

**LES INFRASONS,
NUISANCES REDHIBITOIRES
DES EOLIENNES.**

Par

CLAUDE RENARD

Professeur des Universités
(Retraité)

INTRODUCTION

Cet article est un résumé très condensé et remis à jour, d'une conférence intitulée : Les infrasons, pollution discrète et pernicieuse, prononcée par l'auteur en 1997. Cette conférence répondait, à l'époque, à l'inquiétude suscitée par la mise sur le marché suédois d'une arme à infrasons, non létale, pour combattre les émeutes, la reconnaissance du « Syndrome du Mal des Bureaux » (SMB) dû aux infrasons émis par les systèmes de climatisation, et enfin, la multiplication des projets de champs d'éoliennes en Bretagne où la densité de population dans les campagnes est élevée et où les nuisances infrasonores seraient aussi importantes, voire plus, que la pollution visuelle ou les interférences radioélectriques empêchant toute réception de la télévision ! Dans les semaines qui suivirent, un certain nombre d'informations tombaient, dévoilant que les premiers Airbus 340 avaient une régulation de la pressurisation qui engendrait des infrasons indisposant les passagers. On apprenait aussi qu'une tour d'Euralille à Lille avait été évacuée à cause de vibrations au 5^{ème} étage. Des indiscretions révélaient que 644 agents du nouvel hôpital L'Archet à Nice, avaient été l'objet de nausées et de céphalées et que certains avaient même été hospitalisés. En 2005, des malaises semblables se produisaient à l'hôpital Nord de Marseille.

Aujourd'hui, cet article a été suscité par une bonne nouvelle : l'Académie de Médecine vient de recommander aux pouvoirs publics de suspendre, dès maintenant, la construction des éoliennes de plus de 2,5 MW situées à moins de 1500 m des habitations. C'est une bonne nouvelle, mais pas une très bonne nouvelle ! En effet, l'auteur craint que la vénérable institution n'ait envisagé que les nuisances sonores (chuintement des pales, bruit d'engrenages du multiplicateur), et non les infrasonores. Notre but est, ici, d'informer le public à défaut des médecins, sur ces bruits inaudibles mais nocifs. Dans cet article, le mot « décibel » (dB) qui créerait la plus grande confusion chez le lecteur, a été banni. En effet, les acousticiens aériens emploient un décibel différent des acousticiens sous-marins, car relatif à une puissance de référence différente. Ils utilisent en plus des décibels pondérés en fréquence (dB A) ainsi que des niveaux moyens équivalents pondérés : LeqdB A. Les infrasons sont à part.

LES ONDES DE COMPRESSION

L'être humain est sensible aux ondes de compression. Ces ondes naissent dans un milieu homogène (air ou eau) dès qu'en un point de ce milieu, il existe localement une variation temporelle de pression. L'onde est alors caractérisée par sa fréquence N en Hertz (Hz) qui correspond au nombre de fois par seconde où l'on passe d'une surpression à une dépression en un point donné. L'amplitude de cette onde correspond à la valeur en Pascal (Pa) de la surpression ou de la dépression. L'onde agit alors en comprimant et en dilatant le milieu de proche en proche dans la direction de sa propagation. Les molécules du milieu vibrent sur place et induisent de proche en proche par élasticité, une vibration des molécules voisines dans la direction de la propagation. C'est la raison pour laquelle on qualifie aussi ces ondes d'élastiques. La célérité C en mètre par seconde (m/s) de la propagation de l'énergie (proportionnelle au carré de l'amplitude), est d'environ 340 m/s dans l'air à la température ambiante et ne dépend pas de la pression statique atmosphérique. Dans l'eau, la célérité est d'environ 1500 m/s. L'amplitude d'une onde de compression, diminue en s'éloignant de la source comme l'inverse de la distance D en mètres.

C'est ce qu'on nomme l'affaiblissement de divergence (l'onde est sphérique). A cette atténuation, il faut y ajouter un affaiblissement exponentiel avec la distance D multipliée par un coefficient proportionnel au carré de la fréquence N , et spécifique du milieu. Une autre propriété de ces ondes est qu'elles peuvent être réfléchies à la frontière d'un changement de milieu, par exemple au passage air /eau. Elles peuvent aussi être réfractées si le milieu change de célérité C au cours de la propagation, par exemple par un changement local de température de l'air. Les rayons pourront être courbés lors de gradients de température. D'autre part aussi, si le milieu où elles se propagent est soumis à un courant, par exemple du vent dans l'atmosphère, les rayons se propageant au vent seront soulevés du sol et incurvés vers le zénith, et ceux se propageant sous le vent, seront rabattus vers le sol et incurvés vers le nadir.

Lorsque des ondes de compression atteignent un corps humain et sont capables de mettre en vibration significative les tympans, elles peuvent être entendues si N est compris entre 20 et 20000 Hz.

LES ONDES SONORES

En vertu de ce qui vient d'être vu, on nomme ondes sonores, les ondes de compression de fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz. L'oreille humaine commence à les percevoir à partir d'un certain seuil d'audition qui dépend de la fréquence. Entre 1 kHz et 3 kHz, l'oreille est étonnamment sensible puisqu'elle entend des sons de $2 / 100000$ èmes de Pascal alors que la pression atmosphérique normale est de 101500 Pa. Par contre, ce seuil n'est plus que de $2 / 1000$ èmes de Pascal à 50 Hz. L'oreille est donc 100 fois moins sensible à cette fréquence. Lors d'une conversation, le niveau du son s'établit aux environs de $1 / 100$ ème à $2 / 100$ èmes de Pascal entre 100 Hz et 4 kHz. D'autre part, si l'amplitude du son vient à s'intensifier, à partir d'un certain niveau appelé seuil de douleur, l'homme ressent une très vive douleur à la tête et des nausées. S'il persiste à rester dans cette ambiance, des lésions de la cochlée de l'oreille interne apparaîtront. Ce seuil est aux alentours de 60 Pa. En ambiance très bruyante mais dont l'intensité est inférieure au seuil de douleur, on pourra rester un certain laps de temps par jour, sans avoir de lésions même sans casque anti-bruit.

Par exemple à 2 Pa, ce sera 2 heures par jour, et à 1 Pa, de 4 heures par jour. Dans des ambiances moins bruitées, l'homme pourra subir des nuisances sonores qui l'empêcheront de dormir, de réfléchir, de se concentrer sur une tâche ... etc. En pratique, on considère qu'il n'y a pas de nuisances en dessous de $5 / 1000$ èmes de Pascal.

Ces études relèvent de la psychoacoustique.

De même que l'homme est presque aveugle puisqu'il ne voit ni dans l'ultraviolet, ni dans l'infrarouge, il est aussi presque sourd puisqu'il n'entend pas les ultrasons ($N > 20$ kHz) comme, par exemple, les chiens et les chauve-souris et qu'il n'entend pas non plus les infrasons ($N < 20$ Hz) qu'utilisent certains animaux comme l'éléphant ou la girafe pour communiquer. Comme nous avons vu que l'atténuation des sons dépendait du carré de leur fréquence N , dans la suite, nous ne nous intéresserons pas aux ultrasons qui sont très rapidement absorbés ou réfléchis. Par contre, il en va différemment des infrasons qui sont aussi perçus par l'homme, mais d'une façon différente.

LA PROPAGATION DES INFRASONS

Dans de mêmes conditions d'émission, de réception et en empruntant le même chemin de propagation, une onde sonore de 1 kHz sera 10000 fois plus atténuée qu'une onde infrasonore de 10 Hz.

D'autre part, la longueur d'onde L en mètre (m) qui est la distance qui sépare deux maximums successifs d'une onde lors de sa propagation, est égale au rapport de la célérité C en m/s, par la fréquence N en Hz, ($L = C / N$). Pour les infrasons dont la fréquence N est inférieure à 20 Hz, cette longueur d'onde est beaucoup plus grande que celle des sons, et les phénomènes de diffraction par des obstacles tels que les arbres et les broussailles, sont très réduits ainsi que l'atténuation supplémentaire due à la turbulence atmosphérique. De ce fait, les infrasons vont se propager très loin et vont, alors, être affectés par les lentes variations des paramètres physiques du milieu. Par exemple, dans une atmosphère adiabatique où la température diminue avec l'altitude de $9,8^\circ$ Celsius tous les 1000 m, un rayon infrasonore émis horizontalement va s'incurver vers le zénith et sera capable de sauter un obstacle d'un mètre à une distance de 316 m de la source, ou encore, un obstacle de 10 m de haut à une distance de 1000 m, ou bien de passer au-dessus d'une colline de 100 m de haut située à 3,16 km.

D'une façon générale, les rayons infrasonores monteront jusqu'à atteindre des altitudes où ils rencontreront soit un gradient de température qui s'inverse (couche d'inversion), soit un gradient de vent. Dans ces deux cas, d'après ce que nous avons déjà vu, le rayon sera renvoyé vers le sol (ou la mer) où il pourra s'y réfléchir très facilement malgré la végétation (ou les vagues) et rebondir de proche en proche. Les infrasons seront ainsi guidés loin de leur source, expliquant pourquoi, par exemple, l'explosion de la montagne Sainte Hélène (U.S.A.) le 19 Mai 1980, a été perçue sur tout le globe. C'est aussi de cette manière que les éléphants peuvent communiquer sur plusieurs dizaines de kilomètres grâce à la présence de la couche d'inversion qui s'installe du coucher au lever du soleil.

Sachant désormais que les infrasons peuvent être perçus avec une grande intensité, même loin de la source qui les produit, nous allons voir maintenant quelles sont les nuisances qu'il peuvent apporter à l'homme qui ne les entend pas.

LES EFFETS PHYSIOLOGIQUES DES INFRASONS

C'est un français, V. GAVREAU, qui, vers les années 60, semble avoir signalé pour la première fois, les malaises engendrés par une exposition de l'homme aux infrasons. Ces malaises ressemblent au « mal de mer » avec des céphalées, des nausées et des vertiges qui entraînent une « grande fatigue nerveuse ». Il mentionne aussi pour la première fois des troubles visuels et l'impossibilité de se concentrer sur une tâche. Dans les années 70, c'est le danois P.V. BRÜEL, constructeur de matériel de métrologie acoustique, qui montre que les malaises sont ressentis après seulement 5 minutes d'exposition à des infrasons de 1 Pa d'amplitude et d'une fréquence de 12 Hz. Il montre aussi par des mesures à bord d'un véhicule « break » roulant à 100 km/h que le niveau des infrasons, quasi constant à 1 Pa entre 4 et 16 Hz, contribue au « mal des voitures ». P.V. BRÜEL a aussi fait de très intéressantes mesures sur le niveau infrasonore au dernier étage d'une tour en comportant 16, lors d'un vent assez fort. Les infrasons atteignaient 6 Pa à 1 Hz et décroissaient jusqu'à 0,2 Pa à 16 Hz. Le spectre du signal montrait des résonances à 4 Hz (2 Pa), 8 Hz (1 Pa) et 12 Hz (0,4 Pa). En 1975, aux U.S.A., D.L. JOHNSON définit le seuil des niveaux au dessus desquels des malaises sont ressentis : 0,2 Pa à 20 Hz, 0,6 Pa à 10 Hz, 2 Pa à 5 Hz, 20 Pa à 2 Hz et 60 Pa à 1 Hz. En 1991, au Japon, H. TAKIGAWA rapporte qu'entre 3 et 7 Hz, des infrasons de 1 Pa influent sur le vestibulum de l'oreille et entraînent des réflexes oculaires (nystagmus), des réflexes spinaux (trémulations) et des réflexes végétatifs (dyspnées). En 1991, le russe B.FRAIMAN note l'influence d'infrasons à 2 Pa sur la tension artérielle, confirmant les troubles de la pression diastolique mentionnées par BORREDON en 1974.(1 Pa = la pression d'une colonne d'eau de 10 cm de hauteur)

En résumé, les infrasons sont capables d'entraîner des :

- Céphalées,
- Vertiges,
- Nausées,
- Nystagmus,
- Trémulations,
- Dyspnées,
- Troubles circulatoires.

LES SOURCES GENERATRICES D'INFRASONS

Outre les infrasons émis par les animaux, les sources infrasonores sont naturelles ou humaines. Des sources naturelles épisodiques sont dues à des explosions de volcans, des bangs supersoniques, des orages et des ruptures mécaniques comme dans les séismes, avalanches, séparations d'icebergs de glaciers. D'autres sources, temporaires, sont dues à des tornades (trombes), à l'écoulement du vent sur des obstacles naturels (montagnes) ou humains (éoliennes, ponts, tours, églises, maisons). Les océans et les cascades sont des sources naturelles continues. D'autres sources humaines sont à citer : les moteurs à explosion (thermiques) et les installations de ventilation ou de climatisation. Dans ce qui suit, nous ne nous intéresserons qu'aux sources dues pour la plupart à des bruits d'écoulements turbulents de l'air sur des obstacles. Il se forme alors derrière ceux-ci, des « allées tourbillonnaires de VON KARMAN » composées d'une série alternée de tourbillons tournant dans un sens et dans l'autre. Elles émettent des sons audibles ou non, qui sont, soit des sons de jets dont la fréquence N (en Hz) est donnée par la formule de KRÜGER et MARSHÉNER : $N = (0,055).V/E$ où V est la vitesse du vent (en m/s) et E l'écartement (en m) entre les deux obstacles limitant le jet, soit des sons de sillage sur un obstacle d'épaisseur ou de diamètre E , la fréquence d'émission étant donnée par la formule de STROUHAL et KRÜGER : $N = (0,2).V/E$.

Dans le dernier cas, les tourbillons sont émis alternativement par un bord puis par l'autre de cet obstacle longiligne. Suivant la vitesse du vent, ces phénomènes peuvent devenir audibles et responsables des sifflements émis soit par les fenêtres mal fermées, soit par les fils électriques ou les haubans. Les infrasons générés par les éoliennes (mât et pales) sont de ces types. L'équipe de M.L. LEGERTON (Inter-Noise 96) a montré qu'à 100 m d'une éolienne, les infrasons étaient composés de pics de 1,4 Pa émis toutes les 0,65 s lors du passage des pales le long du mât de l'éolienne. Désormais, les sons audibles dus aux extrémités de pales, sont très réduits grâce à de nouveaux profils de celles-ci. Quant aux infrasons émis par les ventilateurs centrifuges ou axiaux, ils sont dus au phénomène du « décollement tournant » (pompage) qui engendre des variations de pression amplifiées par les canalisations.

CONCLUSIONS

Les informations précédentes sont suffisantes pour comprendre qu'il est préférable de ne pas s'exposer aux infrasons qui se propagent loin de leurs sources et dont on ne peut pas se protéger par des écrans à cause de leurs grandes longueurs d'onde. Les habitants ruraux avec les éoliennes, et les personnels de bureau avec les climatisations, sont les plus concernés. Les premiers seront exposés 24 heures sur 24, tandis que les seconds ne le seront que 6 heures par jour. La question principale est donc de savoir quelle est l'intensité qui peut être supportée sans incommodité durant ces laps de temps. Nous manquons de réponses à cette question. Beaucoup de mesures ont été menées dans les années 70 par les physiologistes des armées pour savoir combien de temps on pouvait rester dans un char d'assaut où le niveau des infrasons est de l'ordre de 20 Pa, dans une salle des machines de navire où l'on peut avoir plus de 100 Pa de 5 à 20 Hz, et enfin dans une capsule spatiale où le niveau de 1 à 20 Hz est compris entre 400 et 600 Pa. En fait leur problème était surtout de savoir combien de temps des militaires pouvaient assurer leur mission dans ces conditions. Ces résultats furent secrets. En 1976, VON GRIERKE a proposé une limite de 20 Pa entre 1 et 20 Hz en dessous de laquelle l'homme peut être exposé pendant 24 heures sans dommages. En effet, les personnes vivant auprès des cascades ou au bord de l'océan où le niveau des infrasons peut varier de 1 à plusieurs Pascals, pourraient confirmer cette limite.

En fait, il semble que les bruits infrasonores qui ne présentent pas de fréquences particulières (bruit blanc), soient mieux tolérés. Il vaut donc mieux dans ce cas, s'intéresser à la densité de puissance spectrale G exprimée en Pascals au carré par Hertz. En 1993, B.J. FRAIMANN a mesuré sur la côte du Pacifique, une densité de puissance G variant en $1/N$ avec la fréquence, signature de la turbulence atmosphérique.

On voit que le champ d'investigation est immense pour les futures études que nous souhaitons que les différents ministères entreprennent. Il faudrait aussi y ajouter des recherches sur l'effet des infrasons sur les animaux. En attendant, il serait bienvenu d'appliquer le « principe de précaution » pour décider de l'implantation des éoliennes en particulier.

BIBLIOGRAPHIE

- F. CORDIER « Le mystère de l'hôpital Nord de Marseille » LE QUOTIDIEN DU MEDECIN du 1^{er} Septembre 2005.
- M. ROSSI « Electro-acoustique » DUNOD éditeur 1986 p 34 et p 115 à 148.
- « Le monde des sons » Dossier hors série de Pour la SCIENCE, Juillet/Octobre 2001.
- V. GAVREAU, R. CONDRAT et H. SAUL « Infra-sons : Générateurs, Détecteurs, Propriétés physiques, Effets biologiques » ACOUSTICA Vol 17, N°1, 1966, p 1 à 10.
- V. BRUËL et H.P. OLENSSEN « Mesures infrasonores » TECHNICAL REVIEW BRUËL & KJAER N°3, 1973, p 14 à 26.
- D.L. JOHNSON « Auditory and physiological effects of infrasound » INTERNOISE 75 , 1975, p 475 à 482.
- H. TAKIGAWA, H. SAKAMOTO and M. MURATA « Effects of infrasound on vestibular function » JOURNAL OF SOUND AND VIBRATION, Vol 151 (3), 1991, p 455 à 460.
- B.J. FRAIMAN, A.N. IVANNIKOV, V.I. PAVLOV « The experimental investigations of low frequency noises in the everyday life » INTERNOISE 93, 1993, p 1157 à 1160.
- P. BORREDON, J. NATHIE « Effets physiologiques observés chez l'homme exposé à des niveaux infrasonores de 130 dB » L. PIMONOV (éditeur) COLLOQUE INTERNATIONAL SUR LES INFRASONS, C.N.R.S. Paris 1974, p 59 à 84.
- A. FOCH « Acoustique » Collection ARMAND COLIN, 1947, p 184 à 187.
- M.L. LEGERTON & al. « Low frequency noise & vibration levels at modern wind farms » INTERNOISE 96, 1996, p 460 à 462.
- William.T.D. CORY « Le décollement tournant et le choix des ventilateurs pour les unités de traitement d'air » ACOUSTIQUE & TECHNIQUES N° 8, Janvier 1997, p 11 à 15.
- H.E. von GIERKE, C.W. NIXON « Effects of intense infrasound on man » INFRASOUND AND LOW FREQUENCY VIBRATION, W. TEMPEST (éditeur) Londres-New-York :ACADEMIC PRESS, 1976.