

Perception des infrasons

Infrasound perception

Jacques Chatillon

INRS Centre de Lorraine

Rue du Morvan

CS 60027

54519 Vandœuvre les Nancy

Tel : +33 (0)3 83 50 98 70

E-mail : jacques.chatillon@inrs.fr

Résumé

Les sons dont le spectre est partiellement ou totalement en dehors de l'intervalle 20 Hz – 20 kHz sont classiquement qualifiés d'inaudibles. Pourtant, la sensibilité de l'oreille s'étend en dehors de cet intervalle même si elle est beaucoup plus faible pour les infrasons et les sons de basses fréquences. De plus, l'être humain peut percevoir les infrasons par d'autres voies que le seul chemin auditif. En milieu industriel, dans la nature ou à proximité d'installations industrielles, les sources infrasonores sont nombreuses. L'existence d'effets nuisibles ou désagréables à l'homme de ces sons quasi-inaudibles est un fait prouvé dès lors que leurs niveaux sont suffisamment élevés. Cet article propose, au moyen d'une revue bibliographique, d'éclairer le lecteur sur la sensibilité humaine aux infrasons et aux basses fréquences, sur les effets physiologiques constatés lors d'une exposition à des niveaux élevés et sur les mesures de prévention possibles. Des recommandations de limites d'exposition des salariés sont proposées.

Abstract

Sounds whose spectrum is partially or totally outside the range 20 Hz - 20 kHz are classically described as inaudible. However, the sensitivity of the ear extends outside this range even though it is much lower for infrasound and low frequency sounds. In addition, humans can perceive infrasound channels other through the only ear canal. In industry, in nature or near facilities, infrasound sources are numerous. The existence of adverse effects or unpleasant to the man of almost inaudible sounds is a proven fact when their levels are high enough. This article proposes, by means of a literature review, to inform the reader about human sensitivity to infrasound and low frequency on the physiological effects observed during exposure to high levels and possible prevention measures. Recommendations for exposure limits for workers are available.



I est admis classiquement que l'audition humaine s'étend dans la bande des fréquences comprises entre 20 Hz et 20 kHz. Quand le spectre d'un bruit se situe en deçà de 20 Hz, ce bruit sera qualifié d'infrasonore [1] tandis que s'il se situe au delà de 20 kHz, il sera qualifié d'ultrasonore [2]. On admet généralement que ces infrasons ou ultrasons sont inaudibles, alors que, en réalité, la sensibilité de l'oreille humaine, dès que les niveaux reçus sont suffisamment élevés, s'étend dans les gammes extérieures à l'intervalle 20 Hz - 20 kHz, les seuils de sensibilité étant très variables d'un individu à l'autre.

Comme la sensibilité de l'oreille humaine s'étend en deçà de cette limite de 20 Hz, et avec une variabilité importante selon les sujets, la bande de fréquence de 20 Hz à 40 Hz représente une zone de transition entre les infrasons et les sons audibles [3]. Au-delà de 40 Hz et jusqu'à 100 Hz, on admet que l'on a affaire à des sons audibles de basses fréquences.

De plus, les bruits en général, mais aussi les infrasons, peuvent être ressentis par une transmission de l'énergie

vibratoire à d'autres organes (peau, yeux, muscles, puis crâne et squelette ou organes internes). Cette transmission peut être directe (contact de la peau, vibration d'un membre ou de l'ensemble du corps) ou aérienne quand les vibrations de l'air atteignent l'oreille ou la peau.

La sensibilité de l'oreille humaine étant beaucoup plus faible en dehors de la gamme 20 Hz – 20 kHz, les bruits de la gamme infrasonore sont supposés moins dangereux pour l'audition que les bruits audibles de niveau équivalent. Pourtant, l'existence d'effets nuisibles ou désagréables sur l'homme de ces bruits quasi-inaudibles est maintenant un fait avéré, et il est nécessaire de savoir les identifier, d'estimer les niveaux d'exposition et de prendre éventuellement les mesures adéquates pour diminuer leur influence sur les personnes exposées.

Cet article reprend en grande partie une publication de l'INRS issue d'une recherche bibliographique et consacrée aux infrasons et aux ultrasons [4]. Quelques compléments bibliographiques récents ont été ajoutés afin de l'actualiser.

Les sources infrasonores et la propagation

Génératrices de variations lentes (et de faible amplitude autour de son point d'équilibre) de la pression atmosphérique, les sources infrasonores sont nombreuses, qu'elles soient naturelles ou artificielles.

Les sources naturelles sont les mouvements violents de l'air (vents, tempêtes, jusqu'à 135 dB à 100 km/h), les fluctuations rapides de la pression atmosphérique (<1 Hz à 100 dB), les mouvements de l'eau (vagues océaniques, <1 Hz) et les vibrations du sol provoquées par des éruptions volcaniques ou des tremblements de terre, qui comportent des composantes de basses fréquences à leur tour réémises dans l'air. De même, les sources émettant sur une large bande de fréquence (tonnerre, chutes d'eau) peuvent émettre des composantes de haute énergie se situant dans la partie infrasonore du spectre.

Tous les moyens de transport (automobiles, camions, hélicoptères, avions, bateaux, trains) sont des sources de bruit comportant souvent des composantes vibratoires de basses fréquences et infrasonores [5]. Les passagers d'une automobile ou d'un train peuvent être soumis à des niveaux de 120 dB entre les fréquences 1 Hz et 20 Hz, et les niveaux peuvent atteindre de 115 à 150 dB, pour la même gamme de fréquence, dans une cabine d'hélicoptère.

En milieu industriel, ce sont principalement les machines tournantes lourdes qui sont connues pour leur émission infrasonore [6]. Les ventilateurs, pompes, compresseurs, machines à sécher, machines à air conditionné, broyeurs, centrifugeuses à béton, etc, produisent couramment des niveaux élevés d'infrasons.

Le développement des éoliennes comme source d'énergie électrique renouvelable a amené récemment des polémiques sur leur potentialité à produire des infrasons dangereux pour la santé. Outre leur multiplication en nombre d'installations, les nouvelles éoliennes sont plus puissantes que les premières, ce qui provoque souvent à la fois une augmentation des niveaux émis et un glissement des caractéristiques spectrales vers les basses fréquences [7]. Les premières données provenant de mesurage [8] montrent que les niveaux émis sont de l'ordre de ceux des sources naturelles (vent). Dans son rapport de mars 2008 sur le bruit émis par les éoliennes [9], l'AFSSET¹ rapporte plusieurs cas de mesures, mais qui ne détaillent pas les niveaux émis en deçà de l'octave 125 Hz. Ces mesures montrent malgré tout des spectres à dominante basse-fréquence.

Les sources impulsives (explosions, chocs) peuvent aussi émettre des composantes de haute énergie se situant dans la partie infrasonore du spectre.

De plus, certaines sources cohérentes émettant deux fréquences pures non-infrasonores assez proches peuvent, grâce aux non-linéarités du milieu, provoquer l'apparition d'infrasons par des battements à la fréquence différence. Mais généralement, les niveaux obtenus par ces produits de distorsion ont assez faibles.

On peut citer aussi des sources d'infrasons moins répandues comme celles servant à des applications médicales ou de confort (appareils massants) ou militaires (armes non létales [10]).

Les niveaux de ces dernières sources ne sont pas publiés.

Comme les bruits audibles, les infrasons sont des ondes sonores se propageant dans un milieu élastique fluide (l'air) ou dans les solides (sol, structures). Leur gamme de fréquences très basses fait que l'absorption par les milieux traversés est relativement faible. Par exemple, dans l'air, l'énergie d'une onde infrasonore de fréquence 10 Hz diminue seulement de l'ordre de 0,1 dB par kilomètre, à comparer avec une absorption de l'ordre de 10 dB par kilomètre pour un son de fréquence audible à 1 kHz. Il est bien connu que les animaux de grande taille (baleines, éléphants, etc.) communiquent sur des distances considérables en émettant des signaux infrasonores [11].

L'atténuation due à la propagation en ondes sphériques (-6 dB par doublement de la distance) s'applique aussi aux infrasons et représente souvent le seul terme significatif de diminution de l'énergie des ondes infrasonores avec la distance.

La localisation des sources infrasonores est rendue difficile par la faible absorption : les sources peuvent être très éloignées (plusieurs centaines de mètres) du lieu où la nuisance est mesurée.

De plus, la gamme de fréquences implique aussi de grandes longueurs d'onde, de l'ordre de 34 m, par exemple, à 10 Hz. La directivité d'une source étant liée à sa grandeur mesurée en longueur d'onde, beaucoup de sources industrielles sont petites devant la longueur d'onde. Elles émettent alors des infrasons dans toutes les directions de l'espace avec une énergie à peu près équivalente : les sources infrasonores sont généralement omnidirectionnelles.

Ces caractéristiques font qu'il sera souvent illusoire de vouloir se protéger des infrasons par des procédés classiques d'isolement et d'absorption acoustique. Une réduction du niveau d'émission à la source sera souvent la seule solution possible pour diminuer les niveaux d'exposition.

Perception des infrasons

Seuil d'audition en basse fréquence

Une revue de Møller [12] relate de nombreuses expérimentations récentes ou plus anciennes qui font état de la sensibilité de l'oreille à des fréquences inférieures à 20 Hz [12]. Cette sensibilité existe pour tous les sujets en bonne santé, même si elle est très inférieure à celle connue aux fréquences moyennes du spectre qualifié d'audible. Cette constatation remet même en cause le concept usuel d'infrasons puisque des sons puissants de fréquence inférieure à 20 Hz ne sont pas inaudibles.

La figure 1 adaptée de [12], montre, page suivante, que :

- dans la gamme de fréquence [1 Hz – 20 Hz], la moyenne de relevés de seuils d'audition pour des sujets varient en âge et en sexe, selon différents auteurs. Les écarts-types relevés lors de ces expérimentations sont de l'ordre de 3 à 8 dB, alors que le seuil d'audition des sujets les plus sensibles se trouve à plus de 10 dB en dessous de la moyenne,
- au-dessus de 20 Hz, les seuils d'audition sont ceux décrits par la norme ISO 226 : 2003 [13].

Les deux parties de la courbe, de part et d'autre de 20 Hz, montrent évidemment une variation continue des seuils.

1- Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail aujourd'hui ANSES Agence nationale de sécurité sanitaire, de l'alimentation, de l'environnement et du travail.

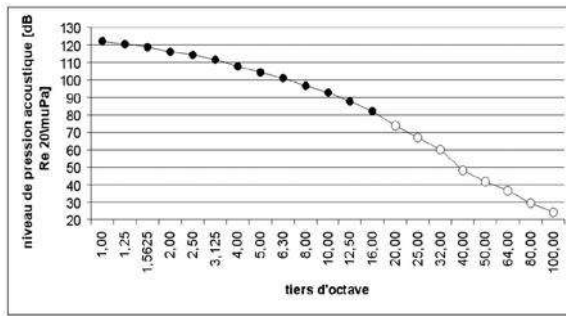


Fig. 1 : (○) **Seuil d'audition normalisé au-dessus de 20 Hz (ISO 226 : 2003)** et (●) **moyenne des résultats de recherches récentes couvrant les fréquences jusqu'à 20 Hz [12]**
(o) **Standardized hearing threshold above 20 Hz (ISO 226: 2003)** and (●) **average of results from recent investigations covering frequencies up to 20 Hz [12]**

Accroissement de la sensibilité

Écoute binaurale

Pour les infrasons, il a été montré qu'une écoute binaurale augmentait la sensibilité de 3 dB par rapport à une écoute monaurale, comme pour les fréquences classiquement qualifiées d'audibles [12].

Augmentation de la sensation sonore

Les courbes isononiques données par la norme ISO 226 : 2003 [13] montrent que, pour les basses fréquences, la sensation sonore augmente plus vite quand le niveau de pression acoustique s'accroît, comparativement à ce qu'il se passe aux fréquences audibles. Par exemple, une augmentation du niveau de pression de 20 dB(Lin) provoque une augmentation de la sensation d'environ 40 phones à 20 Hz, contre 20 phones à 1 kHz (par définition).

Seuil d'audition augmenté pour des combinaisons de fréquences pures

Il est montré que des signaux complexes comportant plusieurs sons purs (fréquences basses comprises entre 25 et 145 Hz) sont détectables par certains individus même si le niveau de chacune des composantes est en dessous du seuil de l'audition [14]. Dans une autre publication récente [15], il semble que la discrimination en basse fréquence (tiers d'octave centré à 31,5 Hz par exemple) soit moins bonne et les effets de masquage plus prégnants à cause, en particulier, de l'élargissement des filtres auditifs.

Perception vibrotactile

Une étude conduite avec des sujets sourds [16] a montré que la perception pouvait exister pour des niveaux suffisamment élevés par d'autres moyens que celui de l'audition. Cette étude a montré que cette perception qualifiée de « vibrotactile » apparaît pour des niveaux de l'ordre de 124 dB à 4 Hz (contre 107 dB pour l'audition) ou 116 dB à 16 Hz (contre 82 dB pour l'audition).

Une perception vibrotactile peut amener des confusions de sensation. Les personnes exposées aux infrasons peuvent parfois penser être exposées à des vibrations issues d'une seule transmission solido-élastique. Il est donc important d'être capable d'identifier les couplages entre la nuisance physique ressentie et la source afin de différencier les problèmes purement vibratoires des problèmes d'ondes élastiques dans l'air (infrasons).

Inadéquation de la pondération A – Pondération G

Il est courant d'utiliser la pondération A, qui est adaptée à la réponse de l'oreille, pour estimer l'exposition sonore aux bruits audibles. Les sonomètres de classe 1 qui utilisent la pondération A ont des tolérances de mesures définies dans une bande de fréquence comprise entre 16 Hz et 16 kHz [17].

Pour les sons à basses fréquences et les infrasons, certains auteurs ont montré que l'utilisation de la pondération A pour estimer la nuisance de composantes basses fréquences conduit à les sous-estimer [18], [19]. D'autres auteurs mettent en évidence que les niveaux de gêne sont plus proches des seuils d'audition en basse qu'en haute fréquence [20].

Le normalisateur a tenu compte de ces difficultés et a défini une pondération en fréquence spécifique pour le mesurage des infrasons, la pondération dite G [1]. La figure 2 montre l'allure de cette pondération pour les tiers d'octave de 1 Hz à 100 Hz.

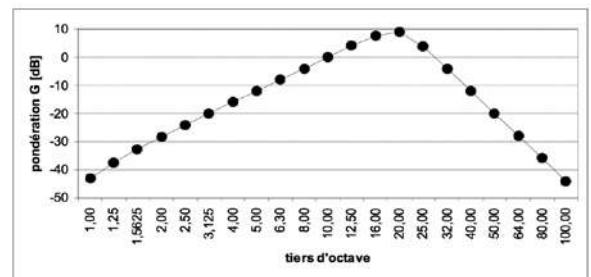


Fig. 2 : **Pondération « G » pour les tiers d'octave de 1 à 100 Hz.**
"G" weighting for third of octaves from 1 to 100 Hz

L'utilisation de cette pondération sur les seuils d'audition montrés sur la figure 1 conduit à la courbe de la figure 3.

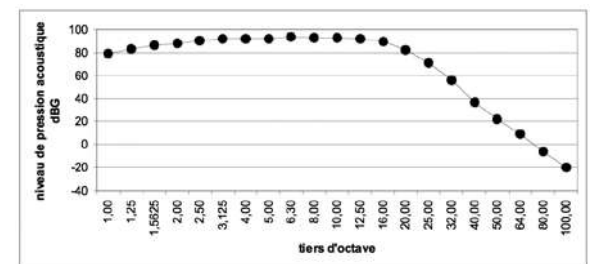


Fig. 3 : **Seuils d'audition de la figure 1 pondérés G**
Hearing thresholds displayed on figure 1 when "G" weighting applied

Dans le domaine des fréquences comprises entre 1 Hz et 100 Hz, l'usage de cette pondération sur les seuils d'audition tirés de [12] conduit à un niveau (intégré sur la bande de fréquence) de perception auditive de l'ordre de 102 dB(G). Si on réduit l'intervalle d'intégration aux fréquences comprises entre 1 Hz et 20 Hz, ce résultat reste identique, car les valeurs des coefficients de la pondération G décroissent très rapidement de 20 Hz à 100 Hz.

La norme ISO 7196 :1995 [1] confirme ce résultat en affirmant que, dans le domaine des fréquences comprises entre 1 Hz et 20 Hz, des sons tout juste perceptibles par un auditeur moyen, donneront, après pondération, des niveaux de pression acoustique proches de 100 dB(G).

Effets physiologiques

Les effets physiologiques des infrasons, comme ceux de tous les bruits, dépendent du niveau reçu.

En deçà du seuil d'audition, il n'y a pas de preuves fiables d'effets physiologiques ou psychologiques des infrasons [7].

À faible niveau, autour du seuil d'audition, des troubles comme de la fatigue, des symptômes dépressifs ou anxieux, de l'irritabilité, des maux de tête, des troubles de la vigilance ou de l'équilibre et des nausées («mal de mer») ont été décrits [16], [18], [19]. Certaines de ces réactions pourraient être dues à la mise en vibration de l'oreille interne mais aussi de certains organes digestifs, cardio-vasculaires, respiratoires, ou bien des globes oculaires [20].

Comme pour d'autres bruits, l'audition continue des sons à basses fréquences et les infrasons peuvent provoquer chez l'homme des diminutions de la performance à accomplir une tâche et des troubles du sommeil [7].

Au seuil d'audition, des expériences faites sur des sujets sourds et entendants ont montré que des changements de l'état de vigilance des sujets étaient bien dus à une stimulation cochléaire [21].

À des niveaux plus élevés les symptômes précédents s'amplifient et peuvent devenir insupportables si les durées d'exposition sont trop importantes.

La rémanence des symptômes a été notée, alors que la source est supprimée, les sensations de malaise peuvent perdurer quelque temps. Cette constatation est expliquée par les expériences au cours desquelles la pression artérielle ou le rythme cardiaque des sujets ont été modifiés.

La sensibilité de chaque individu étant très variable, les sensations de gêne ou de désagrément peuvent apparaître, pour certains individus très sensibles, à des niveaux légèrement en deçà des seuils moyens d'audition.

Certains auteurs notent un effet possible de masquage [16], [22], même sans intersection des bandes de fréquence. Les symptômes dus à des infrasons de faible niveau sont atténués dès que le sujet est baigné dans un bruit audible de plus fort niveau.

Pour finir, l'hypothèse d'une sensibilisation aux infrasons a été émise par certains, mais cette hypothèse est contestée [18].

Limites d'exposition

Pour le bruit au travail

Recommandations dans différents pays étrangers

En l'absence de réglementation nationale ou européenne sur les limites d'exposition des salariés aux infrasons, plusieurs références donnent des indications sur les niveaux considérés comme étant pénibles ou dangereux [26], [27].

L'American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) recommande, à l'exception des bruits impulsifs de durée inférieure à 2 s, que le niveau dans chaque tiers d'octave pour les fréquences de 1 à 80 Hz ne dépasse pas 145 dB(Lin), et que le niveau total ne dépasse pas 150 dB(Lin). Aucune indication de durée d'exposition n'est précisée.

Le New Zealand Occupational Safety and Health Service (NZOSHS) préconise que le niveau de pression infrasonore soit inférieur à 120 dB(Lin), niveau global intégré dans la bande de fréquence de 1 à 16 Hz et pour 24 heures d'exposition.

Le Danish Environmental Protection Agency (DEPA) [28] recommande, pour les infrasons environnementaux, que les niveaux d'exposition des citoyens soient inférieurs de 10 dB au seuil d'audibilité des infrasons. Dans cette publication, le seuil d'audition est réputé être égal, pour les sujets les plus sensibles, à environ 95 dB(G). Le DEPA recommande donc de ne pas dépasser une limite de 85 dB(G), niveau moyen pondéré G intégré jusqu'à 20 Hz.

Le Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit (EKAS - Suisse) écrit [29] « Au stade actuel des connaissances acquises, il n'y a pas de risque à redouter des infrasons tant que leur niveau acoustique pondéré², calculé sur une journée de travail de 8 h, ne dépasse pas 135 dB et lorsque la valeur maximale se situe en dessous de 150 dB. Des perturbations du bien-être peuvent se manifester lorsque le niveau moyen dépasse 120 dB. »

La norme ISO 7196 : 1995 [1] affirme que dans le domaine des fréquences comprises entre 1 Hz et 20 Hz, des sons tout juste perceptibles par un auditeur moyen, donnent des niveaux de pression acoustique proches de 100 dB(G). Elle rajoute que les niveaux inférieurs à 90 dB(G) ne sont généralement pas significatifs du point de vue de la perception par l'homme.

L'INRS en 1992 [30] utilise une ancienne publication de Pimonow [31] pour classer les niveaux des bruits de fréquence inférieure à 20 Hz dans quatre zones différentes. Si L_p est le niveau de bruit intégré sans pondération pour les bandes de fréquence inférieure à 20 Hz, les quatre zones sont les suivantes :

- $L_p < 120$ dB(Lin), niveau pour lequel une exposition de quelques dizaines de minutes ne conduirait généralement pas à des effets nuisibles. On admet qu'on ne connaît ni le retentissement psychologique dû à de tels niveaux, ni les conséquences à des expositions prolongées.

- 120 dB(Lin) $< L_p < 140$ dB(Lin), niveau pour lequel l'apparition de troubles psychologiques passagers est appréciable, mais la fatigue supportable par des personnes en bonne condition physique, même dans le cas d'une exposition de plusieurs heures.

- 140 dB(Lin) $< L < 155$ dB(Lin), niveau pour lequel l'apparition de troubles psychologiques est appréciable, et la fatigue supportable par des personnes en bonne condition physique, dans le cas d'une exposition courte (2 minutes).

- $L_p > 180$ ou 190 dB(Lin), niveau léthal (déchirure des alvéoles pulmonaires).

On remarque que la zone comprise entre 155 et 180 dB n'est pas décrite : faute d'expérimentations – dangereuses – ou parce que la variabilité interindividuelle laisse une marge d'incertitude recouvrant les deux zones ?

Les chercheurs du Centralny Instytut Ochrony Pracy (CIOP, Pologne) dans une publication [27] font un point relativement complet sur les différentes recommandations internationales et sur la bibliographie disponible. Cette publication conclut qu'il est souhaitable que les niveaux d'exposition aux infrasons ne dépassent pas 102 dB(G) en niveau moyen pondéré G intégré sur la gamme de 2 Hz à 50 Hz, et pour 8 heures de travail. Pour les bruits impulsionnels dans ces gammes de fréquences infrasonores, cette publication recommande une limite de 145 dB(Lin).

Synthèse et recommandation de l'INRS

Les indications du paragraphe précédent ne sont pas comparables entre elles immédiatement, à cause de l'usage de différentes pondérations, des bornes d'intégration en fréquence ou de la diversité de la prise en compte de la durée d'exposition.

Pourtant, quand les niveaux sont donnés en dB(Lin), l'INRS, l'ACGIH ou le NZOSHS donnent des recommandations relativement proches : il est indiqué que les expositions de plusieurs heures à des niveaux inférieurs aux seuils de 120 à 150 dB(Lin) ne conduiraient qu'à des troubles passagers.

Quand les niveaux sont donnés en dB(G), il est indiqué par la norme ISO 7196:1995 ou par le DEPA que les niveaux inférieurs à 85 ou 90 dB(G) seraient toujours en deçà des seuils de sensation ou de gêne. Sur toute la gamme de fréquence de 2 à 50 Hz, le CIOP recommande un niveau moyen maximal de 102 dB(G).

On a montré plus haut que la pondération G était bien adaptée aux seuils d'audition des sujets moyens dans la gamme de fréquence de 1 à 20 Hz, et que ce seuil était de l'ordre de 102 dB(G) (il reste identique de 1 à 100 Hz).

La valeur maximale d'une exposition à des bruits infrasonores (de 1 Hz à 20 Hz) et basse fréquence (de 20 Hz à 100 Hz) continue pendant 8 heures pourrait donc être estimée à la limite du seuil d'audition pour la plupart des sujets, c'est-à-dire 102 dB (G).

L'exposition à des bruits impulsionnels inférieurs à 145 dB (Lin) semblerait aussi être une limite prudente³.

Pour les bruits continus, une diminution de la durée de l'exposition permettrait d'augmenter ces seuils de 3 dB par diminution de la durée d'un facteur 2, comme les principes d'énergie équivalente le permettent pour le bruit audible.

Le tableau 1 résume les valeurs limites proposées.

INFRASONS CONTINUS	
Calcul de l'exposition	- Utilisation de la pondération (G) - Sommation des énergies reçues entre les tiers d'octave compris entre 1 Hz et 100 Hz
Valeur limite d'exposition en dB(G) sur une durée de 8 heures	102 dB(G)
Si la durée d'exposition est diminuée d'un facteur 2	Augmentation de la valeur limite de +3 dB
INFRASONS IMPULSIONNELS	
Calcul de l'exposition	Pas de pondération
Valeur limite d'exposition	145 dB(Lin)

Tabl. 1 : Valeurs limites proposées par l'INRS pour l'exposition aux infrasons aériens

Cas particulier de la femme enceinte. Au cours des trois derniers mois de vie fœtale, l'oreille interne du fœtus est particulièrement sensible à certains bruits [32]. Même si la plupart des bruits sont atténués par les parois abdominale et utérine, par le placenta et le liquide amniotique avant de parvenir à l'oreille du fœtus, les bruits riches en basses fréquences (<250 Hz) passent aisément ces barrières et restent donc potentiellement dangereux pour l'audition du fœtus. Les carences de la réglementation professionnelle sont connues malgré la parution d'une directive européenne adaptée au cas particulier de la femme enceinte [33]. Le lecteur intéressé par ce problème est encouragé à lire la publication de l'INRS citée en [32] et en particulier le chapitre sur le bruit.

Dans l'environnement

Un rapport de l'AFSSET [9] détaille différents critères d'acceptabilité des nuisances provoquées par les bruits de basses fréquences. Ces critères proviennent généralement de courbes d'audibilité (méthodes répandues dans différents pays européens). Les niveaux acceptables dans une habitation sont ainsi cohérents avec les limites de l'audition : autour de 100 dB(A) à quelques Hertz (80 à 105 dB(A), 10 Hz), jusque vers 35 dB(A) à 100 Hz (10 à 30 dB(A) à 200 Hz).

D'autres spécifications [9] existent dans certaines réglementations nationales, ainsi que dans les recommandations d'organismes internationaux :

- Organisation mondiale de la santé (OMS) : 30 dB(A) à 35 dB(A) en niveau équivalent intérieur 16 heures, et maximum (niveau équivalent intégré sur 1 seconde) compris entre 45 dB(A) à 60 dB(A). Il s'agit des valeurs recensées à partir desquelles des effets gênants ou nuisibles sont constatés.
- Courbes limites définies par les points (110 dB, 4 Hz) et (40 dB, 125 Hz)
- l'American National Standards Institute (ANSI) dans sa norme B 133.8 annexe B recommande, d'une façon générale pour les basses fréquences, de ne pas dépasser 75 à 80 dB(C).
- La norme DIN 45680 comporte des valeurs désignées par «Night Reference Curve» qui donneraient satisfaction à 90 % dans le cas des basses fréquences en général.

Remarque

Il faut noter la difficulté, du moins apparente, de l'interprétation cohérente (et de l'applicabilité) de ces différents chiffres : bandes de fréquences différentes, pondération temporelle longue ou courte, pondération en fréquence en A ou en C. Toutes ces recommandations, si on les ajoute à la grande variabilité interindividuelle de la sensation de gêne et de ses conséquences, font que le législateur serait en difficulté s'il devait s'intéresser vraiment aux infrasons et très basses fréquences. C'est pourquoi, les textes réglementaires nationaux ou européens sur la nuisance environnementale [34] ou au travail [35] se limitent aux bruits audibles (souvent seulement à partir de l'octave 125 Hz) et à des estimations en dB(A).

3- En dB(Lin) ou dB(C), ce qui serait presque équivalent en moyenne fréquence ne l'est plus tout à fait en très basse fréquence. D'autre part, cette limite est sans doute obtenue par un principe d'énergie équivalente des doses.

Mesurage et moyens de protection

Le mesurage des infrasons doit s'effectuer conformément à la norme ISO 7196:1995 qui définit la pondération «G» et donne des indications sur les prescriptions générales relatives à l'appareillage utilisé pour le mesurage des infrasons. En particulier :

- La réponse fréquentielle du microphone utilisé doit être constante ou bien définie sur l'intervalle des fréquences allant de 0,25 Hz à 160 Hz.
- Le reste de la chaîne de mesure doit avoir une réponse fréquentielle ayant au moins les mêmes spécifications que le microphone, le facteur précision étant par ailleurs réputé crucial, une tolérance de ± 1 dB est demandée.
- Le temps d'intégration devrait être de 10 secondes pour des bruits continus, jusqu'à une minute pour des bruits fluctuants.

À l'intérieur, le mesurage doit s'effectuer en plusieurs points du local dans lequel les infrasons sont soupçonnés ou ressentis. En particulier, à cause des ondes stationnaires pouvant exister dans un local de géométrie relativement régulière, il est nécessaire de considérer des points de mesures proches des cloisons, plancher, ou plafond, là où des ventres de pression seraient susceptibles d'exister. D'autres points de mesure sont nécessaires dans le local, à 1 mètre ou 1,5 mètre du sol, puisqu'il n'est pas rare que des ondes stationnaires puissent provoquer des variations de niveau, d'un point à l'autre d'un local, de plus de 30 dB. Le niveau infrasonore est calculé par sommation des niveaux pondérés «G» dans les différents tiers d'octave. Cette sommation pondérée «G» est alors comparée aux valeurs limites recommandées dans le paragraphe précédent (cf. tableau 1).

Les mesures de protection contre les infrasons sont peu efficaces puisque ces ondes sont très peu atténuées durant leur trajet dans l'air ou les matériaux isolants acoustiques classiques [36]. Les propriétés acoustiques des matériaux isolants ou absorbants ne sont généralement pas définies en deçà de l'octave 125 Hz. Ils sont très probablement, pour la plupart d'entre eux, beaucoup moins efficaces pour la gamme des fréquences inférieures à cette octave. Les équipements de protection individuelle ne sont pas qualifiés en deçà de l'octave 63 Hz et des essais sur des bouchons d'oreille [37] ont prouvé leur inefficacité pour des fréquences en deçà de 50 Hz. De toute façon, les autres sensations corporelles transmises par les vibrations du corps ne peuvent pas être atténuées par ces protecteurs. Par la diminution du niveau à la source (changement des composants, augmentation des vitesses de rotation des machines tournantes, etc.), on offrira probablement une protection plus efficace que par l'isolation des personnes exposées.

Conclusion

Il faut abandonner l'idée communément admise que les basses ou très basses fréquences ne sont pas perceptibles par l'audition humaine. Au contraire, il semble que les seuils de gêne soient plus rapidement atteints (comparativement aux seuils d'audition) dans ces gammes de fréquence.

La pondération (A), manière simple (ou simpliste) d'estimer l'impact des bruits (continus et de niveau moyen !) sur l'être humain, montre ses limites quand on s'intéresse aux extrémités de la bande de fréquence qualifiée d'audible. Les infrasons et les sons de basses fréquences – car la continuité existe – sont nocifs pour l'homme quand les doses reçues deviennent importantes en niveau et en durée. L'estimation des doses fait appel à une métrologie spécifique et la lutte contre ces nuisances est plus difficile que pour les sons de moyennes ou de hautes fréquences.

Pour le préventeur d'entreprise comme pour l'acousticien, il convient de continuer à suivre les travaux qui sont effectués sur ces sujets.

Remerciements

L'auteur remercie le Docteur Geneviève Abadia, chef du département Etudes et assistance médicales de l'INRS, pour sa contribution aux aspects médicaux de l'article.

Références bibliographiques

- [1] Norme ISO 7196 :1995 - Acoustique. Pondération fréquentielle pour le mesurage des infrasons. Mars 1995.
- [2] Norme NF S30-101. Septembre 1973. Vocabulaire de l'acoustique - Définitions générales.
- [3] Vercammen M.L.S. - Setting limits to Low Frequency Noise. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 1989, 8, 4, pp. 105-109.
- [4] Chatillon J. Limites d'exposition aux infrasons et aux ultrasons. Étude bibliographique. INRS - Hygiène et sécurité du travail - Cahiers de notes documentaires - 2e trimestre 2006. pp. 67-77. Référence ND 2250 - 203 - 06.
- [5] Iwahashi K. and Ochiai H. - Infrasound Pressure Meter and Examples of Measuring Data. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 2001, 20, 1, pp. 15-19.
- [6] Pawlaczyk-Luszczynska M. - Occupational Exposure to infrasonic noise in Poland. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 1998, 17, 2, pp. 71-83.
- [7] Møller H. et Pedersen C.S. - Low-frequency noise from large wind turbines, *Journal of the Acoustical Society of America*, 2011, 129, 6, pp. 3727-3744.
- [8] British Wind Energy Association. Low Frequency Noise and Wind Turbines. Technical Annex. February 2005. 10 pages. <http://www.bwea.com/pdf/lfn-annex.pdf>
- [9] AFFSET. Impacts sanitaires du bruit généré par les éoliennes. État des lieux de la filière éolienne. Propositions pour la mise en œuvre de la procédure d'implantation. Avis de l'AFFSET. Rapport du groupe d'experts. Mars 2008. 124 pages.
- [10] Vinokur R. Acoustic Noise as a Non-Lethal Weapon. *Sound and Vibration*. October 2004. p. 19-23.
- [11] Payne R.S. The role of infrasounds in maintaining whale herds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2004, 115, 5, pp. 2554-2554.
- [12] Møller H. et Pedersen C.S. - Human Hearing at Low Frequencies. *Noise and Health*, 2004, 6, 23, pp. 37-57.
- [13] Norme ISO 226:2003 Août 2003 - Acoustique - Lignes isosoniques normales
- [14] Ryu J., Sato H., Kurakata K. et Inukai Y. Hearing thresholds for low-frequency tones of less than 150 Hz. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 2011, 30, 1, pp. 21-30.
- [15] Jurado C., Pedersen C.S. et Moore B.C.J. - Psychophysical tuning curves for frequencies below 100 Hz. *Journal of the Acoustical Society of America*, 2011, 129, 5, pp. 3166-3180.
- [16] Landström U. - Laboratory and Field studies on infrasound and its effects on Humans. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 1987, 6, 1, pp 29-33.
- [17] Norme NF EN 61672-1. 1 Juin 2003 Electroacoustique ; Sonomètres - Partie 1 : spécifications
- [18] Guest H. - Inadequate standards currently applied by local authorities to determine statutory nuisance from LF and infrasound, *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 1 March 2003, 22, 1, pp. 1-7.

- [19] Campo P. et Damongeot A. - La pondération « A » est-elle un indicateur pertinent de la nocivité des bruits basse fréquence ? Étude bibliographique. Cahiers de Notes Documentaires n°144, 3ème trimestre 1991, pp. 485-492.
- [20] Lundquist P., Holmberg K. et Landström U. - Low Frequency Noise and Annoyance in Classroom, *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 2000, 19, 4, pp. 175-182.
- [21] World Health Organization. Environmental Health Criteria 12 - Noise Infrasond. Brief Review of Toxicological Literature. November 2001. 51 pages. http://ntp-server.niehs.nih.gov/ntp/htdocs/Chem_Background/ExSumPdf/Infrasound.pdf
- [22] Department for Environment, Food and Rural Affairs (Royaume-Uni). A Review of Published Research on Low Frequency Noise and its Effects. Report for Defra by Dr Geoff Leventhall Assisted by Dr Peter Pelmeare and Dr Stephen Benton. 2003. 88 pages.
- [23] Huang Qibay C.Y. and Shi H. An Investigation on the Physiological and Psychological Effects of Infrasond on Persons. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*. March 2004. 23, 1 pp. 71-76.
- [24] Landström U., Landström R. et Byström M. - Exposure to infrasond - Perception and changes in wakefulness. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 1983, 2, 1, pp. 1-11.
- [25] Gavreau V., Condat R. et Saul H. Infra-sons : Générateurs, Détecteurs, Propriétés Physiques, Effets Biologiques. *Acustica*. 1966. 17(1) pp. 1-10.
- [26] Haneke K.E. et al. - Infrasond: brief review of toxicological literature. Integrated Laboratory Systems Inc. Rapport préparé pour le National Institute of Environmental Health Sciences (USA). Novembre 2001. 51 pages.
- [27] Pawlaczyk-Luszczynska M., Kaczmarska-Kozłowska A., Augustynska D., et Kamedula M. - Proposal of New Limit Values for Occupational Exposure to Infrasonic Noise in Poland. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 2000, 19, 4, pp. 183-193.
- [28] Jakobsen J. - Danish guidelines on environmental low frequency noise, infrasond and vibration. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control*, 1 September 2001, (20)3, pp. 141-148.
- [29] Eidgenössische Koordinationskommission für Arbeitssicherheit. EKAS. <http://www.ekas.ch>. Recueil systématique du droit fédéral - RS 832.30 Ordonnance sur la prévention des accidents et des maladies professionnelles - Titre 1 Prescriptions sur la prévention des accidents et maladies professionnels (sécurité au travail) - Chapitre 3 Exigences de sécurité - Section 3 Milieu de travail - Art. 34 Bruit et vibrations (2002).
- [30] Hee G., Barbara J.J., et Gros P. - Valeurs limites d'exposition aux agents physiques en ambiance de travail. Cahier de Notes Documentaires n°148, 3ème trimestre 1992. Mise à jour mai 1993. Référence INRS : ND 1886-148-92, pp. 297-318.
- [31] Pimonow L. - Les bruits. Étude documentaire relative aux effets des vibrations acoustiques sur l'organisme. Secrétariat général de l'aviation civile. 1972.
- [32] Ouvrage collectif. Avis d'experts. Grossesse et travail. Quels sont les risques pour l'enfant à naître. Sous la direction de D. Lafon. EDP Sciences. 2010. 565 pages.
- [33] Directive 92/85/CE du 19 octobre 1992. Concernant la mise en œuvre de mesures visant à promouvoir l'amélioration de la sécurité et de la santé des travailleuses enceintes, accouchées ou allaitantes au travail. JO L 348 du 28.11.1992.
- [34] Décret n°2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage et modifiant le code de la santé publique (dispositions réglementaires). Journal Officiel de la République Française n°202 du 1 septembre 2006.
- [35] Directive 2003/10/CE du Parlement européen et du Conseil du 6 février 2003 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit).jo
- [36] Kaczmarska A. and AUGUSTYNSKA D. Study of sound insulation of control cabins in industry in the low frequency range. *Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control* 11(2) 1992. pp 42-46
- [37] Berger E.H. Protection for Infrasonic and Ultrasonic Noise Exposure. Monographie Technique disponible sur l'Internet <http://www.e-a-r.com>. 2 pages.