



HAL
open science

Recherche sur les impacts du bruit des éoliennes sur l'Humain : son, perception, santé (RIBEOlH)

Anne-Sophie Evrard, Paul Avan, Patricia Champelovier, Benjamin Cotté, David Ecotièrre, Benoit Gauvreau, Lise Giorgis-Allemand, Catherine Marquis-Favre,
Sabine Meunier

► **To cite this version:**

Anne-Sophie Evrard, Paul Avan, Patricia Champelovier, Benjamin Cotté, David Ecotièrre, et al.. Recherche sur les impacts du bruit des éoliennes sur l'Humain : son, perception, santé (RIBEOlH). CFA2022 - 16ème Congrès Français d'Acoustique, Société Française d'Acoustique; Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Apr 2022, Marseille, France. <hal-03847950>

HAL Id: hal-03847950

<https://hal.science/hal-03847950v1>

Submitted on 10 Nov 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

Recherche des Impacts du Bruit ÉOLien sur l'Humain : son, perception, santé (RIBeolH)

A.S. Evrard^a, P. Avan^b, P. Champelovier^c, B. Cotté^d, D. Écotière^e, B. Gauvreau^f, L. Giorgis-Allemand^a, C. Marquis-Favre^g, S. Meunier^h

^a Univ Lyon, Univ Gustave Eiffel, Univ Lyon 1, UMRESTTE, UMR_T9405, Lyon, France

^b Université Clermont-Auvergne, Centre de recherche et d'innovation en audiologie humaine, institut de l'audition, Paris, France

^c Univ Gustave Eiffel, Univ Lyon, AME-MODIS, Lyon, France

^d IMSIA, ENSTA Paris, CNRS, CEA, EDF, Institut Polytechnique Paris, Palaiseau, France

^e CEREMA, Univ Gustave Eiffel, UMRAE, Strasbourg, France

^f Univ Gustave Eiffel, CEREMA, UMRAE, Bouguenais, France

^g Univ Lyon, ENTPE, LTDS UMR 5513, Vaulx-en-Velin, France

^h Aix Marseille Univ, CNRS, Centrale Marseille, LMA UMR 7031, Marseille, France



L'énergie éolienne est en pleine expansion en France comme ailleurs dans le monde, mais la population s'inquiète des impacts sanitaires du bruit des éoliennes et certaines personnes expriment une gêne plus importante que ne le laissent supposer les mesures du champ acoustique. La gêne est souvent décrite comme résultant des infrasons (IF) alors que les pressions acoustiques des IF émis par les éoliennes sont inférieures aux seuils d'audition. Cependant, l'inaudibilité possible des IF n'exclut pas leur action sur l'oreille interne ou le système nerveux central. Dans ce contexte, nous construisons un protocole de recherche sur les impacts du bruit des éoliennes sur l'Humain, en termes de simulation/synthèse sonore, perception, et ses effets sur la santé humaine ("RIBEoIH"). Les objectifs du projet RIBEoIH sont : 1) D'évaluer les effets sur la santé du bruit audible, des sons de basse fréquence (SBF) en particulier, et des IF, émis par les éoliennes, et de mieux comprendre la gêne exprimée. 2) D'identifier les mécanismes auditifs associés à la perception des IF et des SBF émis par les éoliennes. 3) De mieux connaître les effets des IF sur l'oreille interne ou le système nerveux central. Pour répondre à ces objectifs, RIBEoIH s'appuie sur deux volets complémentaires : une étude épidémiologique et une étude psychoacoustique et physiologique.

1 Contexte et objectifs

1.1 Contexte

L'énergie éolienne est en pleine expansion en France, comme partout ailleurs dans le monde, et constitue un levier d'action important pour la réalisation de politiques publiques (loi sur la transition énergétique de 2015). Cette orientation résulte notamment de la volonté de diversifier les sources d'énergie pour réduire la dépendance aux énergies fossiles et diminuer les émissions de gaz à effet de serre. Des règles précises gouvernent la conception et l'implantation des éoliennes afin de limiter le champ acoustique qu'elles produisent lorsqu'elles fonctionnent et par conséquent chercher à diminuer la gêne pour les riverains. Ainsi le cadre réglementaire s'appliquant aux éoliennes a évolué en 2011 avec d'une part l'introduction de distances minimales d'implantation de 500 mètres de toute habitation et d'autre part le classement des parcs éoliens dans le régime des installations classées pour la protection de l'environnement (Décret n° 2011-984 du 23 août 2011 et trois arrêtés du 26 août 2011). Ces textes prévoient notamment des mesures de bruit dans les bandes d'octave de 125 à 4 000 Hz. Cependant, les sons de basses fréquences (SBF, de 20 à 200 Hz, audibles) et les infrasons (IF, fréquences inférieures à 20 Hz, considérés comme inaudibles), plus difficiles à mesurer, ne sont pas pris en compte.

La population riveraine de ces installations s'interroge sur les impacts sanitaires du bruit émis par les éoliennes et certains se plaignent d'une gêne importante qui serait en partie due à la nature du bruit émis qui comporte des composantes BF importantes (SBF et/ou IF, donc audibles ou non), avec une structure temporelle modulée [1]. Cette gêne exprimée est parfois plus sévère que ne le laisseraient prévoir les estimations et mesures du champ acoustique ou les connaissances établies concernant la sensibilité auditive aux SBF et IF. En effet, à ce jour, les études indiquent que les niveaux de pression acoustique des IF émis par les éoliennes se situent en dessous des seuils de perception. Mais alors qu'il était considéré comme implicite que des niveaux sonores inaudibles ne peuvent avoir un impact sur la santé humaine, certaines études expérimentales chez l'animal et chez l'être humain montrent une plausibilité biologique concernant les effets potentiels sur l'organisme de l'exposition aux IF et aux SBF [2].

La plupart des études épidémiologiques ont trouvé une association positive significative entre les niveaux de bruit audible des éoliennes et le pourcentage de personnes très gênées [3-4]. Très peu d'études ont examiné les effets de ce bruit sur les perturbations du sommeil, les maladies cardiovasculaires, les systèmes métaboliques ou endocriniens, ou sur les fonctions cognitives ou la santé mentale. Ainsi, les lignes directrices de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) relatives au bruit environnemental publiées en octobre 2018 soulignent que les preuves concernant les effets sur la santé du bruit émis par les éoliennes sont soit inexistantes soit de faible qualité [5]. En effet, peu d'études épidémiologiques ont recherché les effets sur la santé autres que la gêne, du bruit audible des éoliennes et toutes, sauf une, présentent des lacunes méthodologiques qui rendent leurs résultats discutables [6]. Cependant, aucune de ces études ne s'est intéressée spécifiquement aux effets sur la santé des IF ou des SBF émis par les éoliennes.

Ainsi, il n'est pour l'instant pas possible de conclure quant à l'impact du bruit des éoliennes sur la santé. L'OMS et l'Anses (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) recommandent donc de mettre en œuvre des études épidémiologiques portant sur un nombre important d'individus, utilisant des mesures objectives de l'état de santé des participants, s'appuyant sur l'échelle de l'ICBEN (International Commission on Biological Effects of Noise) pour évaluer la gêne, et mesurant l'exposition au bruit des éoliennes de manière objective et standardisée pour un large éventail de niveaux et de fréquences (en incluant les SBF et les IF) [5-6].

1.2 Objectifs et hypothèses de recherche

Dans ce contexte, les objectifs du projet RIBEoIH sont :

- Évaluer les effets sur la santé (au sens large, incluant la gêne) du bruit audible ou non (SBF et IF), émis par les éoliennes. Il s'agira aussi de mieux comprendre la gêne exprimée et s'il existe des liens entre celle-ci et des variables telles que les préoccupations vis-à-vis de l'environnement ou des comportements pro-environnementaux.

L'hypothèse de recherche sous-jacente est que non seulement le bruit audible, en particulier les SBF, mais aussi les IF, émis par les éoliennes en fonctionnement normal seraient à l'origine d'effets sanitaires chez les riverains des

parcs éoliens (effets sur le système cochléo-vestibulaire, perturbations du sommeil, stress, pathologies cardiovasculaires, troubles psychologiques et gêne).

- Identifier les caractéristiques spécifiques du bruit audible et non audible (SBF et IF) émis par les éoliennes, et mieux comprendre les mécanismes auditifs associés à la perception des IF et des SBF des éoliennes, et plus particulièrement la perception de l'intensité sonore (sonie) et des modulations d'amplitude, et leur lien avec la gêne.

L'hypothèse de recherche sous-jacente est que les IF et les SBF pourraient être perçus et être gênants aux niveaux émis par les éoliennes. Actuellement, les sensations auditives induites par les éoliennes sont objectivées en utilisant le niveau sonore moyen pondéré A (exprimé en dB(A)). Mais on sait que celui-ci n'est pas adapté pour rendre compte de la perception humaine des SBF et des IF.

- Mieux connaître les effets des IF sur l'oreille interne et le système nerveux central; ces effets pouvant expliquer certaines symptomatologies parfois décrites par des sujets exposés aux IF et qui s'en plaignent.

L'hypothèse de recherche sous-jacente est que des niveaux sonores inaudibles pourraient avoir des effets physiologiques sur le système auditif humain et ces effets pourraient être associés avec la gêne exprimée.

Pour répondre à ces objectifs, le projet RIBEoIH repose sur une méthodologie structurée en deux parties complémentaires. La première partie s'appuie sur la mise en place d'une étude épidémiologique destinée à mieux connaître et mieux quantifier les effets sur la santé du bruit émis par les éoliennes. La seconde partie est basée sur la réalisation d'une étude psychoacoustique et physiologique menée en conditions contrôlées, pour comprendre les mécanismes auditifs associés à la gêne due aux IF et aux SBF émis par les éoliennes.

2 Méthodes

2.1 Étude épidémiologique

Le protocole de l'étude épidémiologique s'appuiera en particulier sur les résultats de l'étude de faisabilité Cibélius dont l'objectif était d'évaluer la faisabilité, à l'échelle du territoire national, d'une étude épidémiologique concernant les effets sur la santé du bruit émis par les éoliennes [7]. Ce projet a donné lieu à une méthodologie permettant d'estimer le nombre de personnes potentiellement exposées au bruit émis par les éoliennes, ainsi que les niveaux d'exposition de ces populations. Par ailleurs, des entretiens semi-directifs utiles dans le cadre d'une étude sur la gêne ont été réalisés et ont permis la construction d'un questionnaire qui a été testé.

La méthodologie proposée dans Cibélius a permis de définir des classes de niveaux de bruit audible dû aux éoliennes à l'intérieur desquelles il a été possible de dénombrer les populations exposées pour l'ensemble des parcs éoliens en France métropolitaine en 2017 : près de 250 000 personnes pour des conditions météorologiques représentatives du jour et 350 000 personnes pour des conditions météorologiques représentatives de la nuit étaient exposées à des niveaux de bruit dû aux éoliennes variant entre 30 à 60 dB(A). Près de 63% des personnes exposées se

situait dans trois régions (Hauts de France, Bretagne et Normandie). C'est également dans ces trois régions que se trouvaient les niveaux d'exposition les plus élevés.

Les parcs éoliens à inclure dans l'étude seront sélectionnés dans ces trois régions en fonction du nombre de personnes potentiellement exposées à une diversité de niveaux de bruit dû aux éoliennes. Ce nombre a été estimé dans le projet Cibélius.

L'étude épidémiologique sera conduite auprès d'environ 1 200 riverains des parcs éoliens sélectionnés. Un questionnaire administré en face-à-face par un enquêteur permettra de recueillir des informations sur les caractéristiques démographiques et socio-économiques du participant, les caractéristiques de son logement, sa perception de l'environnement et des sources sonores extérieures, son mode de vie, son état de santé (perturbations du sommeil, hypertension, troubles psychologiques, stress et gêne ressentie notamment) et sa sensibilité au bruit en général. Des questions déjà validées seront utilisées comme le General Health Questionnaire, l'Index de Qualité du Sommeil de Pittsburgh (PSQI) et l'échelle de stress perçu (PSS). Ce questionnaire a été construit et testé dans le projet Cibélius. Par ailleurs, des mesures objectives de certains états de santé seront également réalisées (pression artérielle, fréquence cardiaque, et état de stress grâce à la concentration de cortisol dans la salive ou les cheveux).

L'exposition au bruit audible, en particulier aux SBF, mais aussi aux IF, émis par les éoliennes de l'ensemble des 1 200 participants sera estimée grâce à des simulations numériques basées sur des modèles d'ingénierie de prévision du bruit qui permettront d'estimer l'exposition en façade des bâtiments. L'exposition sera évaluée pour différentes périodes (jour, soirée, nuit), pour différentes situations particulières (exposition maximale ou moyenne, conditions de vent particulières). Une estimation de l'exposition à l'intérieur des bâtiments sera effectuée par extrapolation sur la base de lois forfaitaires d'isolement acoustique des façades. Des mesures acoustiques seront réalisées sur un sous-échantillon d'une centaine de riverains, à l'intérieur et en façade de domicile, pour valider ou ajuster le modèle ou les lois forfaitaires utilisés. Ces mesures seront réalisées sur une durée de 24h minimum. Elles seront accompagnées de mesures des grandeurs météorologiques qui ont un impact direct sur l'émission et la propagation du bruit (direction et vitesse du vent, température) selon un protocole spécifique. Ces mesures seront complétées en quelques points par des enregistrements audio afin de confronter l'indicateur de gêne proposé dans l'étude psychoacoustique et physiologique aux données de gêne recueillies lors de l'étude épidémiologique.

2.2 Étude psychoacoustique et physiologique

L'étude psychoacoustique et physiologique consistera en la réalisation en laboratoire de mesures psychoacoustiques et physiologiques dans un environnement maîtrisé à l'aide de sons mesurés et synthétisés par un modèle physique pour différentes conditions de fonctionnement des éoliennes [8]. Cette approche permet la synthèse de sons basés sur des paramètres physiques bien identifiés et contrôlés, ce qui permettra de déterminer précisément les paramètres qui ont un rôle important dans les effets du bruit émis par les éoliennes sur la sonie et la gêne. Les travaux

psychoacoustiques menés en laboratoire concentreront leurs efforts sur la sonie et les sensations auditives liées aux modulations d'amplitude afin de comprendre leur relation avec la gêne exprimée. Un indicateur de gêne basé sur des variables acoustiques et non acoustiques (la sensibilité au bruit) sera proposé. Cet indicateur sera confronté aux données de gêne mesurées lors de l'étude épidémiologique. Enfin, des mesures physiologiques des réponses cochléovestibulaires (otoémissions, électrocochléographie, vidéonystagmographie) seront réalisées chez des participants soumis à des IF pour tester l'hypothèse de la littérature selon laquelle des IF non audibles peuvent affecter l'audition et/ou l'équilibre.

Toutes les expérimentations proposées seront conduites dans une salle spécialement conçue pour la restitution des IF. En effet, une des problématiques de la restitution des SBF et des IF est que les niveaux sonores mis en jeu à ces fréquences-là sont difficiles à atteindre. Une installation a donc été spécialement réalisée, constituée d'une salle étanche acoustiquement et d'un système de contrôle de champ acoustique, qui permet de restituer les SBF et les IF à des niveaux audibles [9] égalant ou dépassant les niveaux des SBF et des IF rencontrés dans l'environnement et particulièrement dans les sons émis par des éoliennes, assurant une restitution sonore de qualité [10].

3 Impact du projet

Le projet RIBEolH fera progresser les connaissances des effets sanitaires du bruit audible, en particulier des SBF, mais aussi des IF, émis par les éoliennes, ainsi que la façon dont ils sont ressentis. Premier projet de recherche collaboratif français concernant la perception et les effets sur la santé du bruit des éoliennes, RIBEolH permettra de combler une lacune de la recherche française par rapport à la recherche internationale dans ce domaine. Au niveau international, les résultats épidémiologiques compléteront ceux des rares études s'intéressant aux effets sur la santé autres que la gêne, et permettront de constituer un ensemble de données de référence. Au-delà du bruit des éoliennes, les résultats sur la perception des IF et des SBF permettront de progresser dans la connaissance des processus de perception ou de gêne concernant ces fréquences quel que soit le type de bruit, et des mécanismes physiologiques dans l'oreille interne à l'origine de leur perception.

Le projet RIBEolH contribuera à l'accompagnement du développement de ces énergies renouvelables de façon maîtrisée et dans le respect des populations exposées.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Agence Nationale de la Recherche qui finance ce projet RIBEolH (ANR-19-CE36-0009).

L'implication des équipes de l'Université Gustave Eiffel de Bron et de l'ENTPE s'inscrit dans le cadre du LabEx CeLyA (Centre d'Acoustique de Lyon, ANR-10-LABX-0060).

Références

- [1] C. Ioannidou, S. Santurette, C.H. Jeong. Effect of modulation depth, frequency, and intermittence on wind turbine noise annoyance. *J. Acoust. Soc. Am.* 139(3):1241-1251 (2016).
- [2] A.N. Salt, T.E. Hullar. Responses of the ear to low frequency sounds, infrasound and wind turbines. *Hearing Research* 268(1-2):12-21 (2010).
- [3] I. Van Kamp, F. van den Berg. Health effects related to wind turbine sound, including low-frequency sound and infrasound. *Acoust. Aust.* 46, 31–57 (2018).
- [4] I. Van Kamp, F. van den Berg. Health effects related to wind turbine sound: An update. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 18, 9133 (2021).
- [5] WHO, Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen, Denmark: World Health Organisation (2018).
- [6] Anses. Évaluation des effets sanitaires des basses fréquences sonores et infrasons dus aux parcs éoliens : Saisine 2013-SA-0115 : avis de l'ANSES. Rapport d'expertise collective, Agence Nationale de Sécurité Sanitaire (Anses), 304 pages (2017).
- [7] D. Écotière, P. Demizieux, G. Guillaume, L. Giorgis-Allemand, A.S. Evrard. Quantification of sound exposure from wind turbines in France. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 19 (2022).
- [8] D. Mascarenhas, B. Cotté, O. Doaré. Synthesis of wind turbine trailing edge noise in free field. *Synthesis of wind turbine trailing edge noise in free field. JASA Express Letters* (23 December 2021).
- [9] H. Møller, C. S. Pedersen. Hearing at low and infrasonic frequencies. *Noise & Health*, 6, 37–57 (2004).
- [10] M. Pachebat, J. Chatron, R. Cote, E. Friot, P. Herzog, S. Meunier, G. Rabau. Une cabine acoustique pour la restitution contrôlée des basses et très basses fréquences (3Hz-300Hz) : qualification, identification acoustique et premier exemple de contrôle. 16^{ème} Congrès Français d'Acoustique, 11-15 Avril, Marseille (2022).