

Académie nationale de médecine

Le retentissement du fonctionnement des éoliennes sur la santé de l'homme

*Rapport et recommandations
d'un Groupe de Travail*

L'Association APSA (Association pour la protection des Abers) a demandé par lettre du 7 mars 2005 au Ministre de la Santé et des Solidarités, que soit étudiée l'éventualité d'une action nocive des éoliennes sur la santé de l'homme. Elle en a adressé une copie pour information au Président de l'Académie nationale de médecine. Le Conseil d'Administration de celle-ci a jugé nécessaire, dans sa réunion du 15 mars 2005, de se saisir du problème, et d'en confier l'examen à un Groupe de Travail¹ spécialement créé à cet effet.

1

Introduction

Le développement des parcs d'éoliennes en France est un des moyens de pallier la dépendance énergétique du pays. Cependant les populations vivant dans certains cas tout à côté des éoliennes expriment des doléances fonctionnelles diverses et se plaignent des bruits très particuliers de ce voisinage. Depuis une dizaine d'années, la réglementation concernant l'installation de ces engins comporte une étude d'impact sur l'environnement, sur la flore autant que sur la faune, ornithologique notamment. Mais, pour l'homme, l'éventualité de nuisances, notamment sonores, induites par le fonctionnement de ces engins a été minimisée, et son appréciation spécifique n'a pas été réglementée¹.

Cette carence faussement rassurante a été sans doute une des raisons de l'inquiétude de ces populations, et elle a eu pour effet de laisser se développer, pour expliquer les troubles ressentis, des rumeurs pathogéniques discutables, notamment celles qui concernent la responsabilité des infrasons. Ces rumeurs n'ont pu qu'amplifier l'importance des troubles fonctionnels.

On comprend que ces doléances et ces craintes aient été alors largement diffusées, parce qu'elles servaient d'arguments supplémentaires aux Associations qui s'opposent à l'installation de ces engins pour des motifs écologiques, esthétiques ou économiques, qui, eux, relèvent de la politique générale, et non des compétences de l'Académie.

Actuellement, dans la littérature scientifique, on retrouve très peu de données sur les dangers potentiels des éoliennes pour l'homme. Faire le point des connaissances actuelles et apprécier l'éventualité de cette nocivité a constitué la mission de ce groupe de travail, et l'a conduit à proposer au Conseil d'Administration un certain nombre de recommandations.

¹ Ce Groupe de Travail, constitué par Louis Auquier, Jean-Paul Bounhoure, Jean Cauchoix, Yves Chapuis, François Legent, Henri Loo, Pierre Pène, Alain Morgon, Patrice Tran-Ba-Huy, était présidé par Claude-Henri Chouard.

2

Les éoliennes

Les éoliennes, qu'elles soient isolées, ou regroupées en grand nombre en formations improprement appelées "fermes éoliennes", sont une source d'énergie "renouvelable" qui suscite un intérêt mondial. En France, malgré les polémiques induites par leur fonctionnement, ce "gisement" énergétique commence à se développer (voir Annexe A), car ces implantations bénéficient depuis plusieurs années d'incitations financières importantes. Celles-ci représentent un intérêt pécuniaire évident pour les particuliers et les communes accueillant ces engins.

Mais elles n'intéressent que les propriétaires qui louent le terrain nécessaire à l'implantation, sans que les habitants du voisinage plus ou moins proche en tire le moindre avantage. Quand il s'agit de petits propriétaires, souvent retraités qui, de plus, voient la valeur de leur modeste bien immobilier s'effondrer, ces derniers éprouvent un sentiment d'injustice, qui amplifie la nuisance du bruit auquel cette partie de la population est soumise. De plus, les actions menées par les industries privées, auxquelles est dévolue la responsabilité d'installer les éoliennes, relèvent du marketing, dont les techniques conduisent parfois, pour obtenir l'accord préalable des populations, à minimiser les inconvénients liés à la proximité de ces engins; mais la déception, ressentie après coup, de découvrir des nuisances insoupçonnées, majore sûrement le retentissement psychique de la gêne rencontrée.

Malgré l'article 98 dévolu aux éoliennes dans la loi du 2 juillet 2003, ces machines restent soumises à la simple réglementation des bruits de voisinage (article R 1336-8 et R 1336-9 du code de la santé publique, arrêté du 10 mai 1995 relatif aux modalités de mesure de ces bruitsⁱⁱ), si bien que les procédures administratives, qui doivent être actuellement suivies pour obtenir le permis de construire une éolienne, n'imposent pas d'éloignement minimal des habitations. Dans certains cas, ces dernières se trouvent à moins de cinq cents mètres de ces engins.

Il est paradoxal de constater que jusqu'à présent les éoliennes, engins mécano électriques générateurs de taxes professionnelles pour les communes, n'aient jamais été considérées comme des installations industrielles : l'implantation de ces dernières est soumise à une réglementation spécifique destinée à prévenir les risques que leur fonctionnement peut induire, et notamment les conséquences des nuisances sonores infligées au voisinage.

Précisons enfin que la réglementation concernant la mesure des nuisances sonores des éoliennes varie d'un pays à l'autre. L'Union Européenne commence à s'intéresser à cette disparité et vient depuis peu d'uniformiser² les méthodes de mesure du bruit induit au voisinage d'une éolienne en fonctionnement. Mais, actuellement, cette réglementation européenne n'implique pas de mesures effectuées sur des périodes longues de plusieurs semaines.

3

Les plaintes, concernant leur santé, formulées par certaines personnes vivant à proximités des éoliennes.

Leur catalogue est difficile à établir, car les études exhaustives cliniques dépourvues de tout biais méthodologique sont rares dans la littérature scientifique.

Le bruit est la doléance la plus fréquente. Il est décrit comme lancinant, préoccupant, perpétuellement surprenant parce qu'il est irrégulier en intensité, mais comporte aussi des sonorités grinçantes et incongrues, qui détournent l'attention ou perturbent le repos. La

² Il s'agit de la directive ICE 61400-11 : <http://www.awea.org/standards/iec_stds.html#WG5>

survenue inopinée la nuit de ces bruits perturbe le sommeil, réveillant brusquement le sujet dès que le vent se lève, ou l'empêchant de se rendormir.

Les éoliennes ont été rendues responsables d'autres troubles ressentis par les personnes habitant dans leur proximité. Ils sont moins précis, moins bien décrits et consistent en manifestations subjectives (céphalées, fatigues, sensations d'ébriété passagères, nausées) parfois objectives (vomissements, insomnies, palpitations).

Signalons que les mouvements de l'ombre des pales en rotation ont été rendus responsables de distractions susceptibles d'entraîner des d'accidents de voiture, voire d'épilepsie.

4

Les modifications physiques de l'environnement dues au fonctionnement des éoliennes.

A- La taille des éoliennes, dont la hauteur atteint aujourd'hui souvent plus de cent mètres, et leur situation dans des sites fréquemment ventés, c'est-à-dire dégagés et/ou élevés, peuvent les rendre visibles à plusieurs kilomètres.

B- Cette modification de l'environnement est encore plus évidente lorsque s'y ajoute le mouvement rotatoire des pales, dont le diamètre à lui seul approche la centaine de mètres. Cette rotation des pales, qui a été accusée d'être dangereuse pour l'homme, peut blesser les oiseaux; la réglementation actuelle a pris ce risque en compte, afin que les zones de nidification ou de migration ne soient pas perturbées par l'implantation de ces engins.

C- Mais la modification de l'environnement la plus importante est sûrement, comme toute installation industrielle, la création de vibrations du milieu ambiant.

Que ces vibrations soient solidiennes ou aériennes, elles sont responsables, lorsqu'elles sont audibles, d'un bruit, dont les caractéristiques physiques n'ont de particulier que la variabilité de ses paramètres, et notamment de leur seuil d'audibilité par l'homme.

Ce bruitⁱⁱⁱ est dû à la rotation des engrenages de la machinerie qui assure l'adéquation au vent de l'axe des pales, et de la dynamo qui produit l'électricité. Il est dû aussi au frottement du vent sur les pales et sur le bâtis de l'éolienne. Ce bruit est variable et intermittent ; par temps calme les éoliennes sont au repos, ou peu bruyantes; mais, qu'il forcisse ou reste modéré, le vent le mieux installé est toujours irrégulier. Cette variabilité du bruit explique les controverses relatives à son intensité. Elle majore son impact sur l'homme en entraînant une mise en éveil répétitive et imprévisible.

Les caractères du bruit éolien n'ont été étudiés que tout récemment, peut-être en raison des doléances exprimées par les Associations. Ce bruit a été analysé dans le périmètre aérien immédiat de ces machines, ou plus à distance en milieu liquidien^{iv} dans les parcs d'éoliennes implantées dans la mer. De même les modalités de sa propagation à distance sont maintenant bien connues^v : celle-ci dépend des conditions climatiques (température, humidité, orientation et vitesse du vent, etc), mais tout autant de la topographie et de l'environnement propre à chaque site. Un vallonnement, par exemple, peut faire écho et amplifier (ou masquer) ce bruit en certains endroits de manière très localisée. Inversement, les occupants d'habitations situées sur le bord de mer n'entendent pas des éoliennes pourtant toutes proches, parce qu'ils sont soumis, sans en être gênés, au bruit constant des vagues, du ressac et du vent du large.

Cette variabilité est illustrée par les récentes mesures de bruit effectuées à Saint Crépin^{vi} (Charentes Maritimes) avec une instrumentation moderne près des habitations. Les enregistrements furent effectués sur 9 sites différents; ils objectivèrent 3 valeurs hors normes dépassant le bruit autorisé, et dans ces trois cas les éoliennes responsables étaient à plus d'un kilomètre de l'habitation où était placé l'instrument de mesure. Cependant, parmi les 6

mesures n'objectivant pas de dépassement des normes, 3 d'entre elles correspondaient à des engins situés à moins de 500 mètres des habitations. Ces différences étaient dues uniquement à la topographie des lieux.

Pour les futurs projets, il serait souhaitable que pour chaque site envisagé, des simulations sonores artificielles, et leur enregistrement au niveau des habitations concernées, soient effectuées préalablement à toute construction. Il est donc nécessaire que ces simulations soient désormais intégrées dans l'étude d'impact de ces parcs d'éoliennes.

En France, la mesure du bruit de voisinage, notamment celui produit par les éoliennes, est soumise, depuis 1995, à la norme NF S 31-110, qui exige que les mesures de bruit soient effectuées avec des vents inférieurs à 20 km /h^{vii}, car pour des vitesses supérieures "les sonomètres pourraient enregistrer des bruits parasites"...!. Cette situation réglementaire était d'autant plus étonnante que, d'une part techniquement il était facile déjà à cette époque de contourner cette difficulté, et d'autre part ce sont des vitesses de vent bien supérieures qui mettent habituellement en jeu ces machines. Son application explique sans doute la plupart des doléances exprimées aujourd'hui à leur propos.

La modification de cette norme est annoncée. Mais, dans les documents ministériels^{viii} qui l'évoquent, la prévision des nuisances fait bien plus appel à des modélisations par logiciel, qu'à des mesures sur le terrain tenant compte sur une longue période de la variabilité du spectre des bruits, et des variations saisonnières de la vitesse et de l'orientation des vents. Elle risque donc d'être inefficace.

Tout cela conduit encore plus à déplorer que, lors de la rédaction de l'article 98 dévolu aux éoliennes dans la loi du 2 juillet 2003, ces engins électromécaniques, manifestement bruyants, n'aient pas d'emblée été considérés comme des établissements industriels. Certes, ils sont soumis à l'obligation d'un permis de construire à partir d'une certaine hauteur, et, au-delà d'une certaine puissance, ils sont soumis à une "étude d'impact". Mais celle-ci ne tient pas du tout compte de la spécificité du bruit de ces machines, qui continuent, en matière de bruit, à relever de la réglementation appliquée aux habitations ordinaires. En réalité, pour les éoliennes, une distance minimum de sécurité acoustique doit être définie, même si cette distance est propre à chaque implantation. Cette mesure est seule capable d'éviter toute nuisance sonore. Ce paramètre de bon sens a jusqu'ici été ignoré, au point qu'actuellement, ni les installateurs, ni les pouvoirs publics, ne peuvent fournir de statistique indiquant, pour chaque éolienne (ou parc d'éoliennes), privée ou publique, la distance séparant chaque engin de l'habitation la plus proche.

Les infrasons se définissent comme la zone la plus grave de l'environnement sonore (aérien, liquidien ou solidien), audible ou non par l'homme, dont la limite supérieure assez floue est aux environs de 20 Hz. Ils nécessitent une intensité considérable pour être audibles, et par conséquent ne doivent pas être inclus, sous peine de confusion, dans le plus vaste domaine des sons de basses fréquences largement représentées dans la perception des voyelles et de la musique auxquelles l'oreille humaine est sensible.

Bien qu'inaudibles, les infrasons sont présents dans notre environnement le plus quotidien (voir Annexe B). Ils existent dans tout l'environnement industriel. A des intensités énormes, on les retrouve aussi dans les explosions, le tonnerre, les tremblements de terre. L'étude expérimentale de leur audibilité et de leurs effets sur l'homme ou l'animal exige des laboratoires très sophistiqués, en raison de leur grande longueur d'onde et de l'énormité des intensités qui doivent être générées pour qu'ils soient perceptibles.

D- Les effets physiopathologiques du bruit

La nature de leurs effets dépend de l'intensité^{ix}.

Tous les bruits audibles, lorsqu'ils sont *très intenses*, peuvent entraîner plus ou moins vite des troubles fonctionnels, puis des lésions de l'oreille bien connues.

Mais de telles intensités ne se rencontrent qu'à quelques mètres d'une éolienne en fonctionnement, auprès de laquelle aucun sujet n'habite ni ne travaille en permanence.

A des *intensités modérées*, les bruits chroniques n'entraînent pas de lésions de l'oreille. Mais leur perception peut provoquer des réactions de stress, dans la mesure où ils sont irréguliers et surtout mal vécus. Ce stress induit peut être responsable de différentes affections bien connues, détaillées plus loin. Leur prévention est théoriquement assurée grâce aux précautions mises en œuvre, par exemple, dans la construction des autoroutes ou des aéroports. La pathogénie des nuisances entraînées par le bruit généré dans les fréquences audibles par le fonctionnement intermittent des éoliennes sont de la même nature.

Les infrasons

Aux intensités auxquelles on les retrouve dans les sites industriels les plus bruyants, les infrasons, à peine audibles, n'ont aucun impact pathologique prouvé sur l'homme, au contraire des fréquences plus élevées du spectre auditif. Ce n'est que dans les explosions, naturelles ou générées par l'homme, qu'ils peuvent avoir une part de responsabilité dans les lésions souvent létales observées.

Au-delà de quelques mètres de ces engins, les infrasons du bruit des éoliennes sont très vite inaudibles. Ils n'ont aucun impact sur la santé de l'homme.

La nature fallacieuse de l'origine dite scientifique des rumeurs propagées à leur propos est détaillée^x en Annexe B.

4

Les éoliennes sont-elles dangereuses pour l'homme ?

Dangers et risques sont bien connus et font déjà l'objet de mesures de prévention efficaces. Les autres sont moins bien définis, polymorphes, inconstants, et leur recensement clinique actuel souffre de biais méthodologiques.

A-Les premiers dangers comportent:

- Tous les accidents de personnes dus à la préparation des sites, à l'installation (ou au démontage) des parcs d'éoliennes, puis à leur entretien. Ce sont des accidents du travail dont la réglementation actuelle, pourvu qu'elle soit appliquée, est suffisante pour en assurer la prévention.
- Le fonctionnement des éoliennes comporte un danger de traumatismes dus aux projections à distance de pièces plus ou moins volumineuses se détachant accidentellement de ces engins à la suite d'une avarie matérielle. Leur prévention relève de la création d'un *no man's land* suffisant, dont il existe des estimations en fonction de la taille des engins, mais qui n'est pas défini dans la réglementation actuelle. Notons que cette mesure de précaution, quand elle est prise, est souvent enfreinte ou contestée par les propriétaires des terrains.
- Les mêmes dangers persistent pendant des décennies dans certains cimetières d'éoliennes anciennes, devenues obsolètes et abandonnées sans avoir été démontées pour des raisons financières.

La prévention de tous ces dangers est prévue de manière explicite par la réglementation récente, notamment celle qui concerne ces sites à l'abandon.

B-Les risques hypothétiques des éoliennes

On retrouve souvent cité parmi les doléances, le retentissement psychique, voire neurologique, de l'**effet stroboscopique** entraîné par l'observation soutenue de la rotation des pales, notamment si elle se fait dans la direction d'un soleil bas sur l'horizon. La crainte d'un

effet épiléptogène des éoliennes a été souvent évoquée. Cependant, si dans d'autres circonstances le rôle épiléptogène d'une stimulation lumineuse répétitive est bien démontré, nous n'avons retrouvé dans la littérature aucune observation incriminant les éoliennes dans cette pathologie: cette crainte n'est étayée par aucun cas probant. Notons, de plus, qu'il faudrait que les globes oculaires du sujet soient exceptionnellement fixes, et pendant suffisamment longtemps, pour qu'ils puissent transmettre aux centres cérébraux les variations d'un faisceau lumineux aussi étroit et lointain que celui fourni par la rotation d'une éolienne.

C-Le vrai risque des éoliennes : le bruit.

Qu'il soit très intense, ou qu'il représente une pollution sonore plus modérée, le bruit est le grief le plus fréquemment formulé à propos des éoliennes^{xi}. Il peut avoir un impact réel, et jusqu'ici méconnu, sur la santé de l'homme (voir Annexe B).

Rappelons que le traumatisme sonore est dangereux de deux manières. Il peut entraîner des lésions de l'oreille interne si l'intensité et la durée de l'exposition au bruit atteignent des valeurs élevées. Mais ces intensités n'ont jamais été observées au niveau des habitations proches des éoliennes.

A des intensités modérées, le bruit peut entraîner des réactions de stress, perturber le sommeil et retentir sur l'état général. Il est démontré qu'une agression sonore permanente ou intermittente, telle celle qu'on peut rencontrer dans certains ateliers, ou au voisinage des aéroports ou des autoroutes, augmente le risque d'hypertension artérielle^{xii} et d'infarctus du myocarde^{xiii}. De même des troubles neuroendocriniens^{xiv} ont été décrits, avec une augmentation de la sécrétion noradrénergique, d'ACTH, et d'hormone somatotrope. Enfin, les troubles du sommeil sont particulièrement fréquents dans les zones d'habitation situées près des grands moyens de communication, en sachant que les aéroports, par l'aspect intermittent du bruit qu'ils engendrent, sont les plus redoutables. On admet que le sommeil est perturbé^{xv} si le bruit ambiant dépasse 45 dB pour la Communauté européenne, mais seulement 35 dB pour l'Organisation mondiale de la santé.

Il a semblé licite à certaines Associations d'extrapoler aux éoliennes ces risques observés au voisinage de certains aéroports, bien qu'il n'existe aucune étude comparable ayant porté sur les populations proches de parcs éoliens. Mais, malgré les difficultés méthodologiques qu'une telle enquête devrait surmonter, une étude épidémiologique sérieuse est indispensable, car éoliennes et aéroports constituent deux sources sonores très différentes.

L'agression sonore est majorée lorsque le bruit présente d'importantes irrégularités stimulant l'attention de l'individu. A contrario, ce bruit est mieux supporté s'il est continu^{xvi}. Cependant, même si l'habituation à ces irrégularités peut diminuer leur impact, cette habituation est d'autant plus difficile à s'installer que le sujet se sent la victime de ce bruit. Le stress et ses conséquences dépendent du vécu du bruit. Dans le cas des éoliennes, l'impact de cette nuisance pourrait dépendre de la manière dont elle est infligée au sujet. S'il en tire un intérêt immédiat, qui le plus souvent est matériel, les risques d'en être importuné seront vraisemblablement plus faibles.

De toutes manières, la prévention de ces risques repose sur le simple éloignement de la source sonore. Tant que l'étude épidémiologique de ces nuisances sonores n'a pas été réalisée, et compte tenu des résultats des récentes mesures de bruit effectuées avec des moyens modernes, il serait souhaitable, par précaution, que soit suspendue la construction des éoliennes d'une puissance supérieure à 2,5 MW, si ces engins se trouvent situées trop près des habitations.

Mais quelle serait cette distance minimum ? Il est difficile de définir a priori une distance minimale, qui serait commune à tous les parcs, car, on l'a vu, la propagation du son, c'est-à-

dire l'étendue de cette zone de nuisance, dépend des éléments topographiques et environnementaux propres à chaque site. Une fourchette est pourtant proposée dans le document ministériel de l'ADEME évoqué plus haut ²; à la page 76 de celui-ci, il y est estimé que « en deça de 500 m. le projet a fort peu de chance d'être conforme à la réglementation, et qu'au delà de 2000 m. les risques de non-conformité sont très faibles ». Le bien-fondé de cette approximation est confirmé par les valeurs relevées dans l'exemple de Saint-Crépin cité plus haut

C'est pourquoi, située dans cette fourchette de l'ADEME, une distance de 1500 mètres pourrait être dès maintenant proposée à titre conservatoire.

5

Discussion des mécanismes permettant d'expliquer les troubles ressentis

1- La plupart des troubles fonctionnels objet de doléance peuvent être interprétés comme des conséquences générales du bruit chronique évoqué plus haut.

2- Mais d'autres ont été mis sur le compte des infrasons, en arguant qu'ils pourraient être générés par les éoliennes à une intensité suffisante pour entraîner des manifestations de nature vestibulaire (fatigabilité, nausées, céphalées). Cette interprétation doit être discutée, en rappelant :

- Les niveaux très faibles d'intensité des infrasons mesurés au proche voisinage des éoliennes
- Les niveaux d'intensité plus de mille fois plus élevés que devraient présenter ces infrasons pour être seulement audibles, et encore plus de mille fois plus élevés pour qu'apparaissent les discrètes et transitoires réactions vestibulaires parfois observées expérimentalement.

Cette crainte des infrasons produit par les éoliennes est donc sans fondement.

6

Conclusions

Le Groupe de Travail réuni à cet effet a étudié, parmi les réticences suscitées par l'installation des éoliennes, celles qui intéressent la santé de l'homme.

Il estime :

- que la production d'infrasons par les éoliennes est, à leur voisinage immédiat, bien analysée et très modérée : elle est sans danger pour l'homme;
- qu'il n'y a pas de risques avérés de stimulation visuelle stroboscopique par la rotation des pales des éoliennes;
- que les risques traumatiques liés à l'installation, au fonctionnement et au démontage de ces engins sont prévus et prévenus par la réglementation en vigueur pour les sites industriels, qui s'applique à cette phase de l'installation et de la démolition des sites éoliens devenus obsolètes.

Il constate:

- que les vrais risques du fonctionnement des éoliennes sont liés à l'éventualité d'un traumatisme sonore chronique, dont les paramètres physiopathologiques de survenue sont

bien connus, et dont l'impact dépend directement de la distance séparant l'éolienne des lieux de vie, ou de travail, des populations riveraines.

Il observe

- que la réglementation actuelle, relative à l'impact sur la santé du bruit induit par ces engins^{xvii}, ne tient pas compte :
 - ni de leur nature industrielle,
 - ni de la grande irrégularité des signaux sonores émis par ces machines;
 - des progrès techniques dans la simulation et l'enregistrement au long cours des impacts sonores.
- que ni les installateurs d'éoliennes, ni les pouvoirs publics, ni les Associations n'ont établi de statistique indiquant, pour chaque éolienne (ou parc d'éoliennes), privée ou publiques, la distance séparant chaque engin de l'habitation la plus proche;

7

Recommandations du groupe de travail

Pour faire la preuve de l'éventuelle nocivité du bruit éolien pour l'homme, l'Académie estime indispensable que soient entreprises deux types d'études comportant:

- la mise au point d'une procédure réalisant l'enregistrement, sur une période longue de plusieurs semaines, du bruit induit par les éoliennes dans les habitations, puis son analyse à différentes échelles temporelles, afin d'appliquer cette expertise aux populations intéressées.
- une enquête épidémiologique sur les conséquences sanitaires éventuelles de ce bruit éolien sur les populations, qui seront corrélées avec la distance d'implantation de ces engins, et les résultats des mesures proposées ci-dessus.

En attendant les résultats de ces études, l'Académie recommande aux pouvoirs publics que dès maintenant :

- à titre conservatoire soit suspendue la construction des éoliennes d'une puissance supérieure à 2,5 MW situées à moins de 1500 mètres des habitations,
- l'article 98 de la loi du 2 juillet 2003 soit modifié comme il se doit, pour que les éoliennes, dès qu'elles dépassent une certaine puissance, soient considérées comme des installations industrielles, et que leur implantation soit désormais soumise à une réglementation spécifique tenant compte des nuisances sonores très particulières qu'elles induisent.

8 Annexes

Annexe 1

Les éoliennes: éléments techniques et économiques

Production d'énergie éolienne dans le monde

Au niveau mondial, les énergies renouvelables se développent (+1,4 % par an), mais leur part dans la production d'électricité diminue : 18,1 % en 2002 contre 20,5 en 1993, car la consommation augmente tous les ans.

L'hydraulique reste la filière prépondérante (90,4 %), mais sa croissance est très faible, de l'ordre de 1% par an. Par contre, si l'éolien ne représente dans le monde que 0,33 % de la production d'électricité, sa croissance est devenue très vive. Dans l'Union Européenne, où elle a progressé de 37,8 % depuis 1993, 1,5 % de l'électricité est aujourd'hui produite par des éoliennes.

Production d'énergie éolienne en France

En France, 14 % de l'électricité est d'origine « renouvelable ». Bien qu'en augmentation très rapide (+ 59 % par an) en raison d'incitations financières très attractives, la production éolienne reste globalement marginale avec un peu plus de 200 MW installés³.

Théoriquement, les possibilités de la France sont importantes : elle dispose du deuxième gisement éolien européen après le Royaume Uni. Il est situé sur le littoral ouest (de la Mer du Nord à La Rochelle), dans le couloir rhodanien et en Languedoc-Roussillon. Les trois parcs éoliens réalisés en 2004 ont une puissance totale de 43 MW.

L'ambition française affichée est de 10 000 MW éoliens en 2010⁴.

Les éoliennes installées en France ont une puissance variable. Par exemple, et parmi les plus grandes et les plus récentes, les 8 éoliennes du Parc de Bouin en Vendée, installées en 2003, ont une puissance de 2,5 MW chacune. Elles mesurent 102 m de haut (pales de 40 m comprises), soit la hauteur d'un immeuble de 30 étages. Leur production globale est estimée à 40 GWh (40 millions de kilowatt heure) soit une « disponibilité » d'environ 25 %. Cette production représente la consommation électrique hors chauffage de 20 000 foyers et rapporte 200 000 euros de taxes professionnelles par an à la commune de Bouin.

Avantages de l'énergie éolienne

L'énergie électrique éolienne est naturellement renouvelable, non polluante et ne génère pas de gaz à effet de serre (hors processus de construction).

³ -Par comparaison, chacun des 58 réacteurs nucléaires a une puissance de 900 à 1300 MW.

⁴ -Compte tenu des oppositions locales que rencontrent les projets de fermes éoliennes, cet objectif, qui nécessiterait d'implanter près de 4000 éoliennes, paraît très optimiste.

En France, utilisée en base, l'énergie éolienne permet de diminuer le recours aux centrales nucléaires et donc de réduire le volume des déchets nucléaires⁵.

Elle permet une production délocalisée de l'électricité convenant très bien à des zones sans infrastructures de transport de l'électricité, en particulier dans les pays en voie de développement.

Inconvénients de l'énergie éolienne

Par rapport aux autres formes de production de l'énergie électrique (hydraulique, thermique à flamme ou nucléaire) l'énergie éolienne est nettement plus onéreuse. Le « combustible » est gratuit, mais une éolienne de 2,5 MW coûte environ 3 millions d'euros pour une puissance électrique moyenne réelle de 0,6 MW.

La production est aléatoire, très corrélée d'une éolienne à l'autre : les chutes de vent affectent toutes les installations d'une même zone⁶. Cela entraîne des instabilités du réseau de transport qui peut être déséquilibré, avec risque de panne, si la proportion d'éoliennes est trop importante. La capacité de 10 000 MW éolien est une limite pour la France.

Aussi les incitations financières à leur implantation alimentent-elles des discussions concernant le coût réel actuel de l'énergie ainsi produite, la réalité de la diminution de l'effet de serre dont elle serait responsable, voire la pollution industrielle de certaines installations anciennes abandonnées sans avoir été démontées.

Les implantations d'éoliennes sont généralement mal acceptées par les riverains et les associations de protection de la nature qui les accusent de pollution visuelle et sonore.

Ces nuisances seraient atténuées en cas d'implantation en mer, moyennant un surcoût important.

⁵ -Si 10 000 MW éoliens étaient installés, la réduction des déchets serait d'environ 5 %.

⁶ -Pendant la canicule d'août 2003, par manque de vent, la disponibilité des éoliennes est descendue en moyenne à 8 % de leur capacité maximum.

Annexe B

Le bruit et les infrasons

Le bruit:

Un bruit, ensemble de vibrations apériodiques, se définit par son spectre fréquentiel, et l'éventail des intensités portées par chacune des fréquences. Rappelons ici que l'anatomie de l'oreille humaine la rend très sensible à l'éventail des fréquences 500-4000 Hz, et que c'est justement dans cette zone que l'homme a placé les fréquences les plus significatives de sa parole. La plupart des bruits industriels ont, à la source, des spectres assez voisins, qui diffèrent surtout par leurs intensités relatives^{xviii}, mais dans lesquels les intensités des infrasons sont souvent inférieures à celle de leur audibilité.

Il faut insister sur le fait que le spectre fréquentiel des éoliennes est, à la source, comparable à celui de n'importe quel engin industriel.

La diffusion de l'énergie sonore à partir de la source dépend de la nature du milieu dans lequel elle se propage, et de la longueur d'onde émise. La diffusion des fréquences graves est presque sphérique, alors que celle des ultrasons est pratiquement unidirectionnelle. La perte d'énergie en fonction de la distance est énorme pour les fréquences aiguës, faible pour les fréquences graves, et varie à peu près en raison inverse du carré de la distance pour les médiums. Ainsi, à plusieurs centaines de mètres d'une source de bruit intense, il n'y a plus guère de fréquences aiguës, et seules persistent les médiums et les fréquences graves. Parmi celles-ci figurent les infrasons.

Les Infrasons:

La vitesse de propagation des infrasons dans l'air est proche de celle des ondes audibles, soit de l'ordre de 330m/s. La longueur d'onde d'un son étant inversement proportionnelle à sa fréquence, celle d'un infrason de 20 Hz est d'environ 16 mètres, c'est-à-dire très supérieure à la taille de la plupart des êtres vivants, notamment de l'homme.

Lorsqu'un corps, objet ou être vivant, est soumis à des infrasons parvenus par propagation aérienne, ce corps se trouve immergé dans un champ acoustique dont à chaque instant la phase est identique; dans cette condition, plus de 90% de l'énergie mécanique reçue se réfléchit sur le corps; ce n'est pas le cas si ce corps contient des organes remplis d'air, ne communiquant pas avec l'extérieur (c'est-à-dire, chez l'homme, la caisse du tympan, le tractus digestif, l'arbre respiratoire lorsque la glotte est fermée). Lorsque la propagation se fait en plus par voie solidienne, entraînant par exemple la vibration des murs d'une cavité aérienne, l'énergie absorbée par le corps, lorsqu'il touche une de ces parois, peut-être beaucoup plus importante.

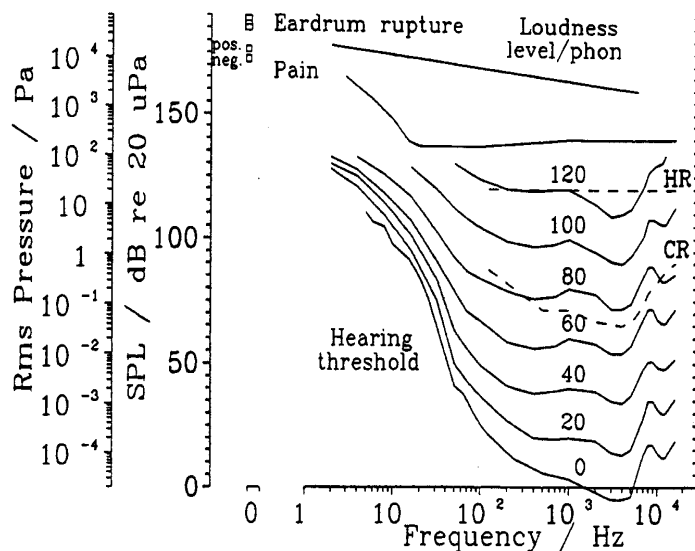


FIGURE 1 (d'après J. Dancer)

Courbes isophoniques de Fechner et Munson. Chaque point correspond à un son pur (fréquence en abscisse et intensité sonore en ordonnées, en coordonnées logarithmiques). Chaque courbe, appelée « isosone » relie les points qui correspondent à des sons qui donnent la même impression subjective d'intensité. La zone la plus basse de chaque courbe correspond au maximum de sensibilité de l'oreille (500 – 4000 Hz). La courbe 0 phone correspond aux plus faibles sons audibles; la courbe 120 phones au seuil de la douleur.

Ces caractéristiques obligent, pour réaliser les études physiologiques, à recourir à des chambres closes, dont deux panneaux opposés sont percés d'une fenêtre obturée par une membrane du type haut-parleur. Ainsi obtient-on assez facilement, s'il s'agit de corps peu volumineux, des variations de pression locale que l'on peut transmettre de façon efficace à des petits animaux; mais l'application à l'homme de ces signaux exige des installations beaucoup plus complexes. De plus, la détection et la mesure des infrasons se fait avec des appareils différents de ceux utilisés pour les ondes sonores, obligeant à recourir à des transducteurs comparables à des baromètres variables selon les fréquences.

Par ailleurs, la directivité des ondes sonores diminue avec la fréquence. Un émetteur d'ultrasons rayonne pratiquement dans une seule direction. Au contraire, les ondes émises par un générateur d'infrasons sont pratiquement sphériques et rayonnent de tous côtés. Au dessus de 150 dB, c'est-à-dire juste au-dessus de leur seuil liminaire d'audibilité, il devient vite impossible de produire, de manière contrôlée et répétitive, des niveaux d'ondes infrasonores se propageant en espace libre.

La propagation des infrasons, pourvu que leur énergie de leur source soit suffisamment importante, peut donc se faire sur des distances considérables. Par suite de leur réflexion sur les hautes couches de l'atmosphère, les infrasons aériens émis par une explosion nucléaire peuvent faire plusieurs fois le tour du globe terrestre, ce qui permet de détecter ces explosions à grande distance. De plus, les basses fréquences se propagent mieux en milieu solide qu'en milieu aérien; les infrasons solidiens sont moins amortis que les infrasons aériens.

Les infrasons naturels (vent, tonnerre, etc) font partie de l'environnement naturel de l'homme. Même s'ils sont inaudibles parce que d'intensité trop faibles, ils sont produits par de nombreuses activités quotidiennes :

- jogging = 90 dB à 2 H;
- nage = 140 dB à 0,5 Hz;
- voyage en voiture vitres ouvertes = 115 dB à 15 Hz;
- au cours de certaines manœuvres de grattage du conduit auditif externe = 160 dB à 2 Hz;
- salle des machines (d'un paquebot par exemple) = 130-140 dB à 5-20 Hz.

Type de source	8 Hz	16 Hz	32 Hz	63 Hz	125 Hz
Véhicule léger à 100 km/h	95	90	88	82	78
Camion à 80 km/h	103	105	102	92	88
Train, vitres ouvertes à 80 km/h	97	101	101		
Eolienne 1 MW à 100 m	58		74	83	90
Seuil d'audibilité	105	95	66	45	29

TABLEAU I (d'après J. Rolland)
Seuil d'audibilité en dBA des basses fréquences et de quelques infrasons détectables instrumentalement dans les circonstances de la vie courante.

A mesure que la fréquence d'un son baisse en dessous de la zone des fréquences conversationnelles, l'énergie nécessaire pour qu'il soit perçu par l'oreille humaine croît rapidement. De plus, dans ces gammes des basses fréquences, si, à de hautes intensités, l'oreille peut, jusqu'à 20 Hz, reconnaître une tonalité, en dessous de cette zone elle ne perçoit plus que des phénomènes distincts décrits comme des battements. Cette particularité contribue à la définition des infrasons. Mais 20 Hz est une limite floue, car la non linéarité de l'oreille moyenne entraîne des distorsions responsables d'une perception sonore parasite variable.

Aux intensités inférieures à 160 dB les effets physiopathologiques des infrasons sont bien répertoriés, même si leur étude chez l'homme implique des installations volumineuses, qui n'existent que dans des laboratoires très spécialisés.

Le seuil d'audibilité des infrasons chez l'homme est de 105 dB pour 8 Hz, de 95 dB pour 16 Hz, 66 dB pour 32 Hz, 45 dB pour 63 Hz et de 29 dB pour 125 Hz. Le seuil de douleur se situe entre 140 dB à 20 Hz et 162 dB à 3 Hz. On n'observe pas de fatigue auditive, aussi bien pour 140 dB à 14 Hz pendant 30 minutes, que pour 170 dB entre 1 et 10 Hz pendant 30 secondes.

Mais il s'agit là d'énergies énormes, qu'on ne retrouve (hors laboratoire) que dans des explosions.

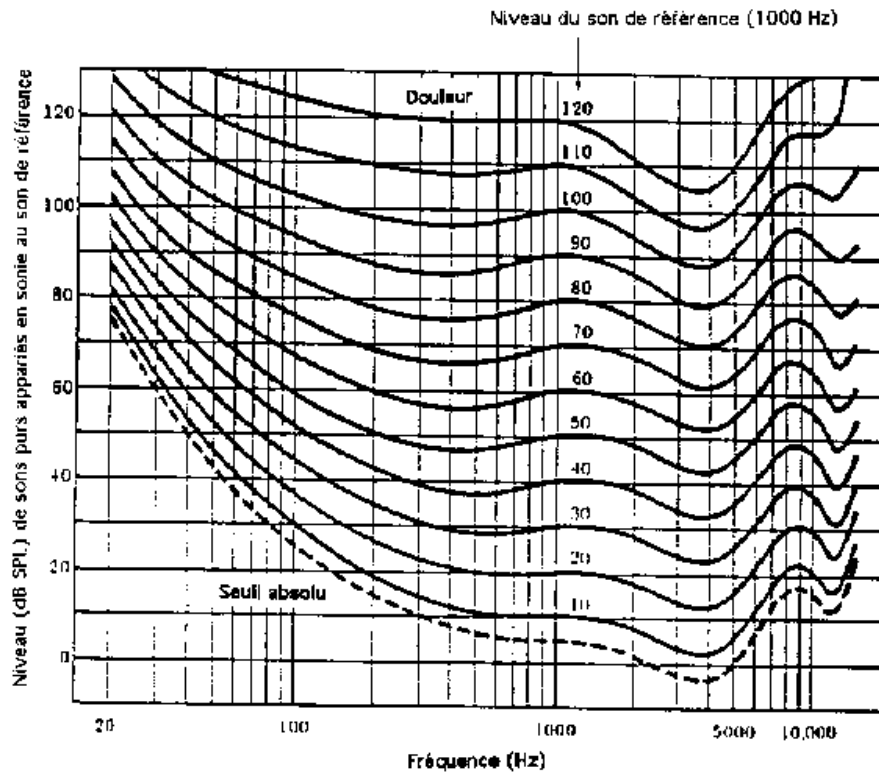


FIGURE 2 (d'après A. Dancer)

Energie nécessaire (en abscisse) pour obtenir le seuil liminaire et les seuils de sensation d'intensité équivalente, par rapport à un son de 1000 Hz servant de référence, pour différentes fréquences (en ordonnée).

Les infrasons (en haut et à gauche de la figure) nécessitent une très forte intensité pour être perçus, et une intensité tout à fait hors norme pour approcher le seuil douloureux.

Les infrasons, comme les sons audibles, peuvent, eux aussi, donner naissance à des phénomènes de résonance; la poitrine résonne entre 40 et 60 Hz, et l'abdomen faiblement entre 4 et 8 Hz. L'ouverture de la glotte permet au contenu aérien thoracique d'entrer en résonance à 1 Hz, si bien qu'aux alentours de 165 dB on peut observer une respiration passive modulée par l'infrason.

L'oreille moyenne est la première à pâtir à mesure qu'augmente l'intensité des infrasons, parce que la membrane élastique du tympan est sensible aux variations de pression et absorbe bien mieux l'énergie que le reste du corps. On peut ainsi observer à partir de 130 dB une hyperhémie tympanique transitoire disparaissant à l'arrêt de la stimulation

Les niveaux supérieurs à 160 dB, qui pourraient entraîner des lésions cochléaires, nécessiteraient des générateurs d'une puissance et d'un encombrement totalement irréalistes en champ libre.

L'atteinte vestibulaire représente l'essentiel des phénomènes déclenchés dans l'oreille interne par les infrasons. Ces troubles reflètent la diffusion au vestibule de l'énergie délivrée, par l'étrier, aux liquides labyrinthiques. Lors d'une tympanométrie, geste de routine en audiométrie clinique, on applique une pression statique dans le conduit auditif externe, qui réalise une pression monaurale et peut entraîner un léger vertige. Toutefois, chez l'animal, l'exposition de 169 dB à 10 Hz ou de 158 dB à 30 Hz, n'induit pas de nystagmus. Chez l'homme soumis à des niveaux variant entre 142 et 150 dB, on n'observe pas non plus de nystagmus, que la stimulation soit monaurale ou bilatérale, ou soit en phase ou en opposition de phase. Cependant, des bouffées de bruit (*tone bursts*) ou des sons modulés en amplitude peuvent, en application monaurale ou dissymétrique de 125 dB, au rythme de trois par seconde, produire des mouvements oculaires rapides ou un déséquilibre transitoire.

Par ailleurs, en se rapprochant des fréquences conversationnelles, de la toux et une « sensation d'étouffement » ont été rapportées pendant l'exposition à des bruits de sirènes de 150 à 154 dB dans la gamme 50 à 100 Hz. Une gêne ne s'observe qu'avec des stimuli comportant à un spectre sonore ayant de fortes pentes aux basses fréquences (8 dB/oct), et à une intensité supérieure à celle du seuil de perception sonore. Des effets dits "psychologiques", avec manque de concentration peuvent apparaître au-dessus de 110 dB, chez le sujet sain expérimentalement soumis aux infrasons.

Dans le cas particulier des éoliennes, notons que :

-à 100 mètres d'une éolienne de 1 MW, on trouve 58 dB à la fréquence 8Hz, 74 dB à la fréquence 32 Hz, 83 dB à la fréquence 63 Hz, 90 dB à la fréquence 125 Hz ;

-les basses fréquences mesurées à 100 mètres des éoliennes se situent donc à au moins 40 dB en dessous du seuil d'audibilité.

A cette distance, l'intensité des infrasons est si faible^{xix} que ces engins ne peuvent provoquer ni cette gêne, ni cette somnolence liées à une action des infrasons sur la partie vestibulaire de l'oreille interne, que l'on ne peut observer qu'aux plus fortes intensités expérimentalement réalisables.

Les phantasmes nés des infrasons

Pour une certaine partie de la population, et contrairement aux ondes sonores que chacun peut percevoir, les basses fréquences se situent dans un monde mystérieux qui fait peur. Les raisons invoquées sont les suivantes :

- elles accompagnent des évènements maléfiques : tonnerre, explosions, notamment nucléaires, etc
- ces ondes se propagent très loin,
- il est très difficile de se protéger contre les ondes infrasonores qui, de l'extérieur, pénètrent très facilement à l'intérieur des bâtiments.
- les phénomènes physiologiques qu'elles peuvent engendrer aux très fortes intensités sont redoutés.

On remarquera que le grand public ignore que ces hautes intensités dont l'ingéniosité de l'homme peut être responsable (explosions d'origine diverse, bang supersonique, etc), n'ont rien à voir avec l'intensité des infrasons produits par le reste de son activité industrielle, notamment celle engendrée par les éoliennes.

Cette peur des infrasons est entretenue, notamment sur Internet, par la référence à une publication^{xx} datant de 1966. Ce travail ancien vient d'être analysé par G Leventhall^{xxi} ; il en a repris tous les éléments, en en faisant méthodiquement la critique. Il a pu montrer que la méthodologie employée était inadmissible et ses conclusions inacceptables, au regard des exigences actuelles d'un travail scientifique.

Annexe C

Bibliographie

La bibliographie scientifique concernant la pathologie induite chez l'homme par les éoliennes est limitée.

Cette rareté est encore plus nette si on n'envisage que l'étude d'impact des infrasons sur l'homme : courant 2005, Medline ne recensait à ce propos que 179 articles, cette action n'étant le plus souvent qu'évoquée au sein d'une étude plus générale des effets d'une stimulation sonore. Aussi, notre enquête s'est-elle spécialement penchée sur l'état actuel des connaissances concernant les infrasons, en recevant, lors de ses différentes auditions, deux spécialistes de ces phénomènes physiques :

- Monsieur Jacques ROLLAND, Directeur du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment à GRENOBLE ⁷
- le Docteur Armand DANCER, Directeur de Recherches à l'Institut de Recherches Franco-Allemand de Saint-Louis ⁸

Insistons aussi, parce qu'elles sont très récentes, sur les publications originales du First International Conference on Wind Turbine Noise: Perspectives for Control. Elles ne sont pas encore publiées ni disponibles sur le Net, mais peuvent être consultées à la Bibliothèque de l'Académie.

Malgré le manque de rigueur scientifique de la plupart des sites sur internet qui traitent des relations entre infrasons et éoliennes, ils ne peuvent être ignorés, tant leur influence sur les populations intéressées peut être grande. A ce propos, on citera le travail paru en 2002, lisible sur <http://crrm.u-3mrs.fr/ile-rousse/2002/IleRousse2002.pdf> : « Les infrasons entre science et mythe : la bibliométrie peut-elle contribuer à clarifier une vérité scientifique controversée ? ». L'auteur, Bertrand Goujard, ingénieur, y fait une étude de la bibliographie sur Internet concernant les infrasons, qui mérite d'être lue.

Références Bibliographiques évoquées dans le texte du Rapport.

ⁱ Manuel préliminaire de l'étude d'impact des parcs éoliens. *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (Ademe), Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, février 2001, p 117.

ⁱⁱ Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens. *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (Ademe), Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Fév 2005, p 75-83.

ⁱⁱⁱ KLUG H. - A review of wind turbine noise. *First International Conference on Wind Turbine Noise: Perspectives for Control proceedings*, Berlin 17-18 oct 2005, 11 p.

^{iv} HENRIKSEN O.D., DEGN U., MILLER L., TOUGAARD J. - Low frequency underwater noise from offshore wind turbines: detection ranges and potential implications for marine mammals. *First International Conference on Wind Turbine Noise: Perspectives for Control proceedings*, Berlin 17-18 oct 2005, 9 p.

^v GAMBA R., GARRIGUES S., SENAT C. - Mapping of upwind and downwind airborne noise propagation. *First International Conference on Wind Turbine Noise: Perspectives for Control proceedings*, Berlin 17-18 oct 2005, 14 p.

⁷ C S T B - 24, rue Joseph Fourier - 38 401 Saint Martin

⁸ French-German Research Institute - ISL - 68301 Saint-Louis France.

-
- ^{vi} Direction départementale des Affaires Sanitaires et sociales de Charente-Maritime, Santé-Environnement, Rapport de Synthèse des campagnes de mesures acoustiques réalisées autour du parc éolien de Saint-Crépin, La Rochelle, 19 janvier 2006.
- ^{vii} Manuel préliminaire de l'Etude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens. *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (Ademe), Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, février 2001, p 117.
- ^{viii} Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens. *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (Ademe), Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, Fév 2005, p 77.
- ^{ix} CHOUARD C.H., Pollution sonore de la ville. *C R Acad Sci III*, 2001 jul 324(7), 657-661.
- ^x LEVENTHALL G. - How the "mythology" of infrasound and low frequency noise related to wind turbine might have developed. *First International Conference on Wind Turbine Noise: Perspectives for Control proceedings*, Berlin 17-18 oct 2005, 15 p.
- ^{xi} PEDERSEN E., WAYE K.P. - Human response to wind turbine noise : annoyance and moderating factors. *First International Conference on Wind Turbine Noise: Perspectives for Control proceedings*, Berlin 17-18 oct 2005, 13 p.
- ^{xii} TOMEI F., FANTINI S., TOMAO E., BACCOLO T.P., ROSATI M.V. - Hypertension and chronic exposure to noise. *Arch. Environ. Health*, (2000), 55, 319–325.
- ^{xiii} BABISCH W., ISING H., GALLACHER J.E., SWEETNAM P.M., ELWOOD P.C. - Traffic noise and cardiovascular risk: the Caerphilly and Speedwell studies, third phase-10-year follow up. *Arch. Environ. Health*, 1999, 54, 210–216.
- ^{xiv} SOULAIRAC A. - Le bruit : aspects neuro-endocriniens. *Bull. Acad. Natl. M*, 1992, 176, 401–405.
- ^{xv} MOURET J., VALLET M. - Les effets du bruit sur la santé. *Ministère de l'Emploi et de la Solidarité*, 1998, Comelli, Paris.
- ^{xvi} WAYE K.P. - Effects of low frequency noise on sleep. *Noise and health*, 2004, 6; 23, 87-91.
- ^{xvii} Guide de l'Etude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens. - *Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie* (Ademe), Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable, 2005, p 75.
- ^{xviii} BERGLUND B., HASSMEN P. - Sources and effects of low-frequency noise, *J. Acoustic. Soc. Am.*, 1996, 99 (5), 2985-3002.
- ^{xix} Low Frequency Noise and Wind , British wind energy association, feb 2005, [Turbineshttp://www.bwea.com/ref/lowfrequencynoise.html](http://www.bwea.com/ref/lowfrequencynoise.html)
- ^{xx} GAVREAU V, CONDAT R, AND SAUL H. - Infrasons: générateur, détecteurs, propriétés physiques, effets biologiques, *Acustica*, 1966, 17, 1-10.
- ^{xxi} LEVENTHALL G. - How the "mythology" of infrasound and low frequency noise related to wind turbine might have developed. *First International Conference on Wind Turbine Noise: Perspectives for Control proceedings*, Berlin 17-18 oct 2005, 15 p.