

# *Infrasound*

## *The Hidden Annoyance of Industrial Wind Turbines*

---

BY

**PROFESSOR CLAUDE RENARD\***

**NAVAL COLLEGE & MILITARY SCHOOL OF THE FLEET (FRANCE)**

**\*Specialist in submarine acoustics & "acoustic quieting"**

**(NO DATE)**

English trans. by Elizabeth Chafer (2/28/11)

Edited by Calvin Luther Martin, PhD (2/28/11)

### **Introduction**

This article is an updated summary of a lecture given by the author in 1997, entitled "Infrasound: Quiet, Pernicious Pollution." At that time, it was given in response to concerns arising from the marketing in Sweden of a non-lethal infrasound weapon designed for riot control, the recognition of "Sick Building Syndrome" (SBS) caused by infrasound emitted by air conditioning systems, and the increase in the number of wind turbine installations in Brittany.

The rural areas of this region have a high population density, and the nuisances caused by infrasound would be as great or even greater than that of the visual pollution or radio interference preventing television reception!

In the weeks that followed, several points of information came to light, revealing that, in the first Airbus 340 planes, the setting of the pressurisation was such that it caused infrasound that affected the passengers. It was also disclosed that a "Euralille" high-rise block in Lille (France) had been evacuated due to vibrations on the 5th floor. Reports revealed that 644 agents of the new "Archet" hospital in Nice (France) had suffered from nausea and headaches. Some had even had to be admitted to the hospital. In 2005, there were accounts of similar health problems at the "Nord" hospital in Marseille.

This article has now been published in response to some good news: The (French) Académie de Médecine has recommended to the (French) government that the construction of wind turbines exceeding 2.5MW at less than 1500 m from dwellings should from now be suspended.

This is good news, but not very good news. The writer is concerned that this venerable institution has only taken into account the "annoyance" caused by audible noise (hissing of the blades, the noise from the gearings in the multiplier), and not the annoyance caused by infrasound. In view of this omission, the aim of this article is to inform the public about these inaudible but harmful noises.

In this article, the word "decibel" (dB) is not used, as it can lead to confusion. In fact, acoustic engineers use a different decibel than underwater acoustic engineers, because it relates to a different power reference level. In addition, they use decibels with an "A" weighting (dBA) as well as weighting for average sound levels over a given period of time: Leq dBA. (Infrasound is not included [in A-weighting].)

## Longitudinal Waves

Humans are sensitive to longitudinal waves. These waves have their point of origin in a homogenous medium (air or water) as soon as there is a variation in pressure at any point in this medium. The wave is therefore characterised by its frequency  $N$  in Hertz (Hz), which corresponds to the number of times per second the pressure oscillates at any given point. The amplitude of this wave corresponds to the value of the increase or decrease in pressure expressed in Pascals (Pa).

The wave has the effect of compressing and then expanding the medium gradually in the direction of propagation. The molecules of the medium vibrate on the spot and gradually, through elasticity, induce vibration of the adjacent molecules in the direction of propagation of the wave. This is why these waves are also described as elastic waves.

The speed of the propagation of energy  $C$  in metres per second (m/s) (proportional to the square of the amplitude) is about 340 m/s in ambient air, and does not vary as a function of the static atmospheric pressure. In water, the speed is about 1500 m/s.

The amplitude of a longitudinal wave decreases as it gets farther away from its source, inversely to the distance  $D$  (in metres) travelled. This is divergence attenuation (the wave is spherical). A decay exponential for fading must be added to this attenuation, with the distance  $D$  multiplied by a coefficient specific to the medium and proportional to the square of the frequency  $N$ .

Another property of these waves is that they can be reflected at the point of change of medium, for example when moving from air to water. They can also be refracted if the medium changes the speed  $C$  of the waves during their propagation, for example where there is a localised change in air temperature. The ray paths can be curved where there are temperature gradients.

In addition, if there is a current in the medium of propagation, such as wind in the atmosphere, for example, ray paths propagating in an upwind direction will be lifted from the ground and curved up towards the zenith, and those propagated downwind will be driven towards the ground and curved down towards the nadir.

When longitudinal waves reach a human body and are able to cause the eardrums to vibrate significantly, they can be heard if the frequency  $N$  is between 20 and 20,000 Hz.

## Audible Sound Waves

It follows that audible sound waves are longitudinal waves that have frequencies between 20 Hz and 20 kHz. The human ear starts to perceive them over and above a threshold of hearing. This threshold depends on the frequency of the wave.

The ear is surprisingly sensitive between 1 kHz and 3 kHz, as it can hear sounds of  $2 / 100,000$ ths Pascal, whereas normal atmospheric pressure is 101,500 Pa. On the other hand, at 50 Hz the threshold is only  $2 / 1,000$ ths Pascal. The ear is therefore 100 times less sensitive at this frequency.

During a conversation, the sound level is about  $1 / 100$ ths to  $2 / 100$ ths Pascal between 100 Hz and 4 kHz.

In addition, if the amplitude of the sound intensifies, over and above a certain level known as the threshold of pain, people suffer very sharp pain in the head and nausea. If a person stays in this environment, lesions to the cochlea in the ear will appear. This threshold is around 60 Pa.

It is possible to stay in a noisy environment without ear protection for a certain period of time a day without getting lesions, provided the intensity of the sound is lower than the threshold of pain. For example, at 2 Pa, it would be for 2 hours a day, and at 1 Pa for 4 hours a day.

In less noisy environments, people can suffer from noise annoyance which prevents them from sleeping, from thinking, or concentrating on a task, etc. In practice, it is not believed there is annoyance under  $5 / 1,000$ ths Pascal. (This is the field of psychoacoustic studies.)

Just as humans are almost blind, in that they don't see ultraviolet or infrared light, they are also nearly deaf, as they do not hear ultrasounds ( $N > 20$  kHz)—unlike dogs and bats, for example—or infrasound ( $N < 20$  Hz), which is used by certain animals such as elephants and giraffes for communicating.

As we have seen, the attenuation of sounds is proportional to the square of their frequency  $N$ . Ultrasounds will not be dealt with in the rest of this article, since they are very quickly absorbed or reflected. However, this is not the case in respect to infrasound, which is also perceived by humans, though in a different way.

## The Propagation of Infrasound

An audible wave of 1 kHz will be attenuated 10,000 times more than an infrasonic wave of 10 Hz under the same conditions of emission and reception, and following the same propagation path. The wave length  $L$  in metres (m), being the distance separating two successive peaks during the propagation of a wave, is equal to the ratio of the speed  $C$  in m/s to the frequency  $N$  in Hz, ( $L = C / N$ ).

For infrasound having a frequency  $N$  of less than 20 Hz, this wavelength is much longer than that of audible sounds, and diffraction by obstacles such as trees and bushes is greatly reduced. The same applies to additional attenuation due to atmospheric turbulence.

For this reason, infrasound propagates over considerable distances and will therefore be affected by slow variations in the physical parameters of the medium. For example, in an adiabatic atmosphere where the temperature drops by  $9.8^\circ$ Celsius for every 1,000 m of altitude, an infrasonic ray emitted

horizontally will curve up towards the zenith and will be capable of going over an obstacle of one metre at a distance of 316 m from its source, or an obstacle 10 m high at a distance of 1,000 m. It could also go over a hill 100 m high situated at a distance of 3.16 km.

Generally speaking, infrasonic rays move upwards until they reach an altitude where they encounter either a temperature gradient which inverts (inversion zone) or a wind gradient. In both instances, as we have already seen, the ray path will curve downwards towards the ground (or the sea), where it can be reflected very easily despite the vegetation (or the waves), and gradually rebound.

In this way, infrasound is guided far away from its source, which explains why, for example, the explosion of Mt. St. Helen's (USA) on 19th May 1980 was felt all over the world. It is also the way in which elephants are able to communicate with each other over tens of kilometres thanks to the temperature inversion zone that forms from sunset to sunrise.

Knowing that infrasound can be perceived at great intensity even when it is far from the source that produced it, we are now going to look at the perturbations they can cause to humans who cannot hear them.

## The Physiological Effects of Infrasound

It was a Frenchman, V. Gavreau, who, during the Sixties, first reported human health problems caused by exposure to infrasound. The symptoms resembled seasickness, accompanied by headache, nausea, and dizziness which led to "deep nervous fatigue." He was also the first to mention eye problems and the impossibility of concentrating on a task.

In the Seventies, a Dane, P.V. Brüel, manufacturer of acoustic metrology equipment, showed that symptoms were felt after only 5 minutes of exposure to infrasound of an amplitude of 1 Pa and a frequency of 12 Hz. He also demonstrated by measurements taken in an estate car travelling at a speed of 100 km/h that the level of infrasound which was almost constantly at 1Pa between 4 and 16Hz contributed to "car sickness."

In addition, P.V. Brüel carried out some very interesting measurements of the level of infrasound on the top floor of a sixteen-floor high-rise block when there was a fairly strong wind blowing. The infrasound reached 6 Pa at 1 Hz and dropped to 0.2 Pa at 16 Hz. The signal spectrum showed resonances at 4 Hz (2 Pa), 8 Hz (1Pa) and 12 Hz (0.4 Pa).

In the USA in 1975, D.L. Johnson defined the threshold levels above which people feel unwell : 0.2 Pa at 20 Hz, 0.6Pa at 10 Hz, 2 Pa at 5 Hz, 20 Pa at 2 Hz, and 60 Pa at 1 Hz.

In Japan in 1991, H.Takigawa reported that infrasound of 1Pa between 3 and 7 Hz had an influence on the vestibule of the ear and lead to ocular reflexes (nystagmus), spinal reflexes (tremors), and autonomic reflexes (dyspnoea).

In 1991, the Russian, B. Fraiman, noted the effect of infrasound of 2 Pa on blood pressure, which confirmed the problems of diastolic pressure mentioned in 1974 by Borredon (1 Pa = the pressure of a column of water 10cm high).

To summarise, infrasound is capable of causing:

- Headaches
- Dizziness
- Nausea
- Nystagmus
- Tremors
- Dyspnoea
- Circulation problems

## Sources of Infrasound

Other than infrasound emitted by animals, the sources of infrasound are either natural or manmade. Periodic natural sources are caused by the volcanic eruption, supersonic booms, storms and fractures such as during earthquakes, avalanches and calving of icebergs from glaciers.

Other transient sources are caused by tornadoes (whirlwinds), the flow of wind over natural (mountains) or man-made obstacles (wind turbines, bridges, towers, churches, houses). Oceans and waterfalls are continual natural sources. There are other man-made sources, such as internal combustion engines and ventilation or air conditioning installations.

The remainder of this article deals with sources which are mainly due to noises of turbulent flow of air on obstacles. This causes the formation of Von Karman swirling paths (called Von Karman vortices), which are made up of a series of eddies swirling alternately in one direction and then the other. They emit both audible and inaudible sound, which is either jet sounds for which the frequency  $N$  (in Hz) is given by the Krüger and Marsherer formula:  $N = (0.055) \cdot V/E$ , where  $V$  is the wind speed (in m/s) and  $E$  the distance (in m) between the two obstacles limiting the jet, or trail sounds on an obstacle having a thickness or diameter  $E$ , for which the emission frequency is given by the Strouhal and Krüger formula:  $N = (0.2) \cdot V/E$ . In the latter case, the eddies are alternately emitted by one edge and then the other of this long obstacle. Depending on the speed of the wind, these phenomena can become audible and cause the whistling emitted by windows that are badly closed, or by electric wires or cables.

The infrasound produced by wind turbines (the tower and the rotor blades) falls under this category. M.L. Legerton's team (Inter-Noise 96) showed that, at 100 m from a wind turbine, the infrasound had peaks of 1.4 Pa emitted every 0.65s as the rotor blades passed the wind turbine tower.

Today, the audible sound produced by the blade tips is considerably less, due to improved blade design. The infrasound produced by centrifugal or axial fans is caused by the "flow separation" (pumping) phenomenon. This causes pressure variations which are amplified by the pipe work.

## Conclusion

The information given above is enough to understand that it is better not to be exposed to infrasound which propagates far from its point of origin and against which it is impossible to protect oneself due to the long wavelengths.

Those most affected by exposure to infrasound are rural inhabitants living in proximity to wind turbines, and those working in air-conditioned offices.

The people in the former category are exposed to the infrasound 24 hours a day, whereas people in the latter category are only exposed to infrasound 6 hours a day.

The most important issue is therefore to know what intensity of infrasound can be tolerated without inconvenience over these periods of time.

We do not have the answer to this question. During the Seventies, many studies were carried out by army physiologists to find out how long it was possible to stay in a tank where the level of infrasound is in the region of 20 Pa, in the engine room of a ship where there can be levels exceeding 100 Pa at 5 to 20 Hz, and in a space capsule where the level is between 400 and 600 Pa at 1 to 20 Hz. Their problem was in fact to know how long military personnel could carry out their duties under these conditions. The results were kept secret.

In 1976, Von Gierke put forward a limit of 20 Pa between 1 and 20 Hz below which a human being could be exposed for 24 hours without harmful effects. In fact, those who live near waterfalls or by the sea, where levels of infrasound can vary from 1 to several Pascals, can confirm this.

It would seem that infrasonic noise that does not contain particular frequencies (white noise) is easier to tolerate. It is therefore better to concentrate attention on the power spectral density expressed in Pascals squared per Hertz. In 1993, B.J. Fraimann measured on the Pacific coast a power density  $G$  varying  $1/N$  with the frequency signature of the atmospheric turbulence.

It is clear that there is wide scope for further research, which we would like the appropriate government ministries to initiate. In addition, research on the effects of infrasound on animals needs to be carried out.

In the meantime, the application of the Precautionary Principle would be appropriate, in particular with respect to the decision to install wind turbines.

## Bibliography

F. Cordier «Le mystère de l'hôpital Nord de Marseille» Le Quotidien du Medecin du 1er Septembre 2005.

M. Rossi «Electro-acoustique» Dunod éditeur 1986 p 34 et p 115 à 148.

«Lemonde des sons» Dossier hors série de pour la Science, Juillet/Octobre 2001.

V. Gavreau, R. Condrat & H. Saul «Infra-sons: Générateurs, détecteurs, propriétés physiques, effets biologiques» Acoustica vol 17, no. 1, 1966, p 1 à 10.

V. Bruel & H.P. Olesen «Mesures infrasonores» Technical Review Brüel & Kjaer No. 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 & 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» In L. Pimonov, ed., *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 et 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* No. 8, Janvier 1997, p 11 à 15.

H.E. von Gierke, C.W. Nixon «Effects of intense infrasound on man» in *Infrasound and Low Frequency Vibration*, ed. W. Tempest, Londres et New-York: Academic Press, 1976.



LES INFRASONS,  
NUISANCES REDHIBITOIRES  
DES EOLIENNES.

Par

CLAUDE RENARD

Professeur des Universités  
(Retraité)

Vent de Colère ! - FEDERATION NATIONALE

Président : Alain BRUGUIER Chemin des Cadenèdes 30330 SAINT LAURENT LA VERNEDE

[www.ventdecolere.org](http://www.ventdecolere.org)





## 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<sup>ème</sup> 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.



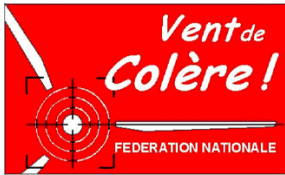
## LA PROPAGATION DES INFRASONS

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 °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 MARSHERER :  $N = (0,055).V/E$  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<sup>er</sup> 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. BRUEL et H.P. OLENSSEN « Mesures infrasonores » TECHNICAL REVIEW BRÜEL & 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.