

Effets sur la santé liés au bruit des éoliennes : dérangement et perturbations du sommeil

OCTOBRE 2022

REVUE DES CONNAISSANCES

AUTEURS

Mathieu Gauthier, conseiller scientifique spécialisé
Stéphanie Potvin, conseillère scientifique
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie

SOUS LA COORDINATION DE

Karine Chaussé, conseillère scientifique
Yolaine Labbé, cheffe d'unité scientifique
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie

RÉVISEURS

Richard Martin, conseiller scientifique
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie

Julien Hotton, ingénieur
Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques

Anne-Sophie Evrard, chargée de recherche en épidémiologie
Université Gustave Eiffel

Geneviève Grenier, conseillère scientifique
Direction de la valorisation scientifique et qualité

Les réviseurs ont été conviés à apporter des commentaires sur la version préfinale de ce document et en conséquence, n'en ont pas révisé ni endossé le contenu final.

Les auteurs ainsi que les membres du comité scientifique et les réviseurs ont dûment rempli leurs déclarations d'intérêts et aucune situation à risque de conflits d'intérêts réels, apparents ou potentiels n'a été relevée.

MISE EN PAGE

Aurélie Franco, agente administrative
Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie

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 – 1^e trimestre 2023
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN : 978-2-550-93947-4 (PDF)

© Gouvernement du Québec (2023)

REMERCIEMENTS

Les auteurs désirent remercier sincèrement les personnes suivantes qui ont accepté de donner temps, expertise et commentaires sur le présent document. Anne-Sophie Evrard, chargée de recherche en épidémiologie, de l'Université Gustave Eiffel; Julien Hotton, ingénieur, du ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques; Richard Martin, conseiller scientifique, de la Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie de l'Institut national de santé publique du Québec; et Geneviève Grenier, conseillère scientifique, de la Direction de la valorisation scientifique et qualité de l'Institut national de santé publique du Québec.

Les auteurs désirent également remercier sincèrement les personnes suivantes : Véronic Fortin, bibliothécaire et Magali Leverd, technicienne en documentation, pour leur aide dans l'élaboration du devis de recherche documentaire et la gestion des documents identifiés; de même que Marc-Olivier Brouard, conseiller scientifique, pour son aide dans l'évaluation de la pertinence des documents

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	IV
LISTE DES FIGURES	V
GLOSSAIRE	VI
LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET UNITÉS	X
FAITS SAILLANTS	1
SOMMAIRE	2
1 INTRODUCTION	4
1.1 Contexte et mandat.....	4
1.2 Gestion du bruit des éoliennes au Québec	5
1.3 Avis de l'INSPQ de 2013	5
1.4 Résumé des lignes directrices de l'OMS de 2018	6
1.5 Structure du rapport	7
2 MÉTHODOLOGIE	8
2.1 Stratégie de recherche documentaire dans les bases de données.....	9
2.1.1 Bases de données et dates d'interrogation	10
2.1.2 Limites.....	10
2.2 Documents tirés de la littérature grise.....	10
2.2.1 Moteur de recherche Google.....	11
2.2.2 Sites Web d'organisations ciblées.....	11
2.2.3 Périodiques ciblés.....	11
2.3 Stratégies complémentaires.....	11
2.4 Critères de sélection et d'analyse.....	12
2.5 Gestion des publications identifiées	13
2.6 Appréciation des biais et de l'applicabilité des documents.....	14
3 RÉSULTATS	15
3.1 Dérangement.....	15
3.1.1 Descriptions des études recensées.....	24
3.1.2 Discussion sur le dérangement causé par le bruit des éoliennes	29
3.1.3 Autres facteurs influençant le dérangement.....	33

3.1.4	Limites.....	34
3.1.5	Conclusion sur le dérangement.....	35
3.2	Effets sur les perturbations du sommeil.....	35
3.2.1	Descriptions des études recensées.....	41
3.2.2	Discussion sur les perturbations du sommeil.....	43
3.2.3	Autres facteurs ayant une influence sur les perturbations du sommeil.....	44
3.2.4	Limites.....	45
3.2.5	Conclusion sur les perturbations du sommeil.....	46
3.3	Mesures de réduction et recommandations relevées.....	46
3.3.1	Exposition au bruit.....	47
3.3.2	Mesures non acoustiques.....	48
3.3.3	Limites.....	49
4	CONCLUSION.....	50
4.1	Dérangement.....	51
4.2	Perturbations du sommeil.....	51
5	BIBLIOGRAPHIE.....	52
ANNEXE 1	ANALYSE DES BIAIS ET DE L'APPLICABILITÉ.....	57
ANNEXE 2	MÉTHODOLOGIE.....	64
ANNEXE 3	ANALYSE DES DOCUMENTS DE TYPES REVUES SYSTÉMATIQUES, RECENSION DES ÉCRITS, RAPPORTS GOUVERNEMENTAUX ET RAPPORTS DE GROUPES D'EXPERTS.....	75

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1	Couverture chronologique des recensions systématiques des écrits de l'OMS.....	9
Tableau 2	Concepts de la recherche documentaire.....	9
Tableau 3	Critères de sélection des publications lors de la recherche documentaire.....	12
Tableau 4	Critères d'analyse de la pertinence.....	13
Tableau 5	Description des études recensées portant sur le dérangement en fonction du niveau de bruit des éoliennes	16
Tableau 6	Présentation des raisons de l'exclusion de certaines études sur le fort dérangement retenues par van Kamp et van den Berg (2021).....	34
Tableau 7	Description des études recensées portant sur les perturbations du sommeil en fonction du niveau de bruit des éoliennes.....	36
Tableau 8	Présentation des raisons de l'exclusion de certaines études sur les perturbations du sommeil retenues par van Kamp <i>et al.</i> (2021).....	46

LISTE DES FIGURES

Figure 1	Proportion des personnes fortement dérangées en fonction du niveau de bruit des éoliennes selon les résultats regroupés de trois études 30
Figure 2	Proportion des personnes fortement dérangées en fonction du niveau d'exposition au bruit des éoliennes pour les études citées par Michaud <i>et al.</i> (2016) 31
Figure 3	Proportion des personnes fortement dérangées en fonction du niveau de bruit des éoliennes calculé dans la recension effectuée dans le cadre des travaux de l'OMS (2018)..... 32

GLOSSAIRE

Notez que pour la plupart des termes du glossaire, les définitions sont tirées d'une publication précédente de l'Institut national de santé publique du Québec (Martin *et al.*, 2015).

Actigraphie

Technique de caractérisation du sommeil au moyen d'un appareil, porté sur le corps d'un participant (le poignet, par exemple), capable de détecter les mouvements. Cette méthode non invasive offre cependant des résultats moins probants que la technique de référence, la polysomnographie (Basner et McGuire, 2018).

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, de compresseurs ou d'éoliennes. On mesure le niveau sonore de sources de bruit qui comporte une part importante de basses fréquences au moyen des dBC. » (Martin *et al.*, 2015)

Bruit continu

« Un bruit continu est constant et stable. Il peut notamment provenir de machines fonctionnant sans interruption, toujours sur le même mode comme un ventilateur ou une pompe. » (Martin *et al.*, 2015)

Bruit environnemental

« Bruit émis par toutes sources, excluant celles en milieu de travail. Le bruit environnemental inclut le bruit de la circulation routière, du transport ferroviaire et aérien, celui des industries, de la construction et des travaux publics ainsi que le bruit de voisinage et d'activités culturelles ou de loisirs (terrains de jeux, discothèques, spectacles, chasse, motoneige, etc.). » (Martin *et al.*, 2015)

Bruit fluctuant

« Bruit dont le niveau sonore varie de façon notable, mais pas de façon impulsionnelle lors d'une période d'observation. » (Martin *et al.*, 2015)

Bruit impulsionnel

« Bruit caractérisé par de brèves augmentations du niveau sonore. Un bruit impulsionnel isolé dure généralement moins d'une seconde. Exemples : explosions, armes à feu, martelage, claquement de portière de voiture, jeux de ballons à l'extérieur, etc. » (Martin *et al.*, 2015)

dB (décibels)

« Unité de mesure du bruit exprimée par la notation dB, sans pondération. Bien qu'elle soit utilisée pour quantifier la puissance acoustique, l'intensité acoustique et la pression acoustique, elle est le plus couramment utilisée dans le domaine du bruit pour mesurer le niveau de pression sonore égale au dixième du bel. L'échelle des décibels utilisée exprime, sous forme logarithmique, le rapport existant entre une quantité mesurée et une valeur de référence et dont l'application du bruit est établie conformément à l'article 3 de la publication numéro 179 (deuxième édition) du Bureau central de la Commission électrotechnique internationale. L'échelle logarithmique des décibels est conçue de sorte que, lorsque l'énergie d'une source sonore est multipliée par 2, le niveau sonore est augmenté de 3 dB. » (Martin *et al.*, 2015)

dBA

« Unité de mesure du bruit 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 basses fréquences, comprises entre 20 et 400 Hz, qu'aux moyennes et hautes fréquences.

Le dBA, 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. Le dBA peut être utilisé pour tous les indicateurs acoustiques. » (Martin *et al.*, 2015)

dBC

« Unité de mesure du bruit 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 à mesurer des sons de forte intensité de très forte amplitude. Dans la pratique, le dBC est surtout utilisé conjointement au dBA pour le calcul de l'indice harmonique (LA - LC) et ainsi estimer la part des basses fréquences dans le son émis (si écart > 20 dB). » [référence omise] (Martin *et al.*, 2015)

dB_{SPL}

« SPL : *Sound pressure level*. Valeur de la pression acoustique par rapport à une valeur de référence de 20 µPa (micropascals), laquelle correspond au 0 dB_{SPL}. Utilisé pour un bruit mesuré sans distinction de la période. » (Martin *et al.*, 2015)

Exposition (niveau d')

« Bruit reçu par un résident le plus souvent exprimé en fonction d'une période de temps (voir L_{Aeq, T}). Le terme dose est aussi utilisé, particulièrement pour le bruit en milieu de travail. » (Martin *et al.*, 2015)

L_{den}

« Niveau sonore continu équivalent pour une période de 24 heures (une journée). Le niveau de bruit, fourni par cet indicateur, est une exposition cumulée qui couvre une journée entière [jour = d (6 h-18 h), soir = e (18 h-22 h) et nuit = n (22 h-6 h)]. L'indicateur est corrigé pour deux des trois périodes, soit en soirée et durant la nuit. Les niveaux de bruit de ces périodes sont augmentés respectivement de 5 et de 10 dBA pour considérer le degré plus important de nuisance ressentie. » (Martin *et al.*, 2015)

L_{dn}

« Niveau de bruit équivalent continu (L_{Aeq}) sur 24 heures, mais corrigé de + 10 dBA entre 22 h et 7 h pour considérer la nuisance accrue ressentie pendant la nuit et l'effet sur le sommeil. » (Martin *et al.*, 2015)

Niveaux continus équivalents

« Comme les niveaux de bruit peuvent fluctuer au cours d'une période, le niveau continu équivalent est utilisé pour représenter ces niveaux de bruit au moyen d'une seule valeur de mesure. La valeur obtenue représente le niveau sonore d'un bruit continu stable pendant cette période et qui produirait la même énergie. Un niveau continu équivalent peut être exprimé sous diverses formes : en dB pondérés A (L_{Aeq}) ou non (L_{eq}), ou en considérant certaines périodes de la journée (L_{den}). (Adapté : Camard *et al.*, 2004). » (Martin *et al.*, 2015)

Niveau de tolérance de la communauté (L_{ct})

Community tolerance level, en anglais, est le niveau sonore moyen annuel pour lequel 50 % de la population exposée rapporte être fortement dérangée. Cet indicateur a l'avantage de permettre la comparaison de différentes études à partir d'un indicateur commun. Voir la norme ISO 1996-1:2016 (ISO, 2016) pour plus d'informations.

Niveau sonore

« Il correspond au niveau de pression acoustique. Le niveau du son, ou du bruit, se mesure en décibel (dB). Plus l'amplitude est grande, plus le son est fort. » (Martin *et al.*, 2015)

Dans le présent document, l'expression « niveau sonore (SPL) », pour *sound pressure level* en anglais, est utilisée pour faire référence au niveau d'exposition pondéré A modélisé au moyen des caractéristiques d'émissions des éoliennes, souvent lorsqu'elles fonctionnent près de leur vitesse maximale. Les niveaux d'exposition ainsi modélisés ne tiennent pas compte de paramètres qui permettraient d'évaluer leur variation en fonction du moment de la journée, du moment de l'année ou lors de situation météorologiques favorisant ou non la propagation du bruit.

Nuisance (ou gêne, dérangement)

« Définie comme un concept psychologique, la nuisance (gêne, dérangement) due au bruit décrit une relation entre une situation acoustique et une personne qui : 1- se sent obligée, à cause du bruit, de faire des choses qu'elle ne veut pas faire, 2- ou qui évalue au plan cognitif et émotionnel cette situation et se sent en partie impuissante face à celle-ci. Dans la documentation scientifique, la nuisance a été étudiée comme :

- Un des effets sur la santé, reconnu comme tel par l'OMS;
- Comme estimation de l'exposition subjective au bruit;
- Et comme facteur confondant ou médiateur d'autres effets sur la santé (ex. : effets cardiovasculaires). » (Martin *et al.*, 2015)

Pittsburgh Sleep Quality Index

Le Pittsburgh Sleep Quality Index est un questionnaire normalisé et qui sert à évaluer la qualité du sommeil.

Sonomètre

« Appareil de mesure du niveau sonore. Mesure les niveaux de pression acoustique en fonction des fréquences audibles, avec une possibilité de pondération selon la fréquence. » (Martin *et al.*, 2015)

Zone tampon

« Espace (utilisation du sol) qui sert d' "écran" entre la source de bruit et le récepteur. » (Martin *et al.*, 2015)

LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET UNITÉS

dB _A	décibels pondérés A
dB _C	décibels pondérés C
CTL	<i>Community tolerance level</i> (voir L _{ct})
IC	Intervalle de confiance
BAPE	Bureau d'audiences publiques sur l'environnement
INSPQ	Institut national de santé publique du Québec
ISO	International Organization for Standardization
L _{ct}	Niveau de tolérance de la communauté, tel que recommandé dans ISO 1996-1:2016
MAMH	Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation
MELCC	Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques
MRC	Municipalité régionale de comté
MSSS	Ministère de la Santé et des Services sociaux
OCDE	Organisation de coopération et de développement économique
OMS	Organisation mondiale de la Santé
PSQI	Pittsburgh Sleep Quality Index
RC	Rapport de cote
R ²	Proportion de la variance

FAITS SAILLANTS

- Cette recension des écrits traite du dérangement ou des perturbations du sommeil liés au bruit des éoliennes. Depuis les recensions réalisées dans le cadre des travaux de l'Organisation mondiale de la Santé pour l'élaboration de leurs lignes directrices en 2018, neuf nouvelles publications s'ajoutent (sept documents ont analysé le dérangement et cinq les perturbations du sommeil).
- Les études retenues et analysées montrent une association entre le niveau d'exposition au bruit des éoliennes et le fort dérangement causé par le bruit.
- Le 10 % des personnes fortement dérangées par le bruit des éoliennes semble atteint à des niveaux un peu plus faibles que celui recommandé conditionnellement par l'Organisation mondiale de la Santé. Toutefois, la qualité de la preuve demeure faible quant à la relation entre l'exposition au bruit des éoliennes et le fort dérangement, notamment en raison de la grande variabilité dans la proportion des personnes fortement dérangées d'une étude à l'autre et du faible nombre d'études de qualité ayant étudié ce sujet.
- Les études retenues et analysées ne permettent pas de conclure à un effet sur les perturbations du sommeil par le bruit des éoliennes selon les niveaux sonores modélisés (environ ≤ 46 dBA pour la plupart des études). La généralisation de cette absence d'effet à d'autres contextes demeure incertaine.
- À la lumière de ces résultats dont la qualité de la preuve est faible, la recommandation conditionnelle formulée dans les lignes directrices de l'Organisation mondiale de la Santé (45 dB L_{den}) semble toujours être la limite d'exposition à appliquer pour tenter de limiter à moins de 10 % la proportion des populations fortement dérangées par le bruit des éoliennes.
- Des facteurs acoustiques et non acoustiques (personnels, sociaux ou autres) influencent la proportion de personnes fortement dérangées par le bruit des éoliennes. En plus d'actions préventives pour limiter l'exposition au bruit des éoliennes, des interventions sur des facteurs non acoustiques devraient être considérées.

SOMMAIRE

En préparation pour l'évaluation environnementale de projets d'énergie éolienne et des audiences possibles du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement, le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques a confié à l'Institut national de santé publique du Québec un mandat ayant les objectifs d'évaluer le dérangement et les perturbations du sommeil associés au bruit des éoliennes depuis les recensions réalisées dans le cadre des travaux de l'Organisation mondiale de la Santé pour l'élaboration de leurs lignes directrices.

L'Organisation mondiale de la Santé recommande de manière conditionnelle que le niveau d'exposition au bruit des éoliennes ne dépasse pas 45 dBA L_{den} , puisqu'un niveau de bruit supérieur à celui-ci est associé à des effets néfastes sur la santé. Cette recommandation est basée sur une analyse des données de quatre études montrant un risque absolu de 10 % de la population fortement dérangée lorsque le niveau d'exposition au bruit des éoliennes atteint 45 dB L_{den} . La qualité de la preuve demeure faible, notamment en raison de la grande variabilité dans la proportion des personnes fortement dérangées d'une étude à l'autre et du faible nombre d'études de qualité ayant étudié ce sujet (World Health Organization, 2018). En ce qui a trait aux perturbations du sommeil associées au bruit des éoliennes, l'Organisation mondiale de la Santé considère que les preuves d'une association entre des perturbations du sommeil et le bruit des éoliennes sont de faible qualité et a jugé que le risque de biais dans l'ensemble de ces études était élevé. Enfin, selon l'organisme, l'implication du public, la communication et la consultation des citoyens affectés devraient faire partie de l'évaluation des impacts environnementaux et santé des projets d'énergie éolienne (World Health Organization, 2018). L'Organisation mondiale de la Santé souligne également l'importance de la contribution des projets d'énergie éolienne dans le développement des énergies renouvelables (World Health Organization, 2018).

Une revue narrative de type synthèse des connaissances empruntant plusieurs caractéristiques aux revues systématiques et revues rapides a été réalisée pour répondre à la question de recherche : **quelle est la prévalence du fort dérangement et des perturbations du sommeil en fonction du niveau d'exposition au bruit des éoliennes mesuré ou modélisé pour la population vivant à proximité des éoliennes ?** La recension documentaire a permis d'identifier neuf documents pertinents publiés depuis les recensions réalisées dans le cadre des travaux de l'Organisation mondiale de la Santé pour l'élaboration de leurs lignes directrices. Sept documents ont analysé le dérangement et cinq les perturbations du sommeil. En plus des limites propres aux études recensées, la présente analyse n'inclut pas de recension et d'analyse des études qualitatives ou des études de laboratoire. De plus, les études portant sur le bruit de construction, de démantèlement, d'entretien et de transport associé aux parcs éoliens, pouvant

également être des sources de dérangement pour les personnes habitant à proximité, n'ont pas été analysées.

Les études retenues et analysées ont montré une association entre le niveau d'exposition au bruit des éoliennes et le fort dérangement causé par le bruit. Dans les nouvelles études retenues, la proportion des personnes fortement dérangées par le bruit des éoliennes semble atteindre 10 % à des niveaux un peu plus faibles que celui recommandé conditionnellement par l'Organisation mondiale de la Santé : 43,7 dBA L_{dn} pour Michaud, Keith *et al.* (2016c); 42,6 dBA L_{dn} pour Hongisto *et al.* (2017) et 44,5 dBA L_{dn} pour Haac *et al.* (2019). Il en est de même pour les études qui n'ont pu être intégrées dans une comparaison avec les lignes directrices de l'Organisation mondiale de la Santé en raison de certaines différences méthodologiques (Pawlaczyk-Luszczynska *et al.*, 2018; Qu et Tsuchiya, 2021; Radun *et al.*, 2019).

La qualité de la preuve demeure faible quant à la relation entre l'exposition au bruit des éoliennes et le fort dérangement, notamment en raison de la grande variabilité dans la proportion des personnes fortement dérangées d'une étude à l'autre et du faible nombre d'études de qualité ayant étudié ce sujet. Ainsi, la recommandation conditionnelle formulée dans les lignes directrices de l'Organisation mondiale de la Santé (45 dB L_{den}) semble toujours être la limite d'exposition à appliquer pour tenter de limiter à moins de 10 % la proportion des populations fortement dérangées par le bruit des éoliennes.

Divers facteurs acoustiques, de même que des facteurs non acoustiques (personnels ou sociaux), influencent la proportion de personnes fortement dérangées par le bruit des éoliennes. En plus d'actions préventives pour limiter l'exposition au bruit des éoliennes, causant un fort dérangement associé, la prise en compte d'intervention sur des facteurs non acoustiques devrait être considérée. Cependant, les études qui font mention des facteurs ayant une influence sur le dérangement associé au bruit des éoliennes demeurent peu nombreuses et les associations évoquées ne sont pas toujours confirmées par des études de validation indépendantes.

Les résultats des études retenues sur les perturbations du sommeil demeurent hétérogènes et ils ne permettent pas de conclure à une association entre l'exposition au bruit des éoliennes et les perturbations du sommeil selon l'étendue des niveaux sonores modélisés dans la plupart des études. Par contre, la généralisation de ces constats à d'autres populations ou à d'autres projets demeure incertaine.

Même si le bruit des éoliennes ne semble pas être associé aux perturbations du sommeil aux niveaux sonores modélisés dans les publications retenues, d'autres facteurs montrent une association avec les perturbations du sommeil. Les études portant sur ces facteurs demeurent peu nombreuses et les associations évoquées ne sont pas toujours confirmées par des études indépendantes.

1 INTRODUCTION

1.1 Contexte et mandat

Tel que l'indique le *Plan pour une économie verte 2030*, le gouvernement du Québec souhaite « positionner l'énergie éolienne et les énergies renouvelables au cœur de la transition énergétique et de l'essor économique des régions » (Gouvernement du Québec, 2020, 2022). Plusieurs projets de parcs éoliens sont en développement au Québec (Gouvernement du Québec, 2022). Le gouvernement du Québec a autorisé le lancement, par Hydro-Québec, de deux appels d'offres pour de nouveaux approvisionnements en électricité produite par énergie éolienne et renouvelable, dont un bloc d'énergie de 1 000 MW réservé à la filière éolienne (Gouvernement du Québec, 2022). Ces appels d'offres s'ajoutent à ceux déjà lancés par Hydro-Québec, dont une partie est aussi réservée à l'énergie éolienne (Hydro-Québec, 2021a, 2021b).

En préparation des possibles travaux du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) en lien avec des projets de production d'énergie éoliennes, il y a un besoin d'analyser la littérature scientifique récente. Plus spécifiquement, le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) souhaite obtenir de l'information à propos des limites d'exposition au bruit qui devraient être appliquées aux parcs éoliens de manière à limiter les impacts sur la santé, notamment en fonction des caractéristiques particulières du bruit des éoliennes (infrasons, basses fréquences, modulation de l'amplitude)¹.

Le MELCC a confié à l'Équipe d'évaluation environnementale et aménagement du territoire de la Direction de la santé environnementale, au travail et de la toxicologie de l'Institut national de santé publique du Québec (INSPQ) un mandat ayant les objectifs suivants :

- Évaluer les effets sur la santé du bruit des éoliennes au moyen d'une analyse de la littérature scientifique depuis les recensions systématiques des écrits réalisées par l'Organisation mondiale de la Santé (OMS) pour l'élaboration de leurs lignes directrices.
- Exposer les avantages et les inconvénients de différentes mesures de réduction du bruit des éoliennes évoquées dans les études recensées.

C'est donc dans le cadre de ce mandat que la présente recension de la littérature a été réalisée afin de répondre à la question de recherche suivante : **quelle est la prévalence du fort dérangement et des perturbations du sommeil en fonction du niveau d'exposition au bruit mesuré ou modélisé pour la population vivant à proximité des éoliennes?** Puisque la réalisation d'une méta-analyse dépasse le mandat de la présente analyse, les données recensées sur la prévalence du fort dérangement et des perturbations du sommeil seront comparées aux lignes directrices de l'OMS (World Health Organization, 2018).

¹ Le bruit émis par les éoliennes, ci-après appelé « bruit des éoliennes », provient de deux sources, soit les bruits mécaniques et les bruits aérodynamiques (Brisson *et al.*, 2013).

1.2 Gestion du bruit des éoliennes au Québec

Bien qu'il « n'existe pas de norme sur le bruit généré par une éolienne [au Québec], le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques (MELCC) exige une évaluation des impacts sonores » (Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles, 2016). « Un [tel] projet peut [ensuite] faire l'objet d'une audience publique par le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) » (Brisson *et al.*, 2013). Dans ses décrets d'autorisation adaptés à chaque projet, le MELCC peut avoir certaines exigences, par exemple le respect de sa *Note d'instructions 98-01 - Traitement des plaintes sur le bruit et exigences aux entreprises qui le génèrent* (Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, 2006); la mise en place d'un suivi du climat sonore (Gouvernement du Québec, 2013); et la mise en place d'un « [...] système de réception, de documentation et de gestion des plaintes liées au climat sonore [...] » (Gouvernement du Québec, 2021). La Note d'instructions (NI) 98-01 proposent différentes limites d'exposition en fonction du zonage. Pour ce faire, la NI 98-01 utilise l'indicateur $LA_{eq, 1h}$, ajusté pour certains facteurs comme les basses fréquences ou les bruits impulsionnels. Par exemple, pour le territoire destiné à des habitations unifamiliales isolées ou jumelées et certains lieux sensibles, cette limite d'exposition est fixée à 45 dBA le jour et à 40 dBA la nuit (ou au bruit ambiant avant le projet, s'il est plus élevé).

1.3 Avis de l'INSPQ de 2013

Une recension des écrits à propos des effets sur la santé des éoliennes a été produite par l'INSPQ (2013), laquelle traitait notamment des effets du bruit, des infrasons et des sons de basses fréquences sur la santé. Cette synthèse des connaissances concluait que « 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 », mais qu'il aurait des effets potentiels sur la santé (Brisson *et al.*, 2013). Notamment, cette recension concluait que « [...] l'exposition au bruit des éoliennes peut représenter une nuisance [dérangement, gêne] pour les populations avoisinantes dans certaines conditions, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur des maisons [...] »² (Brisson *et al.*, 2013). De plus, « [...] l'effet de nuisance [...] 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 [...] » (Brisson *et al.*, 2013). À niveau égal, le bruit des éoliennes est « [...] [perçu] comme plus [dérangeant] [...] » que celui d'autres sources de bruit. Enfin, cette recension des écrits avait constaté que les preuves scientifiques étaient limitées quant à la possibilité « [...] que le bruit des éoliennes pourrait déranger le sommeil des personnes vivant à proximité » (Brisson *et al.*, 2013).

² Dans le présent document, le terme « dérangement » (*annoyance*) est utilisé pour décrire cet effet sur la santé et l'indicateur de référence correspond à un fort dérangement ou être fortement dérangé (*highly annoyed*), selon le contexte.

1.4 Résumé des lignes directrices de l'OMS de 2018

L'OMS (2018) a produit une mise à jour de ses lignes directrices quant aux recommandations sur les limites d'exposition pour différentes sources de bruit, dont le bruit des éoliennes (*Environmental Noise Guidelines for the European Region*, 2018). Dans ce document, l'OMS recommande de manière conditionnelle³ que le niveau d'exposition au bruit des éoliennes ne dépasse pas 45 dBA L_{den} , puisqu'un niveau de bruit supérieur à celui-ci est associé à des effets néfastes sur la santé. En effet, à partir des études de Janssen *et al.* (2011) et de Kuwano *et al.* (2014), l'OMS a évalué la courbe dose-réponse en utilisant les données de quatre études (Kuwano *et al.*, 2014; Pedersen, 2011; Pedersen et Persson Waye, 2004, 2007), citées dans le document de l'OMS (2018). Un risque absolu de 10 % de la population fortement dérangée (à l'extérieur) à un niveau d'exposition au bruit de 45 dB L_{den} a été observé. La qualité de la preuve demeure faible, notamment en raison de la grande variabilité dans la proportion des personnes fortement dérangées d'une étude à l'autre et du faible nombre d'études de qualité ayant étudié ce sujet (World Health Organization, 2018).

En ce qui a trait aux perturbations du sommeil associées au bruit des éoliennes, l'OMS n'a pas fait de recommandation quant au bruit des éoliennes la nuit. L'OMS a relevé six études (Bakker *et al.*, 2012; Kuwano *et al.*, 2014; Michaud, 2015; Pawlaczyk-Luszczynska *et al.*, 2014; Pedersen et Persson Waye, 2004, 2007), citées dans le document de l'OMS (2018). L'OMS considère que les preuves d'une association entre des perturbations du sommeil et le bruit des éoliennes sont de faible qualité et a jugé que le risque de biais dans l'ensemble de ces études était élevé, notamment en raison des méthodes de mesure basées sur des données autodéclarées (World Health Organization, 2018). Par ailleurs, l'OMS n'a pas relevé d'étude ayant mis en relation les sons de basses fréquences ou les infrasons générés par les éoliennes à des effets sur la santé.

L'OMS considère que l'implication du public, la communication et la consultation des citoyens affectés devraient faire partie de l'évaluation des impacts environnementaux et santé des projets d'énergie éolienne (World Health Organization, 2018). L'OMS souligne également l'importance de la contribution des projets d'énergie éolienne dans le développement des énergies renouvelables (World Health Organization, 2018).

³ L'OMS définit une recommandation conditionnelle de la manière suivante : « A **conditional** recommendation requires a policy-making process with substantial debate and involvement of various stakeholders. There is less certainty of its efficacy owing to lower quality of evidence of a net benefit, opposing values and preferences of individuals and populations affected or the high resource implications of the recommendation, meaning there may be circumstances or settings in which it will not apply. » (World Health Organization, 2018)

1.5 Structure du rapport

La section suivante présente la méthodologie utilisée pour répondre à la question de recherche. Les principaux résultats des documents retenus, autant sur le dérangement et les perturbations du sommeil, sont par la suite présentés et discutés. Des mesures de réduction du bruit des éoliennes et les effets sur la santé sont brièvement présentées, avant de conclure.

2 MÉTHODOLOGIE

Bien que ce document soit désigné comme une revue narrative de type synthèse des connaissances⁴, elle emprunte tout de même plusieurs caractéristiques à la revue systématique⁵ et la revue rapide⁶ dans l'approche méthodologique retenue. En effet, tout comme la revue systématique, ce document :

- Répond à une question bien ciblée;
- Utilise un protocole bien établi afin de minimiser les biais, lequel inclut :
 - Une recherche documentaire exhaustive;
 - Des critères explicites de sélection des études appliqués par deux chercheurs de façon indépendante;
 - L'évaluation de la qualité par deux chercheurs de façon indépendante en utilisant des outils validés ainsi que la discussion en cas de désaccord et l'intervention éventuelle d'une ou de plusieurs personnes pour établir un consensus.

(Framarin et Déry, 2021)

Pour cette analyse, la question de recherche est la suivante :

Quelle est la prévalence du fort dérangement et des perturbations du sommeil en fonction du niveau d'exposition mesuré ou modélisé pour la population vivant à proximité des éoliennes ?

Le présent document analyse la littérature scientifique et grise portant sur le bruit des éoliennes publiée depuis les recensions systématiques des écrits réalisées par l'OMS pour l'élaboration des *Environmental Noise Guidelines for the European Region* (World Health Organization, 2018), soit les études de Guski *et al.* (2017) portant sur le dérangement et celle de Basner et McGuire sur les perturbations du sommeil (2018). Différentes stratégies de recherche documentaire ont été lancées par l'OMS pour chacun des effets sur la santé et le bien-être (tableau 1), lesquelles couvraient diverses périodes chronologiques allant environ de 2000 à 2014-2015.

⁴ **Synthèse des connaissances** : « Écrit présentant une synthèse des connaissances scientifiques disponibles sur une question pertinente à la santé publique. Il contient et rend compte des résultats d'une démarche explicite pour identifier les études scientifiques pertinentes à la question examinée, évaluer la qualité de ces études, en extraire les données, formuler des conclusions et les analyser. » [Publications spécialisées](#)

⁵ **Revue systématique (avec ou sans méta-analyse)** : « Revue de littérature qui vise à identifier, évaluer et synthétiser toutes les évidences scientifiques qui répondent à des critères d'admissibilité prédéfinis pour répondre à une ou des questions spécifiques en recourant à des méthodes explicites et systématiques pour en minimiser les biais. » [Publications spécialisées](#)

⁶ **Revue rapide** : « Forme de revue systématique conduite en une période de temps plus courte et en adaptant les méthodes afin d'accélérer le processus. » (Framarin et Déry, 2021)

Tableau 1 Couverture chronologique des recensions systématiques des écrits de l'OMS

Effets sur la santé et le bien-être	Fin de la période chronologique
Dérangement	La recherche documentaire couvre la période de 2000 à 2014. [<i>"Restricted the search to the publication years 2000–2014."</i>] (Guski <i>et al.</i> , 2017)
Perturbations du sommeil	La recherche documentaire s'étend jusqu'en 2014. Des recherches complémentaires ont été menées le 30 juillet 2015 et le 1 ^{er} décembre 2015. [<i>"The two literature searches were conducted in 2014. Additional searches were conducted on 30 July 2015 and 1 December 2015."</i>] (Basner et McGuire, 2018)

2.1 Stratégie de recherche documentaire dans les bases de données

La stratégie de recherche a été élaborée avec l'aide des ressources spécialisées du service des ressources documentaires de l'INSPQ. Dans l'optique de documenter les effets sur la santé du bruit des éoliennes, la recherche documentaire a été développée à partir des trois concepts présentés dans le tableau 2. Pour simplifier la gestion des résultats, l'ensemble des documents recensés pour tous les effets potentiels sur la santé, incluant les effets non traités dans le présent rapport, ont été traités à l'intérieur d'une même base de données de résultats.

Pour l'équation de recherche, les mots-clés de chaque concept sont liés entre eux par des marqueurs « OR », tandis que les concepts sont liés entre eux par des marqueurs « AND ». Les requêtes de recherche complètes sont présentées à l'annexe 2.

Tableau 2 Concepts de la recherche documentaire

Concept 1 Éoliennes	Concept 2 Bruit	Concept 3 Santé et bien-être
<i>Wind farms</i> <i>Wind turbine</i>	<i>Noise</i> <i>Sound</i> <i>Infrasounds</i> <i>Low frequency</i> <i>Amplitude modulation</i>	<i>Annoyance</i> <i>Effects on Sleep</i> <i>Cognition</i> ¹ <i>Quality of Life, Wellbeing and Mental Health</i> ¹

¹ Des mots-clés pour repérer les publications concernant d'autres effets sur la santé traités dans les revues systématiques de l'OMS ont été ajoutés aux équations de recherche documentaire. Toutefois, seuls les documents traitant du dérangement ou des perturbations du sommeil ont été retenus dans la présente analyse.

2.1.1 Bases de données et dates d'interrogation

Des stratégies de recherche ont été développées pour les plateformes de recherche que sont Ovid et EBSCO. À partir de ces plateformes, plusieurs bases de données ont été interrogées le 31 mars et le 1^{er} avril 2022 :

- Medline (Ovid), 2022-03-31;
- Embase (Ovid), 2022-03-31;
- Global Health (Ovid), 2022-03-31;
- APA PsycInfo (Ovid), 2022-03-31;
- Political Science Complete (EBSCO), 2022-04-01;
- Public Affairs Index (EBSCO), 2022-04-01;
- SocINDEX with Full Text (EBSCO), 2022-04-01;
- Environment Complete (EBSCO), 2022-04-01;
- GreenFILE (EBSCO), 2022-04-01;
- Health Policy Reference Center (EBSCO), 2022-04-01;
- Psychology and Behavioral Sciences Collection (EBSCO), 2022-04-01;
- CINAHL Complete (EBSCO), 2022-04-01.

2.1.2 Limites

Les stratégies de recherche de la documentation scientifique ont été limitées pour la période chronologique de 2014 à 2022. Celle-ci recoupe volontairement la couverture chronologique des recensions à la base des recommandations de l'OMS afin de s'assurer de capter l'ensemble des articles publiés depuis. Les articles déjà traités dans les stratégies de recherche de l'OMS étaient retirés lors de l'analyse de pertinence.

Aucune limite géographique ou linguistique n'a été appliquée dans la stratégie de recherche. Celles-ci ont plutôt été ajoutées dans les critères de sélection (voir le tableau 3 p. 12).

2.2 Documents tirés de la littérature grise

Une stratégie de recherche circonscrite a été déployée pour la littérature grise publiée à partir de l'année 2014. La stratégie visait à repérer deux types de documents qui n'auraient pas été repérés par la stratégie de recherche dans les bases de données, soit les :

- Nouvelles études originales sur les perturbations du sommeil ou le dérangement;

- Revues de littérature ou avis d'organismes nationaux, internationaux ou de provinces canadiennes⁷.

Les requêtes de recherche complètes sont présentées à l'annexe 2.

2.2.1 Moteur de recherche Google

La stratégie de recherche a utilisé le moteur de recherche Google. Celle-ci a été effectuée le 6 juin 2022 en français et en anglais. Chaque requête de recherche a été limitée aux 200 premiers résultats (français et anglais). Au total, 400 résultats ont été analysés. Les mêmes critères que ceux de la stratégie de recherche de publications scientifiques ont été utilisés pour la sélection des documents pertinents.

2.2.2 Sites Web d'organisations ciblées

La stratégie de recherche déployée pour la littérature grise a également été menée sur les sites Web⁸ des principaux ministères et des organismes spécialisés en environnement ou dans le domaine du bruit environnemental identifiés. Les requêtes de recherche complètes sont présentées à l'annexe 2.

2.2.3 Périodiques ciblés

Une recherche a été effectuée dans ces deux périodiques non catalogués dans les bases de données interrogées :

- Journal of Low Frequency Noise;
- Vibration and Active Control.

Aucune base de données de littérature grise n'a été interrogée.

2.3 Stratégies complémentaires

Une stratégie de recherche complémentaire de type « boule de neige » a également été déployée. Celle-ci consistait à identifier des articles répondant aux critères de sélection parmi les références citées dans les revues de littérature récentes (publiées en 2018 et après) et les articles scientifiques retenus dans le cadre de la présente recension.

⁷ Ces types de documents ont été identifiés au travers des différentes stratégies de recherche documentaire, mais en raison des contraintes de temps pour la réalisation de la recension, leur analyse ne fait pas partie du présent mandat.

⁸ Les sites Web ont été consultés par l'entremise de Google.

2.4 Critères de sélection et d'analyse

Les critères de recherche documentaire et d'analyse de la pertinence retenus pour effectuer la sélection des articles sont présentés dans le tableau 3 et le tableau 4 (p. 13).

Tableau 3 Critères de sélection des publications lors de la recherche documentaire

Critères	Inclusion	Exclusion
Type de document	Études quantitatives présentant des données originales (ex. : transversale, cas-témoin).	Lettre, éditorial, essai, actes de conférences et des protocoles de recherche sans résultats. Études qualitatives. Revue systématiques, recension des écrits, rapports gouvernementaux, rapports de groupes d'experts, lignes directrices et normes ² .
Format du document	Avec résumé	Sans résumé
Titre et résumé	Doit montrer un lien avec la question de recherche.	Exclusion des publications traitant d'autres effets sur la santé ou d'autres critères d'évaluation.
Contexte de l'étude	Étude terrain	Étude en laboratoire
Couverture chronologique	Publication après 2013-12-31. Articles publiés non pris en compte par les revues systématiques de la littérature faites dans le cadre des travaux de l'OMS.	Avant 2013-12-31. Après 2013-12-31, mais déjà inclus dans les revues systématiques de l'OMS.
Langue de publication	Français, anglais	Publication écrite dans une autre langue que le français ou l'anglais.
Couverture géographique	Pays de l'OCDE ¹	Pays hors de l'OCDE

¹ OCDE : Organisation de coopération et de développement économique.

Ce choix a été fait pour tenter de s'assurer que les documents retenus avaient un contexte socioéconomique comparable à celui du Québec.

² Ces types de documents ont été identifiés au travers des différentes stratégies de recherche documentaire, mais en raison des contraintes de temps pour la réalisation de la recension, leur analyse ne fait pas partie du présent mandat. La bibliographie des documents recensés est présentée en annexe 3.

Tableau 4 Critères d'analyse de la pertinence

Critères	Inclusion	Exclusion
Type d'effets santé	Dérangement (nuisance/gêne) dû au bruit. Effets sur le sommeil dus au bruit.	Autres effets sur la santé ou impacts potentiels des éoliennes.
Exposition	Bruit des éoliennes. Bruits particuliers des éoliennes (infrasons, basses fréquences, modulation de l'amplitude).	Bruit de construction, de démantèlement, d'entretien et de transport associé aux parcs éoliens.
Population	Personnes vivant à proximité d'éoliennes (ex. : population générale, groupes vulnérables, enfants, personnes âgées).	Travailleurs. Animaux (domestiques, de laboratoire, d'élevage, oiseaux, etc.) ou insectes.
Type de bâtiments	Bâtiments remplissant une fonction d'habitation (ex. : résidences, résidences étudiantes, hôpitaux, CHSLD, maisons de retraite). Bâtiments sensibles (écoles, garderies, etc.).	Bâtiments remplissant une fonction commerciale ou de travail (ex. : bureaux).
Appréciation des biais et de l'applicabilité des documents	Faible risque de biais ou peu d'inquiétude sur l'applicabilité de la publication.	Risque de biais ou inquiétude sur l'applicabilité de la publication.
Mesures de réduction du bruit des éoliennes (optionnel)	Période d'activités des éoliennes (ex. : selon la période de la journée/nuit, selon les conditions météorologiques), distances séparatrices, redevances, isolation acoustique, etc.	Mesures de protection individuelle (p. ex. bouchons d'oreille).

2.5 Gestion des publications identifiées

La stratégie de recherche a permis d'identifier un total de 767 documents. Ce nombre est passé à 444 après l'élimination des doublons. Un premier tri sur la base du titre et du résumé a été effectué et 67 publications ont été retenues pour une évaluation de leur pertinence sur la base de leur texte complet. L'admissibilité du texte intégral de 54 documents a été évaluée. Deux documents n'ont pas été traités en raison du critère de la langue, deux en raison du format et neuf en raison de leur inclusion préalable dans l'analyse de l'OMS. Des 54 documents intégraux lus, 12 documents ont été jugés pertinents et ont été retenus pour l'appréciation des biais et de l'applicabilité des études. La stratégie de recherche de la littérature grise n'a pas permis d'identifier de document pertinent et de qualité supplémentaire.

Certains documents de types revues systématiques, recension des écrits, rapports gouvernementaux, rapports de groupes d'experts et les normes ont été identifiés par la stratégie de recherche dans les bases de données ou dans la littérature grise. La bibliographie de ces documents se trouve en annexe 3, mais en raison des contraintes de temps pour la réalisation

de la recension, leur analyse ne fait pas partie du présent rapport. Ces documents sont donc considérés comme « exclus » dans l'organigramme de type PRISMA (annexe 2).

2.6 Appréciation des biais et de l'applicabilité des documents

Une grille d'appréciation des biais et de l'applicabilité des études a également été utilisée pour la sélection finale des documents. La grille utilisée est celle élaborée par Santé publique Ontario (SPO), soit la [MetaQAT – Outil d'évaluation critique](#). Cette grille permet de faire une évaluation de quatre grands aspects, soit la pertinence, la fiabilité, la validité et l'applicabilité. Au final, trois documents ont été exclus à la suite de l'appréciation des biais et de l'applicabilité. Ainsi, neuf documents ont été retenus pour cette recension, soit sept publications sur le dérangement et cinq sur les perturbations du sommeil.

L'annexe 1 présente un tableau synthèse de cette grille, laquelle identifie l'ensemble des publications retenues et analysées avec cet outil, de même que les raisons des exclusions.

3 RÉSULTATS

3.1 Dérangement

Le tableau 5 (p. 16) résume les caractéristiques principales des sept publications recensées sur le dérangement causé par le bruit des éoliennes. Notez que ces publications sont basées sur six études de terrain, les publications de Michaud *et al.* (2016c) et de Michaud *et al.* (2016a) étant basées sur la même enquête.

Tableau 5 Description des études recensées portant sur le dérangement en fonction du niveau de bruit des éoliennes

Références	Devis d'étude et échantillon	Méthode de caractérisation des niveaux de bruit des éoliennes	Méthode de mesure du dérangement	Résultats
Michaud <i>et al.</i> (2016c) Canada	Transversale. n = 1 238 Taux de participation = 78,9 % Sites multiples (315 éoliennes en Ontario et 84 éoliennes à l'Île-du-Prince-Édouard). 1 011 participants en Ontario et 227 participants à l'Île-du-Prince-Édouard.	Modélisation du niveau de bruit extérieur avec mesures terrain sur 3 à 4 jours pour validation (n > 4 000 mesures). Catégories de bruit [dBA] : < 25; [25–30); [30–35); [35–40); [40–46] Niveau sonore pondéré A (SPL) évalué selon ISO 9613-1 (1993) et ISO 9613-2 (1996). Vent porteur (8 m/s à 10 m). Vitesse du vent de 8 m/s à 10 m (bruit des turbines près du maximum). Évaluation du niveau L _{den} à l'aide d'une modélisation basée sur les données tirées des éoliennes à l'étude. L _{den} = SPL + 1,9 dB en moyenne.	Questionnaire socio-acoustique (échelle verbale et question selon la norme ISO 15666 [2021]). Question : « <i>Thinking about the last year or so, when you are at home, how much does noise from [SOURCE] bother, disturb or annoy you?</i> » Choix de réponse : « <i>not at all</i> », « <i>slightly</i> », « <i>moderately</i> », « <i>very</i> » ou « <i>extremely</i> ». Définition du fort dérangement : « <i>very</i> » ou « <i>extremely</i> ».	Proportion de personnes fortement dérangées (%HA) : $\%HA = 100 \text{ EXP}(-1/[10^{(DNL-CTL+5,306)/10}]^{0,3}))$ CTL50 (avec intervalle de confiance de ± 1 écart-type) = 61,1 (57,7-64,5) CTL50 (Ontario) = 57,07 dB CTL50 (Île-du-Prince-Édouard) = 64,57 dB

Tableau 5 Description des études recensées portant sur le dérangement en fonction du niveau de bruit des éoliennes (suite)

Références	Devis d'étude et échantillon	Méthode de caractérisation des niveaux de bruit des éoliennes	Méthode de mesure du dérangement	Résultats
<p>Michaud <i>et al.</i> (2016a)</p> <p>Canada</p>	<p>Transversale.</p> <p>n = 1 238</p> <p>Taux de participation = 78,9 %</p> <p>Sites multiples (315 éoliennes en Ontario et 84 éoliennes à l'Île-du-Prince-Édouard).</p> <p>1 011 participants en Ontario et 227 participants à l'Île-du-Prince-Édouard.</p>	<p>Modélisation du niveau de bruit extérieur avec mesures terrain pour validation.</p> <p>Catégories de bruit [dBA] : < 25; [25–30]; [30–35]; [35–40]; [40–46]</p> <p>Niveau sonore pondéré A (SPL) évalué selon ISO 9613-1 (1993) et ISO 9613-2 (1996).</p> <p>Vent porteur (8 m/s à 10 m).</p> <p>Vitesse du vent de 8 m/s à 10 m (bruit des turbines près du maximum).</p>	<p>Questionnaire socio-acoustique (échelle verbale et question selon la norme ISO 15666 [2021]).</p> <p>Question : « <i>Thinking about the last year or so, when you are at home, how much does noise from [SOURCE] bother, disturb or annoy you?</i> »</p> <p>Choix de réponse : « <i>not at all</i> », « <i>slightly</i> », « <i>moderately</i> », « <i>very</i> » ou « <i>extremely</i> ».</p> <p>Définition du fort dérangement : « <i>very</i> » ou « <i>extremely</i> ».</p>	<p>Prévalence du fort dérangement : < 25 = 0,0 % [25–30] = 2,1 % [30–35] = 1,0 % [35–40] = 10,0 % [40–46] = 13,7 %</p> <p>Plus la prévalence du dérangement augmente, plus la catégorie de bruit est élevée.</p> <p>De plus, le dérangement augmente significativement pour les catégories de bruit supérieures à 35 dB par rapport aux catégories inférieures (p < 0,009).</p>

Tableau 5 Description des études recensées portant sur le dérangement en fonction du niveau de bruit des éoliennes (suite)

Références	Devis d'étude et échantillon	Méthode de caractérisation des niveaux de bruit des éoliennes	Méthode de mesure du dérangement	Résultats
Hongisto <i>et al.</i> (2017) Finlande	Transversale. n = 429 Taux de participation = 57 % Trois sites étudiés.	Modélisation du niveau de bruit extérieur avec mesures terrain pour validation. Catégories de bruit [dBA] : [25–30); [30–35); [35–40); [40–45] Étendue des niveaux d'expositions : 26,7 à 44,2 dB Niveau sonore pondéré A (SPL) évalué selon ISO 9613-2 (1996). Absence de vent porteur. Vitesse du vent de 8 m/s à 10 m (bruit des turbines près du maximum). Évaluation du niveau L_{den} en appliquant le facteur recommandé par van den Berg (2008). $L_{den} = SPL + 4,7 \text{ dB}$	Questionnaire socio-acoustique. Question : « <i>How annoying do you find the following sound? [LIST OF SOURCES] (F1: indoors, F2: outdoors) »</i> Choix de réponse : « <i>do not notice</i> », « <i>notice but not annoyed</i> », « <i>slightly annoyed</i> », « <i>rather annoyed</i> » ou « <i>very annoyed</i> ». Définition du fort dérangement : « (1) <i>Percentage of highly annoyed %HA corresponds to the percentage of participants who responded 5 on our annoyance scale [...]</i> (2) <i>Percentage of highly annoyed %HA corresponds to the percentage of participants whose responses were above the cut-off point of 72% in a transformation, where the responses from 1 to 5 were equally distributed on a scale from 0 to 100. »</i>	Proportion de personnes fortement dérangées (%HA) : $\%HA = 100 \text{ EXP}(-1/[10^{(DNL-CTL+5,306)/10}]^{0,3}))$ CTL20 = 48 dB et CTL50 = 60 dB pour le bruit à l'extérieur (50 et 62 dB, respectivement, pour le bruit intérieur).

Tableau 5 Description des études recensées portant sur le dérangement en fonction du niveau de bruit des éoliennes (suite)

Références	Devis d'étude et échantillon	Méthode de caractérisation des niveaux de bruit des éoliennes	Méthode de mesure du dérangement	Résultats
Pawlaczyk-Luszczynska <i>et al.</i> (2018)	Transversale. n = 517	Modélisation du niveau de bruit extérieur avec mesures terrain pour validation.	Questionnaire socio-acoustique.	Proportion de personnes fortement dérangées à l'extérieur (avec IC* à 95 %) :
Pologne	Taux de participation = 78 % Dix sites étudiés.	Catégories de bruit [dBA] : < 40; [40-45); > 45 dB Étendue des niveaux d'expositions : 33,7 à 49,9 dB LAeq (35 à 53 dB Lden) Niveau sonore pondéré A (SPL) évalué selon ISO 9613-2 (1996). Vent porteur non précisé. Vitesse du vent : non précisée. Évaluation du niveau L _{den} en appliquant le facteur recommandé par van den Berg (2008). L _{den} = SPL + 4,7 dB	Question inspirée de Pedersen et Persson Waye (2004, 2007) : « Specify for each of the inconveniences below whether you notice it or are annoyed by it outside your dwelling. » Choix de réponse : « not at all annoying », « a little annoying », « rather annoying », « annoying » ou « extremely annoying ». Définition du fort dérangement : « annoying » ou « extremely annoying ».	< 40 = 24,1 (17,6-32,1) 40-45 = 27,1 (22,3-32,5) > 45 dB = 36,5 (27,5-46,5) Proportion de personnes fortement dérangées à l'intérieur (avec IC à 95 %) : < 40 = 14,3 (9,3-21,4) 40-45 = 18,8 (14,7-23,7) > 45 dB = 22,9 (15,6-32,4)

* IC : Intervalle de confiance.

Tableau 5 Description des études recensées portant sur le dérangement en fonction du niveau de bruit des éoliennes (suite)

Références	Devis d'étude et échantillon	Méthode de caractérisation des niveaux de bruit des éoliennes	Méthode de mesure du dérangement	Résultats
Haac <i>et al.</i> (2019) États-Unis	<p>Transversale.</p> <p>n = 1 705 (dont 1 025 pour lesquels les niveaux sonores ont été modélisés).</p> <p>Taux de participation de 13,8 % pour les participants par téléphone et de 17,9 % pour les participants par courriel ou Internet.</p> <p>61 sites de projets modélisés et 189 sites de projets non modélisés.</p>	<p>Modélisation du niveau de bruit extérieur.</p> <p>Catégories de bruit [dBA] : < 30; [30–35); [35–40); [40–45); [45–50); > 50</p> <p>Étendue du bruit : non précisée.</p> <p>LA_{eq, 1h-max} évalué selon ISO 9613-1, (1993) et ISO 9613-2, (1996). Vent porteur non précisé. Modélisation du niveau sonore (SPL) généré selon des conditions d'opérations raisonnables. Sélection du LA_{eq, 1h} maximal selon ces hypothèses. Ajout de 2 dB pour tenir compte des incertitudes liées à la modélisation et aux données des fabricants d'éoliennes.</p> <p>Vitesse du vent : non précisée.</p> <p>Modélisation pour 61 projets exposant 1 025 répondants.</p>	<p>Questionnaire socio-acoustique.</p> <p>Question : « <i>To what extent do you feel annoyed by each of the following effects of the local wind project?</i> » « <i>Sound of the wind project.</i> »</p> <p>Choix de réponse : « <i>not at all</i> », « <i>slightly</i> », « <i>somewhat</i> », « <i>moderately</i> » ou « <i>very</i> ».</p> <p>Définition du fort dérangement : « <i>very</i> ».</p>	<p>Proportion de personnes fortement dérangées (%HA) : %HA = 100 EXP(-(1/[10^{(DNL-CTL+5,306)/10^{0,3}]}))</p> <p>CTL50 (avec intervalle de confiance de ± 1 écart-type) = 61,9 (58,9-65,0)</p>

Tableau 5 Description des études recensées portant sur le dérangement en fonction du niveau de bruit des éoliennes (suite)

Références	Devis d'étude et échantillon	Méthode de caractérisation des niveaux de bruit des éoliennes	Méthode de mesure du dérangement	Résultats
Haac <i>et al.</i> (2019) États-Unis (suite)		Évaluation du niveau Ldn en fonction des données de vent du NREL Wind Toolkit (NREL, 2018) et de considérations propres à chaque projet. Ldn = L1h-max + 3,6 dB, en moyenne.		
Radun <i>et al.</i> (2019) Finlande	Transversale. n = 307 Taux de participation = 57 % Trois sites étudiés.	Modélisation du niveau de bruit extérieur avec mesures terrain pour validation. Catégories de bruit [dBA] : [25–30]; [30–35]; [35–40]; [40–46] Niveau sonore pondéré A (SPL) évalué selon ISO 9613-2 (1996). Vent porteur (8 m/s à 10 m). Vitesse du vent de 8 m/s à 10 m (bruit des turbines près du maximum).	Questionnaire socio-acoustique. Question : « <i>How annoying do you find the WT sound outdoors in your yard?</i> » Choix de réponse : « <i>do not notice</i> », « <i>notice but not annoyed</i> », « <i>slightly annoyed</i> », « <i>rather annoyed</i> » ou « <i>very annoyed</i> ». Question : « <i>How annoying do you find the WT sound indoors inside your apartment?</i> » Choix de réponse : « <i>Do not notice</i> », « <i>notice but not annoyed</i> », « <i>slightly annoyed</i> », « <i>rather annoyed</i> » ou « <i>very annoyed</i> ». Définition du fort dérangement : « <i>rather annoyed</i> » ou « <i>very annoyed</i> ».	Prévalence du fort dérangement Extérieur : [25–30] = 0,0 % [30–35] = 7,3 % [35–40] = 25,2 % [40–46] = 66,7 % Prévalence du fort dérangement Intérieur : [25–30] = 5,0 % [30–35] = 3,7 % [35–40] = 12,6 % [40–46] = 33,3 %

Tableau 5 Description des études recensées portant sur le dérangement en fonction du niveau de bruit des éoliennes (suite)

Références	Devis d'étude et échantillon	Méthode de caractérisation des niveaux de bruit des éoliennes	Méthode de mesure du dérangement	Résultats
Qu et Tsuchiya (2021) Royaume-Uni	Transversale avec un groupe témoin. n = 359 Taux de participation = 12 % Trois sites étudiés.	Modélisation du niveau de bruit extérieur avec mesures terrain pour validation. Catégories de bruit [dBA] : < 30); [30–35]; [35–40]; > 40 Étendue du bruit : non précisée Niveau sonore pondéré A (SPL) évalué selon ISO 9613-2 (1996). Vent porteur (8 m/s à 10 m). Vitesse du vent de 8 m/s à 10 m (bruit des turbines près du maximum).	Questionnaire socio-acoustique. Deux variantes de questionnaire. La variante 1 comporte 3 questions (1 question générale et 2 questions spécifiques) alors que la variante 2 comporte seulement la question générale. Question générale variante 1 et 2 : « <i>The following are several things that might exist in people's living environment. Please state for each thing of the below, whether you notice them and if so, whether you are annoyed by them when you spend time at home.</i> » Choix de réponse : « <i>not at all</i> », « <i>slightly</i> », « <i>moderately</i> », « <i>very</i> » ou « <i>extremely</i> ». Question spécifique variante 1 seulement : « <i>Thinking about the last 12 months, when you are at home, how much does noise from wind turbines bother, disturb or annoy you?</i> » Choix de réponse : « <i>not at all</i> », « <i>slightly</i> », « <i>moderately</i> », « <i>very</i> » ou « <i>extremely</i> ».	Dérangement (pour une augmentation de 1 dB) : rapport de cote (avec IC à 95 %) = 1,18 (1,08–1,28) Prévalence du dérangement Rapport de cote (avec IC à 95 %) : < 30 = 3 % (0–6) 30–35 = 8 % (3–14) 35–40 = 13 % (7–21) > 40 = 30 % (17–43)

Tableau 5 Description des études recensées portant sur le dérangement en fonction du niveau de bruit des éoliennes (suite)

Références	Devis d'étude et échantillon	Méthode de caractérisation des niveaux de bruit des éoliennes	Méthode de mesure du dérangement	Résultats
<p>Qu et Tsuchiya (2021)</p> <p>Royaume-Uni (suite)</p>			<p>Question spécifique variante 1 seulement :</p> <p>« <i>Thinking about the last 12 months, what number from 0 to 10 best shows how much you are bothered, disturbed or annoyed by wind turbine noise when you spent time outdoors and indoors at your dwelling?</i> »</p> <p>Choix de réponse : 0 (« <i>not at all</i> ») à 10 (« <i>extremely</i> »).</p> <p>Définition du dérangement : « <i>slightly annoyed to extremely annoyed.</i> »</p>	

3.1.1 Descriptions des études recensées

Sept publications se sont intéressées à l'association entre le bruit des éoliennes et le dérangement mesuré auprès de populations habitant à proximité de celles-ci. Une étude de Santé Canada sur le bruit des éoliennes a donné lieu à deux publications (Michaud *et al.*, 2016a, 2016c). Les cinq autres études ont été réalisées en Finlande (Hongisto *et al.*, 2017; Radun *et al.*, 2019), en Pologne (Pawlaczyk-Luszczynska *et al.*, 2018), aux États-Unis (Haac *et al.*, 2019) et au Royaume-Uni (Qu et Tsuchiya, 2021). Cinq publications ont été réalisées avec un financement partiel des gouvernements locaux, deux publications avec un financement partiel de compagnies d'énergies locales et une publication a été réalisée par des consultants en acoustique (voir annexe 1).

Toutes les publications ont évalué l'exposition des populations à l'étude par une modélisation des niveaux sonores (*sound pressure level, SPL*), appelé niveau sonore (SPL) par la suite, évalués selon les recommandations de la norme ISO 9613-2 (1996). Certains paramètres des modélisations sont différents d'une étude à l'autre (conditions atmosphériques, vent porteur, etc.). Cependant, la plupart des études modélisent le niveau sonore (SPL) à partir des caractéristiques d'émissions des éoliennes lorsqu'elles fonctionnent près de leur vitesse maximale (Hongisto *et al.*, 2017; Michaud *et al.*, 2016a, 2016c; Qu et Tsuchiya, 2021; Radun *et al.*, 2019). Ce paramètre n'est pas précisé dans l'étude de Pawlaczyk-Luszczynska *et al.* (2018), tandis que l'étude de Haac *et al.* (2019) utilise le niveau sonore (SPL) généré selon des conditions d'opérations raisonnables, non précisées, auxquelles les auteurs ajoutent 2 dB pour tenir compte des incertitudes liées aux modélisations et aux données des fabricants d'éoliennes. L'étude de Haac *et al.* (2019) diffère aussi des autres études, puisqu'elle utilise le $LA_{eq, 1h-max}$, évalué en fonction du niveau sonore (SPL) modélisé. La définition de cet indicateur n'est pas clairement précisée dans l'étude de Haac *et al.* (2019). Enfin, pour les études ayant caractérisé le bruit au moyen d'un indicateur de type L_{den} ou L_{dn} , seule l'étude de Michaud *et al.* (2016c) évalue cet indicateur en fonction d'une modélisation basée sur les données des éoliennes à l'étude.

La mesure du dérangement a été faite par un questionnaire socio-acoustique propre à chaque étude. Les différents questionnaires employés comportent une ou plusieurs questions sur le dérangement dont la formulation varie d'une étude à l'autre, mais elles invitent généralement les participants à qualifier le niveau de dérangement subi par les différentes sources de bruit à proximité du lieu de résidence en le situant sur une échelle à cinq niveaux. Les choix de réponse varient selon les études. Par exemple, l'échelle utilisée dans les études de Michaud *et al.* (2016c), Michaud *et al.* (2016a) ainsi que Qu et Tsuchiya (2021) offre les choix de réponse suivants : pas du tout dérangé, légèrement dérangé, moyennement dérangé, très dérangé et extrêmement dérangé. Ceux-ci correspondent aux choix de réponse recommandée dans la norme ISO 15666 (2021) (voir tableau 5 p. 16).

L'indicateur du fort dérangement (*highly annoyed*) causé par le bruit est celui privilégié pour mesurer cet effet sur la santé (Lebel, Martin et Dubé, 2019). L'OMS le présente comme étant l'indicateur le plus pertinent pour la caractérisation du dérangement (World Health Organization, 2018). Dans les études recensées, l'indicateur du fort dérangement est généralement utilisé, mais sa définition varie selon les études. Dans les études de Michaud *et al.* (2016c, 2016a), Pawlaczyk-Luszczynska *et al.* (2018) ainsi que Radun *et al.* (2019), le fort dérangement correspond à la combinaison des deux niveaux de dérangement les plus élevés (ex. : dans les études de Michaud, cela correspond à « très » et « extrêmement dérangé »). Cela correspond à la définition du fort dérangement recommandée dans la norme ISO 15666 (2021).

Au final, une combinaison de question, choix de réponse et définition du fort dérangement similaire à celle recommandée dans la norme ISO 15666 (2021) était présente pour les publications de Michaud *et al.* (2016c, 2016a). Les autres publications semblent présenter des déviations par rapport à cette norme : Hongisto *et al.* (2017) (question, choix de réponse et définition du fort dérangement); Pawlaczyk-Luszczynska *et al.* (2018) (question non précisée); Haac *et al.* (2019) (question, choix de réponse et définition du fort dérangement); Radun *et al.* (2019) (question et choix de réponse); et Qu et Tsuchiya (2021) (définition du fort dérangement).

L'étude de Santé Canada a fait l'objet de deux publications retenues dans la présente analyse, celles de Michaud *et al.* (2016c, 2016a). Réalisée auprès de 1 238 participants, cette étude dispose d'un grand échantillon et d'un taux de participation élevé (78,9 %). La répartition des répondants et leurs caractéristiques par catégorie d'exposition au bruit n'est pas présentée, rendant difficile la comparaison des groupes. Cependant, ces publications prennent en compte de multiples facteurs potentiellement confondants et ont réalisé de nombreuses analyses en fonction des différents indicateurs. L'étude de Michaud *et al.* (2016c) a montré une association significative entre le niveau de bruit des éoliennes et le dérangement causé par le bruit. Pour chaque augmentation de 5 dB du niveau sonore (SPL), le rapport de cote (RC) avec intervalle de confiance (IC) à 95 % pour être fortement dérangé augmente de 2,60 (1,92; 3,58), $p < 0,0001$. Cette association ne permet d'expliquer que 9 % du dérangement mesuré dans l'étude ($R^2 = 9\%$).

Les auteurs ont aussi modélisé la proportion de personnes fortement dérangées (%HA) par l'équation 1.

$$\%HA = 100 \times EXP \left(- \left(\frac{1}{[10^{(DNL-CTL+5,306)/10}]^{0,3}} \right) \right) \quad \text{Équation 1}$$

Ici, DNL est le niveau sonore moyen annuel jour-nuit, L_{dn} , similaire au L_{den} , sans la correction en soirées et CTL (*Community tolerance level*), aussi appelé CTL50 ou L_{ct50} , est le niveau sonore moyen annuel pour lequel 50 % de la population exposée rapporte être fortement dérangée. Cette modélisation et l'utilisation de l'indicateur CTL a l'avantage de faciliter la comparaison

entre différentes communautés. L'indicateur CTL ne doit toutefois pas être perçu comme un seuil d'acceptabilité.

À partir de ce modèle, les auteurs ont établi que le CTL50 de la population à l'étude est de 61,1 dB L_{dn} pour l'ensemble des sites, de 57,07 dB L_{dn} pour la sous-population habitant dans la province de l'Ontario et de 64,57 dB L_{dn} pour celle habitant la province de l'Île-du-Prince-Édouard. Selon ce modèle, un calcul⁹ effectué avec le critère de 10 % des personnes fortement dérangées recommandé par l'OMS est atteint à partir d'environ 39,7 dB L_{dn} en Ontario, 47,2 dB L_{dn} à l'Île-du-Prince-Édouard et 43,6 dB L_{dn} pour l'ensemble de la population à l'étude.

Dans cette étude, plusieurs autres facteurs non acoustiques étaient associés au dérangement lors de la modélisation multivariée, sans toutefois être tous statistiquement significatifs. Notamment, les facteurs suivants augmentent significativement le risque d'être fortement dérangé par le bruit des éoliennes : la préoccupation pour la sécurité physique (RC avec IC à 95 % = 14,42 (7,71; 26,96), p < 0,0001) et la sensibilité au bruit (RC avec IC à 95 % = 5 (3,12; 9,84), p < 0,0001), tandis que le fait de recevoir des compensations financières liées aux éoliennes diminue significativement le risque d'être fortement dérangé par le bruit des éoliennes (RC avec IC à 95 % = 12,49 (1,66; 94,25), p = 0,014).

L'étude de Michaud *et al.* (2016a) a également observé une association entre le bruit des éoliennes et le dérangement. Dans cette étude, la prévalence du dérangement augmente avec le niveau sonore (SPL). Le dérangement augmente significativement chez les répondants exposés à un niveau de bruit supérieur à 35 dBA par rapport aux catégories inférieures à ce seuil (p < 0,009). Par ailleurs, le dérangement était significativement plus élevé chez les répondants ontariens que pour ceux de l'Île-du-Prince-Édouard. Le risque d'être fortement dérangé par le bruit des éoliennes était plus élevé en Ontario qu'à l'Île-du-Prince-Édouard (RC avec IC à 95 % = 3,29 (1,47; 8,68), p = 0,0015).

À l'instar de l'étude canadienne de Michaud *et al.* (2016c), l'étude finlandaise de Hongisto *et al.* (2017) a aussi calculé la proportion des personnes fortement dérangées avec le modèle présenté à l'équation 1 sur la base d'une exposition utilisant le L_{den} plutôt que le L_{dn}. Les auteurs ont calculé un CTL50 de 60 dB L_{den} à l'extérieur. Avec ce modèle, le seuil de 10 % des personnes fortement dérangées utilisé par l'OMS est atteint à partir d'environ 42,6 dB L_{den} pour le dérangement à l'extérieur

L'étude polonaise de Pawlaczyk-Luszczynska *et al.* (2018) a observé une augmentation non significative de la proportion de participants fortement dérangés par le bruit des éoliennes à l'extérieur de leur résidence en fonction des niveaux d'exposition au bruit. À l'extérieur, la

⁹ Le niveau DNL nécessaire pour atteindre une proportion donnée de personnes fortement dérangées en fonction d'un CTL modélisé pour une population donnée peut être calculé en isolant DNL dans l'équation 1.

$$DNL = 10 \times \text{LOG} \left(\frac{10^{\frac{\text{CTL}}{10}}}{\ln \left(\frac{\%HA}{100} \right)} \right) + CTL - 5,306$$

proportion de personnes fortement dérangées (avec IC à 95 %) en fonction d'un niveau sonore (SPL) de ≤ 40 dB; 40-45 dB et > 45 dB était de 24,1 % (17,6-32,1); de 27,1 % (22,3-32,5) et de 36,5 % (27,5-46,5), respectivement. La valeur recommandée par l'OMS (2018) avec le critère de 10 % des personnes fortement dérangées est atteint à partir d'un niveau inclus ou inférieur à la plus petite catégorie d'exposition [33,7-40) dB, niveau sonore (SPL), ce qui correspond à environ 38,4-44,7 dB L_{den} selon l'estimation des auteurs. Les variables « niveaux d'exposition » ou « distance » seules n'expliquaient qu'environ 1 % de la variance du niveau de dérangement dans la modélisation, comparativement à environ 66 % de la variance dans un modèle contenant les variables sur l'attitude à l'égard des éoliennes, la sensibilité au bruit, l'intensité de la circulation routière et le niveau de bruit. Dans cette étude, les catégories de bruit sont peu nombreuses et le nombre de répondants est plus faible dans la catégorie de bruit la plus élevée.

L'étude américaine de Haac *et al.* (2019) a modélisé la proportion de personnes fortement dérangées (%HA) avec le même modèle décrit par l'équation 1. Les auteurs ont calculé que le CTL50 de la population à l'étude (avec intervalle de confiance de ± 1 écart-type) est de 61,9 (58,9-65,0) dB L_{dn} . Selon ces résultats, le critère de 10 % des personnes fortement dérangées utilisé par l'OMS est atteint à partir d'environ 44,5 (41,5-47,6) dB L_{dn} . La corrélation a été caractérisée par ΔAIC (*change in Akaike Information Criteria*), qui décrit l'importance des variables dans le modèle. Dans le modèle complet, le ΔAIC pour le fort dérangement par rapport au niveau d'exposition au bruit était de 5, soit une valeur plus faible que le ΔAIC pour les facteurs relatifs à l'aspect visuel des projets éoliens (81) et la sensibilité au bruit (14). Le fait de participer au projet de parc éolien¹⁰ avait une influence sur la courbe dose-réponse, diminuant le dérangement par le bruit des éoliennes (CTL50 = 70,5 dB L_{dn}) comparé à l'exclusion des participants au projet dans la modélisation (CTL50 = 60,8 dB L_{dn}). L'influence de plusieurs autres facteurs a également été analysée. Après le niveau d'exposition au bruit, l'aspect visuel des projets éoliens, la sensibilité au bruit, l'attitude initiale à l'égard d'un projet et le fait d'emménager durant la phase d'exploitation (nouveaux arrivants) étaient les facteurs les plus fortement associés au dérangement lié au bruit des éoliennes.

L'étude de Radun *et al.* (2019) a évalué le dérangement à l'intérieur et à l'extérieur des résidences en Finlande à l'aide d'un modèle de régression logistique. Les auteurs ont trouvé qu'à chaque augmentation de 1 dB du niveau sonore (SPL), le risque d'être fortement dérangé par le bruit des éoliennes à l'extérieur augmente (RC avec IC à 95 % de 1,41 [1,14-1,74]). Dans leur modèle, le niveau d'exposition ne montrait qu'une très faible variation du coefficient de corrélation R^2 de 0,67 à 0,71 (intégration comme dernière variable du modèle) pour le fort dérangement à l'extérieur. Le dérangement dû au bruit à l'extérieur augmentait davantage en fonction des inquiétudes par rapport à la santé (*health concern*), RC avec IC à 95 % = 2,71 (1,78, 4,11); le site étudié (voir le tableau 7 de l'étude pour les RC, p. 36); l'attitude face aux éoliennes

¹⁰ Participer au projet de parc éolien : les participants sont des personnes indemnisées, par exemple celles qui perçoivent des compensations financières.

(*energy attitude*), RC avec IC à 95 % = 1,89 (1,24, 2,87); et la sensibilité au bruit, RC avec IC à 95 % = 1,69 (1,23, 1,32) qu'avec le niveau d'exposition au bruit des éoliennes. Les taux de prévalence brute d'un fort dérangement à l'extérieur par le bruit des éoliennes semblent très élevés : 25,2 % pour la catégorie d'exposition de [35–40 dBA, niveau sonore (SPL)] et 66,7 % pour la catégorie d'exposition de [40–46 dBA, niveau sonore (SPL)]. En fonction de ces résultats, la valeur recommandée par l'OMS (2018), avec le critère de 10 % des personnes fortement dérangées utilisé par l'OMS, est atteint entre 30 et 40 dB, niveau sonore (SPL). Le nombre de répondants exposés à des niveaux de bruit faibles ou élevés est relativement restreint : environ 6,5 % de l'échantillon était dans le groupe le moins exposé et 4 % de l'échantillon dans celui le plus exposé. Les participants ayant reçu des bénéfices n'ont pas été exclus de l'analyse, mais leur influence sur les résultats a été analysée.

L'étude de Qu et Tsuchiya (2021) a utilisé deux questionnaires différents (variante 1 ou 2) pour vérifier si la mention explicite des éoliennes pouvait être source de biais dans la mesure du fort dérangement. Les participants du Royaume-Uni ont répondu à un ou l'autre des questionnaires. Les catégories du niveau de dérangement dans cette étude diffèrent des autres études retenues. En effet, pour pallier le faible nombre de participants fortement dérangés, toutes les réponses mentionnant un dérangement modéré (*slightly, moderately*) ou fort (*very, extremely*) ont été regroupées, excluant donc seulement les personnes non dérangées (*not at all*). Pour chaque augmentation de 1 dB du niveau sonore (SPL), les auteurs ont trouvé que le RC pour le dérangement avec intervalle de confiance à 95 % est de 1,18 (1,08–1,28). Le coefficient de corrélation de Pearson était de $R^2 = 0,264$, soit une relation plutôt faible. Les taux bruts de prévalence (avec IC à 95 %) du dérangement semblent légèrement élevés comparativement aux autres études : 13 % (7–21 %) pour un niveau sonore (SPL) de [35–40] dBA et 30 % (17–43 %) pour un niveau sonore (SPL) > 40 dBA. Le critère de 10 % des personnes fortement dérangées utilisé par l'OMS est donc atteint entre 30 et 40 dBA, niveau sonore (SPL). En plus du niveau d'exposition, une perception négative des impacts environnementaux des éoliennes (perçues comme non écologiques, dangereuses ou inesthétiques) augmentait le risque de dérangement. L'étude possède certaines sources de biais potentiels, notamment un échantillon de petite taille essentiellement constitué de populations habitant en banlieue et un très petit nombre de personnes fortement dérangées. La définition très large du dérangement utilisée par les auteurs rend difficile la comparaison par rapport aux études ayant utilisé une définition plus consensuelle du fort dérangement. L'étude ne présente pas de détails des caractéristiques sociodémographiques de ses participants, autant en ce qui a trait à la catégorie de bruit qu'à l'utilisation de la variante 1 ou 2 du questionnaire socio-acoustique.

Caractéristiques particulières du bruit des éoliennes

La recension des caractéristiques sonores particulières du bruit des éoliennes (basses fréquences, modulation de l'amplitude et forte proportion d'infrasons) n'a pas fait l'objet d'une recherche documentaire portant explicitement sur ces éléments. Cependant, la présente sous-section relève et discute brièvement de ces caractéristiques sonores particulières lorsqu'elles étaient évoquées dans les publications retenues.

L'étude de Haac *et al.* (2019) n'a pas trouvé d'association statistiquement significative de la présence de basses fréquences¹¹ émises par les éoliennes avec le dérangement. L'étude de Hongisto *et al.* (2017) a analysé l'influence des basses fréquences en utilisant un *proxy*. Les éoliennes de plus grande taille dans leur échantillon émettaient significativement plus de basses fréquences. Cela dit, les auteurs n'ont pas trouvé d'association entre la taille des éoliennes et le dérangement. Enfin, l'étude de Michaud *et al.* (2016a) a constaté que l'inclusion des niveaux sonores caractérisés par l'indicateur dBC n'apportait pas de gain additionnel dans leur modélisation, étant donné leur forte corrélation avec l'indicateur dBA. Par ailleurs, la modulation de l'amplitude n'a été mentionnée qu'à titre d'hypothèse exploratoire dans trois études (Haac *et al.*, 2019; Hongisto *et al.*, 2017; Pawlaczyk-Luszczynska *et al.*, 2018). Enfin, la présence d'infrasons a été analysée dans l'étude de Pawlaczyk-Luszczynska *et al.* (2018), mais n'a pas été analysée autrement que pour noter que les niveaux modélisés ou mesurés étaient en dessous des seuils d'audition.

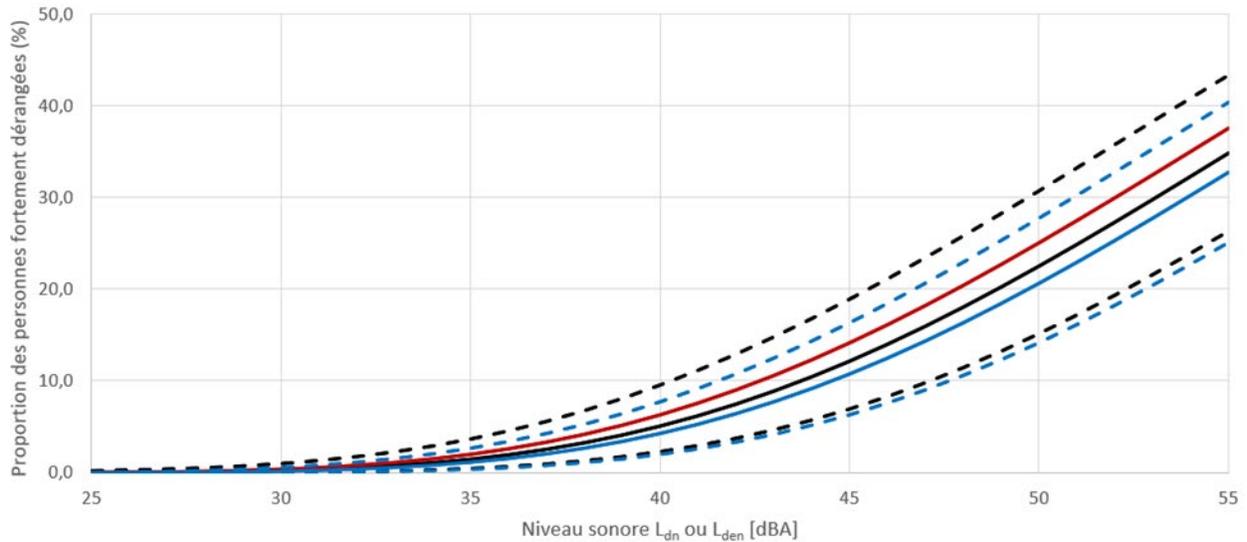
En somme, les études qui font mention des caractéristiques sonores particulières du bruit des éoliennes demeurent peu nombreuses et les associations évoquées ne sont généralement pas confirmées.

3.1.2 Discussion sur le dérangement causé par le bruit des éoliennes

Les données tirées des études de Michaud *et al.* (2016c, 2016a), Hongisto *et al.* (2017) et Haac *et al.* (2019) sont plus facilement comparables aux lignes directrices de l'OMS (2018) étant donné l'utilisation d'un indicateur, le L_{dn} , très similaire au L_{den} pour leur modélisation. La figure 2 donne la proportion des personnes fortement dérangées en fonction du niveau sonore, telle que calculée dans ces trois études. Le critère de 10 % de personnes fortement dérangées est atteint à partir de 43,7 dBA L_{dn} (± 1 écart-type : 40,3-47,1) (Michaud *et al.*, 2016c); de 42,6 dBA L_{dn} (Hongisto *et al.*, 2017) et de 44,5 dBA L_{dn} (± 1 écart-type : 41,5-47,6) (Haac *et al.*, 2019). L'étude de Michaud *et al.* (2016c) permet aussi de trouver ce même seuil de bruit pour les sous-échantillons provinciaux, qui sont de 39,7 dB L_{dn} en Ontario et de 47,2 dB L_{dn} à l'Île-du-Prince-Édouard.

¹¹ Intégration dans la modélisation des niveaux d'exposition à partir de la différence entre les dBC et dBA.

Figure 1 Proportion des personnes fortement dérangées en fonction du niveau de bruit des éoliennes selon les résultats regroupés de trois études



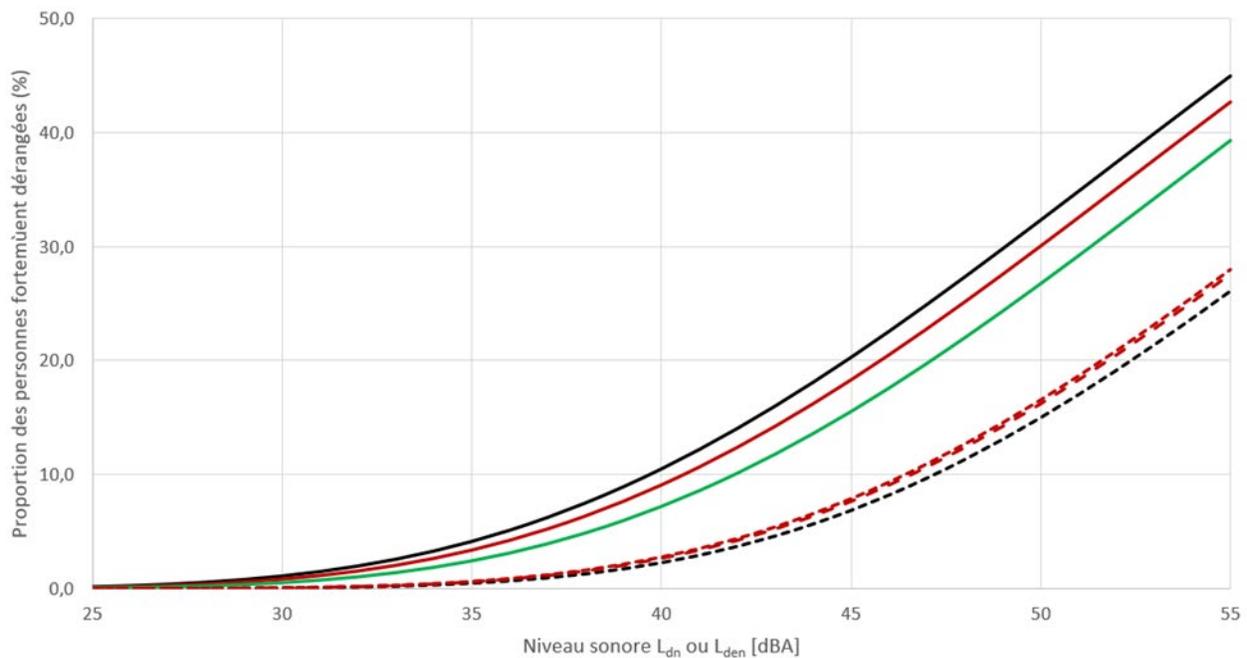
Légende : Proportion des personnes fortement dérangées en fonction du niveau d'exposition au bruit des éoliennes selon la modélisation CTL pour les études de Michaud *et al.* (2016c) en noir (en trait plein ± 1 écart-type en pointillé), Hongisto *et al.* (2017) en rouge (en trait plein) et Haac *et al.* (2019) en bleu (en trait plein ± 1 écart-type en pointillé). Notez que les indicateurs d'exposition au bruit ne sont pas tous les mêmes dans ces études et l'étendue des niveaux sonores à l'origine des modélisations varie aussi d'une étude à l'autre.

Quant aux autres études, une comparaison de leurs résultats avec les lignes directrices de l'OMS (2018) reste difficile en l'absence d'une modélisation similaire sur la base d'une exposition estimée selon un L_{dn} ou L_{den}, donc non moyennée sur une année entière et non corrigée pour le soir ou la nuit. L'étude de Pawlaczyk-Luszczynska *et al.* (2018) a modélisé l'exposition des participants avec l'indicateur L_{den}, mais l'exposition de l'ensemble des participants est élevée et les niveaux de fort dérangement le sont également, de sorte que l'identification du seuil à partir duquel 10 % de la population est fortement dérangée est imprécise (< 44,7 dBA L_{den}). L'étude de Radun *et al.* (2019) place ce seuil à un niveau sonore (SPL) de [35-40] dBA. Enfin, dans l'étude de Qu et Tsuchiya (2021), un niveau sonore (SPL) de [35-40] dBA, qui correspond au critère de 10 % de personnes fortement dérangées, est difficilement comparable aux résultats des autres études en l'absence d'un regroupement spécifique des personnes fortement dérangées par le bruit (définition très large du dérangement).

Les études de Michaud *et al.* (2016c, 2016a) reprend les résultats de plusieurs études antérieures ayant utilisé une modélisation selon l'équation 1. La figure 2 illustre ces résultats, de même que ceux de Michaud *et al.* (2016c, 2016a) pour les deux provinces de leur échantillon. Le seuil correspond à 10 % de la population fortement dérangée se situe entre environ 40 et 47 dBA L_{dn} : 39,7 dBA en Ontario (Michaud *et al.*, 2016c), 47,2 dBA à l'Île-du-Prince-Édouard (Michaud *et al.*,

2016c), 40,6 dBA (Pedersen et Persson Waye, 2004), 46,4 dBA (Pedersen et Persson Waye, 2007), 46,6 dBA (Pedersen *et al.*, 2009) et 41,9 dBA (Yano *et al.*, 2013 cité dans Michaud *et al.*, 2016c).

Figure 2 Proportion des personnes fortement dérangées en fonction du niveau d'exposition au bruit des éoliennes pour les études citées dans Michaud *et al.* (2016c)



Légende : Proportion des personnes fortement dérangées en fonction du niveau de bruit des éoliennes pour les études de Michaud *et al.* (2016c) en noir (Ontario en trait plein, Île-du-Prince-Édouard en pointillé), Pedersen et Persson Waye (2004) en rouge, Pedersen et Persson Waye (2007) en rouge pointillé, Pedersen *et al.* (2009) en rouge pointillé à gros trait et Yano *et al.* (2013, cité dans Michaud *et al.*, 2016c) en vert. Données et références tirées de Michaud *et al.* (2016c). Notez que ces études n'avaient pas toutes des données sur toute l'étendue des niveaux sonores illustrés dans la figure.

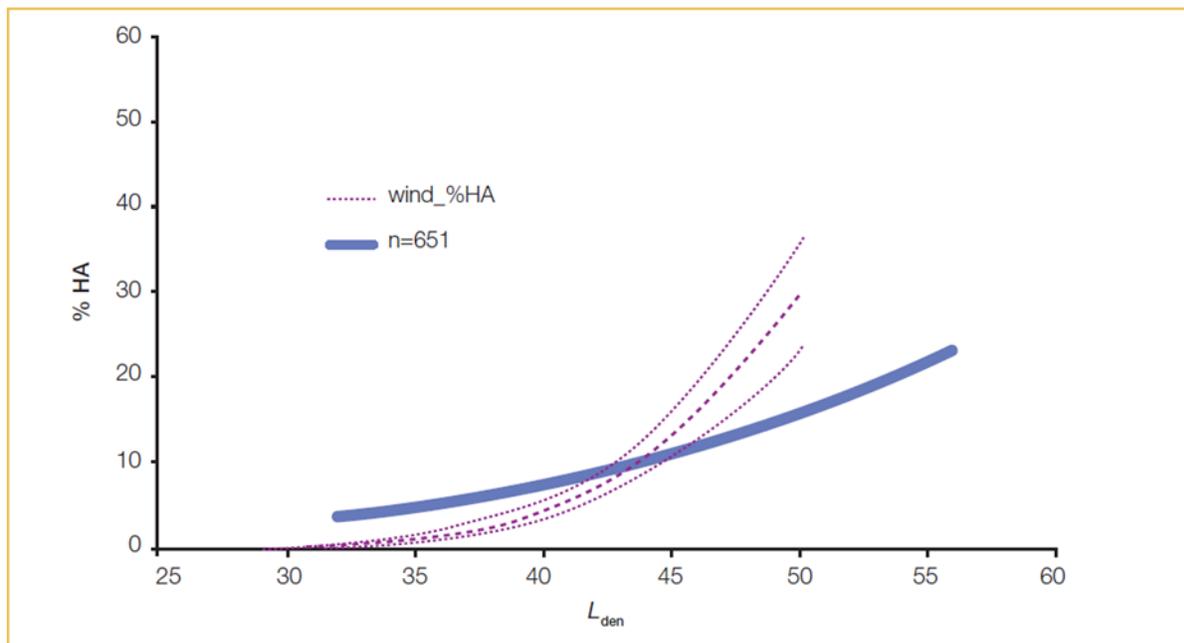
Par rapport au seuil établi par l'OMS d'environ 45 dBA L_{den} pour limiter à 10 % la proportion de personnes fortement dérangées par le bruit des éoliennes (figure 3), les nouvelles études retenues permettent de constater que cette proportion correspond à des niveaux un peu plus faibles : 43,7 (40,3-47,1) dBA L_{dn} (Michaud *et al.*, 2016c), 42,6 dBA L_{dn} (Hongisto *et al.*, 2017) et 44,5 (41,5-47,6) dBA L_{dn} (Haac *et al.*, 2019)¹². Pareilles observations ont été faites dans les autres études retenues, mais pour lesquelles une comparaison n'a pas pu être effectuée directement avec les lignes directrices de l'OMS (Pawlaczyk-Luszczynska *et al.*, 2018; Qu et Tsuchiya, 2021; Radun *et al.*, 2019). Malgré des différences dans les méthodes et les indicateurs d'exposition, ces

¹² Le niveau DNL nécessaire pour atteindre une proportion donnée de personnes fortement dérangées en fonction d'un CTL modélisé pour une population donnée peut être calculé en isolant DNL dans l'équation 1.

$$DNL = 10 \times \text{LOG} \left(\frac{1}{\ln \left(\frac{\%HA}{100} \right)} \right) + CTL - 5,306$$

études montrent aussi des niveaux de dérangement importants à des niveaux d'exposition relativement faibles, parfois sous un niveau sonore (SPL) de 40 dBA.

Figure 3 Proportion des personnes fortement dérangées en fonction du niveau de bruit des éoliennes calculé dans la recension effectuée dans le cadre des travaux de l'OMS (2018)



Notes: Overlay of the two wind turbine outdoor annoyance graphs adapted from Janssen et al. (2011, red) and Kuwano et al. (2014, blue). The Kuwano et al. curve is based on L_{dn} ; no correction for L_{den} has been applied.¹⁸ For further details on the studies included in the figure please refer to the systematic review on environmental noise and annoyance (Guski et al., 2017).

Source : OMS (2018), figure 16.

En l'absence d'une méta-analyse permettant de traiter l'ensemble des données disponibles et de statuer de manière plus formelle, il est toutefois possible de constater :

- Qu'il semble exister une certaine variabilité entre les résultats des études;
- Que selon le critère utilisé par l'OMS de limiter à 10 % la proportion de personnes fortement dérangées par le bruit des éoliennes, la valeur maximale d'exposition au bruit des éoliennes pour atteindre ce critère correspondrait à un niveau d'exposition légèrement en dessous du 45 dBA L_{den} actuellement recommandé;
- Que la proportion de personnes fortement dérangées par le bruit des éoliennes semble varier en fonction de divers facteurs, notamment le contexte et les caractéristiques de la population à l'étude.

3.1.3 Autres facteurs influençant le dérangement

La plupart des études présentées ont trouvé une association entre le niveau d'exposition au bruit des éoliennes et le dérangement. Selon ces études, le niveau de bruit des éoliennes ne serait pas le seul facteur affectant le dérangement. Ainsi, la corrélation ou la capacité des niveaux de bruit des éoliennes à expliquer le fort dérangement n'étant que d'environ 0,27 à moins de 0,02, selon l'indicateur utilisé. En effet, plusieurs autres types de facteurs non reliés aux caractéristiques acoustiques des sources d'intérêts (personnel, social, autres) auraient un effet sur le dérangement (tableau C-1, annexe C, Martin *et al.*, 2015).

Parmi ceux-ci, certains sont des facteurs personnels, lesquels peuvent notamment relever de la perception d'un individu :

- Attitude générale par rapport aux projets éoliens (Pawlaczyk-Luszczynska *et al.*, 2018; Qu et Tsuchiya, 2021; Radun *et al.*, 2019);
- Sensibilité au bruit (Haac *et al.*, 2019; Michaud *et al.*, 2016c; Pawlaczyk-Luszczynska *et al.*, 2018; Radun *et al.*, 2019);
- Peur de la source : inquiétudes liées à la santé (*health concern*) (Radun *et al.*, 2019);
- Peur de la source : préoccupation pour la sécurité physique (*physical safety concerns*) (Michaud *et al.*, 2016c);
- Contexte : le fait d'emménager durant la phase d'exploitation (bruit choisi) (Haac *et al.*, 2019).

D'autres facteurs sont sociaux ou autres :

- Localisation géographique : caractéristiques et niveau de tolérance de la communauté (Michaud *et al.*, 2016a);
- Caractéristiques économiques : recevoir un bénéfice financier direct (Haac *et al.*, 2019; Michaud *et al.*, 2016c, 2021);
- Contexte : attitude initiale avec un projet (Haac *et al.*, 2019);
- Aspect/impact visuel de la source (Haac *et al.*, 2019);
- Entendre ou non une autre source de bruit comme la circulation routière (Michaud *et al.*, 2016c).

En somme, les études qui font mention des facteurs ayant une influence sur le dérangement associé au bruit des éoliennes demeurent peu nombreuses et les associations évoquées ne sont généralement pas confirmées par des études de validation indépendantes.

3.1.4 Limites

En plus des limites propres aux études recensées, la présente analyse n'inclut pas de recension et d'analyse des études qualitatives ou des études de laboratoire. Notamment, les études de laboratoire, même si elles ne permettent pas de reproduire l'ensemble du contexte d'exposition, pourraient fournir des données pour comprendre les caractéristiques particulières du bruit des éoliennes et leurs liens au fort dérangement. De plus, les études portant sur le bruit de construction, de démantèlement, d'entretien et de transport associé aux parcs éoliens, pouvant également être des sources de dérangement pour les personnes habitant à proximité, n'ont pas été analysées.

Les critères de sélections retenus ont aussi limité le nombre d'étude recensés. Par exemple, le tableau 6 présente les études retenues par la recension de van Kamp et van den Berg (2021), qui couvre une période de publication similaire à celle de la présente recension et les raisons de leur exclusion de notre analyse. En dépit de leur exclusion de cette dernière, ces études pourraient malgré tout fournir des données pour comprendre davantage le lien entre l'exposition au bruit éolien et le fort dérangement.

Tableau 6 Présentation des raisons de l'exclusion de certaines études sur le fort dérangement retenues par van Kamp et van den Berg (2021)

Études retenues par van Kamp et van den Berg (2021)	Raisons de l'exclusion
Klæboe et Sundfør (2016)	Exclusion lors de l'analyse des biais et de l'applicabilité (annexe 1).
Song <i>et al.</i> (2016)	Pays hors de l'OCDE.
Michaud <i>et al.</i> (2018a)	Exclusion sur la pertinence. Le fort dérangement est évalué en fonction de la distance et non des niveaux sonores mesurés ou modélisés.
Michaud <i>et al.</i> (2018b)	Exclusion sur la pertinence. Le fort dérangement n'est pas seulement lié au bruit des éoliennes, mais aussi à certaines autres de leurs caractéristiques. Le fort dérangement n'est pas évalué en fonction des niveaux de bruit.
Botelho <i>et al.</i> (2017)	Exclusion sur la pertinence. Le fort dérangement n'est pas évalué en fonction des niveaux de bruit mesurés ou modélisés aux résidences des répondants, mais en fonction des niveaux mesurés dans certaines zones des villages ciblés.
Schäffer <i>et al.</i> (2018)	Exclusion sur la pertinence. Étude de laboratoire.
Schäffer <i>et al.</i> (2019)	Exclusion sur la pertinence. Étude de laboratoire.
Hübner <i>et al.</i> (2019) Germany/USA	Exclusion sur la pertinence. Utilisation d'un indicateur du dérangement associé au stress.
Pohl <i>et al.</i> (2018)	Exclusion lors de l'analyse des biais et de l'applicabilité (annexe 1).
Krogh <i>et al.</i> (2020)	Non recensée par la présente analyse. Cette étude porte sur d'autres issues de santé que le dérangement.

3.1.5 Conclusion sur le dérangement

Les études retenues ont trouvé une association entre le niveau d'exposition au bruit des éoliennes et le fort dérangement. Toutefois, les valeurs observées dans ces études sont légèrement inférieures à la limite de 45 dBA L_{den} retenue dans les lignes directrices de l'OMS (2018) afin de limiter la proportion des personnes fortement dérangées par le bruit des éoliennes à 10 % : 43,7 (40,3-47,1) dBA L_{dn} (Michaud *et al.*, 2016c); 42,6 dBA L_{dn} (Hongisto *et al.*, 2017) et 44,5 (41,5-47,6) dBA L_{dn} (Haac *et al.*, 2019). Le même constat s'applique aux autres études retenues, mais dont les résultats n'ont pu être comparés directement avec les lignes directrices de l'OMS en raison de différences dans les méthodes et les indicateurs d'exposition utilisés (Pawlaczyk-Luszczynska *et al.*, 2018; Qu et Tsuchiya, 2021; Radun *et al.*, 2019). Si l'association entre le niveau de bruit des éoliennes et le fort dérangement mesuré dans les études semble de plus en plus robuste, le nombre d'études disponibles demeure limité. De plus, les niveaux d'exposition ne peuvent expliquer à eux seuls l'ensemble du dérangement mesuré. Plusieurs facteurs non acoustiques, dont des facteurs sociaux et personnels, ont été identifiés dans les études retenues, lesquels semblent aussi influencer le dérangement. Cependant, le faible nombre d'études ne permet de conclure quant à l'importance relative de ces facteurs qui pourraient exercer une influence plus grande sur le dérangement que le bruit des éoliennes en soi, ce qui reste à confirmer. L'évaluation de l'importance relative de ces facteurs dépasse le mandat de la présente analyse et nécessiterait, notamment, une analyse poussée des études antérieures portant sur ces facteurs, une analyse des études de laboratoire portant sur le bruit des éoliennes et une analyse plus large de la littérature sur le dérangement lié au bruit.

3.2 Effets sur les perturbations du sommeil

Le tableau 7 (p. 36) présente une brève description des publications retenues dans l'analyse des perturbations du sommeil en fonction du bruit des éoliennes. À noter que plusieurs de ces publications ont également analysé le dérangement causé par le bruit des éoliennes pour une partie ou la totalité de l'échantillon d'une étude.

Tableau 7 Description des études recensées portant sur les perturbations du sommeil en fonction du niveau de bruit des éoliennes

Références	Devis d'étude et échantillon	Méthode de caractérisation des niveaux de bruit des éoliennes	Méthode de mesure des perturbations du sommeil	Résultats
<p>Michaud <i>et al.</i> (2016b)</p> <p>Canada</p>	<p>Transversale.</p> <p>n = 1 238 (707 pour l'actigraphie)</p> <p>Taux de participation = 78,9 %</p> <p>Sites multiples à proximité d'au moins une des éoliennes retenues (315 éoliennes en Ontario et 84 éoliennes à l'Île-du-Prince-Édouard).</p> <p>1 011 participants en Ontario et 227 participants à l'Île-du-Prince-Édouard.</p>	<p>Simulations numériques du niveau de bruit extérieur avec mesures terrain pour validation.</p> <p>Catégories de bruit [dBA] : < 25; [25–30]; [30–35]; [35–40]; [40–46]</p> <p>Niveau sonore pondéré A (SPL) évalué selon ISO 9613-1 (1993) et ISO 9613-2 (1996). Vent porteur (8 m/s à 10 m).</p> <p>Vitesse du vent de 8 m/s à 10 m (bruit des turbines près du maximum).</p>	<p>Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI)¹³.</p> <p>Actigraphie (1 à 7 jours de données) : durée du sommeil (<i>total sleep time</i>), efficacité du sommeil (rapport durée du sommeil/temps au lit), temps avant le sommeil (<i>sleep latency</i>), durée des réveils (<i>wake after sleep onset</i>) et nombre de réveils (<i>number of awakening bouts</i>).</p>	<p>Aucune association entre le bruit des éoliennes et le sommeil observée.</p> <p>La prévalence du sommeil perturbé était la même dans toutes les catégories d'exposition au bruit.</p>

¹³ Le PSQI (Pittsburgh Sleep Quality Index) est un questionnaire normalisé et qui sert à évaluer la qualité du sommeil.

Tableau 7 Description des études recensées portant sur les perturbations du sommeil en fonction du niveau de bruit des éoliennes (suite)

Références	Devis d'étude et échantillon	Méthode de caractérisation des niveaux de bruit des éoliennes	Méthode de mesure des perturbations du sommeil	Résultats
<p>Michaud <i>et al.</i> (2016a)</p> <p>Canada</p>	<p>Transversale.</p> <p>n = 1 238</p> <p>Taux de participation = 78,9 %</p> <p>Sites multiples à proximité d'au moins une des éoliennes retenues (315 éoliennes en Ontario et 84 éoliennes à l'Île-du-Prince-Édouard).</p> <p>1 011 participants en Ontario et 227 participants à l'Île-du-Prince-Édouard.</p>	<p>Simulations numériques du niveau de bruit extérieur avec mesures terrain pour validation.</p> <p>Catégories de bruit [dBA] : < 25; [25–30]; [30–35]; [35–40]; [40–46]</p> <p>Niveau sonore pondéré A (SPL). Voir description plus complète dans le tableau 5 p. 16.</p>	<p>Questionnaire socio-acoustique.</p> <p>Autodéclaration de : diagnostic de trouble du sommeil, sommeil fortement perturbé et consommation de médicament pour le sommeil.</p>	<p>Aucune association observée entre l'exposition au bruit des éoliennes et les perturbations du sommeil selon les indicateurs évalués.</p>

Tableau 7 Description des études recensées portant sur les perturbations du sommeil en fonction du niveau de bruit des éoliennes (suite)

Références	Devis d'étude et échantillon	Méthode de caractérisation des niveaux de bruit des éoliennes	Méthode de mesure des perturbations du sommeil	Résultats
Radun <i>et al.</i> (2019) Finlande	Transversale. n = 308 Taux de participation = 57 % Trois sites étudiés.	Simulations numériques du niveau de bruit extérieur avec mesures terrain pour validation. Catégories de bruit [dBA] : [25–30); [30–35); [35–40); [40–46] Niveau sonore pondéré A (SPL). Voir description plus complète dans le tableau 5 p. 16.	Questionnaire socio-acoustique. Question : « <i>Has the sound from the WT woken you up or kept you awake during the night?</i> » Choix de réponse : « <i>never</i> », « <i>a few days a year</i> », « <i>a few days a month</i> », « <i>a few days a week</i> », « <i>almost every day</i> » ou « <i>every day</i> ». Définition du sommeil perturbé : « <i>a few days a month</i> », « <i>a few days a week</i> », « <i>almost every day</i> » ou « <i>every day</i> ».	Prévalence du sommeil perturbé : [25–30) = 0,0 % [30–35) = 6,6 % [35–40) = 15,6 % [40–46] = 50,0 %

Tableau 7 Description des études recensées portant sur les perturbations du sommeil en fonction du niveau de bruit des éoliennes (suite)

Références	Devis d'étude et échantillon	Méthode de caractérisation des niveaux de bruit des éoliennes	Méthode de mesure des perturbations du sommeil	Résultats
Qu et Tsuchiya (2021) Royaume-Uni	Transversale avec un groupe témoin. n = 359 Taux de participation = 12 % Trois sites étudiés.	Simulations numériques du niveau de bruit extérieur avec mesures terrain pour validation. Catégories de bruit [dBA] : < 30; [30–35]; [35–40]; > 40 Étendue du bruit : non précisée dans l'étude, mais le niveau de bruit maximal pourrait dépasser 46 dBA. Niveau sonore pondéré A (SPL). Voir description plus complète dans le tableau 5 p. 16.	Questionnaire socio-acoustique. Question : « Please choose all the statement(s) which describe your sleep. - My sleep is not disturbed at all. - I sleep less deeply than I would like. - I often lie awake for a while. - It's hard for me to fall asleep. - I occasionally wake up but I soon go back to sleep. - I have to take sleeping pills to fall asleep. »	Aucune association observée entre l'exposition au bruit des éoliennes et les perturbations du sommeil.

Tableau 7 Description des études recensées portant sur les perturbations du sommeil en fonction du niveau de bruit des éoliennes (suite)

Références	Devis d'étude et échantillon	Méthode de caractérisation des niveaux de bruit des éoliennes	Méthode de mesure des perturbations du sommeil	Résultats
<p>Michaud <i>et al.</i> (2021)</p> <p>Canada</p>	<p>Transversale.</p> <p>n = 343 des 1 238 participants à l'étude complète de Santé Canada.</p> <p>Taux de participation = 78,9 %</p> <p>Sites multiples (315 éoliennes en Ontario et 84 éoliennes à l'Île-du-Prince-Édouard) dans l'étude complète. Quatre sites exclus pour la présente sous-étude.</p> <p>263 participants en Ontario et 80 participants à l'Île-du-Prince-Édouard.</p>	<p>Simulations numériques du niveau de bruit extérieur avec mesures terrain pour validation.</p> <p>Estimation du bruit intérieur : (-12 dBA).</p> <p>Catégories de bruit [dBA] : < 30); [30–35]; [35–44]</p> <p>Niveau sonore pondéré A (SPL). LA_{eq, 1 an} et LA_{eq, 10 minutes}.</p> <p>Modélisation des niveaux sonores à partir des données d'émission des turbines et de la puissance électrique produite selon la période (1 an ou intervalles de 10 minutes).</p> <p>Prise en compte de trois turbines les plus proches pour l'évaluation sur 10 minutes (extrapolation des mêmes paramètres aux autres turbines à proximité).</p>	<p>Actigraphie (actigraphe porté au poignet).</p> <p>Trois à sept nuits de données pour chaque participant.</p> <p>Durée du sommeil (<i>total sleep time</i>), efficacité du sommeil (rapport durée du sommeil/temps au lit), temps avant le sommeil (<i>sleep latency</i>), durée des réveils (<i>wake after sleep onset</i>) et nombre de réveils (<i>number of awakening bouts</i>).</p>	<p>Aucune association entre le bruit des éoliennes et le sommeil observée, autant dans l'analyse pour la nuit entière (L_{nuit}) que par intervalle de 10 minutes.</p>

3.2.1 Descriptions des études recensées

Cinq publications sur les effets potentiels du bruit des éoliennes sur le sommeil ont été recensées. Deux de ces publications (Michaud *et al.*, 2016a, 2016b) ont été réalisées dans le cadre de l'étude de Santé Canada sur le bruit des éoliennes et sont basées sur les données de la même enquête, tandis qu'une troisième étude (Michaud *et al.*, 2021) est une analyse d'un sous-échantillon de cette même enquête. Les deux autres études (Qu et Tsuchiya, 2021; Radun *et al.*, 2019) ont été réalisées respectivement en Finlande et au Royaume-Uni avec des échantillons plus modestes, soit environ 25 % à 30 % de la taille de l'échantillon de l'étude de Santé Canada, laquelle comptait 1 238 participants. Quatre publications ont été réalisées avec un financement partiel des gouvernements locaux et une publication avec un financement partiel de compagnies d'énergies locales.

Toutes les publications ont évalué l'exposition des populations à l'étude par une modélisation des niveaux sonores (SPL), évalué selon les recommandations de la norme ISO 9613-2 (1996). Certains paramètres des modélisations sont différents d'une étude à l'autre (conditions atmosphériques). Cependant, la plupart des études ont modélisé le niveau sonore (SPL) à partir des caractéristiques d'émissions des éoliennes lorsqu'elles fonctionnent près de leur vitesse maximale (Michaud *et al.*, 2016a, 2016b; Qu et Tsuchiya, 2021; Radun *et al.*, 2019). Les niveaux d'exposition ainsi modélisés ne tiennent pas compte de paramètres qui permettraient d'évaluer leur variation en fonction du moment de la journée ou du moment de l'année. L'étude de Michaud *et al.* (2021) a la particularité d'avoir analysé le niveau sonore (SPL) sur un an ($LA_{eq, 1 \text{ an}}$), une nuit (L_{nuit}) et par intervalle de 10 minutes (niveau sonore [SPL], $LA_{eq, 10 \text{ minutes}}$) à partir des données d'émission des turbines et de la puissance électrique produite selon la période d'intérêt.

La mesure des perturbations du sommeil variait selon les études. Les études de Michaud *et al.* (2016b, 2021) étaient les seules à utiliser l'actigraphie (aussi appelée actimétrie) pour caractériser les mouvements du corps pendant le sommeil selon plusieurs paramètres, soit la durée du sommeil (*total sleep time*), l'efficacité du sommeil (rapport durée du sommeil/temps au lit), le temps avant le sommeil (*sleep latency*), la durée des réveils (*wake after sleep onset*) et le nombre de réveils (*number of awakening bouts*). L'étude de Michaud *et al.* (2021) présente la particularité d'avoir analysé ces données en fonction des niveaux d'exposition au bruit modélisés aux 10 minutes, en plus des niveaux d'exposition modélisés pour une nuit entière. Les autres études ont évalué les perturbations du sommeil sur la base des réponses au questionnaire socio-acoustique propre à leur étude : un questionnaire standardisé, le Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI)¹⁴ (Michaud *et al.*, 2016b); une question générale sur la fréquence des réveils attribués aux éoliennes (Radun *et al.*, 2019); une question invitant à décrire le sommeil en choisissant une ou plusieurs phrases descriptives parmi une liste (voir le tableau 7 p. 36) (Qu et Tsuchiya, 2021); ou

¹⁴ Le PSQI (Pittsburgh Sleep Quality Index) est un questionnaire normalisé et qui sert à évaluer la qualité du sommeil.

l'autodéclaration d'un diagnostic de trouble du sommeil, d'un sommeil fortement perturbé ou de consommation de médicament pour le sommeil (Michaud *et al.*, 2016a).

L'étude de Radun *et al.* (2019) a montré une association entre l'augmentation des niveaux d'exposition au bruit et la prévalence du sommeil perturbé. Cependant, cette association est difficile à interpréter étant donné le faible nombre de participants dans le groupe le plus exposé (12 personnes exposées de 40 à 46 dBA, niveau sonore [SPL], soit un peu moins de 4 % de l'échantillon) et le moins exposé (21 personnes exposées de 25 à 30 dBA niveau sonore [SPL], soit environ 6,8 % des répondants). Au final, près de 90 % de l'échantillon se retrouvait dans les catégories avec un niveau sonore (SPL) de 30-35 dBA et celles de 35-40 dBA. Ce petit nombre de participants exposés à des niveaux sonores (SPL) en dessous de 30 dBA ou au-dessus de 40 dBA peut être une source de biais et limite l'applicabilité de leurs résultats. Le taux de répondants semble aussi plus important dans les catégories de bruit plus élevées. Cette étude n'a pas exclu les participants ayant reçu des compensations financières. Les auteurs justifient cette décision de par leur petit nombre et le fait que ceux-ci faisaient partie des catégories d'exposition ayant le plus de participants (niveau sonore [SPL] de 30-40 dBA). Les perturbations du sommeil étaient associées au fait de rapporter un fort dérangement à l'intérieur (coefficient de corrélation de 0,72), aux inquiétudes quant aux effets sur la santé des éoliennes et au niveau d'exposition au bruit modélisé. Dans leur modèle de régression, les facteurs les plus importants étaient l'inquiétude quant aux effets sur la santé, le niveau d'exposition au bruit modélisé, la sensibilité au bruit et le genre (les femmes rapportaient davantage de perturbations du sommeil).

Les publications produites à la suite de l'étude de Santé Canada (Michaud *et al.*, 2016a, 2016b, 2021) utilisent un vaste échantillon et reposent sur un taux de participation élevé. De multiples facteurs potentiellement confondants ont été pris en compte dans leur analyse. L'étude de Michaud *et al.* (2016b) n'a observé aucune association entre le bruit des éoliennes et les perturbations du sommeil. En effet, la prévalence d'un sommeil perturbé était la même dans toutes les catégories d'exposition au bruit (selon l'index de la qualité du sommeil – PSQI et de l'actigraphie). Une autre publication de Michaud *et al.* (2016a) n'a pas non plus trouvé d'association entre le bruit des éoliennes et les différents problèmes autorapportés du sommeil qui ont été analysés. Enfin, les données d'actigraphie de l'étude de Michaud *et al.* (2021), qui ont la particularité d'avoir été analysées en fonction d'une modélisation du bruit à partir des données d'émission des turbines et de la puissance électrique produite durant les périodes de prise de données actigraphiques, n'ont montré aucune association entre l'exposition au bruit des éoliennes et les perturbations du sommeil, autant dans l'analyse du sommeil pour la nuit entière que par intervalle de 10 minutes.

Malgré l'absence d'association entre les perturbations du sommeil (mesurées via le questionnaire ou par actigraphie) et les niveaux de bruit dans l'analyse de Michaud *et al.* (2016b), les perturbations ont néanmoins été associées notamment à l'usage de médicament, à divers problèmes de santé autorapportés (notamment des troubles du sommeil) et au

dérangement associé aux lumières clignotantes présentes sur les éoliennes¹⁵. Dans l'étude de Michaud *et al.* (2016a), l'identification des éoliennes comme étant la raison pour laquelle les répondants fermaient leurs fenêtres pour réduire le bruit la nuit était associée avec le bruit des éoliennes, même si la proportion de personnes fermant leur fenêtre était la même pour toutes les catégories d'exposition au bruit. La prévalence de la consommation de médicament pour dormir était associée au bruit avec une prévalence maximale dans les catégories d'exposition au bruit les plus faibles (Michaud *et al.*, 2016a). Enfin, dans l'étude de Michaud *et al.* (2021), en raison de sources de biais potentielles ayant une influence non négligeable sur les associations mesurées, la plupart des modèles analysés étaient ajustés pour la présence de climatiseur dans la chambre à coucher, le fait de recevoir des compensations financières provenant des projets éoliens, le niveau de bruit ambiant la nuit et la durée réelle du sommeil. Certains modèles ont aussi été ajustés en fonction de variables sociodémographiques (Michaud *et al.*, 2021).

L'étude de Qu et Tsuchiya (2021) a utilisé deux questionnaires différents pour tenter de déterminer si la mention explicite des éoliennes pouvait être source de biais. Outre la petite taille de l'échantillon constitué de populations habitant en banlieue, le taux de participation à cette étude est faible. Le bruit était caractérisé par le niveau sonore (SPL) (dBA). Cette étude a montré que le sommeil n'était pas associé au niveau d'exposition au bruit modélisé, mais que le fait d'être dérangé par le bruit augmentait le risque de rapporter un sommeil moins profond. En plus du niveau de dérangement, l'étude de Qu et Tsuchiya (2021) a constaté qu'un âge plus élevé et la présence d'une maladie chronique étaient associés au risque de rapporter un sommeil moins profond. Enfin, pour les participants ayant complété la variante du questionnaire contenant davantage de questions sur les éoliennes, la probabilité de rapporter un sommeil moins profond était significativement plus grande lorsque ceux-ci rapportaient que les éoliennes étaient visibles à partir d'une fenêtre de leur maison ou de leur cour.

3.2.2 Discussion sur les perturbations du sommeil

Dans l'ensemble, les études retenues n'ont pas mesuré d'association entre l'exposition au bruit des éoliennes et les perturbations du sommeil à des niveaux sonores (SPL) inférieurs ou égaux à 46 dBA. Il demeure tout de même possible que des effets sur le sommeil soient observés à des niveaux d'exposition plus élevés. Les résultats de l'étude de Santé Canada (Michaud *et al.*, 2016a, 2016b, 2021) semblent les plus robustes, principalement en raison de la taille importante de l'échantillon, de l'analyse selon trois indicateurs des perturbations du sommeil (PSQI, actigraphie et problèmes de sommeil autodéclarés) et de la prise en compte de nombreux facteurs confondants. Par ailleurs, l'étude de Qu et Tsuchiya (2021) arrive à des conclusions similaires avec un échantillon plus modeste et un questionnaire moins complet. Quant à l'étude de Radun *et al.* (2019), la petite taille de l'échantillon ainsi que le petit nombre de participants qui

¹⁵ Obligation de baliser et d'éclairer des éoliennes d'un parc d'éoliennes en raison des règles pour l'aviation.

compose les groupes les plus exposés et les moins exposés limitent la portée de l'association mesurée entre le niveau de bruit et les perturbations du sommeil.

Dans ses plus récentes lignes directrices, l'OMS (2018) avait identifié six études, dont certaines données provenaient de l'étude de Santé Canada sur la base d'une analyse partielle disponible dans un acte de conférence (Michaud, 2015). Comme pour ces études précédentes, les nouvelles études retenues dans le présent document souffrent des mêmes limites, soit principalement : le faible nombre de participants parmi ceux fortement exposés au bruit des éoliennes, l'utilisation d'indicateurs généralement autodéclarés des perturbations du sommeil, l'utilisation d'indicateurs d'exposition différents d'une étude à l'autre rendant difficile les comparaisons ou la combinaison des résultats et des constats. Mais, globalement, les nouvelles études disponibles ne permettent pas de soutenir l'hypothèse que le bruit des éoliennes, pour des expositions inférieures à un niveau sonore (SPL) de 45 dBA, puisse être associée aux perturbations du sommeil.

3.2.3 Autres facteurs ayant une influence sur les perturbations du sommeil

Même si le bruit des éoliennes (niveaux sonores modélisés) ne semble pas être associé aux perturbations du sommeil dans les publications retenues, d'autres facteurs montrent une association avec les perturbations du sommeil, notamment certains facteurs qui sont personnels :

- Dérangement à l'intérieur ou à l'extérieur de sa résidence (Qu et Tsuchiya, 2021);
- Usage de médicament pour dormir (Michaud *et al.*, 2016a, 2016b);
- Problèmes de santé chroniques (notamment des troubles du sommeil) (Michaud *et al.*, 2016b; Qu et Tsuchiya, 2021);
- Sensibilité au bruit (Radun *et al.*, 2019);
- L'inquiétude quant aux effets sur la santé des éoliennes (Radun *et al.*, 2019);
- Recevoir des bénéfices financiers liés aux projets éoliens (Michaud *et al.*, 2021);
- Durée réelle du sommeil (Michaud *et al.*, 2021);
- Genre (Radun *et al.*, 2019);
- Âge plus élevé (Qu et Tsuchiya, 2021);
- Variables sociodémographiques (Michaud *et al.*, 2021).

D'autres facteurs, sociaux ou autres, exercent une influence sur les perturbations du sommeil :

- Dérangement associé aux lumières clignotantes présentes sur les éoliennes (Michaud *et al.*, 2016a);

- Le fait que les éoliennes soient visibles à partir d'une fenêtre de leur maison ou de leur cour (Qu et Tsuchiya, 2021).

L'utilisation de questionnaires socio-acoustiques permet de mesurer d'autres facteurs ayant une influence sur les perturbations du sommeil, mais ces constats présentent certaines limites en raison des outils et des pratiques qui varient selon les études.

Par ailleurs, les études qui font mention des facteurs ayant une influence sur les perturbations du sommeil demeurent peu nombreuses et les associations évoquées ne sont généralement pas confirmées par des études indépendantes. L'évaluation de l'importance relative de ces facteurs dépasse le mandat de la présente analyse et nécessiterait, notamment, une analyse poussée des études antérieures portant sur ces facteurs, une analyse des études de laboratoire portant sur le bruit des éoliennes et une analyse plus large de la littérature sur la science du sommeil.

3.2.4 Limites

En plus des limites propres aux études recensées, la présente analyse n'inclut pas de recension et d'analyse des études qualitatives ou des études de laboratoire. Notamment, les études de laboratoire, même si elles ne permettent pas de reproduire l'ensemble du contexte d'exposition, pourraient fournir des données pour comprendre les caractéristiques particulières du bruit des éoliennes et leurs liens avec les perturbations du sommeil. De plus, les études portant sur le bruit de construction, de démantèlement, d'entretien et de transport associé aux parcs éoliens, pouvant également être des sources de perturbations du sommeil pour les personnes habitant à proximité, n'ont pas été analysées.

Les critères de sélections retenus ont aussi limité le nombre d'études recensées. Par exemple, le tableau 8 (p. 46) présente les études retenues par la recension de van Kamp *et al.* (2021), qui couvre une période de publication similaire à celle de la présente recension et les raisons de leur exclusion de notre analyse. Malgré leur exclusion de cette dernière, ces études pourraient malgré tout fournir des données pour comprendre davantage le lien entre l'exposition au bruit éolien et les perturbations du sommeil.

Tableau 8 Présentation des raisons de l'exclusion de certaines études sur les perturbations du sommeil retenues par van Kamp et al. (2021)

Études retenues par van Kamp <i>et al.</i> (2021)	Raisons de l'exclusion
Lane <i>et al.</i> (2016)	Exclusion sur la pertinence. Cette étude analyse les perturbations du sommeil en fonction de groupes exposés ou non au bruit des éoliennes selon leur proximité à celles-ci et non en fonction des niveaux de bruit mesurés ou modélisés (pas de relation dose-réponse entre les perturbations du sommeil et les niveaux de bruit).
Poulsen <i>et al.</i> (2019)	Exclusion sur la pertinence. Cette étude porte sur un indicateur indirect des perturbations du sommeil (prise de médicaments).
Morsing <i>et al.</i> (2018)	Exclusion sur la pertinence. Étude de laboratoire.
Smith <i>et al.</i> (2020)	Exclusion sur la pertinence. Étude de laboratoire.
Song <i>et al.</i> (2016)	Pays hors de l'OCDE.

3.2.5 Conclusion sur les perturbations du sommeil

Dans l'ensemble, les données disponibles demeurent hétérogènes et ne permettent pas de formuler des recommandations. Dans les études recensées, le niveau sonore (SPL) représentait souvent le niveau modélisé en fonction des caractéristiques d'émission des éoliennes selon les pires conditions d'exploitation (fort vent, vent porteur, conditions atmosphériques favorables, etc.). Même si les études recensées ne permettent pas de conclure à la présence d'effet sur les perturbations du sommeil par le bruit des éoliennes pour l'étendue des niveaux sonores (SPL) présents (environ ≤ 46 dBA pour la plupart des études), la généralisation de ces résultats à d'autres populations ou à d'autres projets demeure incertaine.

3.3 Mesures de réduction et recommandations relevées

En raison des ressources humaines et de temps limités, la recension des mesures de réduction du bruit des éoliennes et/ou de recommandations concernant la gestion du bruit des éoliennes n'était pas incluse dans le présent mandat et aucune recherche documentaire portant explicitement sur ces éléments n'a été réalisée. Cependant, plusieurs des publications retenues évoquent des mesures de réduction ou de gestion du bruit des éoliennes. Ainsi, la présente sous-section relève et discute brièvement de telles mesures lorsqu'elles étaient mentionnées dans les publications retenues. Ces mesures pouvaient toucher autant des aspects acoustiques que non acoustiques.

3.3.1 Exposition au bruit

Valeur limite d'exposition

L'utilisation de la limite d'exposition au bruit des éoliennes proposée dans les lignes directrices de l'OMS (2018) correspond à un seuil permettant de limiter la proportion de la population fortement dérangée. Cette recommandation conditionnelle a l'avantage d'être supportée par des données scientifiques en provenant d'un nombre croissant d'études, même si la qualité de la preuve demeure faible, notamment en raison de la grande variabilité dans la proportion des personnes fortement dérangées d'une étude à l'autre et du faible nombre d'études de qualité ayant étudié ce sujet. La valeur limite recommandée (seuil à 45 dB L_{den}) évite qu'une trop grande proportion de la population rapporte un fort dérangement ainsi que des effets directs sur le sommeil. De plus, l'indicateur L_{den} , utilisé par l'OMS (2018), a l'avantage de tenir compte du dérangement accru du bruit pour les périodes de la soirée et la nuit.

Quel que soit le niveau d'exposition exact à partir duquel 10 % des personnes rapportent être fortement dérangées par le bruit des éoliennes, il demeure que l'utilisation d'un tel critère ne se fait pas sans certains compromis. Le premier étant la nécessité d'accepter qu'une certaine proportion de la population soit dérangée par le bruit des éoliennes. Plusieurs facteurs non acoustiques (voir la section 3.1.3) peuvent influencer le dérangement et doivent aussi être pris en compte.

L'utilisation d'une telle limite exige une estimation de qualité des niveaux d'exposition au bruit en amont des projets, en incluant la mesure de l'incertitude qui y est nécessairement associée, de sorte qu'une validation des niveaux d'exposition projetés doit être effectuée par une nouvelle étude acoustique une fois le projet en exploitation, en y incluant des mesures de validation-terrain.

Il est important de noter que beaucoup de projets éoliens sont développés dans des milieux à faible bruit et que l'introduction du bruit des éoliennes, qui constitue une nouvelle source relativement faible en soi, reste une cause de pollution sonore. Même à moins de 45 dB L_{den} , le bruit des éoliennes peut être une des sources principales de bruit environnementale dans ces milieux non perturbés antérieurement.

Enfin, par réciprocité, l'utilisation d'une limite d'exposition au bruit doit aussi faire l'objet d'un suivi en ce qui a trait à l'aménagement du territoire, de manière à empêcher de nouveaux usages sensibles se trouvant dans une zone où le niveau de bruit est trop élevé (Martin et Gauthier, 2018).

Distance séparatrice

L'étude de Hongisto *et al.* (2017) rapporte que la proportion de personnes fortement dérangées (%HA) diminue généralement en fonction de l'augmentation de la distance entre les éoliennes et les résidences. Dans le contexte de cette étude, la proportion (%HA) était inférieure à 10 % pour une distance comprise entre 800 m et 1 200 m et elle était de 1,2 % pour une distance entre 1 600 m et 2 000 m, quoique la corrélation avec le niveau d'exposition au bruit était plus forte que celle avec la distance. Toutefois, les auteurs considèrent que la détermination d'une distance séparatrice fixe, applicable indépendamment des caractéristiques d'un projet de parc éolien, n'est pas souhaitable. Ceux-ci suggèrent plutôt de déterminer la distance séparatrice pour chaque parc éolien selon la modélisation de la propagation du bruit selon les caractéristiques et les particularités du projet, notamment le nombre et la puissance des éoliennes.

Cependant, une modélisation doit tenir compte des incertitudes dans les simulations (Haac *et al.*, 2019; Hongisto *et al.*, 2017). Par exemple, les conditions atmosphériques peuvent produire des changements substantiels dans la propagation du bruit et donc dans les niveaux d'exposition au bruit (Haac *et al.*, 2019). La topographie (ex. : terrain plat ou vallonné, montagneux) et la présence ou l'absence d'obstacles (ex. : bâtiment, végétation) influencent aussi la propagation du bruit (Haac *et al.*, 2019; Pawlaczyk-Luszczynska *et al.*, 2018). Une validation des niveaux d'exposition projetés doit être effectuée par une nouvelle étude acoustique une fois le projet en exploitation, en y incluant des mesures de validation-terrain.

3.3.2 Mesures non acoustiques

Certaines études (Haac *et al.*, 2019; Michaud *et al.*, 2016c, 2021; Radun *et al.*, 2019) ont mesuré d'autres facteurs (non acoustiques) ayant une influence sur le degré de dérangement causé par le bruit, comme le fait de recevoir des compensations financières et la participation au processus d'implantation des projets éoliens.

Bénéfices financiers

Selon les études de Haac *et al.* (2019) et de Michaud *et al.* (2021), le fait de recevoir des compensations financières liées aux projets éoliens a pour effet d'augmenter la tolérance au bruit des éoliennes des populations à proximité qui sont souvent les plus exposées. En effet, les populations recevant des compensations financières rapportent généralement des niveaux de dérangement moindres (Haac *et al.*, 2019; Michaud *et al.*, 2016c, 2021).

Les articles retenus ne permettent toutefois pas d'évaluer l'ampleur des bénéfices financiers nécessaires pour réduire le dérangement à un niveau acceptable en fonction du niveau d'exposition au bruit mesuré ou projeté. De même, aucune information n'a été recensée quant à l'efficacité à long terme d'une telle mesure ou à son efficacité en fonction des changements de populations (déménagement, etc.) ou de contexte (par exemple, l'intensification des activités éoliennes ou l'agrandissement d'un projet existant).

Participation citoyenne

L'attitude générale par rapport aux projets éoliens (Pawlaczyk-Luszczynska *et al.*, 2018; Qu et Tsuchiya, 2021; Radun *et al.*, 2019), la sensibilité au bruit (Michaud *et al.*, 2016c; Pawlaczyk-Luszczynska *et al.*, 2018; Radun *et al.*, 2019), les inquiétudes quant aux effets sur la santé des éoliennes (Radun *et al.*, 2019) et la préoccupation pour la sécurité physique (Michaud *et al.*, 2016c) sont autant de facteurs non acoustiques affectant le dérangement. Ils s'apparentent davantage à des facteurs personnels, puisqu'ils relèvent davantage de la perception d'un individu (tableau C-1, annexe C, Martin *et al.*, 2015).

Selon les études de Radun *et al.* (2019) et de Michaud *et al.* (2016c), ces facteurs devraient être considérés parmi les préoccupations de la population lors des activités de participation citoyenne (ex. : séances d'informations, concertations, BAPE) pendant la planification des projets. Michaud *et al.* (2016c) suggèrent également d'y répondre avec des informations factuelles (ex. : études acoustiques pour le suivi des projets, état des connaissances scientifiques sur le dérangement et les perturbations du sommeil, etc.). Les articles retenus ne permettent toutefois pas d'évaluer le type d'implication à favoriser, ni l'efficacité éventuelle de diverses méthodes ou de niveaux d'implication citoyenne.

3.3.3 Limites

En somme, les mesures de réduction du bruit émis par les éoliennes et les recommandations formulées mettent en exergue la pertinence de miser à la fois sur des mesures concernant les facteurs acoustiques et non acoustiques. Les études qui en font mention demeurent peu nombreuses et les associations évoquées ne sont généralement pas confirmées par des études de validation indépendantes. La réalisation d'une recherche documentaire additionnelle portant spécifiquement sur les mesures de réduction et de gestion du bruit pourrait permettre probablement d'en identifier davantage.

4 CONCLUSION

En préparation pour l'évaluation environnementale de projets d'énergie éolienne et des audiences possibles du BAPE, le MELCC a confié à l'INSPQ un mandat ayant les objectifs d'évaluer le dérangement et les perturbations du sommeil associés au bruit des éoliennes. Ce mandat reposait sur la recension des écrits publiés depuis les recensions réalisées dans le cadre des travaux de l'OMS pour l'élaboration de leurs lignes directrices et sur la discussion de différentes mesures pour prévenir ces deux effets du bruit (notamment à partir des critères de l'OMS).

Une revue narrative de type synthèse des connaissances empruntant plusieurs caractéristiques aux revues systématiques et aux revues rapides a été réalisée pour répondre à la question de recherche : **quelle est la prévalence du fort dérangement et des perturbations du sommeil en fonction du niveau d'exposition au bruit des éoliennes mesuré ou modélisé pour la population vivant à proximité des éoliennes ?** La recension documentaire a permis d'identifier neuf publications pertinentes dont le risque de biais et d'applicabilité était faible. Sept documents ont analysé le dérangement et cinq les perturbations du sommeil.

Les études retenues et analysées ont montré une association entre le niveau d'exposition au bruit des éoliennes et le fort dérangement causé par le bruit. Dans ses lignes directrices, l'OMS (2018) a recommandé de manière conditionnelle une limite d'exposition de 45 dBA L_{den} afin de limiter la proportion des personnes fortement dérangées par le bruit des éoliennes à moins de 10 %. Dans les nouvelles études retenues, cette proportion semble atteinte à des niveaux un peu plus faibles : 43,7 (40,3-47,1) dBA L_{dn} (Michaud *et al.*, 2016c); 42,6 dBA L_{dn} (Hongisto *et al.*, 2017) et 44,5 (41,5-47,6) dBA L_{dn} (Haac *et al.*, 2019). Il en est de même pour les études qui n'ont pu être intégrées dans une comparaison avec les lignes directrices de l'OMS en raison de certaines différences méthodologiques (Pawlaczyk-Luszczynska *et al.*, 2018; Qu et Tsuchiya, 2021; Radun *et al.*, 2019). Si l'association entre le niveau de bruit des éoliennes et le fort dérangement identifié dans les études apparaît de plus en plus robuste, il subsiste d'autres facteurs non acoustiques, identifiés par ces mêmes études, qui exerceraient aussi une influence sur le dérangement.

Les résultats des études retenues sur les perturbations du sommeil demeurent hétérogènes et ne permettent pas de conclure à une association entre l'exposition au bruit des éoliennes et les perturbations du sommeil selon l'étendue des niveaux sonores (SPL) modélisés dans la plupart des études (environ ≤ 46 dBA). Par contre, la généralisation de ces constats à d'autres populations ou à d'autres projets demeure incertaine.

Malgré les limites de la présente analyse, il est toutefois possible de faire certains constats pour prévenir les effets sur la santé associés au bruit des éoliennes.

4.1 Dérangement

La qualité de la preuve demeure faible, notamment en raison de la grande variabilité dans la proportion des personnes fortement dérangées d'une étude à l'autre et du faible nombre d'études de qualité et à long terme ayant étudié ce sujet :

- À partir des études retenues, pour limiter à 10 % la proportion de personnes fortement dérangées par le bruit des éoliennes, l'exposition au bruit devrait probablement se situer entre 40 et 45 dB L_{den} . Compte tenu des résultats observés dans cette synthèse et des difficultés de les généraliser à d'autres populations ou à d'autres projets, la recommandation conditionnelle formulée dans les lignes directrices de l'OMS (45 dB L_{den}) semble être la limite d'exposition à appliquer pour limiter le fort dérangement des populations vivant à proximité des éoliennes.
- En plus des divers facteurs acoustiques, des facteurs non acoustiques (personnels ou sociaux) influencent la proportion de personnes fortement dérangée par le bruit des éoliennes. En plus d'actions préventives pour limiter l'exposition au bruit des éoliennes, causant un fort dérangement associé, la prise en compte d'intervention sur des facteurs non acoustiques (personnels ou sociaux)¹⁶ devrait être considérée.

4.2 Perturbations du sommeil

- Les résultats des diverses études analysées, tout comme celles qui ont précédé, restent hétérogènes, ce qui ne permet pas de formuler des recommandations sur un ou des niveaux d'exposition pour limiter de possibles effets sur le sommeil.
- Les études retenues et analysées ne permettent pas de conclure à la présence d'effet sur les perturbations du sommeil par le bruit des éoliennes selon les niveaux sonores (SPL)¹⁷ modélisés (environ ≤ 46 dBA pour la plupart des études).
- La généralisation de cette absence d'effet sur les perturbations du sommeil à d'autres populations ou à d'autres projets demeure incertaine.

¹⁶ Le tableau C-1 de l'*Avis sur une politique québécoise de lutte au bruit environnemental : pour des environnements sonores sains* (Brisson *et al.*, 2013) présente plusieurs de ces facteurs.

¹⁷ Mesure d'exposition basée sur une modélisation des niveaux de bruit générés par les éoliennes. Dans les études recensées, le niveau sonore (SPL) représentait souvent le niveau modélisé selon les pires conditions d'exploitation (fort vent, vent porteur, conditions atmosphériques favorables, etc.).

5 BIBLIOGRAPHIE

- Bakker, R. H., Pedersen, E., van den Berg, G. P., Stewart, R. E., Lok, W., et Bouma, J. (2012). Impact of wind turbine sound on annoyance, self-reported sleep disturbance and psychological distress. *The Science of the Total Environment*, 425, 42-51. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.005>
- Basner, M., et McGuire, S. (2018). WHO environmental noise guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and effects on sleep. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(3), 519. <https://doi.org/10.3390/ijerph15030519>
- Botelho, A., Arezes, P., Bernardo, C., Dias, H., et Pinto, L. M. C. (2017). Effect of wind farm noise on local residents' decision to adopt mitigation measures. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(7), 753. <https://doi.org/10.3390/ijerph14070753>
- Brisson, G., Gervais, M.-C., Martin, R., Blackburn, D., Chagnon, M., Martel, K., Morasse, K., Pouliot, K., Rodrigue, L., et Tardif, I. (2013). *Éoliennes et santé publique: Synthèse des connaissances – Mise à jour*. Institut national de santé publique. <https://www.inspq.qc.ca/publications/1633>
- Framarin, A., et Déry, V. (2021). *Les revues narratives: Fondements scientifiques pour soutenir l'établissement de repères institutionnels*. Institut national de santé publique (INSPQ). <https://www.inspq.qc.ca/publications/2780>
- Gouvernement du Québec. (2013). *Décret 47-2013, 22 janvier 2013*. Éditeur officiel du Québec. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/evaluations/decret/2013/47-2013.pdf>
- Gouvernement du Québec. (2020). *Plan pour une économie verte 2030. Politique-cadre d'électrification et de lutte contre les changements climatiques*. Éditeur officiel du Québec. <https://cdn-contenu.quebec.ca/cdn-contenu/adm/min/environnement/publications-adm/plan-economie-verte/plan-economie-verte-2030.pdf?1653502403>
- Gouvernement du Québec. (2021). *Décret 46-2021, 20 janvier 2021*. Éditeur officiel du Québec. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/evaluations/decret/2021/46-2021.pdf>
- Gouvernement du Québec. (2022). *Québec poursuit sa transition énergétique et le développement de sa filière éolienne*. <https://www.quebec.ca/nouvelles/actualites/details/quebec-poursuit-sa-transition-energetique-et-le-developpement-de-sa-filiere-eolienne-39560>
- Guski, R., Schreckenber, D., et Schuemer, R. (2017). WHO environmental noise guidelines for the European Region: A systematic review on environmental noise and annoyance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12), 1539. <https://doi.org/10.3390/ijerph14121539>
- Haac, T. R., Kaliski, K., Landis, M., Hoen, B., Rand, J., Firestone, J., Elliott, D., Hubner, G., et Pohl, J. (2019). Wind turbine audibility and noise annoyance in a national U.S. survey: Individual perception and influencing factors. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 146(2), 1124. <https://doi.org/10.1121/1.5121309>

- Hongisto, V., Oliva, D., et Keranen, J. (2017). Indoor noise annoyance due to 3-5 megawatt wind turbines—An exposure-response relationship. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 142(4), 2185. <https://doi.org/10.1121/1.5006903>
- Hübner, G., Pohl, J., Hoen, B., Firestone, J., Rand, J., Elliott, D., et Haac, R. (2019). Monitoring annoyance and stress effects of wind turbines on nearby residents: A comparison of U.S. and European samples. *Environment International*, 132, 105090. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105090>
- Hydro-Québec. (2021a). *Acquisition de 300 MW d'énergie éolienne*. <https://www.hydroquebec.com/achats-electricite-quebec/appels-propositions/2021-02.html>
- Hydro-Québec. (2021b). *Acquisition de 480 MW d'énergie renouvelable*. <http://www.hydroquebec.com/achats-electricite-quebec/appels-propositions/2021-01.html>
- ISO. (1993). *ISO 9613-1:1993. Acoustics—Attenuation of sound during propagation outdoors—Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere*. <https://www.iso.org/standard/17426.html>
- ISO. (1996). *ISO 9613-2:1996. Acoustics—Attenuation of sound during propagation outdoors—Part 2: General method of calculation*. <https://www.iso.org/standard/20649.html>
- ISO. (2016). *ISO 1996-1:2016. Acoustics—Description, measurement and assessment of environmental noise—Part 1: Basic quantities and assessment procedures*. <https://www.iso.org/standard/59765.html>
- ISO. (2021). *ISO/TS 15666:2021. Acoustics—Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys*. <https://www.iso.org/standard/74048.html>
- Janssen, S. A., Vos, H., Eisses, A. R., et Pedersen, E. (2011). A comparison between exposure-response relationships for wind turbine annoyance and annoyance due to other noise sources. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 130(6), 3746-3753. <https://doi.org/10.1121/1.3653984>
- Kageyama, T., Yano, T., Kuwano, S., Sueoka, S., et Tachibana, H. (2016). Exposure-response relationship of wind turbine noise with self-reported symptoms of sleep and health problems: A nationwide socioacoustic survey in Japan. *Noise & Health*, 18(81), 53-61. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.178478>
- Klæboe, R., et Sundfør, H. B. (2016). Windmill noise annoyance, visual aesthetics, and attitudes towards renewable energy sources. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(8), 746. <https://doi.org/10.3390/ijerph13080746>
- Krogh, C. M., McMurtry, R. Y., Dumbrille, A., Hughes, D., et Gillis, L. (2020). Preliminary results: Exploring why some families living in proximity to wind turbine facilities contemplate vacating their homes—A community-based study. *Open Access Library Journal*, 7(2), 1-12. <https://doi.org/10.4236/oalib.1106118>
- Kuwano, S., Yano, T., Kageyama, T., Sueoka, S., et Tachibana, H. (2014). Social survey on wind turbine noise in Japan. *Noise Control Engineering Journal*, 62(6), 503-520. <https://doi.org/10.3397/1/376246>

- Lane, J. D., Bigelow, P. L., Majowicz, S. E., et McColl, R. S. (2016). Impacts of industrial wind turbine noise on sleep quality: Results from a field study of rural residents in Ontario, Canada. *Journal of Environmental Health*, 79(1), 8-12.
- Martin, R., Deshaies, P., et Poulin, M. (2015). *Avis sur une politique québécoise de lutte au bruit environnemental: Pour des environnements sonores sains*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2048>
- Martin, R., et Gauthier, M. (2018). *Meilleures pratiques d'aménagement pour prévenir les effets du bruit environnemental sur la santé et la qualité de vie*. Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2450>
- Michaud, D. S. (2015). Self-reported and objectively measured outcomes assessed in the Health Canada Wind Turbine Noise and Health study: Results support an increase in community annoyance. *INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, 250(2), 4409-4428.
- Michaud, D. S., Feder, K., Keith, S. E., Voicescu, S. A., Marro, L., Than, J., Guay, M., Denning, A., McGuire, D. A., Bower, T., Lavigne, E., Murray, B. J., Weiss, S. K., et van den Berg, F. (2016a). Exposure to wind turbine noise: Perceptual responses and reported health effects. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 139(3), 1443-1454. <https://doi.org/10.1121/1.4942391>
- Michaud, D. S., Feder, K., Keith, S. E., Voicescu, S. A., Marro, L., Than, J., Guay, M., Denning, A., Murray, B. J., Weiss, S. K., Villeneuve, P. J., van den Berg, F., et Bower, T. (2016b). Effects of wind turbine noise on self-reported and objective measures of sleep. *Sleep: Journal of Sleep and Sleep Disorders Research*, 39(1), 97-109. <https://doi.org/10.5665/sleep.5326>
- Michaud, D. S., Keith, S. E., Feder, K., Voicescu, S. A., Marro, L., Than, J., Guay, M., Bower, T., Denning, A., Lavigne, E., Whelan, C., Janssen, S. A., Leroux, T., et van den Berg, F. (2016c). Personal and situational variables associated with wind turbine noise annoyance. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 139(3), 1455-1466. <https://doi.org/10.1121/1.4942390>
- Michaud, D. S., Keith, S. E., Guay, M., Voicescu, S., Denning, A., et McNamee, J. P. (2021). Sleep actigraphy time-synchronized with wind turbine output. *Sleep: Journal of Sleep and Sleep Disorders Research*, 44(9), 1-12. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsab070>
- Michaud, D. S., Marro, L., et McNamee, J. (2018a). Derivation and application of a composite annoyance reaction construct based on multiple wind turbine features. *Canadian Journal of Public Health*, 109(2), 242-251. <https://doi.org/10.17269/s41997-018-0040-y>
- Michaud, D. S., Marro, L., et McNamee, J. (2018b). The association between self-reported and objective measures of health and aggregate annoyance scores toward wind turbine installations. *Canadian Journal of Public Health*, 109(2), 252-260. <https://doi.org/10.17269/s41997-018-0041-x>
- Ministère de l'Énergie et des Ressources naturelles. (2016). *Les considérations environnementales*. <https://mern.gouv.qc.ca/energie/energie-eolienne/considerations-environnementales/>

- Ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques. (2006). *Traitement des plaintes sur le bruit et exigences aux entreprises qui le génèrent—Note d'instructions 98-01*. <https://www.environnement.gouv.qc.ca/publications/note-instructions/98-01.htm>
- Morsing, J. A., Smith, M. G., Ogren, M., Thorsson, P., Pedersen, E., Forssen, J., et Wayne, K. P. (2018). Wind turbine noise and sleep: Pilot studies on the influence of noise characteristics. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(11), 2573. <https://doi.org/10.3390/ijerph15112573>
- Pawlaczyk-Luszczynska, M., Dudarewicz, A., Zaborowski, K., Zamojska-Daniszewska, M., et Waszkowska, M. (2014). Evaluation of annoyance from the wind turbine noise: A pilot study. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health*, 27(3), 364-388. <https://doi.org/10.2478/s13382-014-0252-1>
- Pawlaczyk-Luszczynska, M., Zaborowski, K., Dudarewicz, A., Zamojska-Daniszewska, M., et Waszkowska, M. (2018). Response to noise emitted by wind farms in people living in nearby areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(8), 1575. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081575>
- Pedersen, E. (2011). Health aspects associated with wind turbine noise—Results from three field studies. *Noise Control Engineering Journal*, 59. <https://doi.org/10.3397/1.3533898>
- Pedersen, E., Berg, F. van den, Bakker, R., et Bouma, J. (2009). Response to noise from modern wind farms in The Netherlands. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 126(2), 634. <https://doi.org/10.1121/1.3160293>
- Pedersen, E., et Persson Wayne, K. (2004). Perception and annoyance due to wind turbine noise—A dose-response relationship. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 116(6), 3460-3470. <https://doi.org/10.1121/1.1815091>
- Pedersen, E., et Persson Wayne, K. (2007). Wind turbine noise, annoyance and self-reported health and well-being in different living environments. *Occupational and Environmental Medicine*, 64(7), 480-486. <https://doi.org/10.1136/oem.2006.031039>
- Pohl, J., Gabriel, J., et Hübner, G. (2018). Understanding stress effects of wind turbine noise – The integrated approach. *Energy Policy*, 112, 119-128. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.10.007>
- Poulsen, A. H., Raaschou-Nielsen, O., Pena, A., Hahmann, A. N., Nordsborg, R. B., Ketzler, M., Brandt, J., et Sorensen, M. (2019). Impact of long-term exposure to wind turbine noise on redemption of sleep medication and antidepressants: A nationwide cohort study. *Environmental Health Perspectives*, 127(3), 37005. <https://doi.org/10.1289/ehp3909>
- Qu, F., et Tsuchiya, A. (2021). Perceptions of wind turbine noise and self-reported health in suburban residential areas. *Frontiers in psychology*, 12, 736231. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.736231>
- Radun, J., Hongisto, V., et Suokas, M. (2019). Variables associated with wind turbine noise annoyance and sleep disturbance. *Building & Environment*, 150, 339-348. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.12.039>

- Schäffer, B., Pieren, R., Schlittmeier, S. J., et Brink, M. (2018). Effects of Different Spectral Shapes and Amplitude Modulation of Broadband Noise on Annoyance Reactions in a Controlled Listening Experiment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(5), 1029. <https://doi.org/10.3390/ijerph15051029>
- Schäffer, B., Pieren, R., Wissen Hayek, U., Biver, N., et Grêt-Regamey, A. (2019). Influence of visibility of wind farms on noise annoyance – A laboratory experiment with audio-visual simulations. *Landscape and Urban Planning*, 186, 67-78. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.01.014>
- Smith, M. G., Ogren, M., Thorsson, P., Hussain-Alkhateeb, L., Pedersen, E., Forssen, J., Morsing, J. A., et Persson Waye, K. (2020). A laboratory study on the effects of wind turbine noise on sleep: Results of the polysomnographic WiTNES study. *Sleep*, 43(9), 1-14. <https://doi.org/10.1093/sleep/zsaa046>
- Song, K., Di, G., Xu, Y., et Chen, X. (2016). Community survey on noise impacts induced by 2 MW wind turbines in China. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 35(4), 279-290. <https://doi.org/10.1177/0263092316676399>
- van den Berg, F. (2008). Criteria for wind farm noise: Lmax and Lden. In *Proceedings of Acoustics* (p. 4043-4048).
- van Kamp, I., et van den Berg, F. (2021). Health effects related to wind turbine sound: An update. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9133. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179133>
- World Health Organization. (2018). *Environmental Noise Guidelines for the European Region*. <https://www.euro.who.int/en/publications/abstracts/environmental-noise-guidelines-for-the-european-region-2018>

ANNEXE 1 ANALYSE DES BIAIS ET DE L'APPLICABILITÉ

Le tableau A1 présente un résumé des principaux constats tirés de l'appréciation des biais et de l'applicabilité des études retenues lors du tri sur la base du texte intégral en utilisant la grille élaborée par Santé publique Ontario ([MetaQAT – Outil d'évaluation critique](#)).

Tableau A1 Analyse des biais et applicabilité des articles pertinents

Références	Critères d'analyse			
	Méthodologie	Validité interne	Résultats non explicites ou non transparents	Financement, conflits d'intérêts potentiels et approbation éthique
Documents retenus (risques de biais ou d'applicabilité faibles)				
Michaud <i>et al.</i> (2016c)			Les résultats pourraient présenter un tableau descriptif des caractéristiques des répondants de chaque catégorie de bruit.	L'étude a été réalisée par Santé Canada avec le support de Statistique Canada.
Michaud <i>et al.</i> (2016a)				L'étude a été réalisée et possiblement financée par Santé Canada.
Michaud <i>et al.</i> (2016b)				L'étude a été financée par Santé Canada.

Tableau A1 Analyse des biais et applicabilité des articles pertinents (suite)

Références	Critères d'analyse			
	Méthodologie	Validité interne	Résultats non explicites ou non transparents	Financement, conflits d'intérêts potentiels et approbation éthique
Documents retenus (risques de biais ou d'applicabilité faibles)				
Hongisto <i>et al.</i> (2017)	<p>La répartition des répondants dans les différentes catégories de bruit est inégale. Les catégories de bruit suivantes comportent un faible nombre de répondants : [25–30) dB; [35–40) dB. Les différentes méthodes de collectes des données du questionnaire représentent une source de biais potentiel (entrevues vs questionnaire en ligne).</p> <p>Plusieurs facteurs confondants ne semblent pas avoir été pris en considération dans l'analyse des données.</p>		Pas de description sociodémographique des participants en fonction des niveaux de bruit.	<p>L'étude a été cofinancée par les gouvernements et les compagnies locales d'énergie.</p> <p>L'étude ne comporte pas de déclaration de conflits d'intérêts, mais un conflit potentiel est possible dû aux sources de financement.</p>

Tableau A1 Analyse des biais et applicabilité des articles pertinents (suite)

Références	Critères d'analyse			
	Méthodologie	Validité interne	Résultats non explicites ou non transparents	Financement, conflits d'intérêts potentiels et approbation éthique
Documents retenus (risques de biais ou d'applicabilité faibles)				
Pawlaczyk-Luszczynska <i>et al.</i> (2018)	Il y a seulement trois catégories de bruit (< 40 dB, 40–45 dB, > 45 dB), toutes relativement élevées.		Les compensations financières semblent avoir été prises en considération dans l'analyse des données, mais il y a peu d'information à ce sujet dans les résultats.	L'étude a été financée par le Ministry of Science and Higher Education de Pologne. Pas de mention d'un comité éthique.
Haac <i>et al.</i> (2019)				L'étude a été financée par le U.S. Department of Energy (DOE). Il n'y a pas de mention de conflits d'intérêts. Les premiers auteurs sont des consultants en acoustique. Il n'y a pas de mention d'un comité éthique.

Tableau A1 Analyse des biais et applicabilité des articles pertinents (suite)

Références	Critères d'analyse			
	Méthodologie	Validité interne	Résultats non explicites ou non transparents	Financement, conflits d'intérêts potentiels et approbation éthique
Documents retenus (risques de biais ou d'applicabilité faibles)				
Radun <i>et al.</i> (2019)	<p>Le taux de répondants semble plus important dans les catégories de bruit plus élevées.</p> <p>Les participants ayant reçu des bénéfices auraient dû être exclus (ou être pris en compte comme variable).</p>			L'étude a été financée par les gouvernements et les compagnies locales d'énergie.
Qu et Tsuchiya (2021)	La population ciblée par les auteurs habite en banlieue.		<p>Absence de description de la population à l'étude (caractéristiques sociodémographiques).</p> <p>Les lacunes méthodologiques mentionnées, notamment au niveau de la taille de l'échantillon (et taux de répondants) et de la répartition inégale des répondants dans les catégories de bruit, représentent une source potentielle de biais des résultats et de non applicabilité des données.</p>	

Tableau A1 Analyse des biais et applicabilité des articles pertinents (suite)

Références	Critères d'analyse			
	Méthodologie	Validité interne	Résultats non explicites ou non transparents	Financement, conflits d'intérêts potentiels et approbation éthique
Documents retenus (risques de biais ou d'applicabilité faibles)				
Michaud <i>et al.</i> (2021)			Les auteurs n'expliquent pas le choix d'un découpage atypique des catégories de bruit (< 30 [30–35] [35–44] dB). Possiblement en raison du plus faible nombre de répondants.	L'étude a été financée par Santé Canada.

Tableau A1 Analyse des biais et applicabilité des articles pertinents (suite)

Références	Critères d'analyse			
	Méthodologie	Validité interne	Résultats non explicites ou non transparents	Financement, conflits d'intérêts potentiels et approbation éthique
Documents exclus (risques de biais ou d'applicabilité trop importants)				
Kageyama <i>et al.</i> (2016)	<p>Petite taille de l'échantillon, pas de mention du taux de répondants. Répartition inégale des répondants dans les catégories de bruit (nombre de répondants plus faible dans la catégorie de bruit plus élevée). Les mesures de bruit n'ont pas été prises au lieu de résidence de chaque participant.</p> <p>Plusieurs variables ne sont pas prises en considération ou ne sont pas contrôlées : ouverture des fenêtres, problèmes de santé préexistants, présence ou absence de compensation financière.</p>	<p>Zones rurales seulement.</p> <p>Témoins et groupes exposés relativement similaires.</p>	<p>Absence de description de la population à l'étude (caractéristiques sociodémographiques).</p> <p>Peu de détails méthodologiques sont présentés.</p> <p>Bien que les auteurs soient transparents par rapport aux nombreuses faiblesses méthodologiques de l'étude, elles affectent tout de même la crédibilité des résultats. Ceux-ci peuvent difficilement être utilisés pour émettre des recommandations de santé publique.</p>	<p>L'étude a été financée par le Ministry of the Environment du Japon.</p> <p>Il n'y a pas de mention d'un comité éthique, mais à un <i>Research Committee</i>.</p>

Tableau A1 Analyse des biais et applicabilité des articles pertinents (suite)

Références	Critères d'analyse			
	Méthodologie	Validité interne	Résultats non explicites ou non transparents	Financement, conflits d'intérêts potentiels et approbation éthique
Documents exclus (risques de biais ou d'applicabilité trop importants)				
Klæboe et Sundfør (2016)	Découpage atypique des catégories de bruit.		Manque de clarté sur la prise en compte de facteurs confondants, notamment le contrôle pour les compensations financières n'est pas mentionné. Manque d'information sur les populations étudiées et les modèles logistiques retenus.	Il n'y a pas de mention d'un comité éthique.
Pohl <i>et al.</i> (2018)	Présente la corrélation entre les niveaux de bruit modélisés et le dérangement (pas de relation dose-réponse entre le fort dérangement et les niveaux de bruit).		Absence de description de la population à l'étude.	L'étude a été financée par le German Federal Environmental Foundation (Deutsche Bundesstiftung Umwelt) et une compagnie de gestion de parcs éoliens. Il n'y a pas de mention d'un comité éthique.

ANNEXE 2 MÉTHODOLOGIE

Stratégie de recherche pour Ovid MEDLINE(R) ALL (Ovid)

Interrogée le 2022-03-31

#	Requête	Résultats
1	((wind adj3 (turbine* or farm* or mill* or power or energy or park*)) or windturbine* or windfarm*).ti,ab,kf.	1,999
2	Noise/ or Sound/ or (noise? or sound? or infrasound* or low frequenc*).ti,ab,kf.	316,694
3	1 and 2	337
4	3 not (exp animals/ not humans/)	277
5	../ 4 yr=2014-3000	231

Stratégie de recherche pour Embase (Ovid)

Interrogée le 2022-03-31

#	Requête	Résultats
1	wind power/ or wind farm/ or ((wind adj3 (turbine* or farm* or mill* or power or energy or park*)) or windturbine* or windfarm*).ti,ab,kf.	2,201
2	Noise/ or Sound/ or noise pollution/ or (infrasound* or noise? or low frequenc* or sound?).ti,ab,kf.	356,047
3	1 and 2	329
4	3 not ((nonhuman/ or animal/) not exp human/)	261
5	../ 4 yr=2014-3000	197

Stratégie de recherche pour Global Health (Ovid)

Interrogée le 2022-03-31

#	Requête	Résultats
1	((wind adj3 (turbine* or farm* or mill* or power or energy or park*)) or windturbine* or windfarm*).ti,ab,id.	212
2	(infrasound* or noise? or low frequenc* or sound?).ti,ab,id.	18,346
3	1 and 2	63
4	3 not (animals/ not man/)	60
5	../ 4 yr=2014-3000	45

Stratégie de recherche pour APA PsycInfo (Ovid)

Interrogée le 2022-03-31

#	Requête	Résultats
1	((wind adj3 (turbine* or farm* or mill* or power or energy or park*)) or windturbine* or windfarm*).ti,ab,id.	200
2	exp auditory stimulation/ or (infrasound* or noise? or low frequenc* or sound?).ti,ab,id.	111,970
3	1 and 2	28
4	../ 3 yr=2014-3000	21

Stratégie de recherche pour Political Science Complete, Public Affairs Index, SocINDEX with Full Text, Environment Complete et GreenFILE (EBSCO)

Interrogée le 2022-04-01

#	Requête	Résultats
S1	TI ((wind N3 (turbine* OR farm* OR mill* OR power OR energy OR park*)) OR windturbine* OR windfarm*) OR AB ((wind N3 (turbine* OR farm* OR mill* OR power OR energy OR park*)) OR windturbine* OR windfarm*) OR SU ((wind N3 (turbine* OR farm* OR mill* OR power OR energy OR park*)) OR windturbine* OR windfarm*)	40,598
S2	TI (infrasound* OR noise# OR "low frequenc*" OR sound#) OR AB (infrasound* OR noise# OR "low frequenc*" OR sound#) OR SU (infrasound* OR noise# OR "low frequenc*" OR sound#)	90,810
S3	TI (health* OR sleep* OR cardio* OR blood OR cognit* OR qualit* OR well-being* OR annoy* OR syndrome* OR symptom*) OR AB (health* OR sleep* OR cardio* OR blood OR cognit* OR qualit* OR well-being* OR annoy* OR syndrome* OR symptom*) OR SU (health* OR sleep* OR cardio* OR blood OR cognit* OR qualit* OR well-being* OR annoy* OR syndrome* OR symptom*)	1,726,560
S4	S1 AND S2 AND S3	271
S5	S4 AND (DT 2014-3000)	184

Stratégie de recherche pour Health Policy Reference Center, Psychology and Behavioral Sciences Collection et CINAHL Complete (EBSCO)

Interrogée le 2022-04-01

#	Requête	Résultats
S1	TI ((wind N3 (turbine* OR farm* OR mill* OR power OR energy OR park*)) OR windturbine* OR windfarm*) OR AB ((wind N3 (turbine* OR farm* OR mill* OR power OR energy OR park*)) OR windturbine* OR windfarm*) OR SU ((wind N3 (turbine* OR farm* OR mill* OR power OR energy OR park*)) OR windturbine* OR windfarm*)	623
S2	TI (infrasound* OR noise# OR "low frequenc*" OR sound#) OR AB (infrasound* OR noise# OR "low frequenc*" OR sound#) OR SU (infrasound* OR noise# OR "low frequenc*" OR sound#)	74,427
S3	S1 AND S2	72
S4	S3 AND (DT 2014-3000)	35

Repérage de la littérature grise

Google

Date	Moteur	Stratégie de recherche	# de résultats consultés	# nouveaux items conservés	Commentaires
6 juin 2022 (anglais)	Google	ext:pdf "wind AROUND(3) turbine farm mill power energy park" infrasound noise sound health sleep cardiovascular blood cognition "quality of life" well-being annoyance syndrome symptoms	200	1	
6 juin 2022 (français)	Google	ext:pdf éolienne "parc éolien" aéromoteur aérogénérateur infrason bruit sons santé sommeil cardiovasculaire sang cognition "qualité de vie" bien-être nuisance syndrome symptômes	200	0	

Sites Web d'organisations ciblées

La stratégie de recherche déployée pour la littérature grise a également été menée sur les sites Web¹⁸ des principaux ministères, des organismes spécialisés en environnement ou dans le domaine du bruit environnemental identifiés :

- Acoustical Society of America (ASA, É.-U.);
- Organisation mondiale de la Santé (OMS);
- Commission européenne (CE);
- Santé Canada;
- Agence de la santé publique du Canada (ASPC);

¹⁸ Les sites Web ont été consultés par l'entremise de Google.

- Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (Anses, France);
- Public Health England (PHE, Royaume-Uni);
- Center for Disease Control and Prevention (CDC, États-Unis);
- National Institute for Public Health and the Environment (RIVM, Pays-Bas);
- Public Health Ontario (PHO);
- BC Centre for Disease Control (BCCDC);
- Ministère des Solidarités et de la Santé (MSS, France);
- Bruitparif (Observatoire du bruit en Île-de-France);
- Centre d'information et de documentation sur le bruit (CIDB, France);
- Conseil national du bruit (CNB, France);
- Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du territoire (MAMOT);
- Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL).

Date	Nom de l'organisation (URL du site)	Stratégie de recherche ou terme(s) recherché(s)	# résultats consultés	# résultats conservés
2022-06-08	Bruitparif https://www.bruitparif.fr	<p>site:bruitparif.fr ext:pdf éolienne "parc éolien" aéromoteur aérogénérateur infrason bruit sons santé sommeil cardiovasculaire sang cognition "qualité de vie" bien-être nuisance syndrome symptômes</p> <p>Selon le nombre de résultats ou le type de site, vous pouvez enlever "ext:pdf" pour un meilleur rappel. S'applique à toutes les requêtes ci-dessous</p> <p>site:bruitparif.fr éolienne "parc éolien" aéromoteur aérogénérateur infrason bruit sons santé sommeil cardiovasculaire sang cognition "qualité de vie" bien-être nuisance syndrome symptômes</p>	24 (50 souhaités)	0
2022-06-08	Agence de la santé publique du Canada https://www.canada.ca/fr/sante-canada.html	site:canada.ca/fr/sante-canada éolienne "parc éolien" aéromoteur aérogénérateur infrason bruit sons santé sommeil cardiovasculaire sang cognition "qualité de vie" bien-être nuisance syndrome symptômes	34 (50 souhaités)	0
2022-06-08	Centre d'information et de documentation sur le bruit (CIDB, France) https://www.bruit.fr	site:bruit.fr éolienne "parc éolien" aéromoteur aérogénérateur infrason bruit sons santé sommeil cardiovasculaire sang cognition "qualité de vie" bien-être nuisance syndrome symptômes	50	0

Date	Nom de l'organisation (URL du site)	Stratégie de recherche ou terme(s) recherché(s)	# résultats consultés	# résultats conservés
2022-06-08	Acoustical Society of America (ASA, É.-U.) https://acousticalsociety.org/	site:acousticalsociety.org ext:pdf "wind AROUND(3) turbine farm mill power energy park" infrasound noise sound health sleep cardiovascular blood cognition "quality of life" well-being annoyance syndrome symptoms	50	0
2022-06-08	Organisation mondiale de la Santé (OMS) https://www.who.int/	site:who.int ext:pdf "wind AROUND(3) turbine farm mill power energy park" infrasound noise sound health sleep cardiovascular blood cognition "quality of life" well-being annoyance syndrome symptoms	50	0
2022-06-09	Commission européenne (CE) https://ec.europa.eu/info/index_en	site:ec.europa.eu ext:pdf "wind AROUND(3) turbine farm mill power energy park" infrasound noise sound health sleep cardiovascular blood cognition "quality of life" well-being annoyance syndrome symptoms	50	0
2022-06-09	Santé Canada https://www.canada.ca/en/health-canada.html	site:canada.ca/en/health-canada "wind AROUND(3) turbine farm mill power energy park" infrasound noise sound health sleep cardiovascular blood cognition "quality of life" well-being annoyance syndrome symptoms	30 (50 souhaités)	0
2022-06-09	Anses, France www.anses.fr/fr	site:anses.fr éolienne "parc éolien" aéromoteur aérogénérateur infrason bruit sons santé sommeil cardiovasculaire sang cognition "qualité de vie" bien-être nuisance syndrome symptômes	50	1

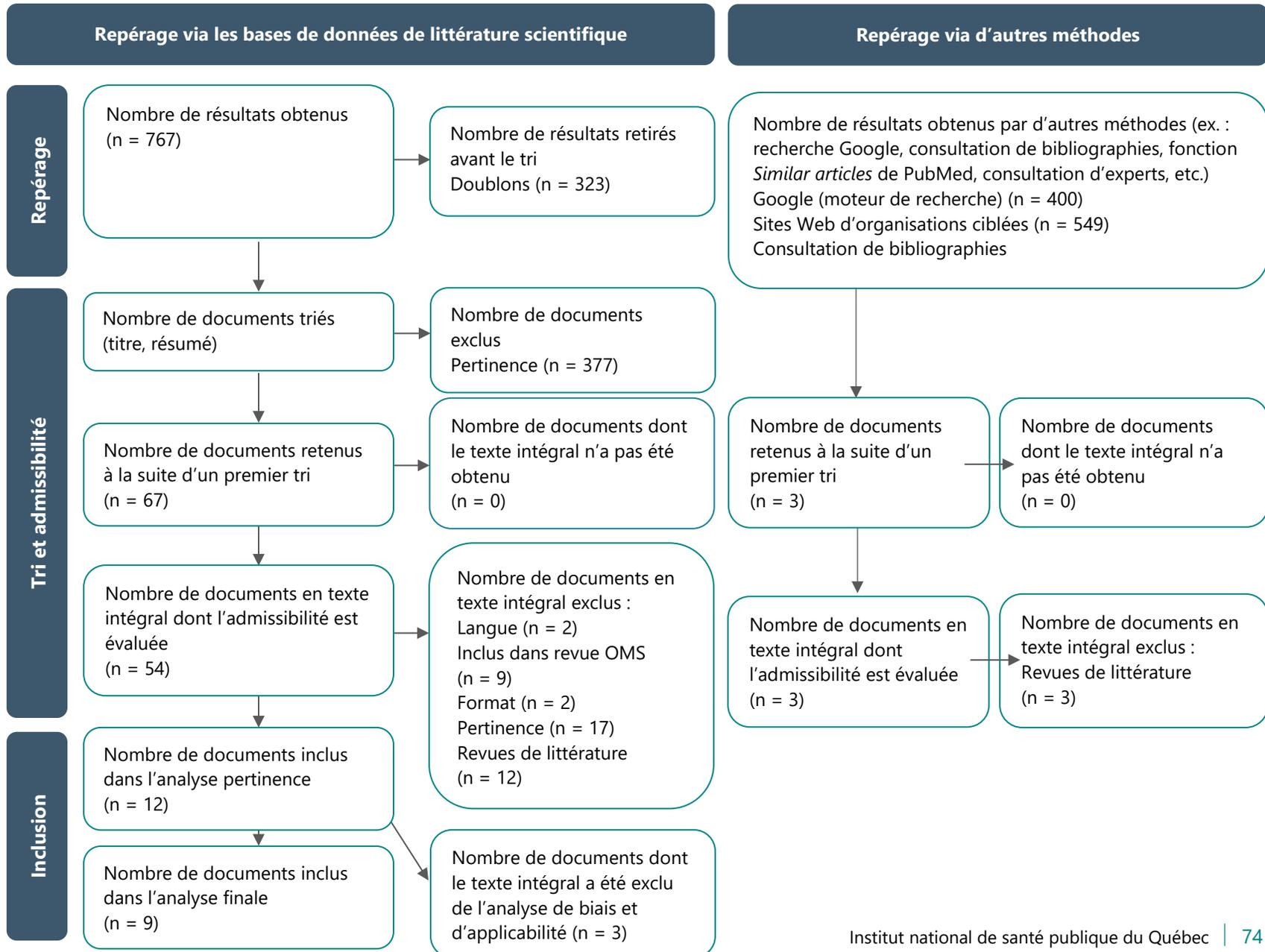
Date	Nom de l'organisation (URL du site)	Stratégie de recherche ou terme(s) recherché(s)	# résultats consultés	# résultats conservés
2022-06-09	Public Health England https://www.gov.uk/government/organisations/public-health-england	site:gov.uk ext:pdf "wind AROUND(3) turbine farm mill power energy park" infrasound noise sound health sleep cardiovascular blood cognition "quality of life" well-being annoyance syndrome symptoms	50	0
2022-10-03	Center for Disease Control and Prevention (CDC, États-Unis) https://www.cdc.gov/	site:cdc.gov ext:pdf "wind AROUND(3) turbine farm mill power energy park" infrasound noise sound health sleep cardiovascular blood cognition "quality of life" well-being annoyance syndrome symptoms	50	0
2022-10-03	National Institute for Public Health and the Environment (RIVM, Pays-Bas) https://www.rivm.nl/en	site:rivm.nl ext:pdf "wind AROUND(3) turbine farm mill power energy park" infrasound noise sound health sleep cardiovascular blood cognition "quality of life" well-being annoyance syndrome symptoms	50	1
2022-10-03	Public Health Ontario (PHO) https://www.publichealthontario.ca/	site:publichealthontario.ca ext:pdf "wind AROUND(3) turbine farm mill power energy park" infrasound noise sound health sleep cardiovascular blood cognition "quality of life" well-being annoyance syndrome symptoms	1 (50 souhaités)	0
2022-10-03	BC Centre for Disease Control (BCCDC) http://www.bccdc.ca/	site:bccdc.ca ext:pdf "wind AROUND(3) turbine farm mill power energy park" infrasound noise sound health sleep cardiovascular blood cognition "quality of life" well-being annoyance syndrome symptoms	0 (50 souhaités)	0

Date	Nom de l'organisation (URL du site)	Stratégie de recherche ou terme(s) recherché(s)	# résultats consultés	# résultats conservés
2022-10-03	Ministère des Solidarités et de la Santé (MSS, France) https://solidarites-sante.gouv.fr/	site:solidarites-sante.gouv.fr ext:pdf "wind AROUND(3) turbine farm mill power energy park" infrasound noise sound health sleep cardiovascular blood cognition "quality of life" well-being annoyance syndrome symptoms	0 (50 souhaités)	0
2022-06-09	Centre d'information et de documentation sur le bruit (CIDB, France) https://bruit.fr/	site:bruit.fr éolienne "parc éolien" aéromoteur aérogénérateur infrason bruit sons santé sommeil cardiovasculaire sang cognition "qualité de vie" bien-être nuisance syndrome symptômes	50	0
2022-06-17	Conseil national du bruit (CNB, France) https://bruit.fr/collectivites/le-conseil-national-du-bruit/	site:www.bruit.fr/collectivites/le-conseil-national-du-bruit/ ext:pdf éolienne "parc éolien" aéromoteur aérogénérateur infrason bruit sons santé sommeil cardiovasculaire sang cognition "qualité de vie" bien-être nuisance syndrome symptômes	0 (50 souhaités)	0
2022-06-17	Ministère des Affaires municipales et de l'Habitation (MAMH) https://mamh.gouv.qc.ca/	site:mamh.gouv.qc.ca/ ext:pdf éolienne "parc éolien" aéromoteur aérogénérateur infrason bruit sons santé sommeil cardiovasculaire sang cognition "qualité de vie" bien-être nuisance syndrome symptômes	10 (50 souhaités)	0
2022-06-17	Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) https://cmhc-schl.gc.ca/	site:cmhc-schl.gc.ca/ ext:pdf éolienne "parc éolien" aéromoteur aérogénérateur infrason bruit sons santé sommeil cardiovasculaire sang cognition "qualité de vie" bien-être nuisance syndrome symptômes	0 (50 souhaités)	0

Périodiques ciblés

Date	Nom de la base de données	Stratégie de recherche ou termes recherchés	# de résultats consultés	# nouveaux items conservés	Commentaires
2022-04-01	Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control https://journals.sagepub.com/home/lfn	(infrasound* OR noise* OR "low frequenc*" OR sound OR sounds) AND (wind AND (turbine* OR farm* OR mill* OR power OR energy OR park*)) AND (health* OR sleep* OR cardio* OR blood OR cognit* OR qualit* OR well-being* OR annoy* OR syndrome* OR symptom*) Limite: 2014-2022	54	0	

Organigramme de type PRISMA



ANNEXE 3 ANALYSE DES DOCUMENTS DE TYPES REVUES SYSTÉMATIQUES, RECENSION DES ÉCRITS, RAPPORTS GOUVERNEMENTAUX ET RAPPORTS DE GROUPES D'EXPERTS

Ci-dessous se trouve la liste des documents de types revues systématiques, recension des écrits, rapports gouvernementaux et rapports de groupes d'experts identifiés par la stratégie de recherche dans les bases de données (n = 12) ou dans la littérature grise (n = 3). Rappelons que l'analyse détaillée de ces documents ne fait pas partie du présent rapport.

Documents issus de la stratégie de recherche documentaire

Ata Teneler, A. et Hassoy, H. (2021). Health effects of wind turbines: A review of the literature between 2010-2020. *International Journal of Environmental Health Research*.

<https://doi.org/10.1080/09603123.2021.2010671>

Bonnet-Belfais, M., Lambrozo, J., Souques, M., Piotrowski, A. et Tossa, P. (2017). Énergie et intolérances environnementales : électro-hypersensibilité, syndrome éolien, qu'en est-il vraiment ?

Environnement, Risques et Santé, 16(2), 141-150. <https://doi.org/10.1684/ers.2017.0971>

Carlile, S., Davy, J. L., Hillman, D. et Burgemeister, K. (2018). A review of the possible perceptual and physiological effects of wind turbine noise. *Trends in Hearing*, 22.

<https://doi.org/10.1177/2331216518789551>

Clark, C., Crumpler, C. et Notley, H. (2020). Evidence for environmental noise effects on health for the United Kingdom policy context: A systematic review of the effects of environmental noise on mental health, wellbeing, quality of life, cancer, dementia, birth, reproductive outcomes, and cognition. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(2), 393.

<https://doi.org/10.3390/ijerph17020393>

Freiberg, A., Schefter, C., Girbig, M., Murta, V. C. et Seidler, A. (2019). Health effects of wind turbines on humans in residential settings: Results of a scoping review. *Environmental Research*, 169, 446-463.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.11.032>

Jeffery, R. D., Krogh, C. M. E. et Horner, B. (2014). Industrial wind turbines and adverse health effects. *Canadian Journal of Rural Medicine*, 19(1), 21-26.

Knopper, L. D., Ollson, C. A., McCallum, L. C., Whitfield Aslund, M. L., Berger, R. G., Souweine, K. et McDaniel, M. (2014). Wind turbines and human health. *Frontiers in public health*, 2, 63.

<https://doi.org/10.3389/fpubh.2014.00063>

Liebich, T., Lack, L., Hansen, K., Zajamsek, B., Lovato, N., Catcheside, P. et Micic, G. (2021). A systematic review and meta-analysis of wind turbine noise effects on sleep using validated objective and subjective sleep assessments. *Journal of Sleep Research*, 30(4), e13228.

<https://doi.org/10.1111/jsr.13228>

Mucci, N., Traversini, V., Lorini, C., De Sio, S., Galea, R. P., Bonaccorsi, G. et Arcangeli, G. (2020). Urban noise and psychological distress: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(18), 1-22. <https://doi.org/10.3390/ijerph17186621>

Saavedra, R. C. et Samanta, B. (2015). Noise and vibration issues of wind turbines and their impact—A review. *Wind Engineering*, 39(6), 693-702. <https://doi.org/10.1260/0309-524X.39.6.693>

Simos, J., Cantoreggi, N., Christie, D. et Forbat, J. (2019). Wind turbines and health: A review with suggested recommendations. *Environnement, Risques et Sante*, 18(2), 149-159. <https://www.cairn.info/revue-environnement-risques-et-sante-2019-2-page-149.htm>

van Kamp, I. et van den Berg, F. (2021). Health effects related to wind turbine sound: An update. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(17), 9133. <https://doi.org/10.3390/ijerph18179133>

Documents issus de la stratégie de littérature grise

Lepoutre, P., Avan, P., Cheveigne, A. D., Ecotiere, D., Evrard, A. S., Moati, F., ... Toppila, E. (2017). *Évaluation des effets sanitaires des basses fréquences sonores et infrasons dus aux parcs éoliens*. Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail. <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01590506>

van Kamp, I., van Kempen, E. E. M. M., Simon, S. N. et Baliatsas, C. (2019). *Review of evidence relating to environmental noise exposure and annoyance, sleep disturbance, cardio-vascular and metabolic health outcomes in the context of ICGB(N)*. National Institute for Public Health and the Environment. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2019-0088.pdf>

van Kamp, I. et van den Berg, G. P. (2020). *Health effects related to wind turbine sound: An update*. National Institute for Public Health and the Environment. <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/2020-0150.pdf>

Centre de référence
et d'expertise



www.inspq.qc.ca