴⁹	550 m de tout bâtiment	1-5	>50 kW	LWA > 102	Puissance acoustique (et non pas pression acoustique comme dans les autres cas). D'autres distances doivent être respectées selon la puissance sonore des éoliennes et leur nombre.
Barkas 2010 ⁵¹	250 m en amont des habitations	8	800 kW avec LWA>108 dBA	49,2 à 55	Site montagneux en Grèce, distances ne permettent pas de répondre aux normes européennes et du pays (Grèce : distance 500 m et max 45 dB(A)).
Di Napoli 2011 ⁵⁰	530 m	1	1 MW avec LWA entre 99 et 106 dB	38	Avec vents > 10m/s Norme de bruit pour aires de loisirs en Finlande : 40 dB(A)
	750 m			< 40	
Moller et Pedersen 2011 ⁶	Entre 627 et 1 227 m	1	2,3 à 3,5 MW	LPA 35	Estimation des distances nécessaires pour atteindre la norme de la Suède de 35 dB(A) (selon Moller et Pedersen).
	Entre 530 et 1 241 m	12 identiques groupées, 2 rangées de 6, distancées de 300 m dans les 2 directions		44	Estimation des distances nécessaires pour atteindre la norme de 44 dB(A) à l'extérieur (selon Moller et Pedersen).

^a Diamètre du rotor : 71 m; moyeu à 98 m au-dessus du sol; vent de 10 m/s à une hauteur de 10 m; terrain herbeux et accidenté ont été testés; vent portant avec conditions favorables à la propagation; température 20 °C; humidité 60 %, etc.

^b En vue directe des habitations. Seuls les résultats avec « vue directe » sont présentés. Les auteurs ont aussi fourni des résultats « avec effet de sol » (réflexions du bruit sur des surfaces).

^c L'étude présente aussi des résultats à une hauteur de 4 m.

Source : Synthèse par les auteurs de la mise à jour de plusieurs des études citées précédemment.

4.3 GESTION DU BRUIT GÉNÉRÉ PAR LES ÉOLIENNES

4.3.1 Exigences, critères et réglementations existants

Plusieurs pays, états et provinces appliquent une réglementation ou encore des critères concernant la gestion des risques pour la santé liés au bruit, qu'ils soient destinés aux bruits de voisinage ou spécifiquement au bruit des éoliennes. Ces critères se présentent sous deux formes soit des limites absolues ou des limites relatives. Un tableau détaillé de ces normes et valeurs guides est présenté dans le tableau 11. L'OMS propose actuellement que la majorité des pays utilise des critères de niveau absolu pour la gestion des risques sanitaires liés aux bruits de voisinage. Certains pays quant à eux ont choisi des critères d'appréciation relative des niveaux de bruit puisque le dérangement dû à un bruit ne dépend pas seulement du niveau absolu de bruit ambiant, mais dépend aussi de l'environnement sonore initial ou résiduel dans lequel ce bruit apparaît⁵². La notion d'émergence sonore est alors employée. Peu d'articles étudiant la pertinence de l'application d'une émergence maximale semblent avoir été publiés dans la littérature scientifique^A. Elle est notamment utilisée dans la réglementation française comme critère de gestion des risques et d'évaluation des impacts liés aux bruits de voisinage. L'annexe 3 fournit des informations supplémentaires sur la notion d'émergence et sur ces limites d'application.

^A Une étude en laboratoire a été réalisée sur la corrélation entre le critère d'émergence et la nuisance sonore de sources industrielles⁵³. Elle a permis d'observer que l'utilisation du critère d'émergence ne permettait pas nécessairement de comprendre la nuisance due aux sources industrielles puisque les plaintes ne sont pas souvent corrélées avec les valeurs d'émergence et que le respect de ces valeurs n'efface pas le sentiment de nuisance des personnes gênées. Les résultats montrent que le type de sources sonores, le type de bruit résiduel et la valeur de l'émergence comportent des effets significatifs sur la nuisance due au bruit et que ces effets sont indépendants l'un de l'autre. Ce même groupe de chercheurs a cherché à évaluer des indicateurs de nuisance sonore pour différentes catégories de sources industrielles. Les résultats indiquent que le type de bruit résiduel influence davantage le sentiment de nuisance perçu que l'émergence⁵⁴. Ils ont toutefois retiré le bruit des éoliennes de leur recherche puisqu'il s'agit d'un bruit particulier et que, comme pour les autres sources de bruit environnemental, plusieurs variables non liées aux caractéristiques acoustiques du bruit influencent son impact.

Tableau 11 Normes et valeurs guides applicables au bruit des éoliennes dans plusieurs pays

Pays	Type	Niveaux sonores	Précisions	Pénalité bruit tonal	Commentaires et sources de l'auteur (Bastasch, 2011)
Allemagne	Limites	Jour/Nuit 1. 60/45 dB(A) 2. 55/40 dB(A) 3. 50/35 dB(A) 4. 45/35 dB(A)	1. Villages et usages mixte 2. Résidentiel urbain 3. Aires strictement résidentielles 4. Services de santé	Oui (et bruit impulsif également), mais non précisé.	Limites sur l'usage du terrain qui reçoit le bruit. Effet cumulatif potentiel de toutes les sources doit être considéré.
Australie	Valeurs guides	35 à 40 dB(A) selon les juridictions	L ₉₀ pour limite plancher du bruit D'autres mesures de bruit prévues (L _{eq} , L ₁₀ , L ₉₀ et L ₉₅)	5 dB	Pas de niveaux sonores maximums fixés. Rapport qui recommande de calculer l'impact des basses fréquences et vibrations intérieures pour les résidences touchées. Penser à considérer des distances séparatrices.
Corée du Sud	Limites	Jour/Nuit 1. 70/60 dB(A) 2. 65/55 dB(A) 3. 55/45 dB(A) 3. 50/40 dB(A)	1. Secteurs industriels 2. Résidentiel mixte et industriel 3. Seulement résidentiel 4. Hôpitaux, centres de santé, etc.		Les même que pour les autres sources industrielles.
Danemark	Limites absolues	42 dB(A) (vent 6 m/s) 44 dB(A) (vent 8 m/s)	Pour aires de vie extérieures à 15 m d'une résidence n'appartenant au proprio de l'éolienne.	5 dB	Mesuré à une hauteur de 10 m selon CEI 61400-11 ¹⁷ . Méthode de prévision basée sur propagation géométrique. Limites de basses fréquences seront clarifiées en réponse à des demandes de l'industrie, des municipalités et des citoyens.
		37 dB(A) (vent 6 m/s) 39 dB(A) (vent 8 m/s)	Pour aires sensibles définies dans les zonages locaux (résidences, résidences d'été ou aires de loisirs).		

Tableau 11 Normes et valeurs guides applicables au bruit des éoliennes dans plusieurs pays (suite)

Pays	Type	Niveaux sonores	Précisions	Pénalité bruit tonal	Commentaires et sources de l'auteur (Bastasch, 2011)
France	Limites	<p>Pour bruit extérieur ambiant > 30 dB(A) : bruit émergent + 5 dB(A) (jour) et + 3 dB(A) (nuit)</p> <p>Bruit intérieur : > 25 dB(A) (fenêtres ouvertes ou fermées), limites selon émergence spectrale : 7 dB (de 125 à 250 Hz) et de 5 dB (à 500 et 4 000 Hz).</p>	Bruit intérieur : limites relatives selon le niveau fréquentiel (bande d'octave centrale)		
Grande-Bretagne	Limites	<p>35 à 40 dB(A) pour les heures de réveil calmes avec $L_{A90,10min}$ moins que 35-40 dB(A) Nuit : 43 dB(A) avec $L_{A90,10min}$ moins que 38 dB(A)</p> <p>Ou bruit émergent : $L_{A90,10min} + 5$ dB(A) si $L_{A90,10min}$ plus grand que 38 dB(A)</p>	La valeur exacte dépend du nombre de résidences à proximité, les effets des limites du bruit sur l'énergie produite ainsi que la durée et le niveau d'exposition au bruit.		Plus hauts niveaux sonores permis la nuit que durant le jour ou les heures de réveil calmes « <i>quiet waking hours</i> ».

Tableau 11 Normes et valeurs guides applicables au bruit des éoliennes dans plusieurs pays (suite)

Pays	Type	Niveaux sonores	Précisions	Pénalité bruit tonal	Commentaires et sources de l'auteur (Bastash, 2011)
Italie	Limites	Bruit int. (Jour/Nuit) : Fenêtres ouvertes : 50/40 dB(A) Fenêtres fermées : 35/25 dB(A) Bruit émergent intérieur : + 5 dB(A) (jour) et + 3 dB(A) (nuit) <i>Limites extérieures</i> Municipal (J/N) : 1. 50/40 dB(A) 2. 55/45 dB(A) 3. 60/50 dB(A) 4. 65/55 dB(A) 5. 70/60 dB(A) 6. 70/70 dB(A) National (J/N) : I. 70/60 dB(A) II. 65/55 dB(A) III. 60/50 dB(A) IV. 70/70 dB(A)	1. Aires protégées 2. Résidentiel 3. Mixtes 4. Activités humaines intenses 5. Surtout industriel 6. Industriel I. Tout le territoire national II. Secteurs urbains historiques III. Aires strictement résidentielles IV. Secteurs industriels	Basées sur zonage municipal. Municipalités qui n'ont pas de classifications acoustiques peuvent utiliser la classification nationale	En développement, actuellement considérés comme les autres sources industrielles.
Nouvelle-Zélande	Limites	Ne pas dépasser le plus élevé de : $L_{A90(10min)}$ 40 dB Ou bruit émergent : bruit ambiant (<i>background</i>) $L_{A90-10min}$ d'au plus 5 dB pour lieux sensibles, incluant les résidences.	Autres restrictions en soirée et pendant la nuit dont les limites ne devraient pas être moins que 35 dB ($L_{A90 10 min}$). Bruit cumulatif des éoliennes considéré seulement si les niveaux prévus sont supérieurs inférieurs de 10 dB (L_{90}) au bruit des éoliennes existantes.	Pénalités possibles pour bruit tonal, impulsionnel ou modulation d'amplitude. < 6 dB	NZ Standard 6808, Acoustics-Wind farm Noise. Niveaux prévus selon ISO 9613-2 ⁵⁶ et bases sur CEI 61400-11 ¹⁷ .

Tableau 11 Normes et valeurs guides applicables au bruit des éoliennes dans plusieurs pays (suite)

Pays	Type	Niveaux sonores	Précisions	Pénalité bruit tonal	Commentaires et sources de l'auteur (Bastasch, 2011)
Pays-Bas	Limites	L _{den} 47 dB(A) L _{night} 41 dB(A)	Pour vent de 10 m/s L _{den} fixé pour limiter la proportion de personnes dérangées (8 %). L _{night} utilisé pour limiter les perturbations du sommeil (25 % au moins 1 fois/mois). Considère aussi les NNGL ²⁴ .		Modèle de propagation similaire à ISO 9613-2 ⁵⁶ (sous le vent - <i>downwind</i>) ajusté pour tenir compte des réductions des conditions vent de face (<i>upwind</i>). Facteur de correction en fonction de l'angle sous lequel le récepteur voit l'éolienne. Corrections peuvent être faites pour la directivité des effets de l'éolienne. Ajustements météo de 2,5 dB(A) (résidence surtout vent arrière) à 7,5 dB(A) (vent de face).
République tchèque	Valeurs guides	50 dB(A) le jour (L _{Aeq 8h}) 40 dB(A) la nuit (L _{Aeq 1h})		5 dB, (déterminé par pondération-Z, 1/3 octave entre 10 et 160 Hz)	Combinaison CEI 61400-11 ¹⁷ mesures sous le vent (<i>downwind</i>) et modélisation de projet selon ISO 9613-2 ⁵⁶ .
Suède	Valeurs guides	Leq 40 dB(A) Leq 35 dB(A) (aires tranquilles)	Pour vents de 8 m/s à 10 m de hauteur Aires tranquilles reconnues importantes dans le zonage.	5 dB(A)	Deux méthodes ou modèles prévisionnels se distinguant selon la distance de l'éolienne la plus proche (< 1 000 m et > 1 000 m).
USA			Pas de normes fédérales pour les éoliennes		
USA - Bureau of Land management (BLM)	Valeur guides	L _{dn} : 55 dB(A)	(EPA 1974)		Une augmentation de 10 dB amènera des réactions des collectivités Bruit ambiant typique en milieu rural : 40 dB(A) (jour), 30 dB(A) (nuit) ou L _{dn} : 35 dB(A).

Tableau 11 Normes et valeurs guides applicables au bruit des éoliennes dans plusieurs pays (suite)

État	Type	Niveaux sonores	Précisions	Pénalité bruit tonal	Commentaires et sources de l'auteur (Bastasch, 2011)
USA-État de Washington	Limites	Jour - 7 h-22 h : (Nuit 22 h-7 h) : L _{eq} : 60 dB(A) (50) L ₂₅ : 65 dB(A) (55) L _{8,3} : 70 dB(A) (60) L _{2,5} : 75 dB(A) (65) L _{eq} : 70 dB(A) L ₂₅ : 75 dB(A) L _{8,3} : 80 dB(A) L _{2,5} : 85 dB(A)	Résidentiel Industriel/agricole		Règles générales du bruit appliquées aux éoliennes.
USA- État d'Oregon	Limites	Jour 7 h-22 h : (Nuit 22 h-7 h) : L ₅₀ : 55 dB(A) (50) L ₁₀ : 60 dB(A) (55) L ₁ : 75 dB(A) (60) Dégradation : Augmentation du L ₁₀ ou du L ₅₀ à un maximum de 10 dB(A)	La règle permet un bruit ambiant minimal avec un L ₅₀ de 26 dB(A) et donc avec un plancher de 36 dB(A). Pour les résidences déjà touchées par des problèmes de bruit, la limite de 50 dB(A) devient la norme.	Oui	2 normes : maximums permis en fonction d'un descripteur statistique et le test de dégradation d'ambiance sonore (analyses fréquentielles).
USA- État du Colorado	Limites	Nuit : 50 dB(A)	À la limite de la propriété. Les 340 juridictions locales peuvent appliquer des règles additionnelles.	5 dB(A) (bruit intermittent ou bruit strident).	Vent de 2,2 m/s. Pas de réglementation spécifique aux éoliennes.

Tableau 11 Normes et valeurs guides applicables au bruit des éoliennes dans plusieurs pays (suite)

État	Type	Niveaux sonores	Précisions	Pénalité bruit tonal	Commentaires et sources de l'auteur (Bastasch, 2011)
USA – État d'Illinois	Limites	Jour : 7 h-22 h (Nuit 22 h-7 h) Leq 31,5 Hz : 75 dB (69 dB) 63 Hz : 74 dB (67 dB) 125 Hz : 69 dB (62 dB) 250 Hz : 64 dB (54 dB) 500 Hz : 58 dB (47 dB) 1 000 Hz : 52 dB (41 dB) 2 000 Hz : 47 dB (35 dB) 4 000 Hz : 43 dB (32 dB) 8 000 Hz : 40 dB (32 dB)	Limites sonores par bande d'octave. Résidentiel.		
USA - État du Maine	Limites	Pour les projets à l'étape de pré-développement; L _{eq} < 45 dB(A) (jour) et > 35 dB(A) (nuit). Lieux résidentiels (J/N) : L _{eq-1h} : 55 dB(A)/45 dB(A). Si niveaux existants > 45/35 dB(A) (j/n), la limite est de 60 dB(A) (jour) et 50 dB(A) (nuit).	Proposition en septembre 2011 d'imposer une réduction de 45 à 42 dB(A) la nuit pour les éoliennes.	Pénalités pour bruit tonal et sons répétitifs de courte durée.	

Source : Tableau réalisé à partir du texte de Bastasch dans : Bowdler et Leventhall 2011⁵⁵.

Des travaux d'une équipe de Santé Canada^A ont constitué un point de départ pour le développement potentiel de lignes directrices canadiennes. Les auteurs proposent une valeur limite (L_{eq}) de 45 dB(A) à la face la plus exposée d'un récepteur vulnérable (hôpital, école, service de garde, résidence pour personnes âgées) durant l'exploitation des éoliennes dans un milieu rural calme^B. Cette proposition est notamment basée sur les renseignements fournis par la norme ISO 1996-1⁵⁸ et par la U.S. Federal Transit Administration. En 2008, cette recommandation permettait de respecter la valeur de 45 dB(A) à l'extérieur pour un bruit continu proposée par l'OMS pour éviter un dérangement du sommeil^C. Toutefois, il faut noter que la valeur recommandée par l'OMS a depuis été modifiée à 40 dB(A) ($L_{night\ outside}$) pour le bruit à l'extérieur en période nocturne^D.

Jusqu'en 2010, l'Ontario fixait des limites sonores spécifiques pour les éoliennes, soit des niveaux de bruit ajustés en fonction de la vitesse du vent¹. L'Allemagne, le Danemark, la Grèce, la Suède et le Royaume-Uni, appliquent des valeurs de niveaux absolus fixes^E allant de 35^F à 50 dB(A) selon la vitesse du vent³. Depuis 2011, le ministère de l'Environnement ontarien^G a fixé par règlement (Règlement sur les autorisations de projet d'énergie renouvelable) des distances à respecter en fonction du nombre d'éoliennes et de la puissance sonore à la source (> 102 dB(A)) lorsque l'éolienne se situe dans un rayon de 3 km d'un récepteur de bruit⁵⁹. Le tableau 12 reprend les distances ainsi réglementées.

^A Un article présenté à la conférence internationale sur le bruit des éoliennes de 2007⁵⁷, et publié en 2008⁴⁴, par une équipe de la division de l'acoustique de la Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs de Santé Canada se rapporte à ces travaux.

^B Les auteurs mentionnent que la caractérisation d'un milieu rural calme devrait être faite par la consultation de la communauté par le promoteur du projet éolien. Néanmoins, en attendant cette caractérisation, Santé Canada pose la prémisse que des niveaux sonores de 45 dB(A) le jour et 35 dB(A) la nuit sont représentatifs d'un milieu rural calme⁵⁷.

^C Toutefois, il apparaît important de dire qu'en complément de cette recommandation de 45 dB(A), l'OMS spécifie qu'elle est valable pour un bruit continu. Des perturbations du sommeil ont été observées à des niveaux inférieurs lorsque le bruit ambiant est faible. Pour des bruits non continus, la valeur de L_{Amax} de 45 dB devrait être utilisée²¹.

^D Un groupe d'experts de l'OMS a publié, plus récemment, d'autres valeurs guides concernant le bruit nocturne en Europe²⁴ qui viennent mettre à jour les valeurs guides présentées précédemment et qui n'invalideraient en rien celles proposées par Berglund en 1999²¹, mais sont plutôt complémentaires à celles-ci. Ces nouvelles valeurs recommandées sont basées sur une revue systématique des évidences à partir d'études épidémiologiques et expérimentales et elles tendent à limiter le bruit nocturne à l'extérieur, en façade extérieure la plus exposée, à 40 dB(A) (moyenne annuelle). Ainsi, selon ces recommandations, pour un niveau sonore nocturne de < 30 dB, aucun effet biologique substantiel n'est à prévoir, ce niveau étant équivalent à un niveau sans effet observé (NOEL : *No observed effect level*). Entre 30 et 40 dB, les effets immédiats sur le sommeil et les effets indésirables chez les groupes vulnérables débutent. Cependant, même dans les pires cas, les effets semblent modestes; ce niveau $L_{nuit-dehors}$ équivaut à un niveau le plus bas produisant un effet indésirable observé (LOAEL : *Lowest observable adverse effect level*) pour le bruit nocturne. Puis, entre 40 et 55 dB, il y a une augmentation rapide des effets indésirables sur la santé alors que les groupes vulnérables deviennent plus sévèrement affectés. De nombreuses personnes doivent adapter leur vie pour faire face au bruit la nuit.

^E Dans certains cas, des vitesses de vent s'appliquent. Par exemple, en Allemagne, la vitesse de vent de 10 m/s à une hauteur de 10 m ou pour la vitesse correspondant à 95 % de la puissance nominale de l'éolienne³ (p. 20).

^F Par exemple, au Royaume-Uni, la limite de 35 dB(A) est utilisée dans les environnements présentant un niveau de bruit ambiant faible.

^G Les éoliennes de plus de 50 kW produisant un niveau de puissance acoustique supérieur à 102 dB(A) ou plus doivent respecter la distance minimale de 550 m de tout bâtiment fréquenté⁴⁹.

Tableau 12 Distances séparatrices pour les éoliennes fixées par règlement en Ontario

	Nombre d'éoliennes	Niveau de puissance acoustique de l'éolienne(s) (L_{WA})			
		102	103-104	105	106-107
1	1-5	550 m	600 m	850 m	950 m
2	6-10	650 m	700 m	1 000 m	1 200 m
3	11-25	750 m	850 m	1 250 m	1 500 m

Note : On fait ici référence aux distances entre une éolienne (centre de la base) et un point récepteur de bruit situé dans un rayon de 3 kilomètres, décrites dans le paragraphe 55(2.1).

Source : Part V — Prohibitions — Renewable Energy projects, art. 55 — Wind turbines, requirements re location. Dans : Gouvernement de l'Ontario (2011). Environmental Protection Act (Loi sur la protection de l'environnement). Ontario Regulation 359/09: Renewable Energy Approvals Under Part V.0.1 Of The Act.

Au Québec, les critères applicables au bruit émis par un parc éolien sont ceux énoncés dans la note d'instructions 98-01 du MDDEP⁴⁸ qui suggère des niveaux sonores maximaux de 40 dB(A) la nuit et de 45 dB(A) le jour^A pour les zones les plus sensibles. Cette note vise toutes sources fixes^B, dont une industrie, une manufacture, une centrale génératrice d'énergie, une ligne à haute tension, un lieu d'enfouissement, un champ de tir ou toute entreprise qui exploite un procédé. Le tableau 13 montre les niveaux applicables pour toutes les zones.

Tableau 13 Niveaux sonores maximums des sources fixes utilisés par le MDDEP

Zonage	Nuit (dB(A))	Jour (dB(A))
1. Territoire destiné à des habitations unifamiliales isolées ou jumelées, à des écoles, des hôpitaux ou à d'autres établissements de services d'enseignement, de santé ou de convalescence. Terrain d'une habitation existante en zone agricole.	40	45
2. Territoire destiné à des habitations en unités de logements multiples, des parcs de maisons mobiles, des institutions ou des campings.	45	50
3. Territoire destiné à des usages commerciaux ou à des parcs récréatifs ^{a,b} .	50	55
4. Territoire zoné à des fins industrielles ou agricoles ^c .	70	70

^a Le niveau de bruit prévu pour la nuit ne s'applique que dans les limites de propriété des établissements utilisés à des fins résidentielles. Dans les autres cas, le niveau maximal de bruit prévu le jour s'applique également la nuit⁴⁸.

^b Pour les parcs et les aires de conservation, l'OMS²¹ recommande de préserver ces environnements en faisant en sorte de garder le plus bas possible l'intrusion du bruit par rapport au bruit ambiant naturel afin d'en préserver la tranquillité.

^c Sur le terrain d'une habitation existante en zone industrielle et établie conformément aux règlements municipaux en vigueur au moment de sa construction, les critères sont de 50 dB(A) la nuit et 55 dB(A) le jour⁴⁸.

Source : MDDEP, 2006⁴⁸.

La note d'instruction mentionne également que « puisque les critères d'acceptabilité constituent les limites maximums permises, il est toujours souhaitable et recommandé, dans une perspective de développement durable, que l'exploitant ou l'initiateur en plus de respecter ces critères prenne toute mesure « faisable et raisonnable » et favorise des

^A Selon la note d'instructions 98-01 du MDDEP, le jour s'étend de 7 h à 19 h⁴⁸.

^B Excluant celles en milieu agricole qui disposent de certaines protections contre les poursuites pour nuisances sonores (Loi sur la protection du territoire et des activités agricoles, L.C.Q., C. P-41.1, a. 79.17).

pratiques d'exploitation de façon à ce que sa contribution sonore soit la moins perceptible possible en zones sensibles (zones 1 à 3) »⁴⁸.

Quant à elle, la Directive pour la réalisation d'une étude d'impact sur l'environnement d'un projet de parc éolien du MDDEP⁶⁰ demande aux promoteurs de décrire le milieu récepteur du projet, dont minimalement le « climat sonore dans les secteurs avoisinants les emplacements possibles des éoliennes, en fournissant sous forme de tableaux et de graphiques les indices statistiques N_{10} , N_{90} et N_{eq} (jour et nuit), et une cartographie des indices N_{eq} maximum de jour et N_{eq} maximum de nuit »^A. Cette directive demande aussi de décrire les principaux impacts du projet dont « la modification du climat sonore aux alentours des emplacements de poste, en fournissant les résultats de la modélisation selon l'indice statistique N_{eq} (jour et nuit) et une cartographie isophonique^B des indices N_{eq} maximum de jour et N_{eq} maximum de nuit ». Ces modélisations visent à estimer si le parc éolien occasionnera un dépassement des niveaux spécifiés dans la note d'instruction 98-01 du MDDEP⁴⁸. Ce ministère prévoit aussi étudier la contribution sonore des éoliennes dans différents milieux afin de développer une méthode de mesure et établir des critères propres aux éoliennes. Lors de l'autorisation d'un projet éolien, le MDDEP demande au promoteur de lui transmettre un programme de suivi du climat sonore. Un mécanisme d'intervention est également prévu en cas de dégradation de l'environnement sonore mesuré lors du suivi⁶¹.

Des critères de suivi des plaintes relatives aux éoliennes ont été identifiés dans une étude réalisée pour DEFRA¹⁴. Sans déterminer de cadre fixe à appliquer, les auteurs proposent la cueillette de certains éléments comme les conditions météorologiques lors de la plainte et lors des mesures, l'enregistrement de toutes les observations subjectives ou preuves avancées par les plaignants et des mesures de bruit pour appuyer le jugement qualitatif. Ils notent qu'il est habituel, en raison des intérêts commerciaux, que les producteurs mesurent le bruit ou avancent des normes ou valeurs guides pour justifier le bruit ou encore limiter le degré de correction qui pourrait leur être imposé. Afin de discuter d'une telle approche, ils mentionnent que cela nécessite une bonne compréhension des mesures de bruit ainsi qu'une critique des références utilisées pour justifier le bruit. Un tel suivi doit reposer sur une bonne planification en plus d'être flexible afin de s'adapter aux situations ou facteurs locaux.

Michaud *et al.* notent d'ailleurs que d'après l'expérience de Santé Canada, il est difficile de prédire si le bruit des éoliennes sera audible une fois le parc implanté⁵⁸. Selon eux, la réaction d'une communauté face au bruit pourrait augmenter si un nouveau bruit, qui avait d'abord été présumé inaudible, s'avère audible. Par conséquent, ils recommandent que les évaluations environnementales évitent de suggérer que le bruit des éoliennes, ou un changement jusqu'à 5 dB, ne sera pas ou à peine audible⁵⁸. Santé Canada rappelle, à partir d'un document du US EPA^C, que le niveau sonore ajusté pour le jour et la nuit d'un bruit considéré comme une intrusion est généralement 5 dB de moins la nuit que le jour à partir

^A À noter que le symbole N (pour niveau), utilisé dans la directive, correspond au symbole L habituellement utilisé dans la littérature sur le son⁴⁸.

^B Une cartographie isophonique est une simulation basée sur un certain nombre de relevés sonométriques et reportée sur une carte en tenant compte de la topographie. Les niveaux sonores sont représentés à l'aide de courbes et chacun des contours représentés ne doit pas présenter d'écart supérieur à 5 dB⁴⁸.

^C US Environmental Protection Agency (1974). Information on levels of environmental noise requisite to protect public health and welfare with an adequate margin of safety, 550/9-74-004, 1-G15.

duquel la communauté n'aura pas de réactions, quoiqu'il soit détectable ou notable. Des plaintes pourraient survenir dès qu'un niveau sonore est augmenté de + 3 dB et qu'il est causé par une source de bruit identifiable⁴⁴. Par ailleurs, en considérant le contenu fréquentiel riche en basses fréquences du bruit produit par les éoliennes, il est important de mentionner qu'un changement de 5 dB à 20 Hz sera perçu subjectivement comme un doublement de l'intensité sonore.

Selon les connaissances actuelles, l'application de niveaux absolus et d'émergences maximales constituerait un critère de gestion permettant de limiter l'augmentation du niveau de bruit d'un milieu lors de l'implantation d'un parc éolien, d'autant plus que les parcs éoliens sont souvent implantés dans des milieux calmes ayant un niveau de bruit initial faible. L'utilisation de ces critères pour limiter, prédire ou évaluer la nuisance due au bruit des éoliennes nécessite toutefois l'acquisition de connaissances scientifiques et techniques supplémentaires. Des connaissances restent à acquérir relativement aux méthodes de mesure des niveaux de bruit ambiant avant et après l'installation des éoliennes, notamment pour la durée et les conditions de mesure, et aux conditions de modélisations du bruit des éoliennes.

4.3.2 Préoccupations quant à la mesure d'exposition

Plusieurs des études recensées^A concernaient des aspects techniques ou méthodologiques de la mesure du bruit des éoliennes ou analysaient la pertinence ou l'ajout de divers paramètres de mesure à considérer dans les modèles prévisionnels. Quelques éléments importants à considérer dans les modèles prévisionnels qui permettent de juger de l'ampleur de l'exposition et de l'importance du risque pouvant être associé au bruit provenant d'éoliennes seront abordés ici.

Des modèles prévisionnels sont utilisés en Europe. Par exemple, Forssén et ses collaborateurs (2010)⁶² notent, pour une éolienne de 1,5 MW située à une distance de 530 m, que les niveaux moyens de bruit émis sont prédits de manière satisfaisante en les comparant avec la méthode en vigueur en Suède. Cependant, il semble que la prédiction des niveaux sonores n'a pas été améliorée lorsqu'on considère les facteurs météorologiques dans la propagation. Toutefois, leur importance relative nécessite d'être mieux évaluée parce qu'ils sont associés aux variations dans les niveaux sonores émis. Pour sa part, van den Berg (2008)⁶³ suggère d'abandonner l'utilisation du profil de vent neutre qui intègre des données non compatibles avec la réalité.

^A Ces études n'étaient cependant pas toutes de qualité méthodologique suffisante pour être incluses dans la mise à jour.

Des chercheurs de Santé Canada suggèrent que le niveau sonore prédit (L_{eq}) soit basé sur les pires conditions (*worst case*)^A, c'est-à-dire en utilisant le plus haut niveau sonore émis selon la vitesse du vent, pour tous les récepteurs, et en fonction de conditions favorables à la propagation du bruit⁴⁴. Selon eux, le fait que le vent puisse être plus faible à la hauteur des récepteurs qu'à la hauteur de la nacelle est un élément important pour l'estimation du niveau sonore. Puisqu'il est aussi possible que le bruit du vent masque le bruit des éoliennes, ils mentionnent que le niveau proposé de 45 dB(A) ne devrait pas être considéré comme une limite appliquée de façon stricte. Les différentes situations devraient être identifiées à l'aide de données historiques de vitesses du vent selon la hauteur et des niveaux de bruit du vent mesurés aux récepteurs. Par ailleurs, considérant que les estimations sont habituellement réalisées selon ISO 9613-2 1996⁵⁶ et ont une incertitude de ± 3 dB, les auteurs mentionnent que des mesures d'atténuation devraient être prévues si l'incertitude suggère un dépassement du critère proposé⁵⁸.

Ces quelques articles nous indiquent que les modèles prévisionnels semblent intéressants pour estimer l'exposition au bruit, mais que les paramètres utilisés doivent prévoir les pires conditions à tous les points de réception. Toutefois, la question des modèles de propagation va au-delà de l'utilisation d'ISO 9613-2⁵⁶ et de la « pire situation », plusieurs pays utilisent la donnée acoustique à long terme (une année) qui est intégrée ensuite aux données météorologiques sur la même période ce qui permet une prédiction plus exacte des « situations les pires »⁶⁴.

4.4 EN RÉSUMÉ

Selon les connaissances scientifiques actuelles :

- Le niveau de bruit engendré par les éoliennes n'entraîne pas d'impact direct sur la santé auditive (fatigue ou perte auditive) des personnes vivant à proximité;
- la documentation scientifique ne retient que deux effets potentiellement associés aux niveaux de bruit engendrés par les éoliennes, soit la nuisance et la perturbation du sommeil :
 - l'exposition au bruit des éoliennes peut représenter une nuisance pour les populations avoisinantes dans certaines conditions, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des maisons, mais des connaissances scientifiques restent à acquérir sur les niveaux et les facteurs qui l'influencent ainsi que les critères à appliquer pour l'évaluer et la réduire;

^A Cela s'ajoute à des commentaires de l'Afsset, formulés en 2008³, sur certaines limites de la norme utilisée (ISO 9613-2)⁵⁶ dans le calcul des prévisions du niveau moyen de bruit (dB(A)) établi selon des conditions météorologiques favorables à la propagation. Ainsi, cette norme « ne permet pas de prendre en compte la courbure des rayons sonores pour des conditions de gradients de vent et de température défavorables à la propagation sonore (zones d'ombres), rendant le calcul impossible par exemple de jour avec un ciel dégagé » et le « calcul n'est pas prévu pour des sources « en hauteur » et pour un effet de sol lié à une topographie non plate. De ce fait, les calculs donnent des niveaux sonores plus faibles que ceux réellement mesurés (environ 5 dB(A) d'écart, ce qui est très élevé). »³ (p. 62). Par ailleurs, dans un rapport réalisé pour l'Association canadienne de l'énergie éolienne, il est mentionné que la norme ISO 9613-2 « ... considère des conditions de propagation équivalentes à une condition modérée sous le vent [...]. Cependant, elle ne prétend pas considérer la pire situation environnementale dans l'absolu, (...) »¹ (p. 10).

- l'effet de nuisance occasionné par le bruit des éoliennes a été associé au niveau sonore, mais aussi à d'autres facteurs, notamment à la visibilité des éoliennes et à l'attitude des personnes exposées envers celles-ci;
- les niveaux de bruit engendrés par les éoliennes sont perçus comme plus dérangeants que ceux provenant d'autres sources de bruit. Cependant, la relation effet-exposition (dose-réponse) suggérée à partir des études actuelles reste à être améliorée;
- des études montrent que le bruit des éoliennes pourrait déranger le sommeil des personnes vivant à proximité. Toutefois, en raison du type d'études réalisées et de leur faible nombre, les preuves scientifiques sont limitées;
- pour la gestion des risques à la santé liés au bruit des éoliennes, certains pays possèdent des critères de niveau absolu et d'autres, des critères d'appréciation relatifs au niveau de bruit. Dans ce deuxième cas, la notion d'émergence est fréquemment utilisée, mais d'autres études sont nécessaires pour établir la pertinence de son utilisation;
- plusieurs études utilisent les modèles prévisionnels pour estimer l'exposition au bruit. Il s'avère important dans le cadre de telles études que les paramètres utilisés puissent prévoir les pires conditions à tous les points de réception.

RÉFÉRENCES

1. Howe Gastmeier Chapnik Limited (2007). Les éoliennes et le bruit : Revue et recommandations de pratiques d'excellence. (Rapport préparé pour CanWEA), Ontario, Canada, 25 p. + annexes.
2. Pedersen E et H Halmstad (2003). Noise annoyance from wind turbines - a review. Rapport, Naturvardsverket, Swedish Environmental Protection Agency, Suède, 26 p.
3. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) (2008). Impacts sanitaires du bruit généré par les éoliennes - État des lieux de la filière éolienne et propositions pour la mise en œuvre de la procédure d'implantation. Avis de l'Afsset et rapport du groupe d'experts, France, 116 p.
4. Leroux T et J-P Gagné (2007). Évaluation des impacts sur la santé des populations vivant à proximité des parcs éoliens. École d'orthophonie et d'audiologie, Université de Montréal, 53 p.
5. Alberts D (2005). Primer for adressing wind turbine noise. Lawrence Technological University, Michigan, États-Unis, 21 p.
6. Møller H et CS Pedersen (2011). Low-frequency noise from large wind turbines. *J Acoust Soc Am*; 129(6): 3727-44.
7. Pedersen E et KP Waye (2007). Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. *Occupational and Environmental Medicine*; 64: 480-6.
8. van den Berg FGP (2003). Wind turbines at night: acoustical practice and sound research, *Euronoise*, 5^e Conférence européenne sur le contrôle du bruit, Naples, 6 p.
9. Siponen D (2011). Noise annoyance of wind turbines. Espoo, VTT Technical Research Centre of Finland, Rapport VTT-R-00951-11, 24 p.
10. van den Berg FGP (2004). Effects of the wind profile at night on wind turbine sound. *Journal of Sound and Vibration*; 277(4-5): 955-70.
11. van den Berg FGP (2005). The beat is getting stronger: The effect of atmospheric stability on low frequency modulated sound of wind turbines. *Journal of Low Frequency Noise & Vibration and Active Control*; 24(1): 1-24.
12. Di Napoli C (2011a). Long distance amplitude modulation of wind turbine noise. *Proceedings of the 4th International Meeting on Wind Turbine Noise*, 11-14 April 2011, Rome, Italy.
13. Moorhouse A, Hayes M, von Hünerbein S, Piper B et M Adams (2007). Research into aerodynamic modulation of wind turbine noise — final report, University of Salford, Royaume-Uni, 57 p.

14. AECOM (2011). Wind Farm Noise Statutory Nuisance Complaint Methodology. (Report prepared for DEFRA: Contract No. NANR 277). Beckenham, London, United Kingdom, 6 April 2011, 122 p.
15. Lee S, Kim K, Choi W et S Lee (2011). Annoyance caused by amplitude modulation of wind turbine noise. *Noise Control Eng J*; 59(1): 38-46.
16. Commission électrotechnique internationale - CEI (2005). CEI 61400-14 Wind turbines — Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values. First Edition, Geneva, mars 2005, 11 p.
17. Commission électrotechnique internationale - CEI (2006). CEI 61400-11 Aérogénérateurs — Partie 11 : Techniques de mesure du bruit acoustique. Édition 2.1, Genève, novembre 2006, 46 p.
18. Brüel & Kjaer (2000). Bruit de l'environnement. Brüel & Kjaer Sound & Vibration Measurement A/S, Naerum, Danemark, 67 p.
19. Oerlemans S (2011). Chapter 2: Primary Noise Sources dans: Bowdler D, Leventhall G (eds.). *Wind Turbine Noise*. Multi-Science Publishing, Brentwood (UK), p. 13-45.
20. Chernigovskaya TV (1977). Dependence of the perception of low-frequency amplitude modulation on age and training in man. *Neuroscience and Behavioral Physiology*; 8(4): 341-3.
21. Berglund B, Lindvall T et DH Schwela (1999). Guidelines for Community Noise. Organisation mondiale de la Santé (OMS), Geneva, 159 p., disponible à l'adresse : <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html> (consulté le 15 août 2008).
22. Passchier-Vermeer W et W Passchier (2000). Noise exposure and public health. *Environmental Health Perspectives*; 108(suppl. 1): 123-31.
23. Berglund B et T Lindvall (1995). Community Noise. Document préparé pour l'Organisation mondiale de la Santé (OMS). Stockholm University and Karolinska Institute, Archives of the Centre for Sensory Research; 2(1), 195 p., disponible à l'adresse : <http://www.nonoise.org/library/whonoise/whonoise.htm> (consulté le 11 août 2008).
24. World Health Organization - WHO (2009). Night Noise Guidelines (NNGL) for Europe. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen 162 p.
25. Harry A (2007). Wind turbines, noise, and health. Wind Watch. Site Internet accessible à l'adresse : http://www.wind-watch.org/documents/wp-content/uploads/wtnoise_health_2007_a_harry.pdf (consulté le 24 avril 2012).
26. Pierpont N (2006). « Wind Turbine Syndrome ». Témoignage devant le New York State Legislature Energy Commission, 7 mars 2006, disponible à l'adresse : <http://docs.wind-watch.org/Pierpont-WindTurbineSyndrome.pdf> (consulté le 24 avril 2012).

27. Pierpont N (2009). Wind Turbine Syndrome: A report on a natural experiment, NM: K-Selected Books, Santa Fe, 135 p., disponible à l'adresse : <http://www.windturbine-syndrome.com/wind-turbine-syndrome> (consulté le 24 avril 2012).
28. Krogh CME, Gillis L, Kouwen N et J Aramini (2011). WindVOiCe, a self-reporting survey: adverse health effects, industrial wind turbines, and the need for vigilance monitoring. *Bulletin of Science Technology Society*; 31(4): 334-45.
29. Médecin hygiéniste en chef de l'Ontario (MHCO) (2010). Répercussions possibles des éoliennes sur la santé, 14 p., disponible à l'adresse : http://www.health.gov.on.ca/fr/public/publications/ministry_reports/wind_turbine/wind_turbine.pdf (consulté le 24 avril 2012).
30. Australian Government National Health and Medical Research Council (2010). *Wind Turbines and Health - A Rapid Review of the Evidence*. 11 p. ISBN : 978-1-4435-3290-7 175.
31. Arbour S et P Deshaies (2009). *Projet d'aménagement du parc éolien Des Moulins à Thetford Mines, Kinnear's Mills et Saint-Jean-de-Brébeuf : avis du Directeur de santé publique de la région de la Chaudière-Appalaches. Mémoire déposé au Bureau d'audiences publiques sur l'environnement. Sainte-Marie, Agence de la santé et des services sociaux de Chaudière-Appalaches, octobre 2009, 34 p.*
32. World Health Organization - WHO (2011). *Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe*. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen, xvii + 106 p.
33. Miedema HME (2007). *Annoyance Caused by Environmental Noise: Elements for Evidence-Based Noise Policies*. *Journal of Social Issues*; 63(1): 41–57.
34. *Parlement Européen et Conseil de l'Union Européenne (2002). Directive 2002/49/CE du parlement européen et du conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement, Journal officiel des Communautés européennes, législation 189, numéro du 18 juillet 2002, p. 12-24.*
35. International Organization for Standardization - ISO (2003). *Norme internationale ISO/TS 15666: 2003-F. Acoustique -- Évaluation de la gêne causée par le bruit au moyen d'enquêtes sociales et d'enquêtes socio-acoustiques*. Genève, 15 p.
36. Pedersen E et KP Waye (2004). *Perception and annoyance due to wind turbine noise-a dose-response relationship*. *The Journal of the Acoustical Society of America*; 116(6): 3460-70.
37. Pedersen E et KP Waye (2008). *Wind turbines - low level noise sources interfering with restoration?* *Environ Res Lett*; 3: 1–5.
38. Pedersen E, van den Berg F, Bakker R et J Bouma (2009). *Response to noise from modern wind farms in The Netherlands*. *J Acoust Soc Am*; 126(2): 634-43.

39. Pedersen E, van den Berg F, Bakker R et J Bouma (2010). Can road traffic mask the sound from wind turbines? Response to wind turbine sound at different levels of road traffic. *Energy Policy*; 38: 2520–27.
40. Pedersen E (2011). Health aspects associated with wind turbine noise - Results from three field studies. *Noise Control Eng J*; 59: 47–53.
41. Babisch W (2009). Communication personnelle au D^r Pierre Deshaies (INSPQ) lors d'une rencontre de travail de l'OMS sur le projet « Environmental noise: risk assessment and burden of disease ».
42. Miedema HME et CGM Oudshoorn (2001). Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals. *Environmental Health Perspectives*; 109: 409-16.
43. Miedema HME et H Vos (1998). Exposure-response relationships for transportation noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*; 104(6): 3432-45.
44. Keith SE, Michaud DS et SHP Bly (2008). A proposal for evaluating the potential health effects of wind turbine noise for projects under the Canadian Environmental Assessment. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*; 27(4): 253-65.
45. Miedema HM et H Vos (2004). Noise annoyance from stationary sources: relationships with exposure metric day-evening-night level (DENL) and their confidence intervals. *J Acoust Soc Am*; 116(1): 334-43.
46. Knopper LD et C Ollson (2011). Health effects and wind turbines: A review of the literature. *Environmental Health*; 10: 78. Disponible à l'adresse : <http://www.ehjournal.net/content/pdf/1476-069X-10-78.pdf> (consulté le 25 avril 2012).
47. van den Berg F (2011). Chapter 6: Effects of Sound on People dans : Bowdler D, Leventhall G (eds.). *Wind Turbine Noise*. Multi-Science Publishing, Brentwood (UK), p. 129-151.
48. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec — MDDEP (2006). Note d'instructions 98-01 sur le bruit des sources fixes, 9 juin, gouvernement du Québec, 23 p.
49. Ministère de l'Environnement de l'Ontario — MEO (2011). Énergie éolienne. Bureau de facilitation en matière d'énergie renouvelable, Toronto, septembre 2011, 2 p., disponible à l'adresse : http://www.ene.gov.on.ca/stdprodconsume/groups/lr/@ene/@resources/documents/resource/stdprod_080396.pdf (consulté le 5 avril 2012).
50. Di Napoli C (2011b). Wind turbine noise assessment in a small and quiet community in Finland. *Noise Control Eng J*; 59(1): 30-7.

51. Barkas NK (2010). Isolation acoustique des habitations proches des installations éoliennes : évaluation comparative de la localisation d'un parc éolien dans la section montagneuse du département de Rhodope (Grèce). Lyon, 10^e Congrès français d'acoustique, 12-16 avril 2010, 6 p., disponible à l'adresse : <http://cfa.sfa.asso.fr/cd1/data/articles/000200.pdf> (consulté le 5 mai 2011).
52. Ministère de la Santé et des Solidarités (2006). Information presse - La lutte contre les bruits de voisinage se renforce. Arrêté du 5 décembre 2006 relatif aux modalités de mesurage des bruits de voisinage, Journal officiel du 20 décembre 2006, Direction générale de la santé, ministère de la Santé et des Solidarités, France, 15 p.
53. Viollon S, Marquis-Favre C, Junker F et C Baumann (2004). Environmental assessment of industrial noises annoyance with the criterion « sound emergence », 18th International Congress on Acoustics, Kyoto, Japon, 4 p.
54. Alayrac M, Viollon S et Marquis-Favre C (2008). Noise annoyance indicators for various industrial noise sources: Results and Discussion. Conférence Acoustics'08 Paris, France, 6 p.
55. Bastasch M (2011). Chapter 8: Criteria dans : Bowdler D, Leventhall G (eds.). Wind Turbine Noise. Multi-Science Publishing, Brentwood (UK), p. 189-99.
56. International Organization for Standardization - ISO (1996). Norme internationale ISO-9613-2. Acoustique -- Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre -- Partie 2 : Méthode générale de calcul. Genève, 19 p.
57. Michaud D, Keith SE et SHP Bly (2007). A proposal for evaluating the potential health effects of wind turbine noise for projects under the Canadian Environmental Assessment Act, 2^e Conférence internationale sur le bruit des éoliennes (windturbineoise2007.org), France, 14 p.
58. International Organization for Standardization - ISO (2003). Norme internationale ISO-1996-1: 2003(F). Acoustique -- Description, mesurage et évaluation du bruit de l'environnement -- Partie 1 : Grandeurs fondamentales et méthodes d'évaluation. Genève, 27 p.
59. Gouvernement de l'Ontario (2011). Environmental Protection Act (Loi sur la protection de l'environnement). Ontario Regulation 359/09: Renewable Energy Approvals Under Part V.0.1 Of The Act, disponible à l'adresse: http://www.e-laws.gov.on.ca/html/regs/english/elaws_regs_090359_e.htm (consulté le 5 avril 2012).
60. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec (MDDEP) (2008). Directive pour la réalisation d'une étude d'impacts sur l'environnement d'un projet de parc éolien, août, gouvernement du Québec, 22 p.
61. Ministère des Affaires municipales et des Régions du Québec (MAMR) (2007). Développement durable de l'énergie éolienne - Environnement sonore d'un parc éolien. Fiche d'information, gouvernement du Québec, 6 p., disponible à l'adresse : http://www.mamrot.gouv.qc.ca/pub/amenagement_territoire/orientations_gouvernementales/eoliennes_f05_environnement_sonore.pdf (consulté le 23 novembre 2008).

62. Forssén J, Schiff M, Pedersen E et KP Waye (2010). Wind turbine noise propagation over flat ground: measurements and predictions. *Acta Acoustica united with Acustica*; 96(4): 753-60.
63. van den Berg GP (2008). Wind turbine power and sound in relation to atmospheric stability. *Wind Energy*; 11(2): 151-69.
64. Bullmore A (2011). Chapter 3: Sound Propagation from Wind Turbines dans : Bowdler D, Leventhall G (eds.). *Wind Turbine Noise*. Multi-Science Publishing, Brentwood (UK), p. 47-99.
65. Bajdek CJ (2007). Communicating the noise effects of wind farms to stakeholders, conférence Noise-Con 2007, Nevada, États-Unis, 10 p.
66. Bolin K, Nilsson ME et S Khan (2010). The Potential of Natural Sounds to Mask Wind Turbine Noise. *Acta Acoustica united with Acustica*; 96(1): 131-7.
67. Romero-Sanz I et A Matesanz (2008). Noise Management on Modern Wind Turbines. *Wind Engineering*; 32(1): 27–44.

5 LES INFRASONS ET LES SONS DE BASSES FRÉQUENCES

Les infrasons et les sons de basses fréquences constituent un sujet qui soulève parfois des inquiétudes au sein de la population avoisinant les parcs éoliens. Ce chapitre présente l'état des connaissances pour ces deux types de sons.

5.1 INFRASONS : DESCRIPTION DE LA SITUATION

Un infrason est un son dont la fréquence est inférieure à environ 20 Hz^A. Par comparaison, la voix humaine correspond à une fréquence d'environ 500 à 4 000 Hz. De façon exceptionnelle, les infrasons peuvent être perçus par l'oreille humaine et le corps. Dans ces cas, ils doivent être produits avec une puissance très élevée. Par exemple, un son de 10 Hz sera ressenti seulement s'il provient d'une source sonore dont la puissance est supérieure à 100 dB³. Il sera ainsi « détecté » sous la forme d'un murmure très bas, d'une vibration générale et d'une sensation de pression sur le tympan.

Les infrasons sont présents partout dans l'environnement (naturel ou humain). Ils sont produits notamment par le vent, les vagues, les sècheuses à linge, les véhicules motorisés, les climatiseurs, et aussi les éoliennes⁴. Ces dernières en émettent avec une puissance inférieure à la limite de la perception humaine. En effet, les informations fournies par les manufacturiers d'éoliennes font état d'une intensité sonore de 105 dB(L) mesurée à la nacelle pour une fréquence de 16 Hz sous un vent de 10 m/s. Selon ces données, à 100 mètres de l'éolienne, l'intensité sonore à une fréquence de 16 Hz se situe aux alentours de 50 à 55 dB, ce qui est nettement en deçà du seuil de perception humaine pour cette fréquence, qui est d'environ 85 dB⁵.

5.1.1 Niveaux mesurés des infrasons

Des études ont rapporté des niveaux mesurés d'infrasons pour des éoliennes. Selon une étude suédoise, le niveau sonore émis, dénommé « niveau sonore apparent »^B (mesuré selon CEI TS 61400-11⁶) varierait entre 122 dB(G) et 128 dB(G) pour les fréquences de moins de 20 Hz². Dans une autre étude, les infrasons émis ont fluctué, selon les vitesses du vent et la puissance des éoliennes (660 kW et 1,5 MW), entre 119,9 et 125,4 dB(G)⁷.

^A Dans la documentation scientifique, la ligne de démarcation entre infrasons et sons de basses fréquences peut varier. Selon les écrits, la limite supérieure des basses fréquences peut se terminer à 100 ou à 200 Hz^{1,2}.

^B Mesure du niveau sonore sur une planche qui peut réfléchir le son, placée au sol, en dessous de l'éolienne, à une distance égale à sa hauteur. Le niveau est converti au son mesuré à un point imaginaire placé au centre du rotor, se propageant dans le même sens que la mesure a été faite. Le « niveau sonore apparent » ne constitue pas la vraie puissance sonore, mais plutôt celle établie selon la méthode.

Toutefois, les niveaux relevés à une distance de 150 mètres du rotor seraient de l'ordre de 69 dB(G) à 75 dB(G), soit des niveaux inférieurs aux seuils normaux d'audition^{2A}.

5.1.2 Échelle de mesure des infrasons

Différentes échelles de mesure des infrasons peuvent être utilisées, mais plusieurs se montrent limitées dans le cas des éoliennes. Ainsi, Salt et Kaltenbach estiment que des mesures de bruit pondérées A ne peuvent pas servir à déterminer si des personnes sont affectées par le bruit des infrasons⁹. Pour leur part, les décibels pondérés C permettent d'établir le contenu en infrasons indépendant des hautes fréquences, mais ils sont surtout utiles pour le contenu en basses fréquences. Quant aux décibels pondérés G, ils permettent de situer les infrasons qui peuvent être entendus^B et aussi ceux qui peuvent stimuler certaines cellules de l'oreille comme les cellules ciliées externes (voir la section sur la physiologie de l'oreille et la plausibilité des effets). En fait, il est difficile de mesurer adéquatement les infrasons (peu importe la pondération utilisée) parce que les turbulences de l'atmosphère vont interagir avec la membrane du microphone et contaminer la mesure du niveau réel des infrasons¹⁰.

5.2 INFRASONS : PRÉOCCUPATIONS POUR LA SANTÉ

Dans la littérature scientifique, l'analyse des effets sur la santé possiblement liés aux infrasons repose d'une part, sur « l'inaudibilité » des infrasons et d'autre part, sur la physiologie de l'oreille et sa capacité à déceler des infrasons.

5.2.1 « Inaudibilité » des infrasons

Deux revues de littérature montrent qu'on ne peut établir de lien entre les infrasons non entendus et quelque effet néfaste que ce soit^{5,11}. À ce sujet, certains diront qu'ils sont ressentis par le corps sans être perçus par l'oreille^C. Or, des études portant sur des sons de fréquences très basses (jusqu'à 8 Hz) ont été menées auprès de gens sourds et d'autres dont l'audition était normale¹³. Les résultats de ces études ont révélé que l'oreille est le récepteur le plus sensible du corps. Aucune perception n'a été ressentie dans les deux groupes avant d'avoir préalablement été entendue par le groupe dont l'audition était normale. Cette observation a été confirmée par les chercheurs Nakamura et Inukaien en 1998¹⁴. En effet, ils ont soumis dix-sept sujets à des sons purs dont la fréquence variait entre 3 et 40 Hz et ont analysé quatre facteurs subjectifs soit : la sensation de pression sur le tympan, la vibration à travers le thorax, la perception auditive et une sensation générale de vibration. L'analyse de leurs résultats a révélé que la perception auditive était le facteur

^A En 2005, Jakobsen⁸ avait déjà rapporté certaines données provenant d'études ayant mesuré les infrasons émis par des éoliennes de puissances diverses (entre 50 kW et 4,2 MW) et à des distances variées. Les niveaux mesurés étaient d'environ 70 dB(G) ou moins à une distance de 100 mètres. Ces résultats, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, étaient inférieurs à la limite fixée par le Danemark, soit 85 dB(G). Les niveaux mesurés près des éoliennes, en configuration sous le vent, étaient plus élevés de 10 à 30 dB(G). Il concluait alors que les infrasons produits se situaient bien en deçà des critères actuels ainsi qu'en-dessous des limites de perception. Selon Jakobsen⁸, ces faibles niveaux n'étaient pas importants à considérer dans les effets environnementaux des éoliennes.

^B Variations entre 85 et 95 dB(G) selon les auteurs.

^C À propos de l'inaudibilité, les recherches de Salt et Huller (2010)¹², parlent de vibrations ressenties dans l'oreille sans pour autant qu'elles soient entendues.

limitant, c'est-à-dire que l'oreille est le récepteur le plus sensible. Antérieurement, Landstrom¹⁵ avait appuyé cette hypothèse en faisant lui aussi des études avec des sujets sourds et d'autres dont l'audition était normale. Il avait alors conclu que la sensation vibrotactile était perçue à des intensités sonores similaires dans les deux groupes, celles-ci étant supérieures à celles de l'audition de 17 à 34 dB.

Il faut aussi noter que Santé Canada estime, sur la base d'une étude de Leventhall et d'une autre réalisée pour le gouvernement de Grande-Bretagne, que les infrasons sont bien en dessous du seuil d'audibilité¹⁶.

5.2.2 Réponse physiologique de l'oreille aux infrasons (et basses fréquences) et plausibilité des effets

Récemment, diverses hypothèses ont été avancées pour expliquer la plausibilité d'effets associés aux infrasons et aux basses fréquences. Si l'oreille apparaît le récepteur de sons le plus sensible, d'autres parties de l'oreille sont aussi sollicitées. Des chercheurs indiquent que la réception par les osselets présents dans l'oreille s'avère une voie potentielle de perception des infrasons et des basses fréquences¹². S'il est vrai que l'audition n'est pas très sensible aux basses fréquences, ces chercheurs s'interrogent sur la prémisse voulant que ce que l'on ne peut entendre ne peut nous affecter; une telle conception reposant sur le fait que la sensibilité de l'audition correspond à la sensibilité de l'oreille.

Ceux-ci ont donc considéré tout le fonctionnement de l'oreille. Ainsi, les infrasons auraient davantage d'effets sur les structures de l'oreille que le son généré dans l'oreille. Or, vraisemblablement, l'oreille est sensible aux infrasons en raison de l'organe de Corti qui contient deux types de cellules sensorielles : les cellules ciliées internes (CCI) et les cellules ciliées externes (CCE)^A. Les CCE sont stimulées à un niveau plus bas que les CCI. Les infrasons rejoignent donc le cerveau par des voies qui n'impliquent pas vraiment l'audition consciente et influent sur le système vestibulaire (ses cellules ciliées) réputé sensible aux basses fréquences. Les éoliennes émettraient à des fréquences et des niveaux qui sont trop bas pour être entendus, mais qui sont néanmoins suffisants pour stimuler les CCE, aux environs de 60 dB(G)⁹. De plus, en comparaison avec des sons forts, Salt et Kaltenbach considèrent qu'il n'y a aucune preuve que les infrasons de faibles niveaux puissent causer des dommages directs à l'oreille⁹.

L'hypothèse proposée par Salt et Kaltenbach en 2011⁹ suggère que l'absence de stimulation en hautes fréquences (causée par la présence d'une surdité associée au vieillissement ou encore lorsque l'environnement lui-même est dépourvu de hautes fréquences comme dans une chambre anéchoïque) lève l'effet de masque sur les cellules ciliées situées sur la membrane basilaire dans l'oreille interne, ce qui permettrait d'accroître la détection des infrasons.

Le mécanisme en cause dans l'oreille serait donc potentiellement différent de celui associé au bruit « traditionnel ». La stimulation des CCE pourrait expliquer que les basses fréquences au niveau généré par les éoliennes affectent à divers degrés les populations

^A Cellules responsables de la préamplification et d'un filtrage actif de la vibration.

avoisinentes. Toutefois, la démonstration n'est pas faite et des études s'avèrent nécessaires pour vérifier ces effets⁹.

5.2.3 Infrasons et risques pour la santé : état de la littérature scientifique

Les risques des infrasons sur la santé ont été analysés. Une étude indique que les camionneurs vivent dans un environnement infrasonore de 115 dB quotidiennement et que celui-ci ne semble pas préjudiciable pour leur santé¹⁷. La NASA de son côté signale l'absence d'effet significatif à des niveaux inférieurs à 125 dB(L)¹⁸. Une autre étude a estimé la possibilité que des plaintes surviennent à partir de mesures des infrasons (et aussi des basses fréquences)⁷. Leur estimation a été basée sur les courbes de référence relatives aux seuils d'audition établis par la norme ISO 389-7 et sur des valeurs de référence japonaises pour les vibrations (*rattling*) des portes ou de fenêtres et pour les effets psychologiques établis pour des sources sonores fixes. Selon ces chercheurs, les infrasons produits pour les fréquences se situant entre 5 et 8 Hz pourraient occasionner des plaintes dues aux vibrations de certains équipements de la maison quand la fréquence des infrasons coïncide avec les fréquences de résonance de certains équipements de la maison⁷. Par contre, une étude antérieure a estimé que les niveaux sonores des infrasons (≈ 70 dB(G) à 100 m) produits par des éoliennes de puissance étalée entre 50 kW et 4,2 MW restaient trop faibles pour expliquer les plaintes rapportées dans les études consultées, et ce, à des distances allant jusqu'à 2 km⁸.

Selon Leroux et Gagné, « l'ensemble des données consultées suggère que les infrasons (< 20 Hz) générés par les éoliennes ne seraient pas perçus par un auditeur jeune ayant une audition normale, ni être à l'origine d'une sensation de désagrément ou de gêne »¹⁹. Quelques années plus tard, cette conclusion semble toujours valide¹⁰.

Selon les connaissances scientifiques actuelles, les infrasons émis par les éoliennes représentent une quantité négligeable, sans effet nocif pour la santé puisque leur intensité est inférieure au seuil d'audition, même à une distance rapprochée^{5,8,20}. Les éoliennes émettent certes des infrasons, mais la publication de nouvelles études, tant sur la mesure des infrasons que sur l'énoncé de nouvelles hypothèses quant à des effets plausibles, restent non appuyées par des preuves.

5.3 SONS DE BASSES FRÉQUENCES : DESCRIPTION DE LA SITUATION

Les sons de basses fréquences ont une tonalité très grave. Leur fréquence varie de 20 à 200 Hz²¹. L'oreille humaine les perçoit quotidiennement. Ils proviennent notamment des génératrices, de la circulation automobile, des industries de l'acier, des trains, des discothèques, des thermopompes, des climatiseurs et des éoliennes. Certains sons naturels présentent aussi de telles caractéristiques (tonnerre, vent, vibrations lors de faibles mouvements du sol, etc.)²².

5.3.1 Modulation d'amplitude et sons de basses fréquences

Il est important de comprendre la différence entre la variation de l'intensité du son de large spectre des éoliennes produite lorsqu'une pale passe devant le mât (à une fréquence de 0,4 à 1,35 fois par seconde) et un son de basses fréquences. En effet, le premier phénomène est une variation de l'amplitude de l'onde sonore se produisant de 0,4 à 1,35 fois par seconde, tandis que le deuxième est une onde sonore dont la fréquence d'oscillation est très lente^{19,20}. Il importe aussi de spécifier qu'un son dont l'intensité est modulée, comme parfois celui des éoliennes, peut être perçu par l'oreille humaine comme un son de basses fréquences, sans toutefois en être un²³.

5.3.2 Intensité et importance des basses fréquences dans le bruit émis

Pour que les sons de basses fréquences soient entendus, leur intensité doit être supérieure à celle des sons plus aigus par exemple, d'environ 40 dB à une fréquence de 60 Hz et de 20 dB à une fréquence de 140 Hz par rapport à 4 dB à une fréquence de 1 000 Hz. Une étude a montré que les sons des éoliennes dont la fréquence est plus grande que 30 Hz pouvaient être entendus⁷. De plus, il faut noter une particularité importante des sons de basses fréquences : ils voyagent mieux que ceux de hautes fréquences et sur des distances plus grandes puisque leur intensité est moins atténuée par les obstacles physiques (naturels ou bâtis), par la friction avec les molécules constituant l'air et par les conditions atmosphériques.

Il a été observé que les modèles plus anciens d'éoliennes produisaient des sons de basses fréquences principalement à partir des composantes mécaniques. Les innovations technologiques telles que l'isolation de la nacelle des éoliennes, l'amélioration des composantes mécaniques et l'installation face au vent ont réduit les bruits mécaniques de moitié⁸. La production mécanique de sons de basses fréquences par les éoliennes modernes est ainsi devenue négligeable^{24,25,26}. Pour leur part, les basses fréquences d'origine aérodynamique sont régulièrement entendues et leur audibilité variera selon les conditions de vent, les vents au sol et leur effet de masquage ainsi que la distance entre l'éolienne et le point de réception²⁷.

Selon les connaissances actuelles, le niveau des sons de fréquences moyennes généré par les éoliennes est plus élevé que celui des sons de basses fréquences. Les éoliennes émettent surtout des sons de fréquences se situant entre 500 et 2 000 Hz, appelés bruits de bord de fuite^{19,20,26,27}. Dans son rapport sur les éoliennes, l'Afsset souligne que les problèmes liés à des sons de basses fréquences se manifestent surtout pour les éoliennes en configuration sous le vent (*downwind*) et qu'« il n'existerait pas de forte intensité en basses fréquences au-delà de quelques centaines de mètres quel que soit le type d'éolienne »²⁴. D'ailleurs, Michaud et ses collaborateurs soulignent que les éoliennes modernes ne sont pas normalement associées à des niveaux audibles de sons de basses fréquences²⁹.

Toutefois, selon une étude récente qui comparait des éoliennes de puissance électrique égale ou inférieure à 2 MW à d'autres d'une puissance supérieure à 2 MW, à partir du niveau sonore apparent (LWA), l'augmentation de la taille des éoliennes accentue la part des basses fréquences en occasionnant en contrepartie une réduction des hautes fréquences².

Ces mêmes chercheurs ont noté que, lorsque le bruit des éoliennes est mesuré en 1/3 de bandes d'octave^A et en dB(A), les plus hauts niveaux sonores seraient observés à des fréquences inférieures à 250 Hz². De plus, sous certaines conditions, telle l'inversion de température, la propagation des basses fréquences avec des conditions sous le vent (*downwind*) serait cylindrique à une certaine distance et non pas sphérique, comme il est normalement attendu. Une propagation cylindrique du bruit ferait en sorte que l'atténuation ne serait que de 3 dB à chaque doublement de la distance et non pas de 6 dB. Ce type de propagation pourrait expliquer des cas de grondements (*rumbling*) d'éoliennes entendus à plusieurs kilomètres. Cependant, une meilleure connaissance des conditions atmosphériques ainsi que de l'apparition de ce phénomène est nécessaire².

Avec des éoliennes de plus grande taille, ce qui est prévisible, les chercheurs Møller et Pedersen s'attendent à une augmentation des basses fréquences émises². Le passage des pales devant la tour, sous différentes vitesses de vent ou différentes densités de l'air, crée des sons de fréquences plus élevées, mais crée aussi des infrasons et des basses fréquences². Lors de conditions de vents turbulents, ces ondes sonores de basses fréquences sont générées au contact des pales²⁰. Dans ces cas, l'intensité sonore demeure modérée. Ainsi, par une journée venteuse, les sons de fréquences inférieures à 40 Hz d'une éolienne de 1,5 MW ne seraient pas perceptibles à une distance de 65 mètres. Toujours sous grands vents, une étude récente a rapporté la mesure d'une pointe de bruit de basses fréquences située à 40-42 Hz, dans le cas d'une éolienne de 1 MW³⁰. Au point de mesure situé à 530 m, il s'agissait d'un grondement clairement entendu avec des écouteurs durant l'analyse, généré vraisemblablement par des pales non équilibrées et par leur interaction avec la structure, le tout marqué par une modulation d'amplitude de 1,2 Hz au passage des pales³⁰. Pour les sons de fréquences supérieures à 40 Hz et à cette même distance, l'intensité sonore se situe à environ 15 dB au-delà du seuil auditif²⁰. Selon Leventhall, il est plausible que cette intensité sonore diminuera de 15 dB à une distance normale de séparation, ce qui amènerait à des niveaux aux alentours du seuil de détection de l'oreille humaine²⁰.

Donc, les éoliennes émettent surtout des sons de fréquences moyennes, mais l'augmentation de leur taille semble diminuer la proportion de hautes fréquences émises alors que le contenu en basses fréquences augmente.

5.4 SONS DE BASSES FRÉQUENCES : PRÉOCCUPATIONS POUR LA SANTÉ

En plus des études déjà présentées en 2009, cinq recensions de la documentation scientifique, non spécifiques aux éoliennes, ont été considérées quant aux effets sur la santé potentiellement liés à l'exposition aux basses fréquences. Trois d'entre elles proviennent de publications révisées par des comités de pairs³¹⁻³³. Les deux autres sont issues de la

^A Voir la notion de « spectre » dans l'aide-mémoire.

littérature grise^{34,35A}. Quelques autres sources complémentaires ont aussi été utilisées lorsqu'un effet n'a pas été rapporté dans une de ces cinq revues de littérature. Quelques études originales recensées abordent aussi la question des basses fréquences et des infrasons en lien avec les éoliennes.

Des réactions physiologiques et divers effets ont été évoqués ou suggérés dans la littérature : nuisance plus grande comparée à d'autres types de bruit pour des niveaux sonores similaires ou lorsque combinées à des vibrations (p. ex., proximité de voies ferrées), phénomène du « Hum », effets sur le sommeil entraînant des problèmes d'insomnie à proximité d'éoliennes³⁶ et de concentration; perception de bruit fort (*loudness judgements*), maladie vibroacoustique (*vibroacoustic disease*), réduction possible de l'intelligibilité de la parole — sauf pour les fréquences de la parole en raison d'un effet de masquage; effets physiologiques et sur la performance; plaintes; résonance ou vibration du thorax³, augmentation du cortisol (bruit routier)^{37,38}, effets physiologiques chez le fœtus³⁹; douleur auditive (*aural pain*), déplacement temporaire des seuils d'audition, sensation de pression dans les oreilles (sur tympan) et d'oreilles pleines, effets visuels, effets vestibulaires, effets respiratoires, cardiovasculaires et physiologiques autres, perturbation du sommeil et interférence dans la tâche (distraction, p. ex., conduite d'un appareil)³⁵; possibilité de plaintes pour des effets psychologiques formulées par des adultes selon une estimation basée sur des sons émis à des fréquences supérieures à 30 Hz et des valeurs de référence japonaises⁷.

Comme les niveaux sonores des infrasons ne pouvaient expliquer les plaintes déposées à propos des éoliennes, Jakobsen (2005)⁸ a évalué les niveaux sonores des basses fréquences selon des décibels pondérés A. Celui-ci a alors estimé que les niveaux sonores pour les fréquences de 10 à 160 Hz, selon la législation danoise dépassaient, dans tous les cas, sauf un, la limite de 20 dB(A) recommandée pendant la soirée et la nuit. Même si les niveaux sonores extérieurs (47 à 61 dB(A)) étaient suffisamment élevés pour expliquer les plaintes, il a été dans l'impossibilité de dire si les plaintes étaient causées par le bruit ambiant habituel ou encore par les basses fréquences. Saine *et al.* (2006), pour leur part, ont également avancé que la nuisance et les plaintes associées à des bruits avec une composante spectrale entre 20 et 63 Hz pourraient être perçus par les personnes plus sensibles au bruit¹.

D'après Leventhall²⁰, le niveau de nuisance pour les sons de basses fréquences commence de 5 à 10 dB au-delà du seuil de perception auditive tandis que Saine et ses collaborateurs¹ recommandent pour leur part que le seuil d'exposition aux basses fréquences soit établi au même niveau que ce seuil de perception. Par ailleurs, d'autres chercheurs, devant l'augmentation prévisible des basses fréquences en raison de la taille grandissante de ces

^A Revue des écrits scientifiques anglophones, effectuée pour la NASA, sur les bruits de basses fréquences et infrasons associés aux rotors. Elle a aussi retenu des études sur la nuisance pour les passagers, les équipages et les riverains lors des opérations au sol. Malgré qu'elle paraisse assez élaborée, ses auteurs estiment que l'information recueillie dans cette revue des écrits n'est pas suffisamment étendue, complète ou fiable pour soutenir une analyse quantitative de la prépondérance de la preuve d'une méta-analyse. D'ailleurs, ils ont constaté la qualité inégale des diverses études, manquant dans certains cas, d'informations sur la méthodologie³⁵ (p. 122).

équipements de production électrique^A, recommandent que la norme actuelle du Danemark (44 dB(A))^B soit revue à la baisse (35 dB(A)) afin de diminuer le risque de nuisance par les basses fréquences à l'intérieur des résidences².

Pour sa part, l'OMS recommande une vigilance accrue par rapport aux sons de basses fréquences pour protéger la qualité du sommeil et le bien-être. Cet organisme précise que les intensités sonores maximales acceptables doivent être abaissées en présence d'un bruit dont la composante en basses fréquences est importante. L'OMS recommande aussi qu'une analyse fréquentielle du bruit soit effectuée lorsque la différence entre la mesure en dB(A) et en dB(C) est plus élevée que 10 dB⁴⁰. Le MDDEP suggère, quant à lui, l'application d'un terme correctif de 5 dB dans une situation où cette différence est de 20 dB et qu'il a été démontré que, dans cette situation particulière, le bruit de basses fréquences cause la nuisance accrue à l'intérieur d'un bâtiment résidentiel ou l'équivalent⁴¹. Le niveau sonore intérieur des basses fréquences est tributaire de la distance entre la résidence et l'éolienne, de l'insonorisation, de l'emplacement de la pièce par rapport à la source et de la nature de la composition du sol^{2,42}.

Bien que selon Kamperman et James⁴³, le seul fait que des plaintes de citoyens soient attribuées aux sons de basses fréquences indique que ces sons peuvent être à l'origine d'une nuisance^C, les études scientifiques concernant les sons de basses fréquences émis par les éoliennes sont limitées et ne sont pas dirigées directement sur la possibilité qu'ils engendrent une nuisance, ni sur la corrélation entre leur niveau et une nuisance. Elles ne permettent donc pas d'affirmer ou d'infirmer que le niveau des sons de basses fréquences produits par les éoliennes est associé à une nuisance. Par contre, un récent rapport produit pour le ministère ontarien de l'Environnement sur les infrasons et les basses fréquences et rendu public en décembre 2010²⁷, retenait que les basses fréquences contenues dans un son extérieur peuvent être accentuées par une pièce et ses caractéristiques structurelles. Selon l'auteur du rapport, certaines personnes peuvent être vulnérables à la nuisance provenant de sons à fortes composantes en basses fréquences et que ce type de bruit à l'intérieur demeurerait difficile à mesurer^D.

A fortiori, les vents turbulents nécessaires à la production de ces sons sont souvent accompagnés de vents forts et le bruit généré par ces derniers dépasse et pourrait recouvrir le bruit des éoliennes lui-même^{28,44-46}. Suivant les informations présentées plus haut, à des distances normales de séparation, le niveau des sons de basses fréquences produit par les éoliennes se situerait aux alentours du seuil de perception. Ces mêmes sons n'ont pas un caractère pulsatile de sorte qu'ils sont perçus comme étant moins dérangeants^{1,19}. À l'instar des infrasons, rien ne permet de conclure à un effet quelconque sur la santé lorsque leur intensité se situe en dessous du seuil de détection humaine⁵.

^A Les niveaux sonores pondérés A augmenteront aussi proportionnellement² (p. 3473).

^B Pour une vitesse de vent de 8 m/s. Par vent faible, soit 6 m/s, cette norme est de 42 dB(A). À titre comparatif, Santé Canada¹⁶ rapporte que, si les niveaux sonores sont maintenus constamment sous les 45 dB(A) au point de réception, les critères établis par la norme ANSI S12.2-1995 pour les vibrations (*rattle*) dans une pièce ne seront pas dépassés pour la bande d'octave de 63 Hz.

^C Voir la section précédente sur le bruit pour une définition de la nuisance et l'analyse des effets suspectés.

^D L'auteur a recommandé au ministère ontarien de considérer l'adoption ou le développement d'un protocole pour gérer les plaintes de cette nature²⁷.

5.4.1 État de la littérature scientifique sur les sons de basses fréquences

À l'heure actuelle, malgré l'intérêt manifesté pour la problématique des basses fréquences dans les congrès en acoustique, il reste qu'il y a peu d'études publiées et révisées par les pairs sur cette question précise. On constate aussi que les études effectuées n'utilisent pas toutes la même échelle de pondération pour cette bande spectrale. Il n'y a pas non plus de consensus en ce qui a trait aux limites acceptables au regard d'une exposition prolongée⁴⁷. Enfin, de nouvelles hypothèses sont émises quant à des effets néfastes attribuables à ces sons notamment la possibilité de développer des affections vibroacoustiques dues à des expositions à des environnements riches en basses fréquences tels que des trains de banlieue ou des discothèques⁴⁸. Les hypothèses d'effets additionnels attribués à ces ondes demeurent jusqu'à maintenant sans démonstration scientifique établie et ne proviennent que d'une seule équipe de recherche.

5.4.2 Vibrations possibles transmises dans le sol

Des problèmes de vibrations ont déjà été documentés pour les résidences à proximité des voies de chemin de fer ferroviaire^{49,50} ou de chantiers de construction^{50,51}. Des vibrations des tours des éoliennes seraient possiblement transmises par le sol, et cet effet a été étudié. Cependant, une seule étude, réalisée en Italie avec l'aide d'appareils sismographiques, a été recensée. Cette étude avait comme objectif de discriminer les vibrations associées à un parc éolien, puis de déterminer comment celles-ci sont propagées et atténuées dans les formations géologiques superficielles. Cette étude, tout comme d'autres études identifiées par les auteurs, indique que des ondes de très basses fréquences sont susceptibles de se propager dans les substrats géologiques, et ce, sur des distances relativement élevées⁴². Dans le contexte géologique où l'étude a été réalisée, l'onde la plus énergétique émise par le parc éolien (une onde de 1,7 Hz associée à des conditions atmosphériques particulières — vent soutenu et de forte vitesse, c.-à-d. de 8 à 14 m/s) a pu être détectée à 11 km de sa source. Pour cette fréquence particulière, les ondes suivaient un patron de propagation complexe, caractérisée par une atténuation marquée à une distance de 2,5 à 3 km de leur source. Il n'y a toutefois aucune indication quant à un lien éventuel avec des problèmes de santé puisque cela n'était pas l'objet de l'étude. En regard de certaines similitudes associées au contexte géologique décrit dans cette étude et celui retrouvé au sud de la province (notamment dans les basses terres du Saint-Laurent), il est plausible que de tels phénomènes de propagation d'ondes de très basses fréquences puissent être observés à proximité des parcs éoliens du Québec. Des études plus approfondies devront être effectuées pour mettre en lumière de tels processus dont les effets demeurent intimement liés au type d'éoliennes déployées ainsi qu'aux caractéristiques spécifiques du substrat géologique en présence.

5.5 EN RÉSUMÉ

Selon les connaissances scientifiques actuelles :

Pour les infrasons :

- Bien que les éoliennes émettent des infrasons et que de nouvelles études proposent des voies de transmission permettant à l'oreille de les détecter, il demeure qu'aucune preuve ne supporte formellement que des effets sur la santé soient occasionnés par des infrasons.

Pour les basses fréquences :

- Les sons de basses fréquences peuvent être masqués par le bruit du vent lorsqu'il y a de la turbulence;
- l'intensité des sons de basses fréquences produits par les éoliennes modernes est modérée et peut se situer autour du seuil de détection selon la distance de séparation;
- rien ne permet de conclure à un effet quelconque des sons de basses fréquences sur la santé physique lorsque leur intensité est inférieure au seuil de la perception humaine;
- il n'est pas possible de conclure que les sons de basses fréquences produits par les éoliennes constituent une nuisance pour les populations avoisinantes. Il est néanmoins important de considérer que des plaintes peuvent leur être attribuées, nécessitant alors une analyse.

Vibrations transmises dans le sol

Aucune étude n'a analysé les vibrations transmises par les éoliennes dans le sol en lien avec la santé, quoique des problèmes de vibrations aient déjà été documentés pour les résidences à proximité des voies de chemin de fer ferroviaire ou de chantiers de construction.

RÉFÉRENCES

1. Saine K, Pääkkonen R, Lahti T et M Aura (2006). Low frequency noise - A need for guidelines? Inter-Noise 2006 The 35th International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, décembre, Hawaii, USA, 6 p.
2. Møller H et CS Pedersen (2011). Low-frequency noise from large wind turbines. *J Acoust Soc Am*; 129(6): 3727-44.
3. Leventhall G (2007). What is infrasound? *Progress in Biophysics and Molecular Biology*; 93(1-3): 130-7.
4. Janhunen HK (1984). Infrasound at working places in Finland: Combined Effects of occupational exposures. *Proceedings of the Fourth Finnish-Soviet Joint Symposium*. Institute of Occupational Health, Helsinki, Finlande, p. 134-139.
5. Bellhouse G (2004). Low frequency noise and infrasound from wind turbines generators: A litterature review. *Bel Acoustic Consulting, Nouvelle-Zélande*, 45 p.
6. Commission électrotechnique internationale - CEI (2006). CEI 61400-11 Aérogénérateurs — Partie 11 : Techniques de mesure du bruit acoustique. Édition 2.1, Genève, novembre 2006, 46 p.
7. Jung SS et W Cheung (2008). Experimental identification of acoustic emission characteristics of large wind turbines wth emphasis on infrasound and low-frequency noise. *Journal of the Korean Physical Society*; 53: 1897-1905.
8. Jakobsen J (2005). Infrasound emission from wind turbines. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*; 24(3): 145-55.
9. Salt AN et JA Kaltenbach (2011). Infrasound From Wind Turbines Could Affect Humans. *Bulletin of Science Technology & Society*; 31(4): 296-302.
10. van den Berg F (2011). Chapter 6: Effects of Sound on People dans : Bowdler D, Leventhall G (eds.). *Wind Turbine Noise*. Multi-Science Publishing, Brentwood (UK), p. 129-151.
11. Moller H (1984). Physiological and psychological effects of infrasound on humans. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*; 3(1): 1-16.
12. Salt AN et TE Hullar (2010). Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. *Hearing Research*; 268(1-2): 12-21.
13. Yamada S, Ikuji M, Fujikata S, Watanabe T 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: 32-6.
14. Nakamura N et Y Inukai (1998). Proposal of models which indicate unpleasantness of low frequency noise using exploratory factor analysis and structural covariance analysis. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*; 17(3): 127-34.

15. Landstrom U (1987). Laboratory and field study on infrasound and its effects on humans. *Journal of Low Frequency Noise and Vibration*; 6(1): 29-33.
16. Keith SE, Michaud DS et SHP 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): 253-65.
17. Kawano A, Yamaguchi H et S Funasaka (1991). Effects of infrasound on humans: A questionnaire survey of 145 drivers of long distance transport trucks. *Practical Otology*; 84(9) : 1315-24.
18. Kryter KD (1985). *The effects of noise on man*. Second Edition, Florida : Academic Press Inc., 688 pages.
19. Leroux T et J-P Gagné (2007). Évaluation des impacts sur la santé des populations vivant à proximité des parcs éoliens. École d'orthophonie et d'audiologie, Université de Montréal, 53 p.
20. Leventhall G (2005). How the “mythology” of infrasound and low frequency noise related to wind turbines might have developed. First International meeting on wind turbine noise: Perspectives of control, Berlin, octobre 2005, 15 p.
21. Leventhall G (2004). Low frequency noise an annoyance. *Noise & Health*; 6(2) : 59-72.
22. DEFRA (2001). *Low Frequency Noise. Technical Research Support for DEFRA Noise Program*. Department of the Environment (Northern Ireland), Scottish Executive, National Assembly for Wales, London, 11 p., disponible à l'adresse : <http://www.scotland.gov.uk/Resource/Doc/158512/0042973.pdf> (consulté le 17 janvier 2012).
23. Chernigovskaya TV (1977). Dependence of the perception of low-frequency amplitude modulation on age and training in man, *Neuroscience and Behavioral Physiology*; 8(4) : 341-3.
24. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail - Afsset (2008). *Impacts sanitaires du bruit généré par les éoliennes - État des lieux de la filière éolienne et propositions pour la mise en œuvre de la procédure d'implantation*. Avis de l'Afsset et rapport du groupe d'experts, France, 116 p.
25. van den Berg FGP (2006). Wind induced noise in a screened microphone. *Journal of the Acoustical Society of America*; 119(2) : 824-33.
26. van den Berg FGP (2004). Do wind turbines produce significant low frequency sound levels? 11th International meeting on low frequency noise and vibration and its control, Pays-Bas, 8 p.

27. Howe B (2010). Low frequency noise and infrasound associated with wind turbine generator systems. A literature review. (Rapport réalisée pour : Ministère de l'Environnement de l'Ontario RFP No. OSS-078696). Howe Gastmeier Chapnik Limited, Mississauga, 10 décembre 2010, 51 p., disponible à l'adresse : http://www.ene.gov.on.ca/stdprodconsume/groups/lr/@ene/@resources/documents/resource/stdprod_092086.pdf (consulté le 23 janvier 2012).
28. Howe Gastmeier Chapnik Limited (2006). Les éoliennes et l'infrason. Rapport préparé pour l'Association canadienne de l'énergie éolienne, Ontario, Canada, 17 p.
29. Michaud D, Keith SE et SHP Bly (2007). A proposal for evaluating the potential health effects of wind turbine noise for projects under the Canadian Environmental Assessment Act, 2^e Conférence internationale sur le bruit des éoliennes, France, 14 p.
30. Di Napoli C (2011). Wind turbine noise assessment in a small and quiet community in Finland. *Noise Control Eng J*; 59(1): 30-7.
31. Berglund B, Hassmén P et RF Job (1996). Sources and effects of low-frequency noise. *J Acoust Soc Am*; 99(5): 2985-3002.
32. Schust M (2004). Effects of low frequency noise up to 100 Hz. *Noise & Health*; 6: 73-85.
33. Leventhall G (2009). Review: Low Frequency Noise. What we know, what we do not know, and what we would like to know. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*; 28(2): 79-104.
34. Roberts M et J Roberts (2009). Evaluation of the Scientific Literature on the Health Effects Associated with Wind Turbines and Low Frequency Sound (prepared for Wisconsin Public Service Commission). Exponent, Wood Dale (IL), October 2009, 58 p.
35. Fidell S, Horonjeff RD et FH Schmitz (2010). Research Plans for Improving Understanding of Effects of Very Low-Frequency Noise of Heavy Lift Rotorcraft. Hampton (VA) and Woodland Hills (CA), NASA Langley Research Center and Fidell Associates Inc., February 2010, 178 p., disponible à l'adresse : http://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20100012137_2010011576.pdf (consulté le 21 octobre 2011).
36. Wayne PK (2004). Effects of low frequency noise on sleep. *Noise & Health*; 6(23): 87-91.
37. Ising H, Lange-Asschenfeldt H, Moriske HJ, Born J et M Eilts M (2004). Low frequency noise and stress: bronchitis and cortisol in children exposed chronically to traffic noise and exhaust fumes. *Noise & Health*; 6(23): 21-8.
38. Ising H et B Kruppa (2004). Health effects caused by noise: evidence in the literature from the past 25 years. *Noise & Health*; 6(22): 5-13.
39. Graven SN (2000). Sound and the developing infant in the NICU: conclusions and recommendations for care. *J Perinatol*; 20 (8 Pt 2): S88-93.
40. Berglund B, Lindvall T et DH Schwela (1999). Guidelines for Community Noise. Organisation mondiale de la Santé (OMS), Geneva, 159 p.

41. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec - MDDEP(2006). Note d'instructions 98-01 sur le bruit des sources fixes, 9 juin, gouvernement du Québec, 23 p.
42. Saccorotti G, Piccinini D, Cauchie L et I Fiori (2011). Seismic noise by wind farms: a case study from the Virgo gravitational wave observatory, Italy. *Bulletin of the Seismological Society of America*; 101(2): 568-78.
43. Kamperman GW et RR James (2008). The "How to" guide to criteria for siting wind turbines to prevent health risks from sound. 35 p.
44. Djokvucic I, Hatfield J et RFS Job (2004). Experimental examination of the effect of attitude to the noise source on reaction, and of reaction on performance. *Proceedings of Internoise 2004, International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, Prague, République tchèque, 22-25 août 2004, communication 325.*
45. Bolin K (2009). *Wind Turbine Noise and Natural Sounds Masking, Propagation and Modeling (Doctoral Thesis)*. Royal Institute of Technology, Stockholm, 35 p.
46. Bolin K, Nilsson ME et S Khan (2010). The Potential of Natural Sounds to Mask Wind Turbine Noise. *Acta Acoustica united with Acustica*; 96 : 131-7.
47. Chatillon J (2006). *Limites d'exposition aux infrasons et aux ultrasons. Étude bibliographique*, Institut national de recherche et de sécurité - Hygiène et sécurité au travail, France, 11 p.
48. Branco NAAC et M Alves-Pereira (2004). *Vibroacoustic disease*, *Noise & Health*; 6(23): 3-20.
49. Peris E, Woodcock J, Sica G, Moorhouse A et D Waddington (2011). Community reaction to railway vibration at different times of the Day dans : Griefahn B (ed.). *10th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2011. Proceedings of the Institute of Acoustics Volume 33 Pt.3, London (UK), 24-28 July 2011, p. 822-29.*
50. Woodcock J, Peris E, Sica G, Koziel Z, Moorhouse AT, Waddington DC (2011). Human response to vibration in residential environments: Establishing exposure-response relationships dans : Griefahn B (ed.). *10th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2011. Proceedings of the Institute of Acoustics Vol. 33 Pt. 3, London (UK), 24-28 July 2011, p. 719-26.*
51. Sica G, Woodcock J, Peris E, Koziel Z, Moorhouse A et D Waddington (2011). Estimation of vibration exposure in residential environments dans: Griefahn B (ed.). *10th International Congress on Noise as a Public Health Problem (ICBEN) 2011. Proceedings of the Institute of Acoustics Volume 33 Pt.3, London (UK), 24-28 July 2011, p. 790-97.*

6 L'EFFET STROBOSCOPIQUE ET LES OMBRES MOUVANTES

L'effet produit par la rotation des pales des éoliennes est souvent évoqué quant à ses impacts potentiels sur la santé. Ainsi, lorsque le ciel est dégagé et que le soleil est bas sur l'horizon, l'ombre des pales en mouvement (ombres mouvantes ou *shadow flickers*) peut devenir dérangeante pour certains individus, créant ce que l'on appelle l'effet stroboscopique¹.

6.1 PRÉOCCUPATIONS POUR LA SANTÉ

État des connaissances quant au déclenchement de crises d'épilepsie liées à l'effet stroboscopique

Cette mise à jour de la littérature n'a pas permis de documenter de cas probant de crises photoconvulsives associées aux éoliennes. Le potentiel de déclenchement de crises photoconvulsives (crises d'épilepsie) par la rotation des pales des éoliennes a fait l'objet de deux publications scientifiques ayant fait l'usage de modélisations^{A,3}. L'étude de Smedley et ses collaborateurs (2010) suggère, dans le pire scénario^B, qu'il puisse y avoir un risque de crises photoconvulsives lorsque l'observateur se situe à une distance correspondant à 1,2 fois la taille de l'éolienne, mais pas au-delà de cette distance.

L'effet photoconvulsif étudié dans ces publications est comparé à la stimulation lumineuse utilisée en médecine pour vérifier si un patient souffre d'épilepsie. Ce cas diffère cependant sur plusieurs plans. D'abord, la source lumineuse est beaucoup plus rapprochée qu'une éolienne à l'horizon, à contrejour. Il faudrait donc que les yeux d'un individu soient exceptionnellement fixés sur l'horizon et pendant suffisamment de temps pour capter ces changements de luminosité et les transmettre aux centres du cerveau pour finalement provoquer une crise convulsive ou des ondes épileptogéniques⁴. La réunion de ces facteurs semble très peu probable. En second lieu, notons aussi que le taux de clignotement des signaux lumineux utilisés en médecine pour déclencher une crise photoconvulsive est beaucoup plus élevé que ce qui est produit par éolienne^C. Il est ici question de 150 à 2 400 clignotements par minute par rapport à 30 à 60 clignotements par minute pour une éolienne à trois pales¹. Selon Clark, le taux de scintillement produit par les pales en mouvement se situe à 1 Hz (60 fois par minute)^D tandis que les effets physiologiques et psychologiques se produisent à des fréquences de 2,5 Hz et plus^{5,6}. Cette information ne nous permet toutefois pas de nier la nuisance qui peut être occasionnée.

^A Seule l'étude de Smedley et ses collaborateurs (2010) a été jugée de qualité méthodologique suffisante pour en aborder les résultats.

^B Modélisations pour le pire scénario : ciel sans nuages, les turbines sont directement en face de l'observateur, l'observateur regarde directement en face de lui.

^C La vitesse de projection des images en électrophysiologie est plutôt comparable à celle d'un téléviseur. Ainsi, regarder la télévision pourrait déclencher des crises photoconvulsives.

^D La fréquence de rotation des pales serait plus élevée pour les éoliennes de petite taille, souvent situées sur les toits. La fréquence augmente de façon inversement proportionnelle à la longueur des pales (Smedley *et al.*, 2010).

Les ombres mouvantes des éoliennes sur les résidences peuvent constituer une nuisance

Le phénomène des ombres mouvantes surviendrait dans des conditions particulières, sous certaines combinaisons de position géographique, lorsque le soleil passe à l'horizon derrière les pales des éoliennes et donc, en fonction de l'heure du jour et du moment de l'année. Certains auteurs évoquent la possibilité géométrique d'ombres d'éoliennes se projetant à des distances de 4,5 kilomètres au-delà de leur source⁷. Ils atténuent cependant leurs propos en spécifiant que les conditions optiques de l'atmosphère ne permettraient que des ombres maximales réelles de deux kilomètres.

La nuisance due à la projection d'ombres mouvantes sur les résidences avoisinant les éoliennes n'a pas été documentée par des études originales selon une revue de littérature récente sur les éoliennes⁸, mais quelques auteurs évoquent des situations susceptibles de provoquer une nuisance. Selon Clark, ce phénomène pourrait se produire seulement à l'intérieur des résidences alors que le scintillement apparaît à travers une mince ouverture de la fenêtre⁵. D'autres auteurs mentionnent, pour leur part, que la nuisance serait possible aussi à l'extérieur sur l'ensemble de la propriété, et qu'elle deviendrait évidente au moment d'activités de loisirs ou relatives au travail^{1,9}.

Critère suggéré pour limiter l'exposition aux ombres mouvantes

Il ne semble pas y avoir à l'heure actuelle de consensus ni de lignes directrices pour spécifier quelle serait l'exposition maximale acceptable à ce phénomène¹⁰. Néanmoins, différents critères dont la distance sont utilisés, mais ne semblent pas fondés sur des recherches scientifiques. Différents outils de modélisation semblent exister pour aider à prévoir là où cet effet surviendra⁷.

À titre d'exemple, au Royaume-Uni, une règle a été établie à l'effet que la distance minimale entre les éoliennes et les habitations doit être équivalente environ à dix fois le diamètre du rotor¹¹. À cette distance, les ombres mouvantes ne devraient pas créer de problèmes⁵. Cette règle serait basée sur l'expérience de l'industrie et notamment sur les éléments suivants^{5,12,13} :

- il est rare dans l'année que le soleil soit suffisamment bas à l'horizon pour provoquer une ombre très longue;
- lorsque le soleil est bas, celui-ci a plus de chances d'être obstrué par les nuages, les bâtisses et la végétation;
- à grande distance, le centre de l'ombre du rotor passe plus rapidement sur le terrain affecté, réduisant du même coup la durée de l'effet;
- à grande distance, les pales ne recouvrent que partiellement le soleil de sorte que l'effet est beaucoup moindre puisque seule une petite partie de la lumière du soleil va être interceptée.

En Allemagne, un jugement de la cour dans un cas particulier a établi une limite de projection d'ombres à un maximum de 30 heures par année. Dans ce cas, la limite d'exposition tient compte des périodes où les résidents se trouvent véritablement à l'intérieur

de leur domicile. Par la suite, cette règle arbitraire a été retenue comme norme dans ce pays¹⁰, mais sans vérification scientifique.

Enfin, en Suède, une étude réalisée auprès de riverains en arrive aux conclusions suivantes⁹ :

- l'impact attribuable à l'effet stroboscopique est davantage relié à la période du jour et de l'année qu'au nombre total annuel d'heures de projection d'ombres;
- les ombres dérangerait plus en soirée, d'avril à septembre, ce qui correspond à des périodes où les gens se trouvent le plus souvent, à l'extérieur de leur domicile;
- il existe une association modérément significative entre les minutes de projection par jour sur la face exposée des résidences et la nuisance;
- il y a une relation inverse entre la distance séparatrice et la nuisance, qualifiée de modérée à forte.

6.2 EN RÉSUMÉ

Selon les connaissances scientifiques actuelles :

- aucun cas de crises photoconvulsives relié aux éoliennes n'a été documenté;
- les ombres mouvantes pourraient constituer une nuisance dans certaines conditions. Toutefois, des connaissances restent à acquérir sur ce point, ainsi qu'au niveau des seuils d'exposition et des critères à appliquer les limiter;
- des modélisations permettent de prévoir ce phénomène;
- pour l'instant, les normes de distance utilisées dans certains pays ne sont pas fondées sur des données probantes ou des études scientifiques.

RÉFÉRENCES^A

1. Ministère des Affaires municipales et des Régions du Québec (2008). Développement durable de l'énergie éolienne, Projection d'ombre ou effet stroboscopique. Fiche d'information, gouvernement du Québec, 2 p., disponible à l'adresse : http://www.mamr.gouv.qc.ca/amenagement/amen_amen_eoli.asp (consulté le 23 novembre 2008).
2. Smedley ARD, Webb AR et AJ Wilkins (2010). Potential of wind turbines to elicit seizures under various meteorological conditions. *Epilepsia*; 51: 1146-51.
3. Harding G, Harding P et A Wilkins (2008). Wind turbine, flicker, and photosensitive epilepsy: characterizing the flashing that may precipitate seizures and optimizing guidelines to prevent them. *Epilepsia*; 49(6): 1095-8.
4. Chouard CH (2005). Le retentissement du fonctionnement des éoliennes sur la santé de l'homme. Académie nationale de médecine, France, 17 p.
5. Clark AD (1991). A case of shadow flicker/flashing assessment and solution. Techno Policy Group, Open University, Walton Hall, Milton Keynes.
6. Bolton RH (2007). Evaluation of Environmental Shadow Flicker Analysis for "Dutch Hill Wind Power Project", 18 p., Disponible à l'adresse : <http://wind-watch.org/doc/?p=458> (consulté le 25 avril 2012).
7. Botha P (2005). Meridian Energy, Project West Wind Shadow flicker assessment report, Nouvelle-Zélande. Disponible à l'adresse : <http://www.meridianenergy.co.nz>. (consulté en octobre 2008).
8. Knopper LD et C Ollson (2011). Health effects and wind turbines: A review of the literature. *Environmental Health*; 10: 78. Disponible à l'adresse : <http://www.ehjournal.net/content/pdf/1476-069X-10-78.pdf> (consulté le 25 avril 2012).
9. Widing A *et al.* (2004). Wind Power Environmental Impact of Wind Power Station Siting, Université de Gotland, Suède.
10. Lewis Wind Power (2004) Environmental statement, Lewis wind farm proposal, volume 3, Écosse, disponible à l'adresse : <http://www.lewiswind.com/application/environment> (consulté en octobre 2008) [n'est plus disponible].
11. Gouvernement de l'Écosse (2012). Onshore wind turbines, Renewable energy, specific advice sheet, disponible à l'adresse : <http://www.scotland.gov.uk/Topics/Built-Environment/planning/publications/pans> (consulté le 1^{er} février 2012).
12. Gouvernement de l'Écosse (2005). Planning advice note (PAN) 45 (revisited 2002): Renewable Energy Technologies, publiée le 27 juillet 2005. Cette note était disponible à l'adresse : <http://www.scotland.gov.uk/Publications/2002/02/pan45/pan-45> (consulté en octobre 2008) [n'est plus disponible].

^A Veuillez prendre note que certaines des références citées ont été déplacées ou ne sont plus disponibles en ligne.

13. Ove Arup and Partners (2004). Planning for a renewable energy: a companion guide to PPS22, bureau du Premier ministre, Royaume-Uni, 186 p.

7 SÉCURITÉ AU TRAVAIL ET SÉCURITÉ PUBLIQUE EN LIEN AVEC LES ÉOLIENNES

La construction, l'exploitation et le démantèlement d'un parc éolien peuvent éveiller certaines inquiétudes concernant la sécurité des personnes y travaillant ou se trouvant dans le voisinage.

Tout comme les autres travaux industriels, la phase de construction du parc est aussi susceptible d'incommoder les populations d'accueil durant la phase. Par exemple, l'installation d'éoliennes entraîne la circulation de véhicules lourds, l'opération d'engins de chantier et des activités de déboisement¹. À l'instar d'autres situations, le bruit, la poussière, l'utilisation et la détérioration des routes et des sentiers récréatifs peuvent avoir un impact négatif de courte durée sur le bien-être et sur la sécurité de la population.

Ce texte présente les informations rassemblées sur la sécurité des travailleurs et de la population avoisinante durant l'installation et l'exploitation d'un parc éolien.

7.1 SÉCURITÉ AU TRAVAIL

Une synthèse préliminaire des accidents impliquant des travailleurs survenus dans le secteur éolien au niveau mondial a été réalisée par une équipe de l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité au travail (IRSST)^A. Des données ont été extraites d'un recensement réalisé par l'association Caithness Windfarm Information Forum (CWIF) entre janvier 2000 et avril 2011. Les données rapportées dans le tableau 14 ne concernent que les accidents ayant impliqué des travailleurs au cours des différentes phases du cycle de vie d'un parc éolien. La majeure partie des accidents ayant occasionné des décès et des dommages humains survenaient lors de la construction et de l'entretien du parc éolien. Ainsi, sur un total de 35 accidents ayant occasionnés des décès, 14 étaient liés à la phase de construction du parc éolien et 13 à son entretien. En ce qui concerne, les dommages humains ou blessures, sur les 75 accidents répertoriés, 15 ont eu lieu lors de la construction du parc et 51 lors de son entretien. Trente-deux autres accidents impliquant des travailleurs avec des dommages humains mineurs ont également été identifiés par ce recensement (données non présentées).

^A Un rapport complet rédigé par des chercheurs de l'IRSST fait état de cette synthèse. Ce dernier traite des risques à la santé et à la sécurité associés aux tâches des travailleurs du secteur éolien et est actuellement en processus de validation externe.

Tableau 14 Travailleurs décédés ou blessés entre 2000-2011 dans le secteur éolien (tous pays)

	Nombre d'accidents	Nombre de travailleurs
Décès	35	37
Exploration	3	4
Construction du parc	14	15
Transport de pièces	1	1
Entretien du parc	13	13
Ne sais pas	4	4
Dommages humains	75	100
Exploration	2	3
Construction du parc	15	18
Transport de pièces	1	1
Exploitation du parc	2	3
Entretien du parc	51	70
Ne sais pas	4	5

Source : IRSST, 2011 (données non publiées).

Selon une analyse à l'échelle européenne, les risques d'accident en lien avec les éoliennes sont principalement liés aux phases de construction ou de démantèlement, à l'entretien d'un parc éolien et plus précisément au transport des composantes par des véhicules lourds, à la circulation de la machinerie de chantier, à l'assemblage de la structure et à la présence d'équipements sous haute tension. La majeure partie de ces décès et de ces blessures graves impliquait des travailleurs². Au Québec, un accident de travail mortel est survenu à Gaspé sur un quai lors de la manutention d'éléments de structure des éoliennes destinés au transport.

L'American Wind Energy Association (AWEA), en collaboration avec l'Occupational Safety and Health Association (OSHA), travaillerait actuellement à la préparation de normes de sécurité pour les travailleurs du secteur éolien^A.

7.2 SÉCURITÉ PUBLIQUE

Les risques potentiels pour le public ont aussi été examinés. Tout comme les autres projets industriels, le risque zéro est impossible pour les parcs éoliens. Sur une base anecdotique, la recension de différents incidents² permet de relever quelques cas isolés de décès, mais qui ne sont pas en lien avec un élément spécifique des éoliennes^{4,2}. De même, des imprévus peuvent être notés au fil du temps (projections d'objets, incendies, survitesse, décharges électriques et effondrement de l'éolienne). Même s'ils peuvent entraîner des risques pour la sécurité du public, il est essentiel de noter que l'occurrence de tels événements est faible,

^A Consulter à cet effet le site : <http://ehstoday.com/standards/osha/osha-alliance-wind-energy-association-0809/> (consulté le 16 avril 2012).

voire rarissime pour l'effondrement^{1,2,5}, et qu'aucun blessé n'a été signalé¹. Les informations disponibles ne permettent pas de déterminer l'ampleur de ces événements ou leur probabilité¹. Il semble difficile de suspecter des risques de sécurité publique significatifs et spécifiques à ce type d'industrie énergétique.

Cela étant dit, il est important de préciser que les éoliennes sont munies de différents mécanismes de protection. À l'aide de capteurs, un système automatique d'arrêt d'urgence se déclenche lors d'un bris de pale, de surcharge liée aux dépôts de glace, de vibrations, de surchauffe ou d'un vent trop fort^{7,8}. De plus, les éoliennes sont pourvues de paratonnerres et les pales équipées de systèmes d'évacuation des décharges électriques⁵. Quant à la survitesse, elle n'est possible que dans le cas d'une défectuosité des systèmes de détection, des circuits électriques ou électroniques, d'un défaut mécanique ou d'une absence d'énergie y compris de l'énergie de secours². Diverses stratégies combinant des méthodes thermiques et d'enrobage par diverses substances permettent de limiter l'adhésion de la glace sous forme de verglas ou de givre sur les pales⁶.

Puisque les éoliennes sont soumises à des flexions et forces variées et répétées, les matériaux utilisés et leur structure sont étudiés et testés notamment pour des conditions météorologiques extrêmes, pour la résistance à la fatigue et pour le comportement dynamique de la structure. Contrairement aux éoliennes des années 1980, les pales sont aujourd'hui fabriquées avec des matériaux composites qui ont l'avantage d'être légers et extrêmement résistants⁵. D'ailleurs, l'Association canadienne de normalisation a récemment élaboré des normes^A en matière de conception et de protection contre la foudre. Ces normes sont basées sur les celles de la Commission électrotechnique internationale avec des exigences propres au Canada. L'Association a également publié un guide gratuit présentant des renseignements généraux sur les codes et les normes ayant trait à l'approbation, à la conception, à l'installation, à l'exploitation et à l'entretien des éoliennes utilisées au Canada⁹.

Les éoliennes ne paraissent pas représenter un risque significatif quant à la sécurité publique. Cependant, comme pour les autres activités industrielles, des mesures de prudence sont proposées dans les politiques publiques pour assurer la sécurité de la population avoisinante¹¹. Tout comme ailleurs dans le monde^B, les distances séparatrices semblent une avenue privilégiée pour les normes fixées au Québec en matière de sécurité des éoliennes. Le ministère des Affaires municipales, des Régions et de l'Occupation du territoire (MAMROT)¹⁰ demande une distance d'éloignement au moins égale à la hauteur totale de l'éolienne pour les lieux d'achalandage importants, tels que les belvédères ou les bâtiments non utilisés à des fins résidentielles. La même distance est requise par le ministère des Transports du Québec par rapport aux autoroutes, aux routes nationales, régionales et collectrices et aux voies ferrées¹⁰. Une distance précise dans le cas des

^A CAN/CSA-C61400-1, *Éoliennes — Partie 1 : Exigences de conception*; CAN/CSA-C61400-2, *Aérogénérateurs — Partie 2 : Exigences en matière de conception des petits aérogénérateurs*; CAN/CSA-C61400-24, *Aérogénérateurs — Partie 24 : Protection contre la foudre*.

^B Par exemple, Guillet et Leteurtois, ingénieurs du Conseil général des Mines français, suggèrent des distances d'éloignement qui devront être déterminées en fonction de la sensibilité des installations concernées et qu'« aucun équipement (à l'exception des routes, des voies de promenade, des espaces verts et des locaux d'entreposage) ne devrait se trouver sous l'emprise d'une machine ». Selon eux, les distances d'éloignement pourraient être de 150 à 200 mètres pour des milieux sensibles tels que les établissements fréquentés par le public (écoles, hôpitaux...) et de 100 mètres pour les installations occupées à titre permanent (habitations)².

bâtiments résidentiels n'a pas été spécifiée dans ces documents, mais semble s'arrimer aux distances permettant d'atténuer les nuisances sonores^{1,10}.

7.3 EN RÉSUMÉ

Au cours de la phase de construction, des nuisances pour la population environnante peuvent survenir, notamment en lien avec l'accroissement du transport. Par ailleurs, selon les connaissances actuelles, il n'y a pas de risque majeur pour la sécurité au travail ou la sécurité publique spécifiquement relié aux éoliennes. Cependant, comme pour toute autre installation industrielle, les points suivants sont notés :

- la construction ou le démantèlement de même que l'entretien peuvent entraîner des situations imprévues mettant en cause la sécurité des personnes;
- dans le cas des parcs éoliens, les blessures ou les décès sont peu fréquents et touchent généralement des travailleurs durant la phase de construction et l'entretien;
- les éoliennes sont munies de plusieurs systèmes permettant de réduire le risque de mauvais fonctionnement;
- les politiques publiques proposent des mesures de prudence, qui mettent l'accent sur les distances séparatrices.

RÉFÉRENCES

1. Gendron S et I Thériault (2007). La filière éolienne au Bas-Saint-Laurent : un outil d'aide à la prise de décision dans le contexte municipal. Conseil régional de l'environnement du Bas-Saint-Laurent, Rimouski, Canada, 99 p.
2. Guillet R et J-P Leteurtrois (2004). Rapport sur la sécurité des installations éoliennes. Ministère de l'Économie, des Finances et de l'Industrie, France, 37 p.
3. Radio-Canada (2008). Accident de travail mortel. Bulletin d'information. Site Internet accessible à l'adresse : <http://www.radio-canada.ca/regions/est-quebec/2008/05/16/009-accident-travail-gaspe.asp?ref=rss> (consulté le 5 août 2008).
4. Gipe P (2004). A summary of fatal accidents in wind energy. Site Internet accessible à l'adresse : <http://www.windworks.org/articles/ASummaryofFatalAccidentsinWindEnergy.html> (consulté le 1^{er} août 2008). Ce site n'est plus accessible.
5. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) (2002). Éoliennes et sécurité. Fiche d'information, France, 4 p. Disponible à l'adresse : <http://archive.suivi-eolien.com/francais/DocsPDF/Fsecurite.pdf> (consulté le 6 août 2008) [n'est plus disponible].
6. Kraj AG et EL Bibeau (2010). Phases of icing on wind turbine blades characterized by ice accumulation. *Renewable Energy*; 35: 966-72.
7. Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) (2003). Guides pratiques - Les éoliennes, sécurité. France. Site Internet accessible à l'adresse : <http://www.ademe.fr/particuliers/fiches/eolienne/rub6.htm> (consulté le 1^{er} août 2008).
8. Danish wind industry association (2003). Les dispositifs de sécurité de l'éolienne. Site Internet accessible à l'adresse : <http://www.windpower.org/fr/tour/wtrb/safety.htm> (consulté le 1^{er} août 2008) [n'est plus disponible].
9. Association canadienne de normalisation (2008). Normes sur les éoliennes. Site Internet accessible à l'adresse : <http://www.csa.ca/standards/energy/default.asp?load=downloadform&language=French> (consulté le 6 août 2008).
10. Ministère des Affaires municipales et des Régions du Québec (2007). Développement durable de l'énergie éolienne - Considérations en matière de sécurité publique, gouvernement du Québec, 2 p. Disponible à l'adresse : http://www.mamr.gouv.qc.ca/amenagement/amen_amen_eoli.asp (consulté le 6 août 2008).
11. Abalain J-P, Chazal J-Y et B Schumpp (2007). La sécurité publique des centrales éoliennes industrielles - Constat de carence. Société pour la Protection des Paysages et de l'Esthétique de la France, Vents des Volcans et EVENT, 30 p.

8 LES CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES

Les champs électromagnétiques sont présents naturellement dans l'environnement et sont aussi produits par l'activité humaine. Ils existent partout notamment où il y a de l'électricité transmise ou utilisée. Selon les renseignements obtenus, les éoliennes engendreraient des champs électromagnétiques de très faible amplitude. Cependant, les fils transportant cette électricité doivent être considérés au même titre que les fils électriques du réseau de transport et de distribution d'Hydro-Québec. Ces derniers produisent des champs électriques et des champs magnétiques et, en raison des incertitudes quant aux effets à la santé liés à leurs expositions, sont susceptibles d'inquiéter la population.

8.1 CHAMPS ÉLECTRIQUES : DESCRIPTION DE LA SITUATION

Un champ électrique est l'expression des forces qui résultent de l'action à distance de particules électriquement chargées sur une autre particule. Il a un sens et une grandeur, et est lié à la tension (ou voltage). Créé par la présence de charges électriques, il se mesure en volts par mètre (V/m). Il est notamment produit par le fil d'un appareil électrique domestique branché, même si cet appareil n'est pas en marche. L'intensité du champ électrique est diminuée par la présence d'obstacles, comme des clôtures, des arbres ou des bâtiments et diminue rapidement avec la distance¹.

Les valeurs des champs électriques produits par les éoliennes ne sont pas disponibles. Néanmoins, selon les renseignements obtenus, les éoliennes elles-mêmes ne généreraient pas de champ électrique significatif puisque les câbles sous tension sont disposés à l'intérieur du pylône métallique². Par ailleurs, les fils de raccordement et de transport de ces installations électriques en forment davantage en raison de leur voltage modéré à élevé. À cet effet, les projets d'intégration de la production éolienne au réseau de transport d'Hydro-Québec font état de lignes se situant en 120 kV et 345 kV³.

8.2 CHAMPS ÉLECTRIQUES : PRÉOCCUPATIONS POUR LA SANTÉ

Ni Santé Canada, ni la Loi sur la qualité de l'environnement québécoise n'émettent de recommandations relatives à l'exposition maximale pour les champs électriques de 60 Hz^{4,5}. Pour leur part, la Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI) et l'Institut des ingénieurs électriciens et électroniciens (IEEE) ont établi les recommandations suivantes pour l'exposition maximale aux champs électriques^{6,7}:

Tableau 15 Recommandations de limites d'exposition aiguë pour les champs électriques pour un courant alternatif à 60 Hertz

	CIPRNI (kV/m)	IEEE (kV/m)
Travailleurs	8,3	20 ^{a,b}
Public	4,2	5 ^c

^a dans un environnement contrôlé.

^b des décharges douloureuses sont possibles entre 5 et 10 kV/m sans l'usage de mesures de protection.

^c maximum permis de 10 kV/m sous les lignes à haute tension.

Source : CIPRNI, 2010; IEEE, 2002.

Ces valeurs, auxquelles des facteurs de sécurité ont été appliqués (facteur de près de 10 pour l'exposition du public), visent à éviter l'apparition d'effets de stimulation du système nerveux central résultant de l'induction de champ électrique interne⁶. Quant au cancer, à la reproduction, au comportement et à la santé en général, les données épidémiologiques de même que les études animales ne confirment en aucun cas l'existence d'effets de ce type dus aux champs électriques¹.

Les projets d'intégration de la production éolienne au réseau de transport d'Hydro-Québec font état de lignes de 120, 161, 230, 315 et 345 kV³. À titre comparatif, directement sous les fils conducteurs de lignes à 120, 230 et 315 kV, l'intensité maximale des champs électriques à 6 pieds du sol est respectivement de 2,5 kV/m, de 4,25 kV/m et de 5,5 kV/m⁸. Il y a donc possibilité de légers dépassements des recommandations de la CIPRNI pour des lignes à haute tension supérieure à 230 kV.

Du fait de l'application de facteurs de sécurité lors de l'établissement des recommandations d'exposition proposées par l'IEEE et le CPRNI, des effets aigus à la santé liés à cette exposition demeurent improbables. Ces recommandations constituent néanmoins des objectifs à atteindre.

8.3 CHAMPS MAGNÉTIQUES : DESCRIPTION DE LA SITUATION

En physique, un champ magnétique est la force engendrée par le passage d'électrons au voisinage d'un aimant ou d'un électro-aimant. Il a une grandeur et une direction. Le champ magnétique statique entourant la Terre est un des exemples naturels de ce phénomène. Il permet à l'aiguille d'une boussole de s'aligner dans la direction nord-sud¹.

En électricité, les champs magnétiques sont induits par le courant qui circule dans les fils. C'est le champ magnétique qui permet, par exemple, à un moteur électrique de tourner lorsqu'il y a passage de courant dans le fil auquel il est raccordé.

L'unité de mesure des champs magnétiques s'exprime généralement en microtesla (μT). Leur intensité diminue rapidement avec la distance. Contrairement au champ électrique, le champ magnétique n'est pas atténué par la présence d'obstacles et il traverse assez facilement la matière^{1,9}. Au Québec, les champs magnétiques ambiants de 60 Hz des habitations sont généralement de l'ordre de 0,15 μT . Leur intensité varie d'une habitation à l'autre de façon appréciable, passant facilement de 0,05 à 0,5 μT ¹.

Comme pour les champs électriques, les valeurs des champs magnétiques produits par les éoliennes ne sont pas disponibles. Selon les renseignements obtenus, les éoliennes ne généreraient pas de champ magnétique significatif puisque les câbles portant chacune des phases sont situés à proximité les uns des autres. Dans une telle configuration, les champs magnétiques engendrés par chacun d'eux s'annulent partiellement². Cependant, les fils électriques des lignes de distribution et de transport reliées aux éoliennes en émettent comme toute autre ligne.

8.4 CHAMPS MAGNÉTIQUES : PRÉOCCUPATIONS POUR LA SANTÉ

Il n'y a pas de recommandations émanant de Santé Canada⁴ ou de la Loi sur la qualité de l'environnement du Québec⁵ quant aux expositions maximales aux champs magnétiques. Pour leur part, la CIPRNI⁶ de même que l'IEEE⁷ ont formulé des recommandations de limites d'exposition pour les travailleurs et la population selon les valeurs suivantes (en μT) dans le cas d'un courant alternatif à 60 Hz (tableau 2).

Tableau 16 Recommandations de limites d'exposition aiguë pour les champs magnétiques pour un courant alternatif à 60 Hertz

	CIPRNI (μT)	IEEE (μT)
Travailleurs	1000	2710 ^a
Public	200	904

^a Dans un environnement contrôlé.
Source : CIPRNI, 2010; IEEE, 2002^A.

La CIPRNI a révisé ses limites d'exposition aiguë à la hausse depuis sa publication de 1998, passant, pour un champ de 60 Hz, de 420 μT à 1000 μT pour les travailleurs et de 83 μT à 200 μT pour le public (ajout d'un facteur de sécurité de 5 pour la population générale). Les limites d'exposition aiguë des champs magnétiques sont désormais moins conservatrices, alors que pour les champs électriques, ces limites n'ont pas changé.

Selon Hydro-Québec, les travaux envisagés pour intégrer la production éolienne au réseau prévoient des lignes de transport d'au plus 345 kV. À titre comparatif, des champs magnétiques moyens de 2,2 μT en hiver et de 1,4 μT en été se forment en bordure des emprises de lignes de transport à 315 kV¹. Ces niveaux sont nettement inférieurs aux limites d'exposition recommandées par la CIPRNI et l'IEEE. La CIPRNI et l'INSPQ ont examiné les études réalisées sur les risques pour la santé liés aux champs magnétiques et proposent certaines conclusions dont^{10,11,12} :

- il n'y a pas de preuve scientifique concluant à l'existence d'un lien entre l'apparition de maladie et l'exposition aux champs magnétiques;
- une association demeure possible entre une exposition chronique de 0,3-0,4 μT et plus et l'apparition de leucémie chez l'enfant. Toutefois, ce risque, s'il s'avère réel, demeure faible. En émettant l'hypothèse d'un lien réel entre l'exposition au champ magnétique et la leucémie chez l'enfant, certaines estimations précisent qu'à l'échelle du Québec, environ de 5 à 6 cas par année pourraient résulter de l'exposition au champ magnétique toute source confondue. D'autre part, puisque peu de personnes sont exposées aux lignes électriques à haute tension, et encore moins celles qui desserviront uniquement des

^A Rationnelle supportant les modifications aux recommandations : alors qu'en 1998, les calculs étaient basés sur des modèles géométriques simples, les nouvelles lignes directrices ont utilisé des simulations par ordinateur basées sur des modèles anatomiquement détaillés du corps humain (traduction libre). Fact Sheet on the guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz-100 kHz). <http://www.icnirp.de/documents/FactSheetLF.pdf>, consultée le 30 janvier 2012.

éoliennes, le nombre de cas reliés à celles-ci serait nettement inférieur à cette estimation¹⁰;

- les données actuelles quant aux autres risques à la santé liés à l'exposition chronique à des champs magnétiques d'intensité faible, modérée ou élevée sont non concluantes ou équivoques et ne permettent pas de conclure à l'existence de tels risques;
- une récente méta-analyse¹³ de même qu'un rapport d'expertise de l'Afsset¹⁴ sont en accord avec les conclusions précitées.

Santé Canada¹⁵ exprime une position claire quant aux champs électromagnétiques à savoir que les études scientifiques demeurent contradictoires et non concluantes à l'égard des risques à la santé qu'ils présentent : « Il n'est pas nécessaire de chercher à se protéger de l'exposition quotidienne aux champs électriques et magnétiques de fréquences extrêmement basses. Il n'y a aucune preuve concluante de dommages causés par des expositions à des niveaux trouvés dans les maisons et les écoles du Canada, y compris celles situées en bordure des corridors des lignes électriques ».

Pour sa part, le Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC), en se basant sur les résultats d'études épidémiologiques de la leucémie chez l'enfant, classe les champs magnétiques dans la catégorie 2B, c'est-à-dire « cancérigène possible pour l'humain »¹⁶.

Comme mentionné plus haut, certaines recherches épidémiologiques suggèrent l'existence d'une association entre une exposition chronique à des intensités de champ magnétique très inférieures aux valeurs recommandées et un effet cancérigène potentiel.

En contrepartie, toutes les études animales réalisées à ce jour impliquant des expositions prolongées allant jusqu'à 5 000 μ T ont montré l'absence d'effet sanitaire. De plus, aucun mécanisme de cancérogénicité lié à l'exposition aux champs électrique et magnétique n'a pu être démontré^{1,17}.

Pour sa part, l'OMS établit des recommandations sur la base de la faiblesse de l'évidence d'un lien entre les champs magnétiques de très basses fréquences et la leucémie chez l'enfant. Elle considère ainsi que les bienfaits pour la santé de la réduction de l'exposition sont incertains de sorte que le coût de mesures de mitigation devrait demeurer très bas.

Elle recommande ainsi¹⁷ :

- « que les instances décisionnelles établissent des limites d'exposition pour les travailleurs de l'électricité et le public en général. Que les meilleures recommandations à cet effet proviennent des institutions internationales;
- que toutes les sources de champ magnétique d'un milieu soient comptabilisées afin de prévenir des dépassements d'exposition;
- que pourvu que les bienfaits de l'électricité ne soient pas compromis, la mise en œuvre de très faibles coûts de mesures de précaution pour réduire les expositions est raisonnable et justifiée;

- que les autorités et les planificateurs incluent des mesures à très faible coût lors de la construction et le design de nouveaux outils ou de nouvelles infrastructures;
- que des changements aux pratiques d'ingénierie en vue de réduire les expositions soient considérés pourvu qu'ils apportent d'autres bénéfices ou n'impliquent peu ou pas de coût;
- que les changements aux sources déjà existantes de champ magnétique soient considérés en fonction de la sécurité, de la fiabilité et de considérations économiques;
- que les autorités locales renforcent les réglementations en vue de réduire les courants à la terre indésirables dans les nouvelles constructions ou lors des rénovations;
- que les autorités nationales développent une stratégie de communication efficace afin que toutes les parties prenantes puissent se faire une opinion éclairée;
- que les autorités locales améliorent la planification des nouveaux établissements incluant une meilleure consultation entre l'industrie, les gouvernements locaux et les citoyens;
- que les gouvernements et l'industrie fassent la promotion de programmes de recherche afin de réduire l'incertitude face à l'exposition aux champs électromagnétiques. »

En somme, pour ce qui est des champs magnétiques et de l'éolien, un faible risque de leucémie chez les enfants ne peut être exclu à la suite d'une exposition chronique au voisinage immédiat de l'emprise des lignes de transport d'électricité.

8.5 AUTRES CONSIDÉRATIONS SANITAIRES

8.5.1 Les champs électromagnétiques et les stimulateurs cardiaques

Dans le cas particulier des personnes portant des stimulateurs cardiaques, il y a un risque de mauvais fonctionnement de ces appareils lorsqu'ils sont soumis à des champs électriques ou magnétiques intenses. L'American conference of governmental industrial hygienists (ACGIH) recommande d'éviter les expositions aiguës supérieures à un 1 kV/m et 100 μ T¹⁸. La compagnie Medtronic quant à elle, garantit le bon fonctionnement de ses appareils jusqu'à 6 kV/m et 100 μ T¹⁹. Dans le cas des parcs éoliens, bien qu'il n'y ait pas de données disponibles, selon les renseignements obtenus, les intensités seraient nettement inférieures aux valeurs évoquées ci-dessus². Par contre, ces chiffres peuvent être atteints sous les fils électriques des lignes de transport. À titre préventif, Hydro-Québec recommande à ces personnes de ne pas visiter leurs installations⁹.

8.5.2 Tensions ou courants parasites

Dans certaines situations, la proximité d'infrastructures électriques peut provoquer des effets d'induction qui se traduisent par l'apparition de tensions ou courants parasites dans différentes structures métalliques comme les mangeoires, les abreuvoirs, les barrières métalliques et les bâtisses. Une tension parasite est une différence de potentiel entre deux points susceptibles d'être touchés en même temps par un être vivant et qui peut y occasionner une circulation de courant²⁰. Ce phénomène est connu et il pourrait entraîner une certaine morbidité chez les animaux de ferme : on a ainsi constaté que des animaux refusent de boire de façon temporaire lorsqu'ils sont exposés à ces courants²¹. En effet, un

courant suffisamment puissant (de 4 milliampères et plus) provoquerait chez eux des problèmes de comportement, de rendement et de santé^{20,22,23}.

Un sondage réalisé par le Township of Lincoln's Wind Turbine Moratorium Committee auprès de riverains d'un parc éolien en Illinois aux États-Unis mentionne que certains d'entre eux attribuent à ces courants des effets sur leur propre santé²¹. Néanmoins, bien que pouvant susciter l'objet de certaines inquiétudes sanitaires, aucun effet néfaste sur la santé des humains n'a été observé jusqu'à maintenant. De plus, en raison de leur morphologie, les humains sont de beaucoup moins sensibles que les bovins aux courants parasites²²⁻²⁴.

Selon le réseau de transport de l'électricité français, des mesures simples permettent de faire face au phénomène de tensions parasites, telles que la mise à la terre et la mise en place de conditions équipotentielles des constructions métalliques²⁶.

8.6 EN RÉSUMÉ

Selon les connaissances scientifiques actuelles ainsi que les informations disponibles :

- aucune étude sur les effets à la santé liés aux champs électromagnétiques produits spécifiquement par les éoliennes n'a été répertoriée;
- selon les valeurs disponibles, les niveaux de champs électriques et magnétiques des éoliennes ne sont pas suffisants pour entraîner des effets à la santé;
- malgré plus de 30 ans d'importantes recherches, des incertitudes demeurent quant au risque que présentent les lignes de transport qui peuvent engendrer des champs électromagnétiques significatifs pour les populations demeurant à proximité. Chez l'enfant, un risque supérieur à la normale de développer une leucémie pourrait exister à la suite d'une exposition prolongée aux champs magnétiques à proximité immédiate des lignes de transport d'électricité. Néanmoins, si ce risque s'avérait réel, il demeurerait faible;
- il y a possibilité de dépassements des recommandations de l'ACGIH quant à l'exposition au champ électrique pour les porteurs de stimulateur cardiaque;
- des tensions ou courants parasites peuvent être présents dans différentes structures métalliques et l'on sait que ce phénomène peut entraîner une certaine morbidité chez les animaux de ferme. Des mesures simples et reconnues permettent de contrôler ces situations. Aucun effet néfaste sur la santé des humains n'a été démontré jusqu'à maintenant.

RÉFÉRENCES

1. Hydro-Québec (2005). Les champs électriques et magnétiques et la santé. 30 p. Site Internet accessible à l'adresse : http://www.hydroquebec.info/developpementdurable/documentation/pdf/cem/pop_23_01.pdf (consulté le 23 novembre 2008).
2. Plante, Michel. Médecin-conseil, Direction santé et sécurité, Hydro-Québec (consulté en août 2008 et octobre 2008).
3. Hydro-Québec TransÉnergie (2007). Intégration de la production éolienne au réseau de transport. Information générale et bulletin numéro 2.
4. Santé Canada (2010). Champs électriques et magnétiques de fréquences extrêmement basses. Site Internet accessible à l'adresse : <http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/iyh-vsv/environ/magnet-fra.php> (consulté le 26 avril 2012).
5. Gouvernement du Québec, Loi sur la qualité de l'environnement, L.R.Q, chapitre Q-2, mise à jour le 1^{er} octobre 2011.
6. Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants (CIPRNI) (2010). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz) Health Physics; 99(6): 818-36.
7. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc. (2002). IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 0-3 kHz, IEEE Std C95.6 — 2002TM, New York, 50 p.
8. De Vizio M et PS Maruvada (1976). Analyse des mesures de champ électrostatique à trois pieds et à six pieds du sol dans les postes et sous les lignes de transport haute tension. Hydro-Québec, Montréal, pagination variée.
9. Hydro-Québec (2008). Comprendre - Champs électriques et magnétiques. Site Internet, <http://www.hydroquebec.com/comprendre/champs/index.html> (consulté en septembre 2008).
10. Levallois P, Lajoie P, Gauvin D, Carrier G, Daveluy A, Drouin L, Prévost C, Thériault G et C Tremblay (2000). Consensus sur l'évaluation et la gestion des risques associés à l'exposition aux champs électriques et magnétiques provenant des lignes électriques. Rapport du groupe de travail du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec, 38 p.
11. Ahlbom A, Cardis E, Green A, Linet M, Savitz D et A Swerdlow (2001). Review of the epidemiologic literature on electromagnetic field and health. Commission internationale pour la protection contre les rayonnements non ionisants, Environmental Health Perspectives; 109(suppl 6): 911-33.
12. Gauvin D, Ngamga Djeutcha E et P Levallois (2007). Exposition aux champs électromagnétiques : mise à jour des risques pour la santé et pertinence de la mise en œuvre du principe de précaution. Institut national de santé publique du Québec, Québec, 144 p.

13. Kheifets L, Ahlbom A, Crespi CM, Draper G, Hagihara J, Lowenthal RM *et al.* (2010). Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. *British Journal of Cancer*; 103: 1128-35.
14. Afsset (2010). Effets sanitaires des champs électromagnétiques extrêmement basses fréquences, Saisine n° « 2008/006 », rapport d'expertise collective, 170 p.
15. Champs électriques et magnétiques de fréquences extrêmement basses. Site internet accessible à l'adresse : <http://www.hc-sc.gc.ca/hl-vs/iyh-vsv/environ/magnet-fra.php#ex> (consulté le 21 décembre 2011).
16. Centre international de Recherche sur le Cancer et Organisation mondiale de la Santé (2002). Monographie sur l'évaluation des risques de carcinogenèse chez l'humain et les radiations non ionisantes, partie 1 : les champs électriques et magnétiques statiques de très basse fréquence, volume 80.
17. Organisation mondiale de la Santé (OMS) (2007). Champs électromagnétiques d'extrême basse fréquence. Monographie 238. Disponible à l'adresse : http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/index.html (consulté le 23 novembre 2008).
18. Collège américain des hygiénistes industriels (2003). Valeurs limites d'exposition à des substances chimiques et des agents physiques et indices d'exposition biologiques : champs magnétiques et fréquences de 30 kHz et moins. Cincinnati.
19. Medtronic (2009). Electromagnetic compatibility, electromagnetic interference. Standard letter, CRDM Technical services USA, (Rev. A.1, 3 feb. 2009), 2 p.
20. Hydro-Québec (2005). Les tensions parasites à la ferme. Guide pratique, 33 p. Disponible à l'adresse : http://www.hydroquebec.com/publications/fr/autres/pdf/tension_parasite.pdf (consulté le 23 novembre 2008).
21. Bittner-Mackin E (2003). Effects of wind farm, first-hand experiences of life near wind turbine developments. Extrait du rapport final du Township of Lincoln's Wind Turbine Moratorium Committee, Illinois, États-Unis, 9 p.
22. Ficks, R et T Surbrook (2006). A review of stray voltage research, effects on livestock, préparé par le Michigan Electric Council, East Lansing, Université de l'État du Michigan, 36 p., disponible à l'adresse : <http://efile.mpsc.cis.state.mi.us/efile/docs/13934/0050.pdf> (consulté en septembre 2008). Ce document n'est plus disponible.
23. USDA Agricultural Handbook (1991). Effects of Electrical Voltage/Current on Farm Animals: How to Detect and Remedy Problems, no 696.
24. Hultgren J (1990). Small electric currents affecting farms animals and man: a review with special reference to stray voltage. I. Electric properties of the body and the problem of stray voltage. *Veterinary Research Communications*; 14: 287-98.
25. Gestionnaire public du réseau de transport de l'électricité (2008). Site Internet accessible à l'adresse : <http://www.rte-france.com>, section environnement, onglet « champs électromagnétiques » (consulté en septembre 2008) [n'est plus disponible].

CONCLUSION

De l'examen de la littérature effectué, il ressort que la principale préoccupation pour la santé associée à l'implantation de parcs éoliens est la nuisance. Celle-ci se définit comme un « sentiment de déplaisir associé à un agent ou à une condition considéré comme affectant négativement un individu ou un groupe »¹.

L'inconfort, la gêne, le déplaisir et un sentiment d'impuissance sont susceptibles de survenir à différents niveaux lors de l'établissement et de l'exploitation d'un parc éolien. Ils sont reliés à l'intégration à l'environnement physique et social d'éléments nouveaux notamment, un son, des structures qui modifient le paysage, des ombres mouvantes, et pour certains, une perte de quiétude et l'impression de s'être fait imposer un nouveau développement sans y adhérer.

Le présent document a donc permis de rassembler l'information sur les préoccupations pour la santé. Ces constats, basés sur les connaissances scientifiques rassemblées, visent à favoriser une meilleure analyse des projets éoliens par les directions de santé publique.

Effets sociaux

Les études consultées montrent qu'une prise de décision éclairée devrait tenir compte de la complexité des éléments influençant l'acceptabilité sociale du dossier éolien. Ce dernier est tributaire de facteurs et de faisceaux de facteurs complexes, qui déterminent les enjeux propres à chaque projet. Même si les projets ne sont pas acceptés d'emblée, ou qu'ils soulèvent des controverses, ces tensions peuvent toutefois permettre le dialogue menant à l'établissement de contrats sociaux et à la recherche des solutions les plus adaptées.

Par ailleurs, l'implantation de projets éoliens semble aussi avoir des effets sur la justice et l'équité. Qu'ils soient perçus ou mesurés, ces effets entraînent à leur tour des impacts sociaux, par exemple sur les liens entre les personnes, sur la confiance envers les institutions ou sur l'implication communautaire. La participation des parties prenantes, soit les acteurs et les réseaux sociaux du milieu au développement d'un parc éolien, peut favoriser son acceptabilité sociale. Elle demeure aussi un élément clé pour contrer les risques sociaux associés à l'implantation de projets éoliens.

Nuisance sonore

L'intensité sonore des éoliennes est insuffisante pour influencer de façon négative l'audition des riverains. Dans certaines situations, les éoliennes peuvent être responsables d'une perturbation sonore d'un milieu généralement calme et choisi par plusieurs résidents pour cette qualité. De plus, dans certaines conditions, les éoliennes émettent un son caractéristique, notamment dû à la modulation de l'intensité, dont il est difficile pour certains de faire abstraction.

Le bruit des éoliennes pourrait déranger le sommeil des personnes vivant à proximité mais les données scientifiques restent encore à acquérir afin de tirer des conclusions d'ordre populationnel. À l'extérieur des maisons, l'exposition au bruit des éoliennes peut représenter

une nuisance. Ici aussi des connaissances scientifiques restent à acquérir, par exemple sur les niveaux qui causent ces nuisances et les critères à appliquer pour les réduire.

Enfin, en plus de varier selon le niveau sonore, le sentiment de nuisance entraînée par le bruit des éoliennes a été associé à d'autres facteurs, notamment leur visibilité et l'attitude des personnes face aux éoliennes.

La détermination d'une distance minimale ne devrait pas seulement tenir compte de l'impact du bruit et des conditions topographiques et météorologiques qui influencent sa propagation, mais aussi d'autres aspects comme l'impact sur le paysage, le contexte d'implantation (p. ex., un milieu rural, récréotouristique ou de villégiature), le bruit initial et les ombres créées par le mouvement des pales.

Infrasons et sons de basses fréquences

Les infrasons générés par les éoliennes ne semblent pas d'une intensité suffisante pour causer des problèmes de santé ni une nuisance.

Les sons de basses fréquences émis par les éoliennes pourraient être entendus dans certaines conditions et des plaintes y seraient attribuées. Toutefois, à des distances habituelles de séparation, acceptables pour les sons de fréquences plus élevées, les niveaux se situeraient aux alentours du seuil de perception. De plus, la modulation de l'intensité d'un bruit de fréquence moyenne pourrait être perçue par l'oreille humaine comme un son de basses fréquences, sans toutefois en être un. Considérant les connaissances scientifiques actuelles limitées et dans ces conditions, il n'est pas possible de conclure que les sons de basses fréquences produits par les éoliennes constituent une nuisance.

Ombres mouvantes ou effet stroboscopique

Les ombres mouvantes des aérogénérateurs peuvent provoquer un inconfort supplémentaire pour les riverains. Ce phénomène est surtout ressenti en été, le soir lorsque les résidents se retrouvent à l'extérieur de leur résidence et que le soleil est à l'horizon.

Sécurité et nuisances en phase de construction

Comme pour tout autre projet industriel, le risque zéro n'existe pas et des événements imprévus reliés aux éoliennes peuvent mettre en cause la sécurité des personnes. Toutefois, les blessures ou les décès sont très peu fréquents. Les quelques incidents recensés touchent surtout des travailleurs durant la phase de construction ou l'entretien. De plus, les éoliennes sont munies de plusieurs systèmes permettant de réduire le risque de mauvais fonctionnement, et des politiques publiques sont établies, notamment quant aux distances séparatrices.

Champs électromagnétiques

Étant donné leur faible densité de production et selon les renseignements obtenus, les champs électromagnétiques créés par les éoliennes ne présentent pas de risque pour la santé des riverains. Cependant, les incertitudes demeurent quant à la présence d'un risque légèrement supérieur à la normale de développer une leucémie chez l'enfant à la suite d'une exposition aux champs électromagnétiques à proximité immédiate des lignes de transport

d'électricité. Malgré plus de trente ans de recherche, on ne peut toutefois pas conclure sur ce risque. Néanmoins, s'il s'avérait réel, il demeurerait faible. Les études animales concluent de façon quasi unanime à l'absence d'effets néfastes liés aux champs électromagnétiques produits par les installations électriques et aucun mécanisme de cancérogénicité lié à l'exposition aux champs électrique et magnétique n'a pu être démontré. L'importance des incertitudes scientifiques au sujet des effets chez les enfants, amène à proposer l'application de mesures de prudence à ce sujet, pour autant que ces mesures demeurent raisonnables (mesures à très faible coût).

Pistes pour l'avancement des connaissances

Considérant que les connaissances scientifiques sont souvent limitées pour plusieurs aspects, il serait opportun de mettre sur pied une veille scientifique portant sur les principaux objets de préoccupation abordés dans ce document.

Plusieurs préoccupations devraient éventuellement être étayées par des connaissances supplémentaires. Tel est le cas notamment des éléments suivants :

- la méthode d'évaluation de l'impact sonore des éoliennes dans un milieu, les niveaux et les conditions occasionnant une nuisance ainsi que les critères permettant de la réduire;
- les incertitudes par rapport aux sons de basses fréquences produits par les éoliennes;
- la démonstration scientifique de la pertinence d'une distance de séparation spécifique pour une atténuation efficace de l'effet stroboscopique;
- les études sur la réduction des nuisances afin de mieux préserver la santé, le bien-être et la qualité de vie.

Étant donné le nombre grandissant de citoyens vivant à proximité d'éoliennes, il y aurait également lieu de documenter les plaintes et de décrire l'exposition des individus dérangés.

Finalement, dans une perspective de développement durable, il serait souhaitable de développer des outils et des méthodes pour soutenir la gestion des risques, et notamment pour mieux intégrer ses grands principes². Notamment, les approches permettant l'implication de la population dans tout le processus de planification et de mise en place d'un projet éolien devraient être étudiées. D'autres études devraient permettre d'améliorer la transparence de la communication, élément qui apparaît essentiel à l'acceptabilité sociale des projets et à la réduction des impacts sociaux.

RÉFÉRENCES

1. Lindvall, T et TP Radford (1973). Measurements of annoyance due to exposure to environmental factors. *Environmental research*; 6: 1-36.
2. Institut national de santé publique du Québec (2003). *Cadre de référence en gestion des risques pour la santé publique québécoise*. Québec : INSPQ. 78 p.
3. Multi réso (2008). *Les éoliennes : c'est bon et c'est beau!*, bulletin Enerview, multi réso et senergis, 6 pages.
4. Institut national de santé publique du Québec (2003). *Cadre de référence en gestion des risques pour la santé publique québécoise*. Québec : INSPQ. 78 p.

ANNEXE 1

ÉTUDES EXCLUES À LA SUITE DE L'APPRÉCIATION DE LA QUALITÉ

ÉTUDES EXCLUES À LA SUITE DE L'APPRÉCIATION DE LA QUALITÉ

La démarche de recension des écrits a mis au jour plusieurs articles concernant les différentes dimensions des éoliennes prises en compte en santé publique. La méthodologie de notre recension comprenait un volet d'appréciation de la qualité des documents, afin de s'assurer que les résultats agrégés étaient de nature scientifique acceptable et équivalente et pouvaient constituer des données probantes. Inspirée de l'approche de revue systématique (entre autres celle du National Institute for Health Excellence, en Angleterre), notre approche a élagué un certain nombre de documents jugés de qualité insatisfaisante ou non pertinents en regard des enjeux de santé. En voici ici la liste, classée selon les différentes thématiques abordées. Les références bibliographiques complètes suivent après les tableaux.

Tableau 17 Articles exclus à la suite de l'appréciation de la qualité par chapitre

	Auteurs	Raisons d'exclusion de l'article					
		Financement non-indépendant	Apparence de conflits d'intérêts d'un ou plusieurs auteurs	Objectifs imprécis	Méthode faible ou problèmes méthodologiques	Résultats non liés aux objectifs ou aux conclusions (validité interne)	Non pertinent pour l'objectif de recherche
Effets sociaux et communautaires (chapitre 3)	Abbott, 2010				X		X
	Bond, 2008				X		
	Brannstrom <i>et al.</i> , 2011			X		X	X
	Coleby <i>et al.</i> , 2009			X	X	X	
	Dimitriopoulos et Kontoleon, 2009						X
	Eltham <i>et al.</i> , 2008				X		
	Evans <i>et al.</i> , 2011						X
	Fischlein <i>et al.</i> , 2010						X
	Heagle <i>et al.</i> , 2011	X		X			X
	Hindmarsh et Matthews, 2008				X		
	Jallouli et Moreau, 2009				X		
	Jessup, 2010				X		X
	Jolivet et Heiskanen, 2010				X	X	X
	Krauss, 2010				X		X
	Krogh, 2011		X		X		
	Michalena et Angeon, 2009				X		X
	Nadaï et Labussiore, 2009						X
	Oles et Hammarlund, 2011				X		X
	Pasqualetti, 2011				X	X	X
	Portman, 2009						X
Rogers <i>et al.</i> , 2008					X		
Shain, 2011				X		X	
West <i>et al.</i> , 2010						X	

Tableau 17 Articles exclus à la suite de l'appréciation de la qualité par chapitre (suite)

	Auteurs	Raisons d'exclusion de l'article					Non pertinent pour l'objectif de recherche
		Financement non-indépendant	Apparence de conflits d'intérêt des auteurs	Objectifs imprécis	Méthode faible ou problèmes méthodologiques	Résultats non liés aux objectifs ou aux conclusions (validité interne)	
Le bruit (chapitre 5)	Bolin <i>et al.</i> , 2010						X
	Bronzaft, 2011			X	X		X
	Clifton-Smith, 2010						X
	Harrison, 2011				X		X
	Hessler <i>et al.</i> , 2011		X				
	Hessler <i>et al.</i> , 2008						X
	Oerlemans et Schepers, 2009						X
	Philips, 2011	X					
	Plovsing et Sondergaard, 2011						
	Romero-Sanz I et A Matesanz, 2008						X
	Raman, 2009				X		X
	Raman, 2010				X		
	Thorne, 2011			X	X		
	Ziliani, 2011						X
Les infrasons (chapitre 6)	Broner, 2010		X				

Tableau 17 Articles exclus à la suite de l'appréciation de la qualité par chapitre (suite)

	Auteurs	Raisons d'exclusion de l'article					
		Financement non-indépendant	Apparence de conflits d'intérêt des auteurs	Objectifs imprécis	Méthode faible ou problèmes méthodologiques	Résultats non liés aux objectifs ou aux conclusions (validité interne)	Non pertinent pour l'objectif de recherche
Effet stroboscopique et ombres mouvantes (chapitre 7)	Harding <i>et al.</i> , 2008				X		
Sécurité au travail et sécurité publique (chapitre 8)	Duff, 2010			X	X		
	Galman, 2009			X	X		
	Martinez <i>et al.</i> , 2009						X
	Nogueira <i>et al.</i> , 2011						X
	Nuta <i>et al.</i> , 2011						X
	Slegers <i>et al.</i> , 2009						X

Note : Aucun article scientifique n'a été répertorié au sujet des champs électromagnétiques.

RÉFÉRENCES DES TABLEAUX PRÉCÉDENTS

Aspects sociaux

- Abbott JA (2010). The Localized and Scaled Discourse of Conservation for Wind Power in Kittitas County, Washington. *Society & Natural Resources: An International Journal*; 23: 969-85.
- Bond S (2008). Attitudes towards the Development of Wind Farms in Australia. *Environmental Health*; 8(3): 19-32.
- Brannstrom C, Jepson W et N Persons (2011). Social perspectives on wind-power development in West Texas. *Annals of the Association of American Geographers*; 101(4): 839-851.
- Coleby AM, Miller DR et PA Aspinall (2009). Public attitudes and participation in wind turbine development. *Journal of Environmental Assessment Policy & Management*; 11: 69-95.
- Dimitropoulos A et A Kontoleon (2009). Assessing the determinants of local acceptability of wind-farm investment: A choice experiment in the Greek Aegean Islands. *Energy Policy*; 37: 1842-54.
- Eltham DC, Harrison GP et SJ Allen (2008). Change in public attitudes towards a Cornish wind farm: Implications for planning. *Energy Policy*; 36: 23-33.
- Evans B, Parks J et K Theobald (2011). Urban wind power and the private sector: community, social acceptance and public engagement. *Journal of Environmental Planning and Management*; 54: 227-44.
- Fischlein M, Larson J, Hall DM, Chaudhry R, Peterson TR, Stephens JC et EJ Wilson (2010). Policy stakeholders and deployment of wind power in the sub-national context: A comparison of four U.S. states. *Energy Policy*; 38: 4429-39.
- Heagle ALB, Naterer GF et K Pope (2011). Small wind turbine energy policies for residential and small business usage in Ontario, Canada. *Energy Policy*; 39: 1988-99.
- Hindmarsh R et C Matthews (2008). Deliberative Speak at the Turbine Face: Community Engagement, Wind Farms, and Renewable Energy Transitions, in Australia. *Journal of Environmental Policy & Planning*; 10: 217-32.
- Jallouli J et G Moreau (2009). An immersive path-based study of wind turbines' landscape: A French case in Plouguin. *Renewable Energy*; 34: 597-607.
- Jessup B (2010). Plural and hybrid environmental values: a discourse analysis of the wind energy conflict in Australia and the United Kingdom. *Environmental Politics*; 19: 21-44.
- Jolivet E et E Heiskanen (2010). Blowing against the wind--An exploratory application of actor network theory to the analysis of local controversies and participation processes in wind energy. *Energy Policy*; 38: 6746-54.
- Krauss W (2010). The Dingpolitik of Wind Energy in Northern German Landscapes: An Ethnographic Case Study. *Landscape Research*; 35: 195-208.

- Krogh CME (2011). Industrial wind turbine development and loss of social justice? *Bulletin of Science, Technology & Society*; 31(4): 321-33.
- Michalena E et V Angeon (2009). Local challenges in the promotion of renewable energy sources: The case of Crete. *Energy Policy*; 37: 2018-26.
- Nadaï A et O Labussière (2009). Wind power planning in France (Aveyron), from state regulation to local planning. *Land Use Policy*; 26: 744-54.
- Oles T et K Hammarlund (2011). The European Landscape Convention, wind power, and the limits of the local: notes from Italy and Sweden. *Landscape Research*; 36(4): 471-85.
- Pasqualetti MJ (2011). Opposing wind energy landscapes: a search for common cause. *Annals of the Association of American Geographers*; 101(4): 907-17.
- Portman M (2009). Involving the public in the impact assessment of offshore renewable energy facilities. *Marine Policy*; 33: 332-8.
- Rogers JC, Simmons WE, Convery I et A Weatherall (2008). Public perceptions of opportunities for community-based renewable energy projects. *Energy Policy*; 36: 4217-26.
- Shain M (2011). Public health ethics, legitimacy, and the challenges of industrial wind turbines: the case of Ontario, Canada. *Bulletin of Science, Technology & Society*; 31(4): 346-53.
- West J, Bailey I et M Winter (2010). Renewable energy policy and public perceptions of renewable energy: A cultural theory approach. *Energy Policy*; 38: 5739-48.

Bruit

- Bolin K, Nilsson ME et S Khan (2010). The Potential of Natural Sounds to Mask Wind Turbine Noise. *Acta Acoustica united with Acustica*; 96(1): 131-7.
- Bronzaft AL (2011). The noise from wind turbines: Potential adverse impacts on children's well-being. *Bulletin of Science, Technology & Society*; 31(4): 291-5.
- Clifton-Smith MJ (2010). Aerodynamic Noise Reduction for Small Wind Turbine Rotors. *Wind Engineering*; 34: 403-20.
- Harrison JP (2011). Wind turbine noise. *Bulletin of Science, Technology & Society*; 31(4): 256-61.
- Hessler GF, Hessler DM, Brandstätt P et K Bay (2008). Experimental study to determine wind-induced noise and windscreen attenuation effects on microphone response for environmental wind turbine and other applications. *Noise Control Engineering*; 56(4): 300-9.
- Hessler D, George F et J Hessler (2011). Recommended noise level design goals and limits at residential receptors for wind turbine developments in the United States. *Noise Control Engineering Journal*; 59(1): 94-104.

Oerlemans S et JG Schepers (2009). Prediction of wind turbine noise and validation against experiment. *International Journal of Aeroacoustics*; 8: 555-84.

Philips CV (2011). Properly interpreting the epidemiologic evidence about the health effects of industrial wind turbines on nearby residents. *Bulletin of Science, Technology & Society*; 31(4): 303-15.

Plovsing B et B Sondergaard (2011). Wind turbine noise propagation: comparaison of measurements and predictions by a method on geometrical ray theory. *Noise Control Engineering Journal*; 59: 10-22.

Raman G (2010). Advances in Measuring Noise from Wind Turbines. *Noise Notes*; 9: 11-20.

Raman G (2009). Wind turbines: clean, renewable and quiet? *Noise & Vibration Worldwide*; 40(10): 15-21.

Romero-Sanz I et A Matesanz (2008). Noise Management on Modern Wind Turbines. *Wind Engineering*; 32(1): 27-44

Thorne B (2011). The problems with “Noise numbers” for wind farm noise assessment. *Bulletin of Science, Technology & Society*; 31(4): 262-90.

Ziliani R (2011). The estimation of noise levels in residual areas surrounding an operating wind farm. *Noise Control Engineering Journal*; 59(1): 23-29.

Infrasons

Broner N (2010). A Simple Criterion for Low Frequency Noise Emission Assessment. *Noise Notes*; 9: 3-16.

Ombres mouvantes et effet stroboscopique

Harding G, Harding P et A Wilkins (2008). Wind turbine, flicker, and photosensitive epilepsy: characterizing the flashing that may precipitate seizures and optimizing guidelines to prevent them. *Epilepsia*; 49(6): 1095-8.

Sécurité

Duff J (2010). Training wind energy workers. *Occupational health and safety*; 79: 46.

Galman D (2009). Cultivating safety at wind farms. *Occupational health and safety*; 78: 28.

Martinez E, Sanz F, Pellegrini S, Jiménez E et J Blanco (2009). Life-cycle assessment of a 2-MW rated power wind turbine: CML method. *Int J Life Cycle Assess*; 14: 52-63.

Nogueira A, Morais P, Cunha AP et F Azevedo (2011). Cutaneous and Ocular Toxicology: 1-3.

Nuta E, Christopoulos C et JA Packer (2011). Methodology for seismic risk assessment for tubular steel wind turbine towers: application to Canadian seismic environment. *Canadian Journal of Civil Engineering*; 38: 293-304.

Slegers N, Rogers J, Costello M, Puga M et P Arons (2009). Modeling the risk of a failed wind turbine blade impacting a power transmission line. *Wind Engineering*; 33(6): 587-606.

ANNEXE 2

ÉTUDES SUR LA NUISANCE SPÉCIFIQUE AUX ÉOLIENNES

ÉTUDES SUR LA NUISANCE SPÉCIFIQUE AUX ÉOLIENNES

Peu d'auteurs ont étudié la nuisance due au bruit des éoliennes. Au total, trois études distinctes ont fait l'objet de publications : deux proviennent de la Suède^{1,2}, une autre des Pays-Bas³. Ces trois études ont donné lieu à trois analyses complémentaires : l'une a groupé les résultats des deux études suédoises⁴, une autre, les résultats des trois études⁵ et enfin, une troisième a étudié la nuisance du bruit éolien comparé au bruit routier⁶.

Pedersen et Waye ont réalisé une étude en 2000 en Suède pour tenter d'évaluer la prévalence de ce dérangement et étudier la relation dose-réponse (exposition-effet)^A entre le niveau de bruit des éoliennes et la nuisance². Un questionnaire a été rempli par 351 personnes vivant de 150 à 1 199 mètres de l'éolienne la plus proche. Sur ce territoire majoritairement agricole et plat, les éoliennes sont visibles de plusieurs directions. Peu de répondants ont affirmé être dérangés lorsqu'ils étaient à l'intérieur de leur maison (7 %). Le dérangement était surtout ressenti à l'extérieur des maisons. Aucun répondant exposé à un niveau sonore extérieur inférieur à 32,5 dB(A) n'a dit être ennuyé. À des niveaux de 37,5 à 40 dB(A), 20 % des répondants se disaient très ennuyés et cette proportion s'élevait à 36 % lorsque le niveau était supérieur à 40 dB(A). Le fait d'être dérangé par le bruit des éoliennes a aussi été associé à la sensibilité au bruit environnemental et à une attitude négative face aux éoliennes ou à leur impact visuel. Dans la littérature scientifique, la sensibilité au bruit environnemental réfère aux personnes plus sensibles au bruit, soit celles qui se préoccupent plus des bruits, les discriminent davantage et tendent à les trouver plus menaçants et hors de contrôle que celles moins sensibles⁸. Aussi, à cause d'un affect négatif, elles réagissent plus, elles ont une réactivité physiologique plus grande et s'adaptent plus lentement aux bruits⁸. La sensibilité au bruit est un trait personnel général stable à la différence de la nuisance qui est la réaction à une situation particulière⁸. Afin d'éviter les interprétations erronées, il est important de connaître — et de reconnaître — que certaines personnes sont plus grandement affectées par le bruit. Ce n'est pas parce que tous ne ressentent pas un problème que ce dernier est inexistant. Il s'agit de préoccupations légitimes reflétant les différences entre les personnes¹⁰. Pour ce qui est de l'étude de Pedersen et Waye réalisée en 2000, la sensibilité au bruit environnemental a été évaluée à l'aide d'une question à quatre choix de réponses allant de « pas sensible du tout » à « très sensible »². Cette étude a permis d'obtenir une première estimation de la relation dose-réponse. Toutefois, les auteurs soulignent la nécessité d'un plus grand nombre de répondants, surtout au niveau de bruit le plus élevé, pour obtenir une courbe dose-réponse valide.

Ces mêmes auteurs ont réalisé une étude similaire en Suède chez 754 répondants vivant dans un milieu dont la configuration des terrains et le degré d'urbanisation étaient variables¹. Les résultats montrent que parmi les répondants exposés à un niveau sonore de 37,5 à 40 dB(A), 6 % étaient ennuyés par le bruit des éoliennes, tandis que pour un niveau au-

^A Dans les études recensées, les termes « dose-effet », « dose-réponse », « exposition-effet » et « exposition-réponse » sont utilisés de façon interchangeable selon les auteurs du futur avis sur la faisabilité d'une politique publique de lutte contre le bruit. Plus récemment, des experts du domaine préfèrent l'expression « exposition-effet » ou « exposition-réponse » puisque contrairement au bruit au travail, l'exposition individuelle au bruit environnemental est très rarement quantifiée sur une base individuelle (dosimétrie individuelle), mais plutôt estimée à partir de modèles mathématiques ou de quelques mesures environnementales dans les zones à l'étude⁷.

dessus de 40 dB(A), 15 % des gens l'étaient. Cette augmentation n'était toutefois pas statistiquement significative. Ils soulèvent que le risque de percevoir et d'être dérangé par le bruit des éoliennes augmente avec d'autres facteurs, comme le fait de voir une ou plusieurs éoliennes de sa résidence ou « d'être sensible au bruit environnemental ». De plus, les gens vivant dans un milieu rural et particulièrement en terrain accidenté ont semblé davantage ennuyés par le bruit des éoliennes. Selon les auteurs, ceci pourrait être relié au bruit résiduel ou initial plus faible de ces milieux¹. En effet, il est reconnu que la gêne causée par le bruit environnemental varie considérablement en fonction de facteurs sociaux, psychologiques et économiques non liés au bruit^{A,12,13}. D'après Pedersen et Wayne, le niveau de pression acoustique n'est pas corrélé avec un bouleversement de la qualité du sommeil ni avec des émotions négatives comme un sentiment de fatigue ou de tension au lever. Le fait d'affirmer être dérangé par le bruit des éoliennes est associé à ces facteurs subjectifs de santé et de bien-être¹.

Une troisième étude sur la nuisance associée au bruit des éoliennes a été réalisée aux Pays-Bas^B dans le cadre d'une étude transversale auprès de 725 répondants^C. Le bruit des éoliennes a été jugé plus dérangeant que d'autres sources de bruit pour des niveaux sonores (L_{den}) comparables, autres que le bruit aérien ou des gares de triage. À titre d'hypothèse, les chercheurs estiment que cela est dû aux variations dans les émissions sonores des éoliennes, à leur imprévisibilité et au fait qu'elles seraient plus élevées pendant la nuit. Ils ont noté une forte association entre la nuisance et le fait d'avoir une opinion négative des éoliennes; la nuisance serait plus grande dans les milieux bâtis. L'effet de nuisance a été aussi associé à une attitude négative face aux éoliennes en général et à leur impact sur le paysage. L'étude indique que la probabilité d'être ennuyé par le bruit des éoliennes n'est pas diminuée en présence de niveaux plus élevés de bruits résiduels tandis qu'elle l'est par des bénéfices économiques ainsi que par le fait de n'apercevoir aucune éolienne à partir de sa résidence et de vivre dans un milieu rural (par rapport à une agglomération)¹⁴. Le fait de retirer des bénéfices économiques liés à l'implantation des éoliennes est le facteur qui contribue le plus à abaisser la nuisance ressentie. Les degrés de perception et de nuisance augmentent avec les niveaux sonores des éoliennes tant extérieurs qu'intérieurs, mais moins fréquemment à l'intérieur. Aucune association n'a été constatée entre la sensibilité au bruit et les niveaux sonores élevés, par contre la sensibilité a été associée à la nuisance. Une grande part de la variance de la nuisance, soit 75 %, est expliquée par le jugement porté sur l'impact visuel des éoliennes et leur caractère utilitaire³.

Certains auteurs évoquent que le changement d'intensité du bruit (modulation d'amplitude) lorsqu'une pale passe devant le mât pourrait être l'élément dérangeant pour la population avoisinante, particulièrement lors de conditions météorologiques favorisant une atmosphère stable^{14,15}.

^A Ces facteurs incluent la peur associée à la source de bruit, la conviction que le bruit peut être réduit par des tiers, la vulnérabilité individuelle au bruit, la perception d'avoir un certain contrôle sur le bruit et si le bruit provient d'une activité économique importante¹¹.

^B Étude déjà rapportée dans l'édition de 2009¹⁴, mais qui a fait l'objet d'une publication en 2009³.

^C 37 % des 1 948 personnes sollicitées lors qu'une enquête effectuée par questionnaire postal.

Pedersen et Waye⁴ ont effectué une analyse complémentaire sur la nuisance et les effets sur le repos (récupération du stress quotidien) en groupant les résultats des deux études^{A1,2}. Ces études montrent qu'une grande proportion de répondants ont indiqué entendre le bruit des éoliennes, mais que parmi ceux qui les entendent, une grande proportion n'était pas incommodée par le bruit. Une légère augmentation des personnes incommodées, non significative, a été observée à compter de 37 dB(A). Chez les personnes déclarant un effet de nuisance dû au bruit des éoliennes, seulement une faible proportion était « assez » dérangée, la grande partie était « très » incommodée. Ce sont les bruissements, sifflements, et battements (*swishing, whistling, resounding and pulsating/throbbing*) qui étaient les sons les plus fortement corrélés avec la nuisance due au bruit des éoliennes à l'extérieur de la résidence des répondants incommodés. De plus, l'effet de nuisance due au bruit des éoliennes a été associé à une attitude négative envers les éoliennes en général et en raison de leur impact (visuel) sur le paysage. Les répondants dérangés par le bruit des éoliennes ont jugé que leur environnement n'était pas un endroit souhaitable pour récupérer et se reposer^B. Un peu plus de la moitié des répondants se sont classés comme assez ou très sensibles au bruit, mais cette proportion varie selon leurs conditions de résidence antérieures : la plus forte proportion a été observée chez des répondants qui avaient vécu dans une ville et la plus faible chez ceux qui sont toujours demeurés à leur résidence actuelle. Une faible proportion des répondants, sans différences de sexe ou d'âge du reste des répondants, était assez ou très incommodée par le bruit des éoliennes. Ceux-ci ont rapporté une plus grande sensibilité au bruit que les autres répondants mais aussi à d'autres problèmes environnementaux (odeurs, pollution de l'air). Ce sous-groupe ne se différenciait pas quant à leur état de santé déclaré (diabète, difficultés d'audition ou maladies cardiovasculaires), mais a rapporté significativement plus de symptômes de stress. Ils vivent davantage en milieu rural qu'en banlieue, plus en terrain plat qu'en terrain accidenté, dans des aires catégorisées tranquilles et peuvent tous voir les éoliennes de leur domicile. Les auteurs avancent que le caractère intrusif d'une nuisance, à la fois sonore et visuelle (p. ex., pales en mouvement), pourrait expliquer les réactions observées, notamment dans un milieu où le repos et la récupération à sa résidence sont perçus comme moins possibles, et en fonction de qualités associées à des environnements naturels. L'impossibilité de faire abstraction de ces intrusions pourrait alors contribuer au stress. Les auteurs émettent l'hypothèse que des éléments de stress, faibles ou modérés comme les éoliennes, pourraient avoir un impact sur la santé, mais que d'autres études sont nécessaires. En effet, difficile de dire si le stress provient du bruit des éoliennes, d'un repos difficile ou d'un haut niveau général de stress car les questions posées étaient d'ordre général, ne comportant aucune question sur le stress vécu quotidiennement, par exemple⁴.

^A Ces études totalisaient donc 1 095 répondants parmi les 1 822 personnes sollicitées âgées de 18 ans ou plus.

^B La capacité de se reposer étant vue comme la possibilité qu'offre un environnement à récupérer de la fatigue mentale et à restaurer les capacités d'attention.

Publications

1. Pedersen E et KP Waye (2007). Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. *Occupational and Environmental Medicine*; 64: 480-6.
2. Pedersen E et KP Waye (2004). Perception and annoyance due to wind turbine noise-a dose-response relationship. *The Journal of the Acoustical Society of America*; 116(6): 3460-70.
3. Pedersen E, van den Berg F, Bakker R et J Bouma (2009). Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. *J Acoust Soc Am*; 126(2): 634-43.
4. Pedersen E et KP Waye (2008). Wind turbines - low level noise sources interfering with restoration? *Environ Res Lett*; 3: 1-5.
5. Pedersen E (2011). Health aspects associated with wind turbine noise - Results from three field studies. *Noise Control Eng J*; 59: 47-53.
6. Pedersen E, van den Berg F, Bakker R et J Bouma (2010). Can road traffic mask the sound from wind turbines? Response to wind turbine sound at different levels of road traffic. *Energy Policy*; 38: 2520-27.
7. Babisch W (2009). Communication personnelle au D^r Pierre Deshaies (INSPQ) lors d'une rencontre de travail de l'OMS sur le projet « Environmental noise: risk assessment and burden of disease ».
8. HEALTH COUNCIL (2004). The health effects of environmental noise - other than hearing loss. Commonwealth of Australia, Department of Health and Ageing, Canberra, May 2004, 71 p., disponible à l'adresse : [http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/33165540CB3C78CBCA256F1900042E72/\\$File/env_noise.pdf](http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/content/33165540CB3C78CBCA256F1900042E72/$File/env_noise.pdf) (consulté le 11 janvier 2012).
9. Stansfeld SA (1992). Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychophysiological studies. *Psychol Med*; Suppl. 22: 1-44.
10. Job RF (1999). Noise sensitivity as a factor influencing human reaction to noise. *Noise & Health*; 1(3): 57-68.
11. Chernigovskaya TV (1977). Dependence of the perception of low-frequency amplitude modulation on age and training in man. *Neuroscience and Behavioral Physiology*; 8(4): 341-3.
12. Berglund B, Lindvall T et DH Schwela (1999). Guidelines for Community Noise. Organisation mondiale de la Santé (OMS), Geneva, 159 p., disponible à l'adresse : <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html> (consulté le 15 août 2008).
13. International Organization for Standardization - ISO (2003). Norme internationale ISO/TS 15666: 2003-F. Acoustique -- Évaluation de la gêne causée par le bruit au moyen d'enquêtes sociales et d'enquêtes socio-acoustiques. Genève, 15 p.

14. van den Berg FGP, Pedersen E, Bouma J et R Bakker (2008). WINDFARMperception - Visual and acoustic impact of wind turbine farms on residents. Rapport final, University of Gothenburg, Suède, 99 p.
15. Pedersen E et H Halmstad (2003). Noise annoyance from wind turbines - a review. Rapport, Naturvardsverket, Swedish Environmental Protection Agency, Suède, 26 p.

ANNEXE 3

INFORMATIONS ADDITIONNELLES SUR L'ÉMERGENCE SPECTRALE DU BRUIT

INFORMATIONS ADDITIONNELLES SUR L'ÉMERGENCE SPECTRALE DU BRUIT

L'application de ce critère en France a été mise de l'avant en 1963 dans un avis de la commission d'étude du bruit du ministère de la Santé publique français concernant « l'estimation des troubles produits par l'excès de bruit ». Cet avis mentionnait que « le trouble, autrement dit la gêne ou la nuisance, est incontestable lorsque l'augmentation d'intensité sonore produite par l'apparition du bruit perturbateur, par rapport à la valeur minimale du bruit ambiant, dépasse les valeurs suivantes : + 5 dB(A) de jour (7 heures à 22 heures); + 3 dB(A) de nuit (22 heures à 7 heures). Ce dépassement ne devra avoir lieu ni dans le niveau global, ni dans une bande de fréquence quelconque de bruit audible. » Il y était aussi écrit que « les valeurs indiquées dans cet avis présentent un caractère provisoire » et qu'elles « pourront être modifiées ultérieurement ».

La notion d'émergence spectrale a été ajoutée en 2006¹. Il importe de noter, sachant que l'addition de deux bruits de même intensité entraîne une augmentation de ce niveau acoustique de 3 dB, que le respect d'une émergence maximale de 3 dB(A) implique que le niveau du bruit particulier émis par les éoliennes seules doit être inférieur ou égal au niveau de bruit initial du milieu. Selon le document de l'Afsset sur le bruit des éoliennes, les auteurs spécifient que « le domaine de validité des critères d'émergence (en termes de niveaux et de dynamique des bruits) n'a pas été vraiment exploré, et la plus totale ignorance est de règle quant à l'existence d'effets de seuil, de validité spectrale, ... »².

Certaines précisions sont importantes concernant la notion d'émergence sonore et l'audibilité. Le respect d'une émergence maximale ne devrait pas mener à l'augmentation d'un bruit ambiant initial déjà élevé ou, dans le cas des parcs éoliens, à l'implantation d'éoliennes à une distance très rapprochée d'un milieu habité, d'où l'importance du respect de niveaux absolus fixes tels que ceux de la note d'instruction 98-01 du MDDEP³. De plus, le respect d'une émergence maximale ou d'une limite fixe ne garantit pas qu'un bruit nouveau ne sera pas détecté par la population avoisinante. L'arrivée d'un bruit dans un milieu peut très bien être décelée, même si elle n'entraîne pas d'augmentation du niveau de bruit ambiant (aucune émergence). En effet, le seuil de détection ou d'audibilité d'un nouveau bruit particulier n'égale pas le niveau de bruit initial. L'analyse de l'audibilité d'un son particulier dépend de plusieurs facteurs et fait appel au domaine de la psychoacoustique.

Publications

1. Ministère de la Santé et des Solidarités (2006). Information presse - La lutte contre les bruits de voisinage se renforce. Arrêté du 5 décembre 2006 relatif aux modalités de mesurage des bruits de voisinage, Journal officiel du 20 décembre 2006, Direction générale de la santé, ministère de la Santé et des Solidarités, France, 15 p.
2. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) (2008). Impacts sanitaires du bruit généré par les éoliennes - État des lieux de la filière éolienne et propositions pour la mise en œuvre de la procédure d'implantation. Avis de l'Afsset et rapport du groupe d'experts, France, 116 p.
3. Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec — MDDEP (2006). Note d'instructions 98-01 sur le bruit des sources fixes, 9 juin, gouvernement du Québec, 23 p.



EXPERTISE
CONSEIL



INFORMATION



FORMATION

www.inspq.qc.ca



RECHERCHE
ÉVALUATION
ET INNOVATION



COLLABORATION
INTERNATIONALE



LABORATOIRES
ET DÉPISTAGE

Institut national
de santé publique

Québec

