



Association à but non lucratif et gestion désintéressée
soumise à la loi du 1^{er} juillet 1901 et du décret du 16 août 1901

Analyse critique

**Nouveau protocole de mesure du bruit
éolien agréé par le ministre des
installations classées**

10 décembre 2021 et modifié le 22 mars 2022

Fabien FERRERI,
Président de l'association Echauffour Environnement

Contact : association@echauffour-environnement.fr

Table des matières

TABLE DES MATIERES	2
NOTE D'INTRODUCTION	4
COMPRENDRE LES NOTIONS DE SONS ET DE BRUIT	6
I. DES ENJEUX MAJEURS DE SANTE PUBLIQUE.....	6
1) Une préoccupation majeure des français.....	6
2) Un coût économique et social chiffré en milliards d'euros.....	6
3) Un enjeu de société ravivé par la crise sanitaire de 2020	7
II. LE SON	7
1) Définitions.....	7
2) Caractéristiques d'un son	8
a) La puissance sonore	8
b) La hauteur.....	9
c) La durée.....	11
3) Le sens de l'ouïe et physiologie de la perception sonore.....	12
a) Fonctionnement de l'oreille humaine.....	12
b) La perception des fréquences	13
III. LE BRUIT	14
1) Évaluer la « puissance sonore » : les décibels	14
a) La non-linéarité de la perception auditive.....	14
b) Une unité de mesure non linéaire du niveau d'intensité sonore : le bel (B) et le décibel (dB).....	14
c) L'échelle logarithmique	15
d) Mesurer le gain et/ou l'atténuation de « puissance » sonore	15
2) La mesure du bruit.....	16
a) Correspondance entre le niveau d'intensité sonore (dB) et l'intensité sonore (watt par m ²).....	16
b) L'effet de masque	17
c) Les décibels pondérés dB(A).....	18
d) Le découpage du spectre audible en bandes d'octaves normalisées.	21
3) Les émergences globales et spectrales.....	22
a) L'émergence globale.....	22
b) L'émergence spectrale	22
IV. ÉVALUATION DE LA GENE ACOUSTIQUE ET MESURES DES NUISANCES SONORES.....	24
1) Les indicateurs de gêne	24
a) Les indicateurs de gêne globaux.....	25
• Le niveau acoustique continu équivalent LAeq-1s.....	25
• Les niveaux fractiles : L ₅₀ , L ₁₀ , L ₉₀	26
• Les indicateurs de gêne globaux définis par la « directive bruit »	28
b) Les indicateurs événementiels	28

2) L'émergence sonore et son seuil de caractérisation pour les installations utilisant l'énergie mécanique du vent (éoliennes)	30
V. SPECIFICITES DU BRUIT EOLIEN ET REGLEMENTATION DES CENTRALES EOLIENNES INDUSTRIELLES FRANÇAISES.....	35
1) Description.....	35
a) Le bruit des éoliennes	35
b) Le bruit impulsionnel.....	37
c) Facteurs influençant le niveau du bruit	40
d) Autres nuisances signalées par les riverains de centrales éoliennes	42
• Les infrasons et les sons basses fréquences	42
• Les vibrations transmises dans le sol.....	43
• Les effets stroboscopiques et ombres mouvantes.....	43
• L'électro-hypersensibilité chez les humains et les animaux	44
2) Cadre réglementaire.....	44
a) Avant l'arrêté ministériel du 26 août 2011 : le code de la santé publique et la norme AFNOR NF S 31-010	44
b) Après l'arrêté ministériel du 26 août 2011 : le code de l'environnement et le projet de norme abandonné Pr NF 31-114	45
c) 22 mars 2022 : le protocole de mesure du bruit éolien ayant fait l'objet d'une décision de reconnaissance par le ministre des installations classées le 31 mars 2022.....	46
d) La référence à la norme AFNOR NF S 31-010	47
e) A propos du régime dérogatoire des éoliennes et du seuil de 35 dB(A)	49
3) La faiblesse d'indicateurs de gêne acoustique au service d'une vision partielle de la mesure du bruit éolien : le protocole de mesure de l'impact acoustique d'un parc éolien terrestre dans sa version du 22 mars 2022 (ou comment imposer le controversé projet de norme AFNOR Pr NF S 31-114 sans plus avoir à le nommer)....	50
a) Des failles connues et reconnues par le monde scientifique.....	50
b) Le texte du protocole du 22 mars 2022	51
c) Le piège de la médiane : ou comment manipuler les chiffres pour, réglementairement, faire remonter le bruit résiduel et abaisser le bruit ambiant en faisant disparaître les extrêmes.....	53
d) Le piège des indices énergétiques LAeq_1s : ou comment abaisser le niveau le bruit éolien en le réduisant à une « dose » moyenne acceptable.....	55
e) Le piège de l'indice statistique LA50 : ou comment lisser et faire disparaître les bruits courts de forte intensité (pics) qui sont pourtant le critère de gêne principal des riverains.....	56
f) Comparaison des méthodes de calcul	58
• Laeq vs LA50.....	58
• LA50 calculé à partir des niveaux LAeq,1s.....	59
4) Autres failles notables du nouveau protocole de mesure du 22 mars 2022.....	60
a) Le refus de prise en compte des effets cumulés.....	60
b) La suppression des seuils les plus bas des niveaux de bruit résiduel.....	60
REMARQUES CONCLUSIVES	63
GLOSSAIRE	66
INDEX.....	73
BIBLIOGRAPHIE	74

Note d'introduction

Un mardi matin, aux environs de huit heures, je prends l'autoroute pour aller de Paris à Marseille. Après six heures de route, je me fais arrêter par les gendarmes qui m'ont contrôlé en excès de vitesse à 178 km/h, sur une voie limitée à 130 km/h. Je reçois une forte amende, on me retire mon permis de conduire et, après une sévère leçon sur mon irresponsabilité et mon incivisme, je laisse ma voiture et repars à pied.

Imaginons maintenant que la même aventure arrive, exactement de la même façon, à un exploitant éolien : sur la même autoroute, à la même heure, après avoir roulé six heures lui aussi, il est contrôlé par la même brigade de gendarmerie à 178 km/h, sur une voie limitée à 130 km/h.

L'exploitant éolien explique alors à la maréchaussée :

- qu'un arrêté ministériel du 26 août 2011 lui permet de déroger aux règles du code de la route en lui accordant l'autorisation, en toutes circonstances, de rouler à 30 km/h de plus que la vitesse imposée aux autres automobilistes ;
- qu'il dispose en outre, dès qu'il dépasse cette vitesse majorée, d'une tolérance de +30 km/h entre 7h et 22h, et de +20 km/h entre 22h et 7h ;
- qu'un nouveau protocole de mesure de la vitesse, reconnu par le ministre le 10 décembre 2021 et modifié le 22 mars 2022, impose aux gendarmes de ne plus tenir compte, en ce qui le concerne, de la vitesse instantanée mesurée par le radar mais d'un unique « indicateur de vitesse » établi sur la base de la médiane de 10 échantillons de vitesses de 10 minutes, chacun calculé à partir de moyennes pondérées relevées sur 1 seconde, sur chaque différent tronçon d'autoroute ;
- et qu'enfin, le même arrêté ministériel du 26 août 2011 établit que les gendarmes ne doivent désormais se fier qu'aux seuls constats de l'ordinateur de bord de sa voiture et aux seuls résultats des calculs qu'il leur fournit.

Il a donc parfaitement respecté la réglementation en vigueur et il attaquera en justice l'État français avec les meilleurs avocats si la maréchaussée l'empêche de poursuivre sa route.

L'exploitant éolien repart après s'être fait présenter des excuses et reçu les félicitations du gendarme le plus haut gradé pour sa conduite exemplaire.

Vous trouvez cette histoire aberrante, caricaturale, à charge et peu crédible ?

Vous pensez qu'une telle chose ne pourrait jamais se produire en France ?

Qu'elle serait contraire à notre Constitution et à nos valeurs républicaines ?

Aux règles de l'État de droit ? Au principe même de démocratie ?

Je vous invite alors à lire les quelques pages qui suivent...

« Bruit (*bruire*), *s.m.* Mélange confus de sons. »

Littré

« Bruit dans l'environnement : le son extérieur non désiré ou nuisible résultant d'activités humaines, y compris le bruit émis par les moyens de transports, le trafic routier, ferroviaire ou aérien et provenant de sites d'activité industrielle [...]. »

Directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil

« Aucun bruit particulier ne doit par sa durée, sa répétition ou son intensité porter atteinte à la tranquillité du voisinage ou à la santé de l'homme dans un lieu public ou privé. »

Article R 1336-5 du Code de la santé publique

« Les dispositions du présent chapitre ont pour objet, dans les domaines où il n'y est pas pourvu, de prévenir, supprimer ou limiter l'émission ou la propagation sans nécessité ou par manque de précautions des bruits ou des vibrations de nature à présenter des dangers, à causer un trouble excessif aux personnes, à nuire à leur santé ou à porter atteinte à l'environnement. »

Article L. 571-1 du Code de l'environnement

« Article 1^{er} : Chacun a le droit de vivre dans un environnement équilibré et respectueux de la santé. »

Loi constitutionnelle n° 2005-205 du 1 mars 2005 relative à la Charte de l'environnement

« [...] il résulte du préambule de la Charte de l'environnement que la préservation de l'environnement doit être recherchée au même titre que les autres intérêts fondamentaux de la Nation [...] »

Conseil Constitutionnel, Décision n° 2022-843 DC du 12 août 2022 - Loi portant mesures d'urgence pour la protection du pouvoir d'achat

« Aux termes du onzième alinéa du Préambule de la Constitution de 1946, la Nation “ garantit à tous ... la protection de la santé. ” Il en découle un objectif de valeur constitutionnelle de protection de la santé. »

Conseil Constitutionnel, Décision n° 2019-823 QPC du 31 janvier 2020

« La santé est un état de complet bien-être physique, mental et social et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité. »

Organisation Mondiale de la Santé (OMS), 1946.

COMPRENDRE LES NOTIONS DE SONS ET DE BRUIT

Sons ou bruits ?

Certains créent une ambiance, d'autres rythment le quotidien, suscitent des émotions ou rappellent des souvenirs, d'autres encore augmentent notre stress, nous agressent ou deviennent insupportables par leur répétition...

Comment notre oreille perçoit-elle le son et le bruit ?

D'où proviennent-ils ?

Quels en sont les degrés d'acceptabilité ?

Un bref résumé pour mieux comprendre...

I. Des enjeux majeurs de santé publique

1) Une préoccupation majeure des français

Le bruit constitue une préoccupation majeure des Français dans leur vie quotidienne, que ce soit au sein de leur logement, dans leurs déplacements, au cours de leurs activités de loisirs ou sur leur lieu de travail. C'est également un enjeu important pour les décideurs publics.

Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 2018), le bruit représente le second facteur environnemental provoquant le plus de dommages sanitaires en Europe, derrière la pollution atmosphérique : 20 % de la population européenne (soit plus de 100 millions de personnes) sont exposés de manière chronique à des niveaux de bruit préjudiciables à la santé humaine.

2) Un coût économique et social chiffré en milliards d'euros

En 2016, le Conseil National du Bruit (CNB) a publié une étude¹ sur « l'approche économique du bruit » et notamment l'évaluation de ses coûts induits.

Réalisée par le cabinet EY (anciennement Ernst & Young), financée par l'Agence de la transition écologique (ADEME), elle estime alors le coût global du bruit à 57 milliards d'euros par an.

Dans sa feuille de route 2020-2022, le Conseil National du Bruit (CNB) s'engage à poursuivre et développer ces études. En 2021, l'Agence de la transition écologique (ADEME) choisit un nouveau cabinet afin d'affiner l'estimation du coût social du bruit en France et de proposer des mesures d'évitement convergentes air et bruit.

1. Source : [Rapport CNB 2016](#)

Trois critères vont être affinés et développés :

- l'élargissement du périmètre d'étude ;
- la mise à jour des méthodes d'évaluation ;
- l'amélioration du décompte des populations exposées au bruit.

En juin 2021, la publication des conclusions de cette nouvelle étude ¹ aboutit à une augmentation plus que significative du coût social du bruit en France (+98,3 Md€/an) par rapport à la première étude publiée en 2016 : 155,7 milliards d'euros par an !

3) Un enjeu de société ravivé par la crise sanitaire de 2020

Une enquête menée en juin 2020 par le Centre d'information sur le Bruit (CidB) ² montre que la période de quasi-silence due au confinement de notre société imposée par l'épidémie de la Covid-19 a eu un effet bénéfique sur la santé d'une majorité de Français, elle a néanmoins rendu nos compatriotes plus sensibles au bruit qu'auparavant.

Face à ces constatations, si certains souhaitent vouloir déménager pour vivre au calme, d'autres dessinent une nouvelle société où le télétravail serait favorisé tout comme les mobilités douces afin de diminuer les déplacements bruyants. Dans l'immédiat, ils veulent la mise en place de périodes de calme pour préserver le repos et une réactivité plus grande des maires et des forces de l'ordre (police et gendarmerie) afin de faire respecter la réglementation.

II. Le son

1) Définitions

► Le son peut être défini de deux manières :

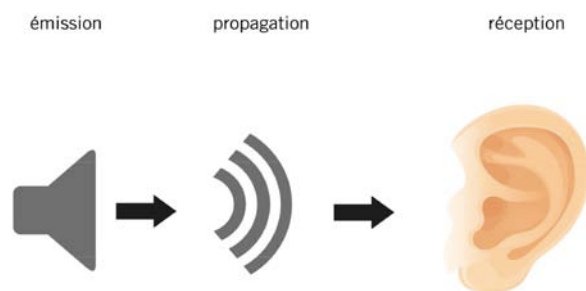
- **Manière objective** : phénomène physique d'origine mécanique consistant en une variation de pression ³, de vitesse vibratoire ou de densité du fluide, qui se propage en modifiant progressivement l'état de chaque élément du milieu considéré, donnant ainsi naissance à une onde acoustique (la propagation des ronds dans l'eau suite à un ébranlement de la surface donne une bonne représentation de ce phénomène).
- **Manière subjective** : sensation procurée par cette onde, qui est reçue par l'oreille, puis transmise au cerveau et déchiffrée par celui-ci.

1. Source : [Rapport CNB 2021](#)

2. Source : [Enquête CidB 2020](#)

3. Pour le physicien, le terme pression renvoie à une force [qui se mesure en newton (N)] exercée sur une surface donnée [mesurée en mètres carrés (m²)]. Dans le système international et depuis 1971, l'unité de mesure de la pression est le pascal (Pa). Ainsi une pression de 1 Pa correspond à une force de 1 N qui s'exerce sur une surface de 1 m². Le pascal est donc une unité de mesure caractéristique d'une faible pression. D'autres unités de mesure de la pression plus appropriées peuvent être employées. Le bar (bar) notamment qui correspond à 105 Pa. Ou encore l'atmosphère (atm) qui équivaut à 101.325 Pa. Voire même le millimètre de mercure (mmHg) qui vaut 133 Pa.

- Le son se propage dans l'air par un phénomène vibratoire et parvient jusqu'à notre oreille. La vitesse de propagation du son dépend du milieu dans lequel il est émis. Dans l'air elle est de 340 mètres par seconde (m/s), soit 1 224 km/h.



2) Caractéristiques d'un son

- Un son est caractérisé par :
 - sa **puissance**,
 - sa **hauteur**,
 - sa **durée**.

A chacune de ces caractéristiques correspond une grandeur physique :

Perception	Échelle	Grandeurs physiques	Unités
Puissance sonore	Forte Faible	Intensité (I) Pression acoustique (P) Niveau de pression acoustique (L)	Watt (W/m ²) Pascal (P) Décibel (dB)
Hauteur	Aiguë Grave	Fréquence F	Hertz (Hz)
Durée	Longue Courte	Temps t	Seconde (s)

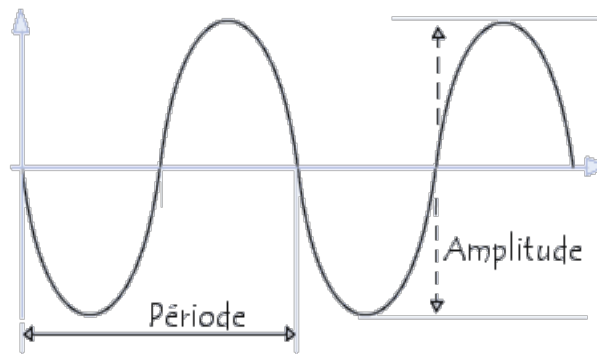
a) La puissance sonore

- **Intensité acoustique ou « intensité sonore » (I)**

L'intensité sonore est la perception du volume du son par l'oreille humaine. Développée par une source sonore, elle engendre une pression acoustique à laquelle sont sensibles nos oreilles et le sonomètre. Il s'agit du flux moyen d'énergie transmise dans une direction donnée à travers une unité de surface perpendiculaire. Son unité de mesure est le W/m².

La relation entre l'intensité sonore et la pression acoustique tient compte de l'impédance de l'air, caractéristique qui représente la résistance que l'air oppose à sa mise en vibration.

L'intensité sonore dépend de l'**amplitude** de la vibration : plus elle est importante, plus le son est fort ; plus l'amplitude est réduite, plus le son est faible.



L'**amplitude d'un son** est la mesure caractérisant l'ampleur des variations périodiques de la forme d'onde. Elle rend compte de l'écart entre ses valeurs extrêmes sur une période d'observation donnée.

Un phénomène est dit *périodique* s'il se reproduit avec les mêmes caractéristiques.

► **Pression acoustique (P, en pascal) et « niveau de pression acoustique » (L, en dB)**

La variation de pression maximale atteinte par rapport à une pression de référence s'appelle l'amplitude du son et correspond, dans le langage courant, au « volume » sonore.

Elle se calcule comme le rapport entre la pression acoustique mesurée (P) et la pression acoustique de référence (Po).

La pression acoustique de référence correspond approximativement au seuil de perception de l'oreille humaine ; il est égal à une pression acoustique de $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, ou 20 μ Pa (qui le seuil d'audibilité). Le seuil de douleur, en revanche, se situe à environ 20 Pa, soit une pression acoustique un million de fois plus élevée.

L'utilisation d'une telle échelle de nombres étant incommode, on fait appel à une échelle plus pratique pour mesurer le niveau d'intensité acoustique (L) : l'échelle logarithmique des décibels (dB), nous allons y venir.

b) **La hauteur**

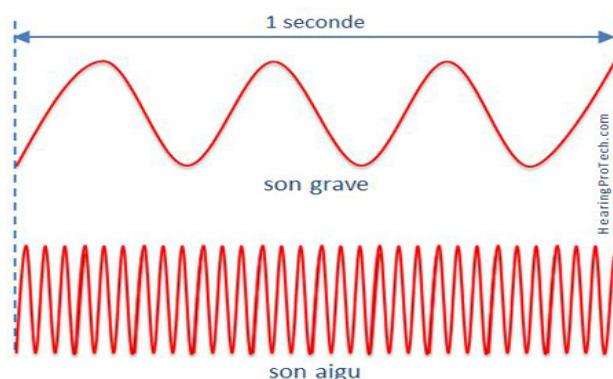
► **La hauteur d'un son est caractérisée par sa fréquence.**

Le nombre de variations de la pression acoustique, ou d'oscillations de l'onde sonore, par seconde est appelé fréquence, elle est exprimée en Hertz (Hz) : par exemple, une fréquence de 100 Hz correspond à 100 oscillations par seconde.

La fréquence est donc le nombre de fois ou un phénomène va être observé durant une unité de temps fixée.

La fréquence d'un son définit son « ton », qu'on appelle aussi sa « hauteur ».

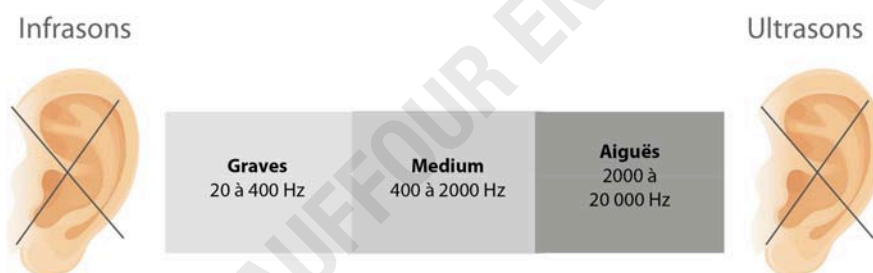
Ainsi, plus la fréquence est « haute » plus le son est aigu (sifflement) et plus la fréquence est basse plus le son est grave (grondement).



Un son composé d'une seule fréquence est appelé « son pur ».

Généralement un son est la résultante et la composition de nombreux sons purs, de fréquences et d'amplitude différentes. L'oreille humaine perçoit les sons dans une plage de fréquences qui s'échelonne de 20 à 20.000 Hz.

Fréquences audibles



Il est possible de distinguer les fréquences en fonction de la sensation de hauteur d'un son (grave ou aigu) ce qui correspond respectivement aux basses fréquences et aux hautes fréquences, avec comme catégorie intermédiaire, les fréquences moyennes :

Infrasons :

Un infrason correspond à une onde sonore ayant une fréquence inférieure à environ 20 Hz. Toutefois, il n'y a pas de consensus sur la fréquence limite qui distingue les infrasons des basses fréquences. La Commission électrotechnique internationale (CEI) a indiqué dans la norme CEI-60050-801:1994 qu'il s'agissait des oscillations acoustiques inférieures à 16 Hz. Lorsque l'intensité d'un infrason est grande, il peut être détecté comme une vibration ou une pression de l'air. L'hypothèse communément admise que les infrasons sont inaudibles est incorrecte ¹. En général, la détection des ondes sonores de fréquences inférieures à 20

1. Leventhall G (2009). Review: Low Frequency Noise. What we know, what we do not know, and what we would like to know. Journal of Low Frequency Noise, Vibration and Active Control; 28(2): 79-104.

Hz par l'humain nécessite une intensité sonore supérieure à 79 dB. À 8 Hz, le niveau de détection passe à 100 dB. Les sources naturelles d'infrasons comprennent notamment les vagues, le tonnerre et le vent. Certains pays utilisent la pondération G pour évaluer les infrasons (voir Décibel G).

Basses fréquences : Les sons de basses fréquences sont compris entre 20 et 200 Hz. Lorsque leur intensité est suffisamment élevée, la distance de propagation peut être très importante. À titre d'illustration, les basses fréquences sont souvent associées au bruit urbain causé par la circulation routière ou le transport aérien ainsi que le bruit provenant de chantiers de construction, de postes de transformation électrique, d'appareils de ventilation, de climatisation ou de compresseurs. On mesure le niveau sonore de sources de bruit qui comporte une part importante de basses fréquences au moyen des dB(C).

Les modulations de basses fréquences sont une des composantes et spécificité du bruit des éoliennes industrielles. Leurs impacts sanitaires sont encore mal connus et n'entrent pas dans le cadre de la réglementation française sur le bruit éolien.

Moyennes fréquences : Fréquences composant un son et comprises entre 200 Hz et 2 000 Hz.

Hautes fréquences : Fréquences d'un son supérieur à 2 000 Hz

► **Les bruits se composent généralement d'ensembles de multiples fréquences qu'il faut alors analyser par bandes d'octaves ou de tiers d'octaves.**

La bande d'octaves est un classement d'origine musical. Lorsqu'une fréquence est doublée ou divisée par 2 on dit qu'elle augmente ou qu'elle diminue d'une octave, exemple : 125Hz et 250Hz puis 250Hz et 500Hz.

Le spectre sonore (audible) est découpé en 10 octaves.

(voir : Le découpage du spectre audible en bandes d'octaves normalisées – page 19).

c) La durée

► **La durée d'un bruit est un élément déterminant pour sa perception, la gêne ou le plaisir qu'il provoque, sans oublier son intensité qui peut fluctuer dans le temps.**

Le dernier paramètre qui caractérise un son est sa durée d'apparition.

On distingue trois types de sons en fonction de leur durée :

- sons **continus** (ex : fontaine, chute d'eau) ;
- sons **intermittents** (ex. : passages successifs de trains) ;
- sons **impulsionnels**¹ (ex. : coup de fusil, **pâle d'une éolienne**).

1. Selon la définition de l'AFNOR, un bruit impulsionnel est : « Bruit consistant en une ou plusieurs impulsion(s) d'énergie acoustique, ayant chacune une durée inférieure à environ 1 s et séparée(s) par des intervalles de temps de durée supérieure à 0,2 s. »

3) Le sens de l'ouïe et physiologie de la perception sonore

a) Fonctionnement de l'oreille humaine

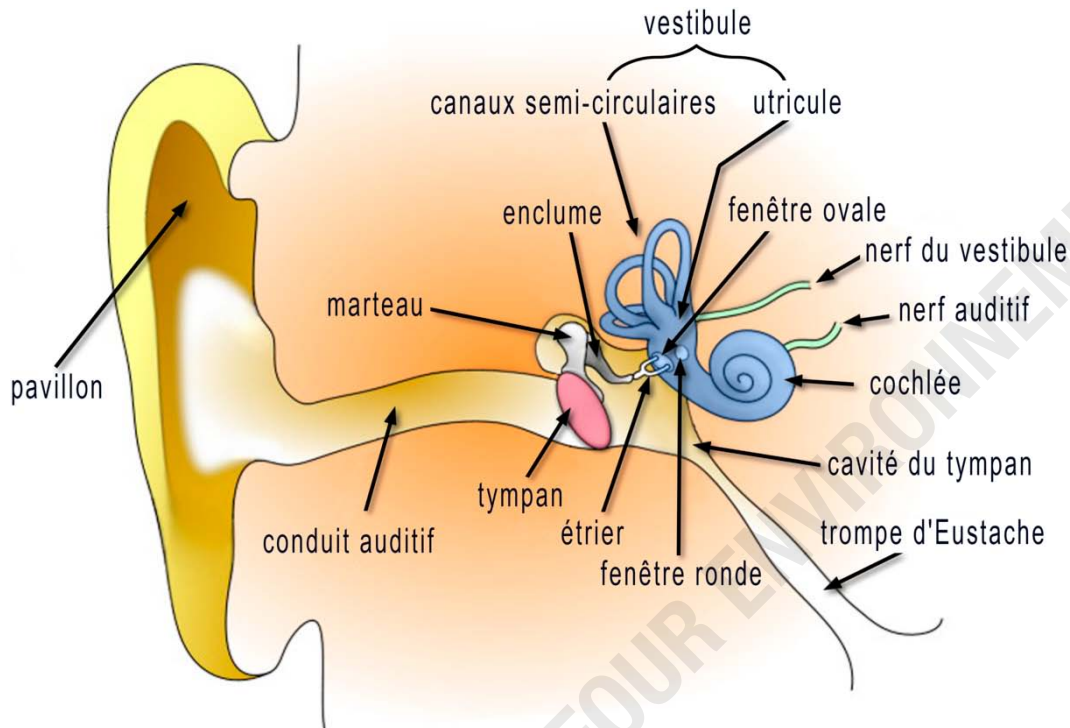


Schéma de l'oreille humaine

Les ondes sonores arrivent sur le tympan qu'elles font vibrer.

Ces vibrations sont transmises, via les osselets, à la fenêtrée ovale.

Après la fenêtrée ovale, les ondes sont transmises à l'endolymphe et à la membrane basilaire de la cochlée, sur laquelle se trouvent des cellules ciliées. Ce sont des cellules sensorielles (il y a des cellules externes et des cellules internes correspondant au total à environ 35 000 fibres nerveuses) qui ont des courbes de sensibilité différentes aux différentes fréquences : les cellules les plus proches de la base de la cochlée ont un pic de sensibilité pour les sons les plus aigus, tandis que les cellules les plus proches de son extrémité ont un pic de sensibilité pour les sons les plus graves, c'est la tonotopie cochléaire.

Rappelons que les sons perçus par l'oreille humaine varient entre 20 Hz et 20 kHz environ.

b) La perception des fréquences

► Comparaison avec la perception visuelle

Pour percevoir les couleurs (c'est-à-dire les fréquences des ondes qui lui parviennent), l'œil humain dispose de cellules spécifiques à la vision colorée : les cônes. Ceux-ci sont de trois sortes (trivariance visuelle chez l'homme). De ce fait, l'information sur le spectre d'une lumière polychromatique va être traduite, par les cônes, par trois paramètres seulement. C'est pour cela que deux lumières différentes (c'est-à-dire de spectres différents) peuvent nous sembler avoir la même couleur, si l'impression qu'elles font sur les cônes est identique. Nous percevons l'essentiel des lumières polychromatiques comme des lumières monochromatiques d'une certaine fréquence, d'intensité variable, et plus ou moins « lavées de blanc ».

Les lois d'addition des couleurs sont l'illustration de ces limitations de l'œil : la somme de deux lumières de couleurs différentes est perçue comme une troisième couleur. Nous ne pouvons pas percevoir les fréquences composant le mélange, mais seulement une fréquence dont l'effet est équivalent pour nos yeux.

► L'oreille humaine : un discriminateur haute définition de fréquences

A contrario, l'oreille dispose de milliers de cellules ciliées de sensibilité différente. Ces nombreuses cellules permettent une bien plus grande discrimination en fréquence que les trois sortes de cônes de l'œil.

Nous sommes ainsi en mesure de distinguer un son « pur » (composé d'une seule fréquence) d'un son composé de nombreuses fréquences.

C'est pourquoi nous pouvons distinguer des instruments différents jouant la même note à leur timbre (qui correspond à la richesse spectrale du son émis par l'instrument), ou que nous savons distinguer un accord d'une note isolée.

Les orchestres n'auraient plus grand sens si un mélange de notes était perçu comme une note unique.



Ainsi, l'oreille ne perçoit pas seulement une « résultante » de l'ensemble des fréquences composant un son mais est capable d'entendre le spectre d'un mélange de plusieurs fréquences sonores. Contrairement à l'œil qui ne voit qu'une « résultante » du spectre des fréquences lumineuses qui lui parvient (la couleur), **l'oreille sait donc faire la différence entre divers mélanges de fréquences sonores**, ainsi qu'entre un son composé de plusieurs fréquences et un son « pur ».

III. Le bruit

« L'organisme humain ne s'habitue pas au bruit. »

Il ne s'agit plus ici de décrire un phénomène avec les outils de la physique mais de saisir l'interprétation qu'un individu fait d'un événement ou d'une ambiance sonore.

Pendant longtemps, on a considéré que le bruit n'agissait que sur le système auditif. On sait maintenant que, même à faible dose, il peut aussi nuire au bien-être des individus et perturber l'organisme. En effet, dès qu'ils sont perçus comme dérangeants, qu'ils déclenchent un stress ou qu'ils entravent la communication, même des bruits de faible intensité peuvent avoir une répercussion sur la santé.

1) Évaluer la « puissance sonore » : les décibels

a) La non-linéarité de la perception auditive

Pour exprimer le fait qu'un son soit plus ou moins fort ou plus ou moins faible, le langage courant utilise les termes de « intensité », « volume », « force ».

Pourtant, aucun de ces termes ne convient rigoureusement, car ces mots s'appliquent déjà à la mesure d'autres échelles de grandeurs : le volume d'un cube, d'une sphère ; la force d'attraction gravitationnelle ; l'intensité d'un courant électrique, etc.

Dès lors, il a fallu trouver un terme spécifique pour évaluer l'impression physiologique de « puissance sonore ».

Phénomène surprenant, il se trouve que la sensation auditive de « volume » (fort ou faible) d'un son augmente ou diminue dans une mesure moindre que celle de la puissance (mesurée en watts par m^2) déployée pour le produire.

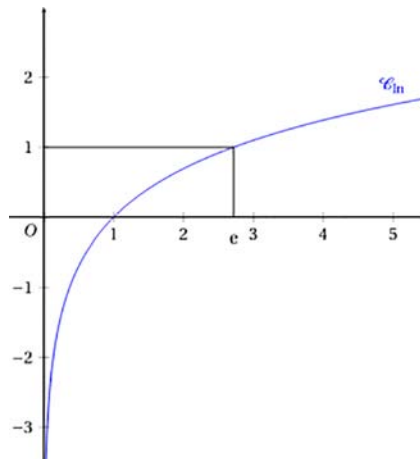
C'est étrange mais c'est pourtant ainsi que notre cerveau interprète les informations sonores que lui transmettent nos oreilles.

Les pionniers du téléphone (brevet déposé par Graham Bell en 1876) ont été les premiers à s'en rendre compte : certains abonnés aux premières lignes téléphoniques se plaignaient que le son de l'écouteur était trop faible. Les compagnies augmentèrent alors la puissance des lignes mais leurs clients maintinrent que le son était encore trop faible.

b) Une unité de mesure non linéaire du niveau d'intensité sonore : le bel (B) et le décibel (dB)

Si l'on continua à mesurer l'intensité sonore (I) fournie aux appareils électriques en watts par m^2 (W), il fallut donc trouver une autre échelle d'évaluation pour décrire la réalité des impressions sonores : le « niveau d'intensité sonore » (dB). Et particulièrement, trouver **une fonction mathématique dont la valeur** (l'intensité de la sensation sonore perçue) **augmente peu quand la variable** (la puissance engendrant le son) **augmente beaucoup, et inversement.**

L'échelle logarithmique convenait tout particulièrement à cette application.



Représentation graphique de la fonction logarithme népérien

Elle conduisit à la définition d'un nouvel indicateur : le bel (hommage à Graham Bell) et son sous-multiple, le décibel, abrégé dB, traduisant une grandeur qui augmente peu quand la variable augmente beaucoup.

$$1 \text{ bel (B)} = 10 \text{ décibels (dB)}$$

c) L'échelle logarithmique

Dans le cas le plus simple, le logarithme compte le nombre d'occurrences du même facteur dans une multiplication répétée : par exemple, si l'on donne au nombre « X » la valeur 1000, comme $1000 = 10 \times 10 \times 10 = 10^3$, le logarithme en base 10 (e) de 1000 sera 3.

Le logarithme de « X » en base « e » est noté : $\log_e (X)$

$$\text{Ainsi : } \log_{10}(1000) = 3$$

Le logarithme d'un nombre « X » peut donc aussi être défini comme la puissance à laquelle il faut élever la base « e » pour obtenir « X ».

En base décimale, il n'est plus nécessaire d'indiquer la valeur de « e ».

$$\text{On note alors : } \log 1000 = 3 \text{ est équivalent à } 1000 = 10^3$$

L'utilisation de telles fonctions permet de faciliter les calculs comprenant de nombreuses multiplications, divisions et élévations à des puissances rationnelles.

d) Mesurer le gain et/ou l'atténuation de « puissance » sonore

Cette notion d'échelle logarithmique contrarie les capacités de compréhension de la plupart des gens qui considèrent que le bruit s'incrémente et se mesure de façon linéaire. C'est pourtant bien une erreur !

Il ne faut donc pas confondre : l'intensité sonore, notée I (en W/m^2) et le niveau d'intensité sonore, noté L (en dB).

- L'amplification de puissance, mesurant l'intensité sonore (en watt par m²) est le rapport de la puissance d'arrivée (P₂) divisé par celui de la puissance de départ (P₁), soit :

$$\text{Amplification (en watt)} = P_2/P_1$$

L'amplification, comme tout rapport, n'a pas d'unité. On dit que c'est un nombre sans dimension.

- Le gain ou l'atténuation, mesurant le niveau d'intensité sonore (en décibel) n'est pas la valeur de l'amplification de puissance lui-même, mais bien son logarithme, soit :

$$\text{Gain (en bel)} = \log (P_2/P_1)$$

On lui donne ce nom « gain », ou à l'inverse « d'atténuation », pour le différentier de l'amplification de puissance.

« Comprendre avec un exemple... »

En manipulant le potentiomètre d'une chaîne Hi-Fi, on fait passer la puissance sonore de 20 à 40 W, en la doublant donc.

L'augmentation mesurée en dB (plus précisément le gain) sera alors de :

$$\log (40/20) = \log 2 = 0,301 \text{ (bels)} = \mathbf{3 \text{ dB}}$$

De même, en diminuant par deux la puissance de la source sonore, l'atténuation obtenue serait de 3 dB.



La sensation auditive ne varie donc pas dans les mêmes proportions que la variation du niveau sonore. Ainsi, une différence de 3 dB en plus ou en moins (énergie sonore x 2) sera perceptible mais il faudra un écart de 10 dB (énergie sonore x 10) pour ressentir une impression de bruit deux fois plus fort ou deux fois moins fort (sauf pour les infrasons et les basses fréquences où le ratio est plus faible).

2) La mesure du bruit

La mesure physique la plus simple consiste à déterminer à l'aide d'un sonomètre le niveau de pression acoustique. La pression acoustique est ainsi transformée en un signal électrique, comparable en amplitude et en fréquence au phénomène acoustique.

Le signal électrique peut être conditionné, échantillonné et traité de manière à caractériser le bruit mesuré. On peut ainsi par exemple déterminer des valeurs acoustiques exprimées en dB(A), effectuer des analyses fréquentielles, des analyses statistiques, intégrer le signal sur une durée déterminée...

a) Correspondance entre le niveau d'intensité sonore (dB) et l'intensité sonore (watt par m²)

Nous l'avons vu, le calcul du niveau d'intensité sonore est donné par la formule :

$$L = 10 \log I/I_0$$

Où :- « L » est le niveau d'intensité sonore (en dB)

- « I » est l'intensité sonore (en W/m²)

- « I₀ » est l'intensité sonore de référence correspondant au seuil d'audibilité (en W/m²)

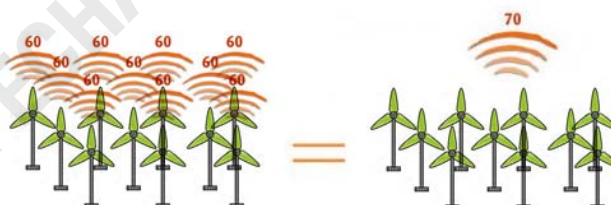
- « I0 » est une constante de $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$

- Une augmentation du niveau sonore de 3 dB correspond à un doublement de l'énergie sonore. Ainsi :

Augmentation/diminution du « niveau d'intensité sonore » de :	Multiplication/division de « l'intensité sonore » par :
3 dB	2
5 dB	3
6 dB	4
7 dB	5
8 dB	6
9 dB	8
10 dB	10
20 dB	100



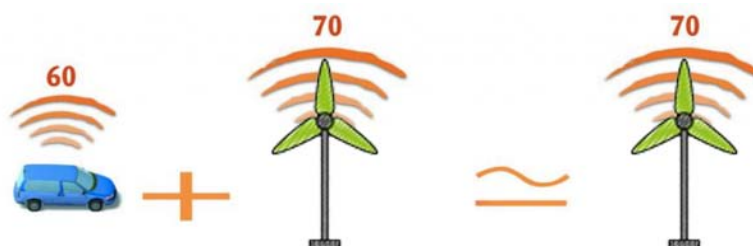
L'addition de 2 bruits d'un niveau de 60 dB chacun n'équivaut pas à 120 dB mais à 63 dB.



Un bruit qui passe d'un niveau d'intensité de 60 dB à 70 dB représente une augmentation de 10 fois l'intensité sonore.

b) L'effet de masque


- Lorsqu'il y a plus de 10 dB d'écart entre 2 sources sonores, on ne perçoit plus que la source qui a le plus fort niveau. C'est « l'effet de masque ».



*Quand un bruit de 60 dB et un bruit de 70 dB se font entendre simultanément
c'est le bruit de 70 dB qui occupera tout l'espace sonore*

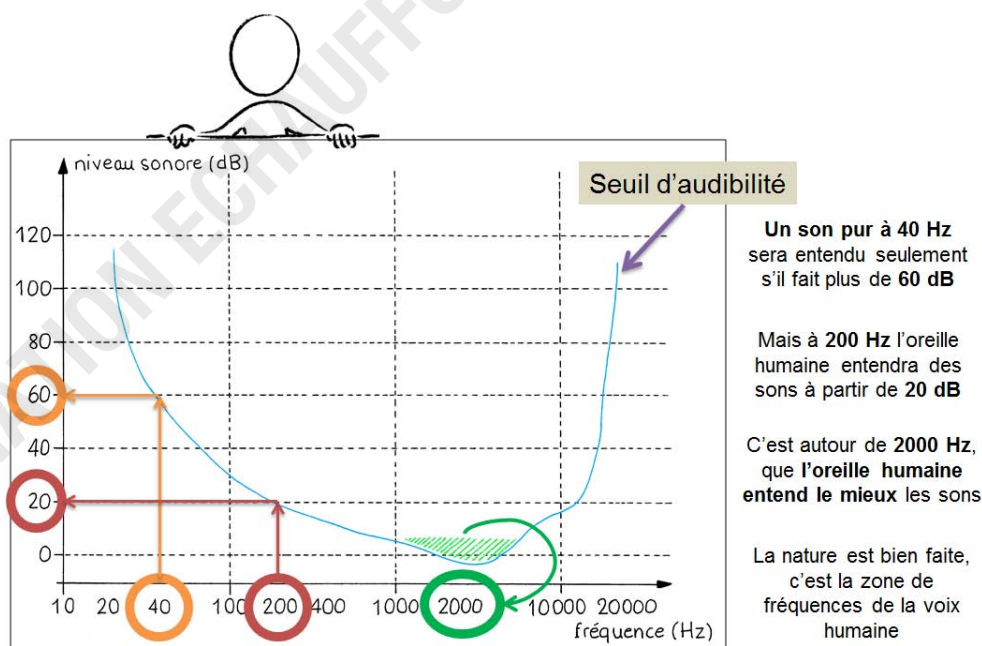
L'effet de masque est bien connu dans le domaine du bruit en milieu professionnel.

Pour réduire les nuisances sonores, notamment dans les bureaux collectifs, certains fabricants font actuellement la promotion de nouveaux systèmes de masquage sonore. L'INRS dans une étude de 2018¹ met en garde les entreprises et les salariés contre ces dispositifs qui ne réduisent pas le volume sonore mais au contraire, diffusent un bruit supplémentaire. Si la publicité réalisée autour de ces systèmes de masquage parle de « bulle de silence », « contre-son » ou « contre-bruit » pour décrire leur effet, ce ne sont que des arguments commerciaux.

 En revanche, en matière éolien, l'effet de masque a pour conséquence, dès lors que les émergences sonores des machines dépassent 10 dB, que leurs nuisances acoustiques s'imposent et occupent alors tout l'espace sonore.

c) Les décibels pondérés dB(A)

- De tout ce qui précède, les bruits sont caractérisés par des grandeurs physiques, pression, intensité, puissance, fréquence, spectre... Or, l'individu ne perçoit pas des sons de fréquences différentes de la même façon. Il entend moins bien les sons de fréquences graves que ceux de fréquences moyennes ou aiguës et reste relativement plus sensible aux fréquences comprises entre 800 et 4000 Hz, qui correspondent à celles de la voix humaine et principalement de nos conversations.



Ce graphique montre bien que l'être humain perçoit les sons de basse fréquence dès lors que le niveau sonore est suffisamment élevé : 40 Hz sont perçus dès 60 dB

1. <https://www.inrs.fr/dms/inrs/Presse/presse-2018/INRS-communication-Hiroshima-FR/INRS-communication-Hiroshima-FR.pdf>

- Afin de tenir compte de la sensibilité différenciée de l'oreille humaine selon les fréquences, les instruments de mesure doivent « filtrer » (ou pondérer) le son pour fournir des données reflétant ces différences physiologiques de perception.

Des « filtres de pondérations fréquentielles » ont été établis à cet effet. Ils appliquent, à chaque bande de fréquence considérée, un facteur correctif au niveau de pression acoustique (en décibels) afin d'obtenir un spectre fréquentiel qui corresponde à la sensibilité physiologique de l'oreille.

Il existe plusieurs filtres de pondération, dont notamment ceux dénommés A, B et C. Les mesures effectuées avec ces filtres sont exprimées, suivant le cas, en dB(A), dB(B) et dB(C)... :

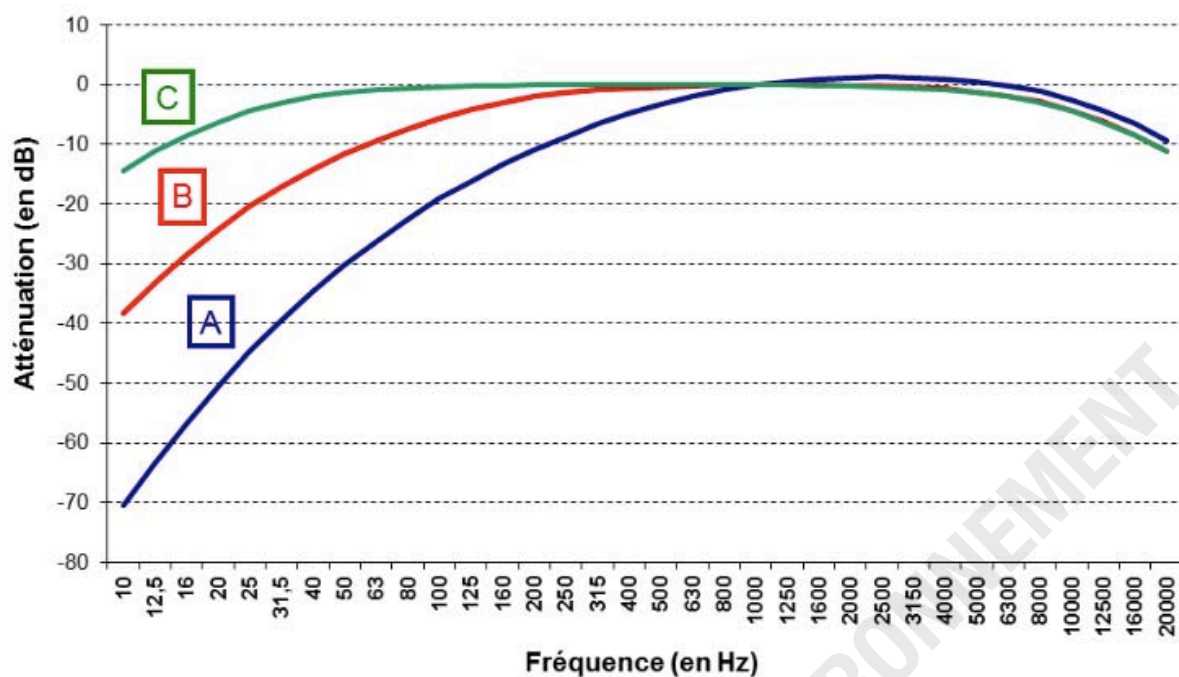
- Le filtre A équivaut à des sensations perçues dans les niveaux sonores faibles de 25 à 55 dB.
- Le filtre B équivaut à des sensations perçues dans les niveaux sonores moyens de 55 à 85 dB.
- Le filtre C équivaut à des sensations perçues dans les niveaux sonores élevés de 85 à 100 dB.
- Dans le cas de la pondération G, on tient surtout compte des fréquences infrasonores entre 10 et 20 Hz, tandis que les fréquences inférieures et supérieures sont ignorées. Les valeurs du niveau sonore en dB(G) sont parfois utilisées pour évaluer en particulier la gêne provoquée par des infrasons, par exemple de turbines éoliennes.
- Parfois, aucune correction n'est appliquée, seule la pression acoustique pure est mesurée (pour les ultrasons, infrasons).

- Toutes ces pondérations de fréquences sont définies par les normes suivant lesquelles les instruments de mesure de bruit sont conçus. Par exemple, les pondérations de fréquence utilisées par un sonomètre seront définies par IEC 61672:2003 (BS EN 61672-1:2003).

Cette norme détermine la performance et les tolérances aux courbes de pondérations fréquentielles utilisées.

Par exemple :

Fréquences (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	16000
Pondération A (dB)	- 26.2	- 16.1	- 8.6	- 3.2	0	+ 1.2	+ 1.0	- 1.1	- 6.6
Pondération C (dB)	- 0.8	- 0.2	0	0	0	- 0.2	- 0.8	- 3.0	- 8.5



Courbes donnant le comportement des différents filtres A, B et C

Le filtre A — dB(A) est le plus couramment utilisé pour les mesures de bruit dans l'environnement et en milieu industriel. Il offre, en général, une bonne corrélation entre le phénomène physique qu'est le bruit et la sensation ressentie par une personne. Il est considéré comme **représentatif de la perception humaine au niveau conversationnel**.



Pourtant, l'oreille humaine, même si elle y attache une plus grande attention, est sensible à une gamme de fréquences beaucoup plus large que celles de la seule conversation. C'est ce qui fait toute la richesse et la finesse du sens humain de l'ouïe.

Les mesures acoustiques effectuées en dB(A) ne permettent donc pas de rendre compte adéquatement de tous les effets d'une exposition au bruit.

La pondération « C » — dB(C), devrait être utilisée pour tenir compte de la sensibilité différente de l'oreille humaine pour les basses fréquences (qui sont précisément une des composantes et spécificité du bruit des éoliennes industrielles), mais aussi pour **rendre compte des bruits impulsionnels¹ provenant d'un événement isolé** (celui précisément d'une pale d'éolienne passant devant le mât). La pondération « C » accorde plus d'importance aux basses fréquences et mesure des sons de forte intensité ayant une forte amplitude.

Pourtant les mesures acoustiques en matières éoliennes sont exclusivement réalisées en appliquant la pondération « A » - dB(A).

1. Selon la définition de l'AFNOR, un bruit impulsionnel est : « Bruit consistant en une ou plusieurs impulsion(s) d'énergie acoustique, ayant chacune une durée inférieure à environ 1 s et séparée(s) par des intervalles de temps de durée supérieure à 0,2 s. »

d) Le découpage du spectre audible en bandes d'octaves normalisées.

Jusqu'à maintenant, nous n'avons considéré que des sons purs correspondant à une énergie acoustique à une fréquence déterminée. En réalité, **en acoustique, les bruits sont des mélanges complexes de sons de fréquences différentes.**

Pour les analyser, il serait trop long et souvent inutile de mesurer le niveau de pression acoustique (dB) pour chaque fréquence (Hz). On utilise donc des filtres qui permettent de mesurer le niveau de pression acoustique dans des intervalles de fréquence d'une octave et/ou d'un tiers d'octave.

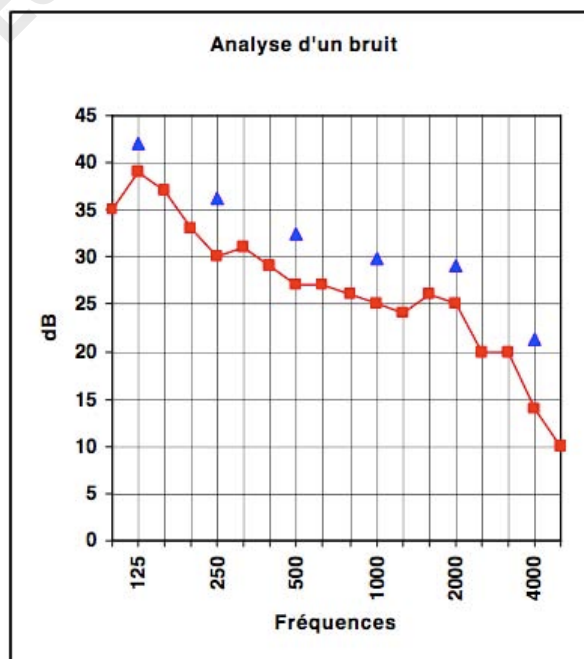
L'octave est l'intervalle entre deux fréquences telles que l'une est le double de l'autre : par exemple celui entre 100 et 200 Hz.

Les bandes d'analyse sont normalisées (norme NF S 30 002). On utilise le plus souvent les fréquences comprises entre la bande d'octave centrée sur 125 Hz et celle centrée sur 2000 Hz ou 4000 Hz. Pour les analyses par bandes de tiers d'octave, les fréquences utilisées sont comprises entre le tiers d'octave centré sur 100 Hz et le tiers d'octave centré sur 3150 Hz ou celui centré sur 5000 Hz :

FREQUENCES MEDIANES DES INTERVALLES DE TIERS D'OCTAVE (en Hz)																	
100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
125			250			500			1000			2000			4000		
FREQUENCES MEDIANES DES INTERVALLES D'OCTAVE (en Hz)																	

Les intervalles d'octave et de tiers d'octave utilisés pour l'analyse des bruits

Ainsi, on mesure en une seule fois toute l'énergie acoustique contenue dans chaque intervalle. On affecte le résultat sous la forme d'un niveau sonore (de pression acoustique, d'intensité acoustique ou de puissance acoustique) en décibels à la fréquence médiane de l'intervalle.



Analyse d'un même bruit en **octaves** et en **tiers d'octave**

En règle générale, on utilise les intervalles de tiers d'octave pour des mesures en laboratoire et les intervalles d'octave pour celles in situ.

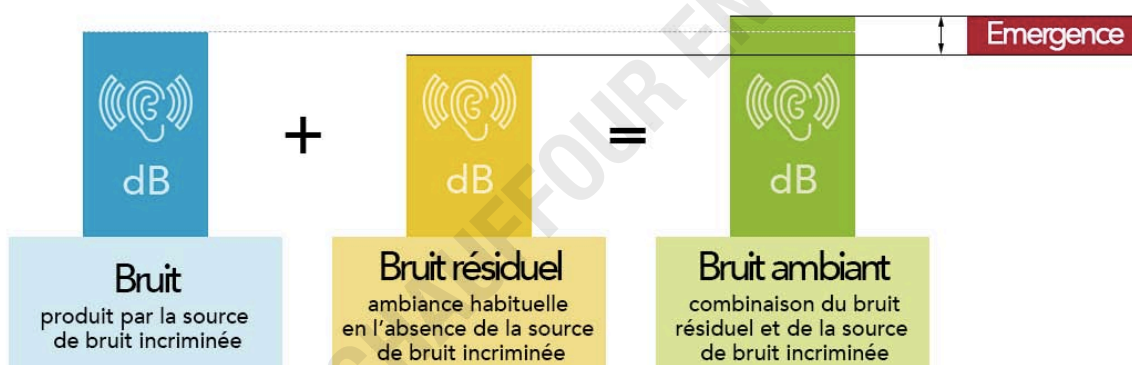
3) Les émergences globales et spectrales

L'appréciation du bruit peut se faire selon deux techniques qui devraient être complémentaires : **émergence globale** et **émergence spectrale**.

a) L'émergence globale

- ▶ La mesure de l'émergence globale prend en compte toutes les fréquences.

L'article R 13-36-9 du code de santé publique définit l'émergence de la manière suivante : « *L'émergence est définie par la différence entre le niveau de bruit ambiant, comportant le bruit particulier en cause, et celui du bruit résiduel constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, dans un lieu donné, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement normal des équipements.* »



« Comprendre avec un exemple... »

Monsieur et Madame X habitent à proximité de cinq éoliennes dont la plus proche est à 540 m de leur habitation. Des mesures de bruit sont effectuées entre 7h et 19h : le niveau d'intensité sonore du milieu ambiant, mesuré éoliennes en marche, est de 52 dB(A). Les éoliennes sont mises à l'arrêt, le bruit résiduel mesuré alors est de 32 dB(A).

L'émergence globale s'élève donc à : 52 dB(A) – 32 dB(A) = 20 dB(A).

Ce qui correspondrait à une multiplication par 100 de l'intensité sonore !

b) L'émergence spectrale

La loi « Bruit » ou loi « Royal » du 31 décembre 1992 est le premier texte global et fondateur en matière de bruits de voisinage. Elle instaure notamment des mesures de prévention des émissions sonores et règlemente certaines activités bruyantes. Ce texte a été complété par le décret n°2006-1099 du 31 août 2006 relatif à la lutte contre les bruits de voisinage (évolution du décret du 18 avril 1995) qui est venu modifier le code de la santé publique.

La particularité de ce décret est qu'il impose le respect de ces niveaux par bande de fréquences. Pour cela, on définit l'**émergence spectrale** comme la différence entre le niveau de bruit ambiant dans une bande d'octave normalisée, comportant le bruit particulier en cause, et le niveau de bruit résiduel dans la même bande d'octave, constitué par l'ensemble des bruits habituels, extérieurs et intérieurs, dans un lieu donné, correspondant à l'occupation normale des locaux et au fonctionnement normal des équipements ¹.

- ▶ L'émergence spectrale correspond à la différence entre le niveau du bruit ambiant et le niveau du bruit résiduel par bande d'octave.

Il s'agit d'un critère complémentaire à l'émergence globale, qui est à rechercher si un bruit particulier se manifeste à une fréquence spécifique (dans une bande d'octave) et que l'on désire le caractériser et/ou le filtrer.

La mesure de l'émergence spectrale prend donc en compte une bande d'octave particulière. Les bandes d'octaves réglementaires sont : 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz et 4000 Hz.

L'article R.1334-34 du code de la santé publique fixe des valeurs limites pour les émergences spectrales :

- 7 dB dans les bandes d'octaves normalisées centrées sur 125 Hz et 250 Hz ;
- 5 dB dans les bandes d'octaves normalisées centrées sur 500 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz et 4000Hz.



Avec l'arrêté ministériel du 26 août 2011, la notion d'émergence spectrale disparaît de la réglementation applicable aux ICPE éoliennes bien qu'elle reste toujours présente dans les articles R. 1334-32 à R. 1334-34 du code de la santé publique. L'arrêté précise seulement de surveiller la présence de tonalité marquée ² qui ne doit pas apparaître plus de 30% du temps. **Cette nouvelle réglementation dispense donc désormais les éoliennes de tout contrôle d'émergences dans les basses fréquences qui restent pourtant un des facteurs de gêne principaux pour les riverains des machines.**

1. [Article R1336-8](#) du Code de l'environnement.

2. La « tonalité marquée » consiste à mettre en évidence la prépondérance d'une composante fréquentielle. Cette notion est définie par l'arrêté du 23 janvier 1997 relatif aux mesures de bruit des ICPE.

« Dans le cas où le bruit particulier de l'établissement est à tonalité marquée au sens du point 1.9 de l'annexe du présent arrêté, de manière établie ou cyclique, sa durée d'apparition ne peut excéder 30 % de la durée de fonctionnement de l'établissement dans chacune des périodes diurne ou nocturne définies dans le tableau ci-dessus. »

L'article 1.9. de cet arrêté dit que la tonalité marquée est détectée dans un spectre non pondéré de tiers d'octave quand la différence de niveau entre la bande de tiers d'octave et les quatre bandes de tiers d'octave les plus proches (les deux bandes immédiatement inférieures et les deux bandes immédiatement supérieures) atteint ou dépasse les niveaux indiqués ci-après pour la bande considérée :

- 10 dB entre 50 Hz et 315 Hz
- 5 dB entre 400 Hz et 1250 Hz
- 5 dB entre 1600 Hz et 8 kHz

IV. Évaluation de la gêne acoustique et mesures des nuisances sonores


1) Les indicateurs de gêne

Mesurer les sons pour caractériser les bruits :

- ▶ Il existe un grand nombre de méthodes d'analyses scientifiques, de paramètres et d'indicateurs pour caractériser le bruit. Cette diversité s'explique par la complexité du phénomène physique et par la difficulté d'objectiver la gêne ressentie par l'individu.

Comme exposé dans notre dossier, un bruit est un phénomène physique caractérisé notamment par son niveau de pression acoustique, par sa composition fréquentielle et par sa durée. **Ces paramètres constituent les composantes objectives du bruit.**

Pour tenir compte d'une certaine sensibilité de l'oreille humaine, ces paramètres physiques sont pondérés par un « filtre fréquentiel » (A, B, C...) discriminant, introduisant une première approche de la notion de gêne subie par l'individu.

 **Mais un indicateur performant ne doit pas se limiter à caractériser la gêne à partir du seul niveau de pression acoustique, de sa durée et de son spectre de fréquences. D'autres caractéristiques constituent des paramètres qu'il est essentiel d'intégrer dans un indice de gêne.**

Par exemple, un individu exposé pendant un certain temps à une source de bruit « absorbe » une « dose » de bruit caractérisée par un temps d'exposition. **Un indice de gêne peut dès lors intégrer cette caractéristique.**

- ▶ Un indicateur de gêne est toujours défini en liaison avec des seuils de gêne. A chaque seuil correspond un niveau de gêne spécifique : gênant, très gênant, insupportable, etc.

Un indicateur de gêne doit intégrer, en plus des composantes objectives, plusieurs critères majeurs :

- offrir une **évaluation correcte** des effets du bruit sur la santé ;
- offrir une **facilité d'utilisation** et de manipulation ;
- être d'une **simplicité suffisante pour être accessible au public.**

De plus, il doit rester **cohérent** avec la pratique dans le domaine.

- ▶ Les indicateurs de gêne sont divisés en quatre groupes :

- **énergétiques** (LAeq, Lden, etc.) ;
- **statistiques** (L10, L50, L90, etc.) ;
- **de crête** (LMax, LMin, etc.) ;
- **d'événements** (émergences, SEL, etc.).

Chacun de ces indicateurs a ses forces et ses limites. C'est pourquoi il faut recourir à plus d'un indicateur pour décrire les situations d'exposition au bruit environnemental.

On distingue deux grandes catégories d'indicateurs de bruit, à savoir :

- les **indicateurs globaux** introduisant une notion d'exposition « moyenne » sur une période de temps déterminée ;
- les **indicateurs événementiels** représentatifs d'évènements acoustiques à caractère ponctuel.

a) Les indicateurs de gêne globaux

- Le niveau acoustique continu équivalent LAeq-1s

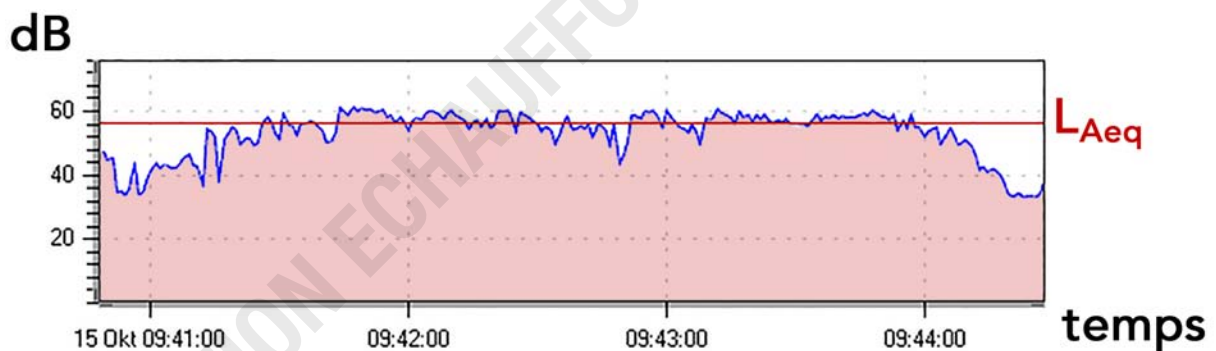
- ▶ Le « niveau acoustique continu équivalent » pondéré A décrit l'exposition cumulée à tous les événements sonores survenus au cours d'une période d'observation :

« L » = Level
 « A » = pondération A dB(A)
 « eq » = équivalent
 « 1s » = durée de la mesure

Il est équivalent, d'un point de vue énergétique, à un bruit permanent et continu qui aurait été observé au même point de mesure et durant la même période.

Le LAeq,t correspond donc à une « dose de bruit » moyenne reçue pendant une durée de temps (t) déterminée.

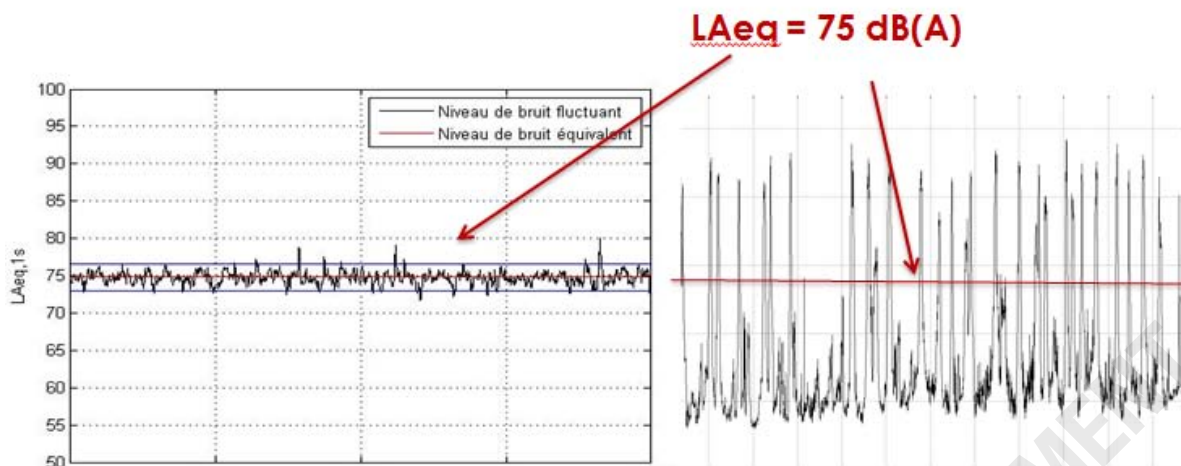
Il est le résultat du calcul de l'intégrale des niveaux sonores relevés à intervalles réguliers (échantillonnage de 1, 2, ... n fois par seconde) et pour une période de temps donnée, t (10 min, 1 heure, 24 h, ...). Si l'échantillonnage a été effectué avec une pondération fréquentielle (A par exemple), le niveau équivalent, sera alors exprimé en dB(A) et symbolisé par **LAeq,t**.



Sur ce graphique d'une mesure de niveau sonore dans le temps (T), l'aire rouge sous la courbe bleue représente l'énergie mesurée sur la durée T.

La ligne rouge horizontale tracée pour représenter la même surface sous la courbe bleue, nous donne le LAeq : c'est la valeur équivalente ou la moyenne de l'énergie totale reçue sur la durée t (ensemble du graphique).

- ▶ Cet indicateur est très régulièrement utilisé comme indicateur de gêne dans les domaines du bâtiment, du travail et environnemental. On observe en effet, globalement, une bonne corrélation entre cette valeur et la gêne auditive ressentie par un individu exposé au bruit.
- ▶ Mais, si les indicateurs énergétiques comme le LAeq permettent de traduire correctement la dose de bruit globale reçue par un individu au cours de sa journée, **ils ne permettent en revanche pas de faire la distinction entre une situation d'exposition à un bruit relativement continu et une exposition à une succession de pics de bruit qui représenteraient au final la même énergie.**



2 situations sonores bien différentes mais pourtant le même résultat en LAeq

! Cet indicateur de niveau montre des faiblesses évidentes en **gommant les pics d'amplitude de courte durée** observés durant la période considérée. C'est pourquoi, d'autres indicateurs de type « événementiels » doivent également être utilisés. Cet indicateur ne peut être pertinent pour la santé publique que lorsqu'il est basé sur une durée adéquate et qu'il peut être finement détaillé (nous reviendrons sur ce point au chapitre concernant le protocole de mesure des impacts acoustiques éoliens).

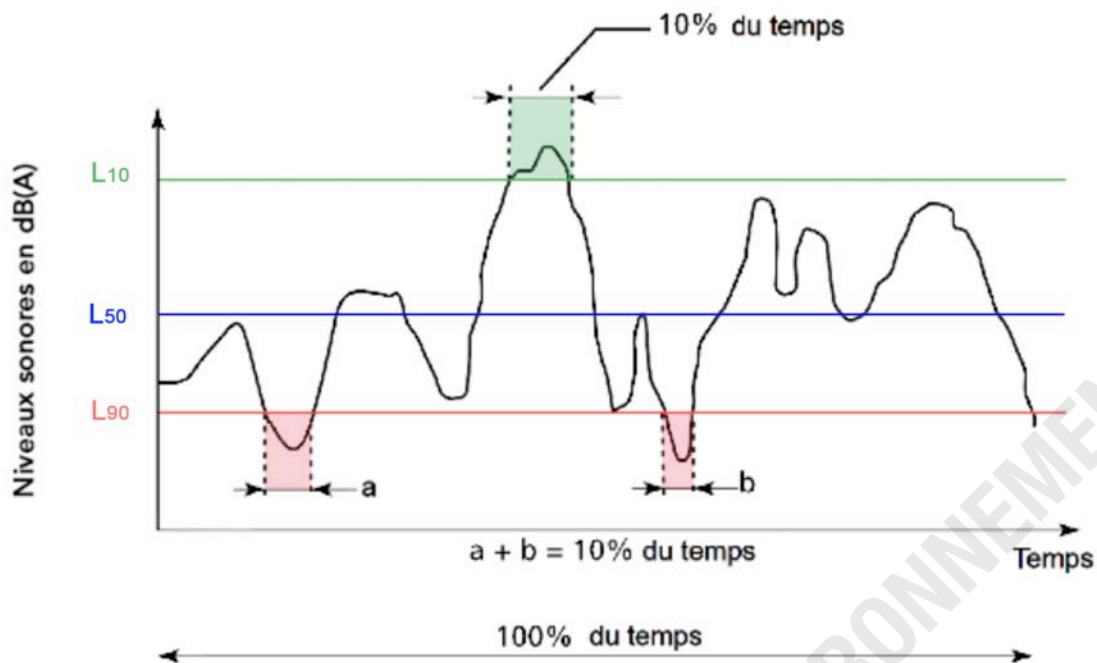
- Les niveaux fractiles¹ : L_{50} , L_{10} , L_{90} ...

- ▶ Le niveau fractile L_x correspond au niveau sonore dépassé x % du temps de la période d'observation.

Exprimé en dB, il est symbolisé par le paramètre L_x : 1 % (L_1), 10 % (L_{10}), 90 % (L_{90}), 95 % (L_{95}) ou 99 % (L_{99}) du temps de mesure. Ils sont aussi utilisés avec la pondération « A » (ex. : L_{A5} , L_{A10}).

Comme pour les niveaux équivalents, les niveaux fractiles sont déterminés sur la base de niveaux sonores relevés à intervalles réguliers (échantillonnage) et pendant une période donnée. L'analyse statistique consiste à classer l'ensemble des échantillons ainsi récoltés en fonction de leur niveau et à calculer la durée, exprimée en %, où le niveau de bruit donné a été dépassé.

1. Fractile : (*Statistiques*) Valeur d'une fonction de répartition d'une variable aléatoire pour laquelle une certaine fraction de l'échantillon se trouve en-dessous.



Les indicateurs L_{10} et L_{90} correspondent aux niveaux sonores dépassés durant respectivement 10% et 90% du temps de mesure.

Les indicateurs L_{10} et inférieurs sont souvent utilisés pour représenter des bruits de courte durée, intermittents et/ou impulsionnels (bruits industriels, trains, avions, éoliennes, etc.).

Inversement, les indicateurs L_{A90} caractérisent les moments les plus silencieux de la période de mesure et sont représentatifs du bruit de fond.

- ▶ Les indicateurs L_{90} et L_{95} servent à dégager le bruit ambiant.
- ▶ Les indicateurs L_1 , L_5 ou L_{10} servent à quantifier des bruits particuliers, des événements ponctuels. Ils permettent de dégager les niveaux de pointe.

⚠ Ainsi, l'indicateur L_{A50} correspond aux niveaux sonores, pondérés en dB(A), atteints ou dépassés durant 50% du temps de mesure. C'est donc bien une **médiane** des niveaux sonores sur une période donnée, qui permet d'**atténuer significativement le niveau des bruits modulés et principalement tous ceux de nature impulsionnelle**¹ (pales d'éoliennes).

Rappelons que la **norme officielle AFNOR NF S 31-010**² impose de calculer l'émergence acoustique entre deux types similaires d'indices. **Il est proscrit de calculer l'émergence acoustique d'un bruit particulier entre un indice de niveau continu équivalent ($L_{Aeq,T}$) et un indice fractile (L_x).**

1. Selon la définition de l'AFNOR, un bruit impulsionnel est : « Bruit consistant en une ou plusieurs impulsion(s) d'énergie acoustique, ayant chacune une durée inférieure à environ 1 s et séparée(s) par des intervalles de temps de durée supérieure à 0,2 s. »
2. Norme NF S 31-010 « Acoustique – Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement – Méthodes particulières de mesurage » de 1996 a été élaborée au sein de la Commission de Normalisation S30J « Bruit dans l'environnement » de l'AFNOR. Elle est utilisée dans le cadre de la réglementation « Bruit de voisinage » et reste en référence de l'annexe 1 « Définitions acoustiques » du Protocole de mesure de l'impact acoustique d'un parc éolien terrestre - version du 21/10/2021.

- Les indicateurs de gêne globaux définis par la « directive bruit »

► **Au niveau européen**, la directive 2002/49/CE relative à l'évaluation et à la gestion du bruit ambiant a défini différents indicateurs globaux, en particulier :

- **L_{day}** : correspond au niveau de bruit moyen représentatif d'une journée (L_{Aeq} / 7h-19h), déterminé sur une année. Il constitue un indicateur de bruit associé à la gêne pendant la période diurne.
- **L_{evening}** : correspond au niveau de bruit moyen représentatif d'une soirée (L_{Aeq} / 19h-23h), déterminé sur une année. Il constitue un indicateur de bruit associé à la gêne en soirée.
- **L_{night}** : correspond au niveau de bruit moyen annuel représentatif d'une nuit (L_{Aeq} / 23h-7h). Il constitue un indicateur de bruit associé aux perturbations du sommeil.
- **L_{den} (day-evening-night)** : représente le niveau annuel moyen sur 24h évalué à partir des niveaux moyens de journée (07h-19h), de soirée (19h-23h) et de nuit (23h-07h). Dans son calcul, les niveaux moyens de soirée et de nuit sont augmentés respectivement de 5 et 10 dB(A). En d'autres termes, cet indicateur de bruit est associé à la gêne acoustique globale liée à une exposition au bruit de longue durée et tient compte du fait que le bruit subi en soirée et durant la nuit est ressenti comme plus gênant. Il est utilisé notamment pour l'établissement de cartes de bruit stratégiques.

► Ces indicateurs sont particulièrement indiqués dans le cadre de sources de bruit continu comme celui du trafic routier. En revanche, pour des sources de bruit intermittent comme celui du trafic ferroviaire, aérien, éolien, etc. il est indispensable d'utiliser en complément des indicateurs représentatifs d'**événements acoustiques** (passages de train, passages d'avion, bruit de pale d'éolienne...).

b) Les indicateurs événementiels

► Parmi les indicateurs événementiels, on peut citer les indicateurs suivants :

- **L_{Amax}** (ou « niveau instantané maximum ») : est le niveau maximum de bruit mesuré (avec une pondération fréquentielle A) durant une période de temps donnée. Il correspond à un niveau sonore qui n'est jamais dépassé et est donc égal au niveau fractile LA0.

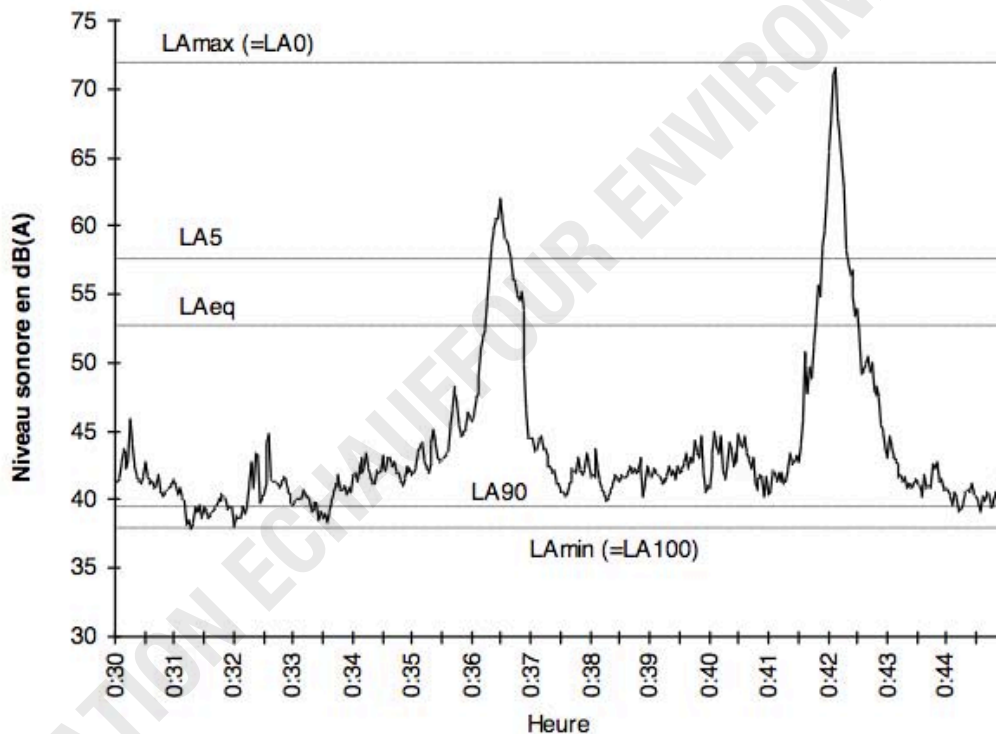
Si les indicateurs précédents, L_{Aeq} et ses dérivés, caractérisent des bruits variant peu dans le temps (comme celui d'un trafic routier), le L_{Amax} en revanche permet de rendre compte de la gêne due à de larges fluctuations du bruit dans le temps. Il est particulièrement adapté pour mesurer des événements sonores de courte durée comme le passage d'un train. Il peut également servir à caractériser le bruit du trafic routier dans le cas de passages de véhicules isolés. Il est en revanche insuffisant pour décrire à lui seul la gêne sonore sur une longue période car il ne fournit aucune indication sur la durée et le nombre de fois où cette valeur maximale L_{Amax} est atteinte.

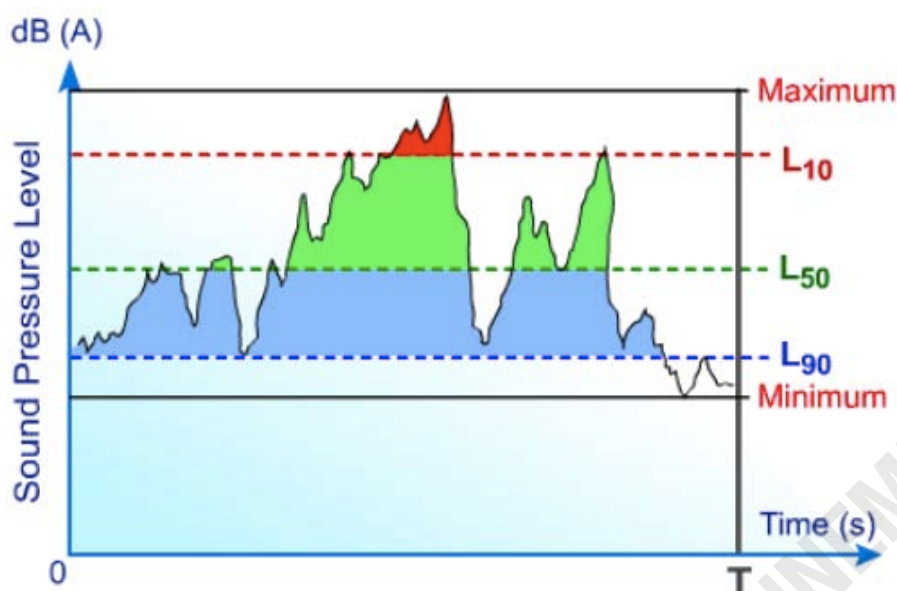
- **L_{Amin}** (ou « niveau instantané minimum ») : est le niveau minimum de bruit mesuré (avec une pondération fréquentielle A) durant une période de temps

donnée. Il correspond à un niveau sonore au-dessous duquel on ne descend jamais et est donc égal au niveau fractile LA100.

- **SEL (Sound Exposure Level) ou LEA** : est le niveau d'exposition acoustique. Il intègre à la fois le niveau de bruit et la durée durant laquelle le bruit est présent. Le SEL est défini comme étant le niveau constant pendant une seconde ayant la même énergie acoustique que le son original perçu pendant une durée donnée. Cet indicateur acoustique est souvent utilisé pour quantifier l'énergie sonore d'un événement simple (passage d'un véhicule) et pour comparer entre eux les événements sonores issus d'une même source.

- Les graphiques ci-dessous constituent des exemples de mesures et d'enregistrements des niveaux sonores. Il représente également les niveaux LAmin et LAmix, les indicateurs fractiles LA90, LA50, LA10 et LA5 ainsi que le niveau acoustique équivalent LAeq relatif à la période de mesure.





! Au stade actuel, il n'existe pas encore de consensus international sur le choix et l'utilisation des indicateurs de gêne. Les seuils de gêne sont définis par chaque pays de façon extrêmement diversifiée.

2) L'émergence sonore et son seuil de caractérisation pour les installations utilisant l'énergie mécanique du vent (éoliennes)

- ▶ La mesure des émergences sonores reste le critère principal permettant de déterminer si une centrale éolienne respecte ou non la réglementation. Pourtant, la façon dont on détermine le niveau de ces émergences réglementaires reste obscure pour bon nombre d'entre nous et fait trop souvent l'objet d'interprétations erronées.
- ▶ Voici son explication, mais tout d'abord, que nous dit la réglementation ?

Article 26 de l'arrêté ministériel du 26 août 2011 :

« L'installation est construite, équipée et exploitée de façon telle que son fonctionnement ne puisse être à l'origine de bruits transmis par voie aérienne ou solidoienne susceptibles de compromettre la santé ou la sécurité du voisinage.

Les émissions sonores émises par l'installation ne sont pas à l'origine, dans les zones à émergence réglementée, d'une émergence supérieure aux valeurs admissibles définies dans le tableau suivant :

NIVEAU DE BRUIT AMBIANT EXISTANT dans les zones à émergence réglementée incluant le bruit de l'installation	ÉMERGENCE ADMISSIBLE POUR LA PÉRIODE allant de 7 heures à 22 heures	ÉMERGENCE ADMISSIBLE POUR LA PÉRIODE allant de 22 heures à 7 heures
Sup à 35 dB (A)	5 dB (A)	3 dB (A)

- ▶ Il faut bien comprendre que le seuil des 35 dB du niveau ambiant en zone à émergence réglementée n'est que le seuil de caractérisation à partir duquel il devient possible de caractériser des émergences non réglementaires des installations.

Tant que la mesure du bruit ambiant ne dépasse pas ce seuil, aucune émergence (même réelle) ne pourra être calculée et caractérisée réglementairement.

- ▶ Si le seuil de bruit ambiant de 35 dB est dépassé, il devient possible de rechercher les émergences par rapport au niveau de bruit résiduel (le bruit de l'environnement sans celui des machines incriminées).

Prenons un exemple théorique pour la période de jour allant de 7 h à 22 h où sont admis 5 dB d'émergences par rapport au bruit résiduel (voir graphique) :

- Les éoliennes d'Echauffour sont à l'arrêt. Le bruit résiduel mesuré alors chez un riverain est de **37 dB**. C'est bien « l'atmosphère sonore naturelle » de la campagne le jour sans le bruit des aérogénérateurs.
- Les éoliennes sont remises en route. Le bruit ambiant mesuré alors chez le même riverain monte brusquement à 49 dB. On peut donc considérer que l'**émergence réelle subie par le riverain** est de : 49 dB (bruit ambiant) – 37 dB (bruit résiduel) = **12 dB**

Mais quelles seront les émergences réglementaires ?

5 dB réglementaires admis de jour par la réglementation signifient que, dès lors que le seuil de 35 dB est dépassé et jusqu'à : 37 dB (bruit résiduel) + 5 dB (de jour) = **42 dB**, la centrale émettra un bruit réglementaire, au-delà les émergences ne le seront plus.

Et quelles seront les émergences non-réglementaires ?

42 dB (bruit ambiant) - 49 dB (autorisé) = **7 dB** non réglementaires, dépassant donc les seuils autorisés.

Pour la période de nuit allant de 22 h à 7 h où sont admis 3 dB d'émergences par rapport au bruit résiduel (voir graphique) :

- Les éoliennes d'Echauffour sont à l'arrêt. Le bruit résiduel mesuré alors chez un riverain est de **22 dB**. C'est bien « l'atmosphère sonore naturelle » de la campagne la nuit sans le bruit des aérogénérateurs.
- Les éoliennes sont remises en route. Le bruit ambiant mesuré alors chez le même riverain monte brusquement à 40 dB. On peut donc considérer que l'**émergence réelle subie par le riverain** est de : 40 dB (bruit ambiant) – 22 dB (bruit résiduel) = **18 dB**

Mais quelles seront les émergences réglementaires ?

3 dB réglementaires admis de nuit par la réglementation signifient que cette tolérance ne se calculera que si le seuil de caractérisation de 35 dB est dépassé. Ici, avec une mesure de bruit résiduel à 22 dB cette tolérance de 3 dB ne trouve donc pas à s'appliquer. Toutes les émergences mesurées entre le seuil de caractérisation de 35 dB – 22 dB (bruit résiduel) = **13 dB** seront réglementaires.

Et quelles seront les émergences non-réglementaires ?

40dB (bruit ambiant) - 35 dB (seuil de caractérisation) = **5 dB** non réglementaires dépassant donc les seuils autorisés.



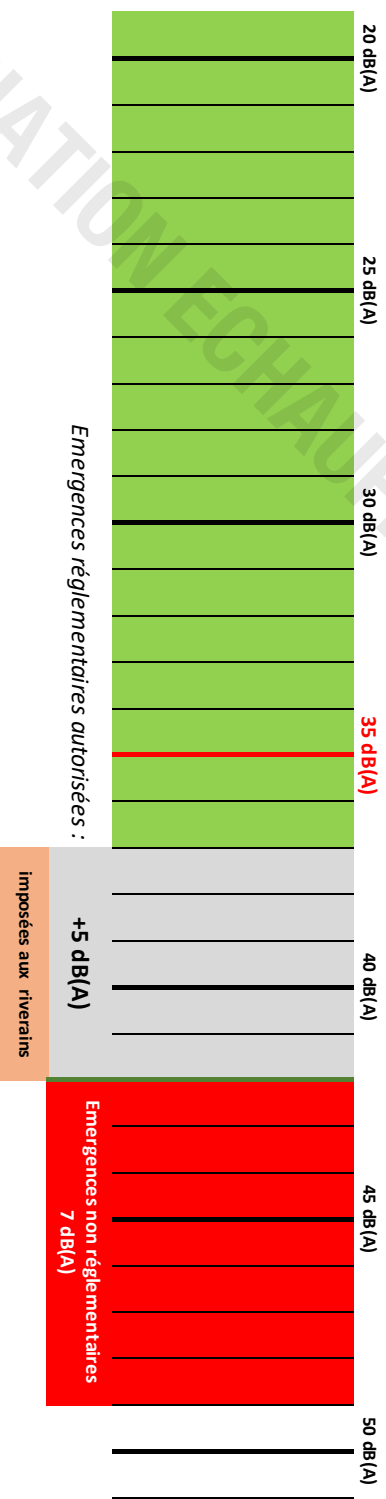
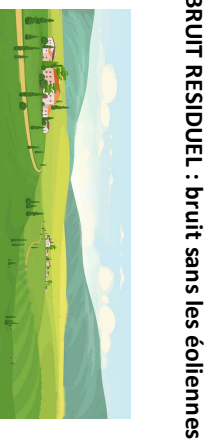
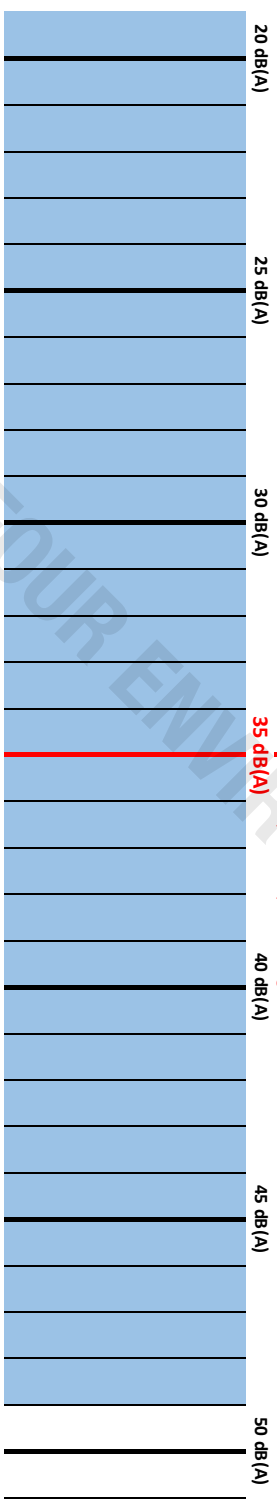
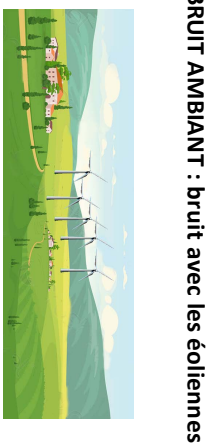
Nous voyons donc que le recours généralisé aux calculs médians entraîne des sous-estimations majeures des niveaux d'émergences sonores réels subis par

les riverains d'installations éoliennes industrielles. On comprend mieux, dès lors, une des raisons de la multiplication de plaintes pour nuisances sonores venues de tout le territoire français.

Plus grave encore, si à la base la notion d'émergence sonore vise, en droit français, à permettre de caractériser des nuisances environnementales et à prévenir les risques liés au bruit, **le régime dérogatoire éolien ne répond plus à ces critères de santé publique et de commodité du voisinage mais bien à permettre le déploiement massif de cette industrie sur le territoire en dissimulant ses impacts sanitaires.**

ASSOCIATION ECHAUFFOUR ENVIRONNEMENT

REALITE DES EMERGENCES SONORES DE JOUR DANS LES ZONE RURALES CALMES (ECHAUFFOUR)



Emergences réglementaires autorisées :

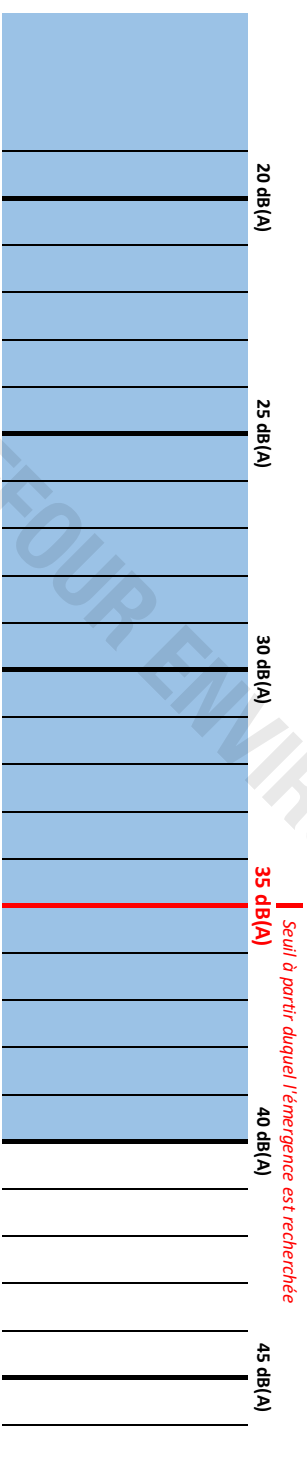
+5 dB(A)
Imposées aux riverains

Emergences non réglementaires
7 dB(A)

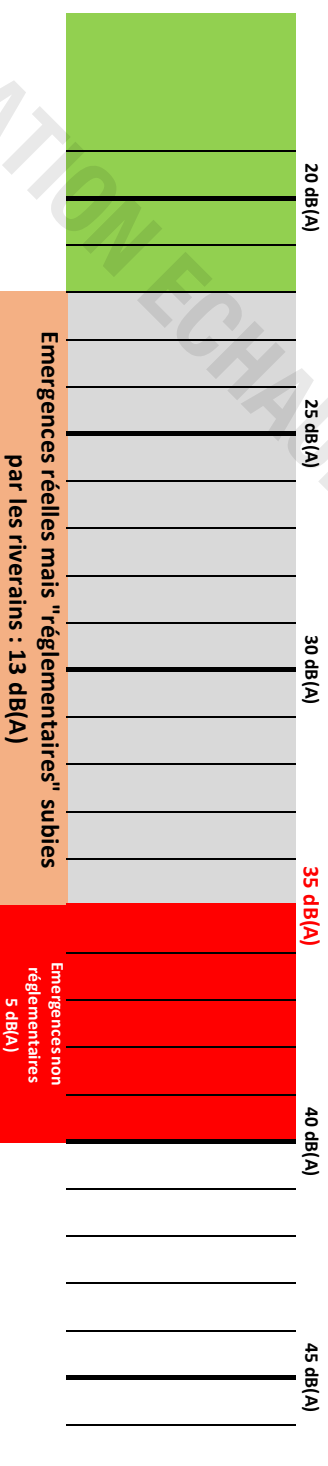
ASSOCIATION ECHAUFFOUR ENVIRONNEMENT

REALITE DES EMERGENCES SONORES DE NUIT DANS LES ZONE RURALES CALMES (ECHAUFFOUR)

BRUIT AMBIANT : bruit avec les éoliennes



BRUIT RESIDUEL : bruit sans les éoliennes



Emergences réelles mais "réglementaires" subies
par les riverains : 13 dB(A)

Emergences non
réglementaires
5 dB(A)

ASSOCIATION ECHAUFFOUR POUR ENVIRONNEMENT

V. Spécificités du bruit éolien et réglementation des centrales éoliennes industrielles françaises

«

La gêne sonore exprimée dans certaines situations par les riverains de parcs éoliens peut être liée à la nature particulière du signal sonore généré, qui présente dans certaines circonstances des fluctuations temporelles marquées (modulation d'amplitude périodique) ; il peut également comporter des composantes basses fréquences (audibles ou non) qui se propagent sur des distances importantes, ainsi que des phénomènes intermittents pouvant provenir de fonctionnements en mode non optimal des éoliennes (bruit de décrochage de l'écoulement d'air autour des pales par exemple).

Si l'existence de ces phénomènes est bien connue, leur modélisation constitue à ce jour un verrou scientifique et leur intégration dans des méthodes de prévision du bruit un verrou opérationnel ¹. »

Source : <https://www.cerema.fr/fr/actualites/prevoir-impact-du-bruit-eoliennes-projet-recherche-anr>

1) Description

Depuis le lancement, en 1996, du programme français EOLE 2005, par le secrétariat d'État à l'industrie, afin de promouvoir et développer les installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent, le bruit généré par les éoliennes et sa propagation sont qualitativement bien connus et documentés tant au plan national qu'international, **mais il existe encore un manque important de connaissances quant aux lois de variations quantitatives des effets sanitaires par rapport à différents facteurs et à leurs poids respectifs.**

a) Le bruit des éoliennes

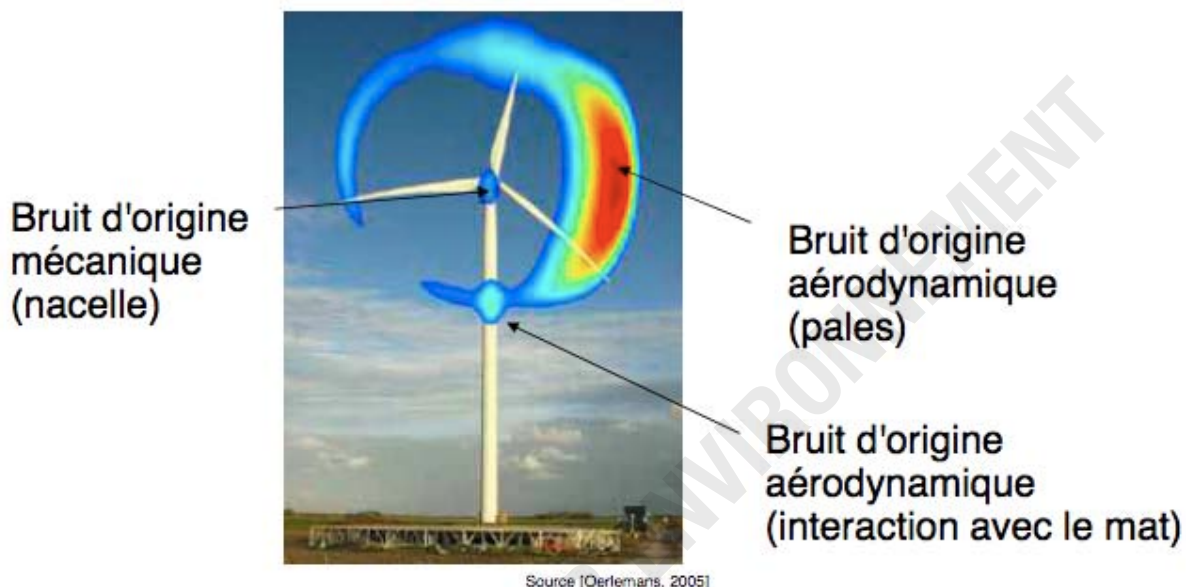
- ▶ Lorsque les éoliennes sont à des distances proches (jusqu'à environ 100 mètres), on distingue trois types de bruits issus de deux sources différentes, la nacelle et les pales :
 - un **bruit d'origine mécanique** provenant de la nacelle et des éventuels multiplicateurs, plus marqués sous le vent de l'éolienne (et quasi inaudible au vent pour des distances supérieures à 200 mètres) ;
 - un **bruit continu d'origine aérodynamique** localisé principalement en bout de pale et qui correspond au mouvement de chaque pale dans l'air ;
 - un **bruit périodique** également d'origine aérodynamique, provenant du passage de chaque pale devant le mât de l'éolienne.

Ces différents bruits tendent à se confondre au fur et à mesure que l'on s'éloigne des éoliennes. Le bruit dit mécanique disparaît rapidement, et demeure alors un bruit

¹. Janvier 2019 : le Cerema est le pilote et l'un des partenaires du projet ANR PIBE (Prévoir l'Impact du Bruit des Éoliennes). Ce projet vise à mieux maîtriser le risque sonore des éoliennes à chaque stade de vie d'un parc éolien, de sa phase de conception à sa phase d'exploitation. Cela, grâce à l'amélioration des méthodes de prévision et l'étude des solutions permettant de réduire le bruit des éoliennes. Il s'agit du premier projet français de recherche collaborative concernant le bruit des éoliennes.

d'origine aérodynamique avec un bruit périodique correspondant aux passages des pales devant le mât.

Le niveau sonore émis par une éolienne, tout comme la puissance électrique délivrée, dépend notamment de la vitesse du vent. Il s'agit d'une spécificité unique dans les équipements et infrastructures sources de bruit ^A.



- Les bruits aérodynamiques sont créés principalement par la contraction des molécules d'air devant la pale, la turbulence de traînée derrière la pale et le passage des pales devant le mât.

Le bruit de fuite, causé par les deux premiers phénomènes, est un bruit de large spectre dont la fréquence s'étend de 20 à 3 600 Hz et se concentre entre 500 et 2 000 Hz. Il est influencé par la vitesse et l'angle d'attaque de la pale dans l'air.

Aujourd'hui, la majorité des éoliennes sont des systèmes à axe horizontal dont la nacelle, supportant trois pales, se tourne face au vent.

Ces pales, dites à pas variable, tournent autour de leur propre axe radial afin de capter plus ou moins de vent, ce qui modifie la vitesse de la turbine et par conséquent, fait varier le bruit des éoliennes.

Chaque modèle et format d'éolienne crée un niveau de bruit spécifique et, vraisemblablement, chaque éolienne aurait également son propre niveau sonore.

- Le niveau sonore, mesuré au centre des pales, d'une éolienne moderne de 660 à 2 000 kW se situe entre 98 et 105 dB(A) à une vitesse du vent de 8 mètres par seconde (m/s). Ceci correspond théoriquement à environ 33 à 40 dB(A) à une distance de 500 mètres en fonction des conditions météorologiques et des caractéristiques du terrain.

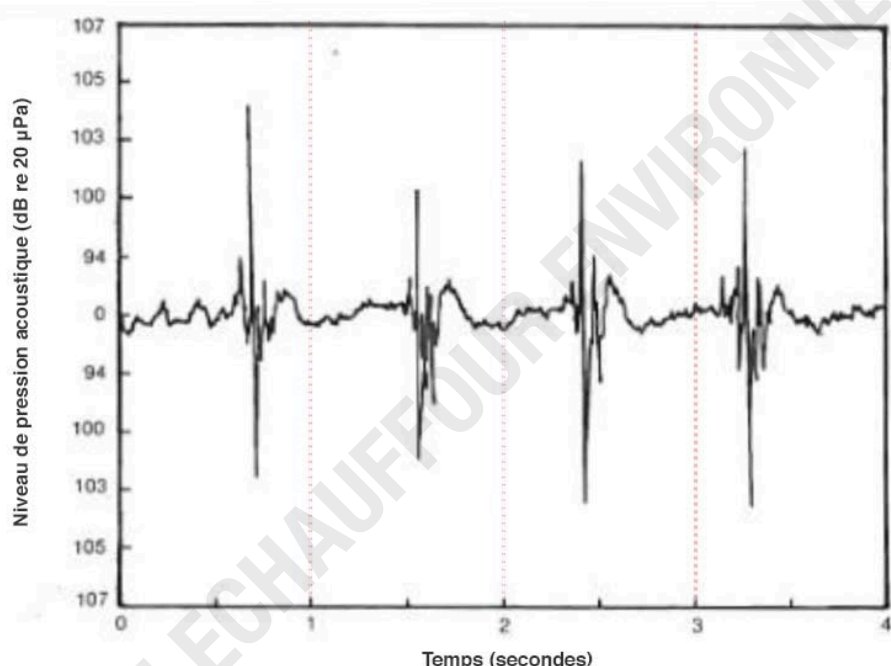
Ce bruit se manifeste comme un sifflement dont l'intensité est modulée de 1 à 2 dB lorsqu'une pale passe devant le mât, ce qui survient de 0,4 à 1,35 fois par seconde.

- Lorsque plusieurs éoliennes fonctionnent à proximité, ce battement peut devenir synchronisé. Deux ou trois battements simultanés auraient alors une intensité respective de + 3 et de + 5 dB en condition nocturne ^B.

Sous certaines conditions, la **modulation d'amplitude** pourrait théoriquement atteindre 10 à 12 dB ^{C, D} ce qui a pu être observé à proximité d'un parc éolien par Di Napoli ^E.

Selon Moorhouse et ses collaborateurs, la production d'une modulation de l'amplitude du bruit des éoliennes n'est pas totalement comprise^F et ne peut pas être parfaitement prédite^G, bien que des travaux récents aient tenté d'intégrer cette dimension acoustique à la mesure de l'impact^H.

- Les méthodes et conditions de mesures du bruit des éoliennes dans un milieu ne s'avèrent pas encore bien définies et uniformes d'une organisation ou d'un pays à l'autre. À titre d'information, le **projet de norme Pr NF S 31-114** pour la réalisation de mesures des niveaux sonores des parcs éoliens a été abandonné en France¹. Par ailleurs, les normes les plus utilisées sont celles sur la propagation (ISO 9613-2) qui sont employées dans le cadre de la modélisation des prévisions sonores ainsi que celles sur la quantification du bruit émis par les éoliennes (CEI/TS 61400-14)^J et les techniques de mesure de bruit (CEI 61400-11)^{I H}.



Signature sonore caractéristique d'une éolienne : modulation d'amplitude, impulsions, intermittence...

b) Le bruit impulsionnel

«

Pour autant, la gêne est bien présente. Selon des études psycho-acoustiques en laboratoire (Persson, Waye and Ohrstrom, 2002) portant sur la description du bruit provenant des éoliennes, les sifflements et les battements seraient les bruits les plus perturbants. **Ces bruits peuvent être perçus comme impulsionnels, ce qui renforce le désagrément subi.** »

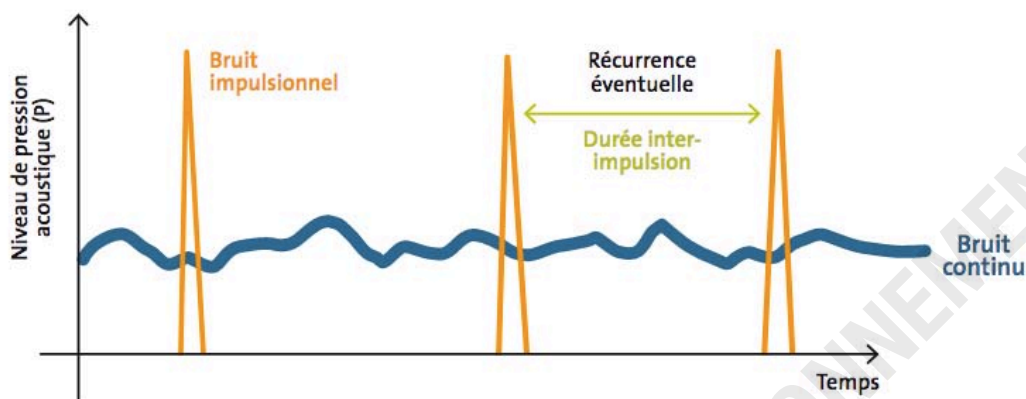
Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) (2008). Impacts sanitaires du bruit généré par les éoliennes - État des lieux de la filière éolienne et propositions pour la mise en œuvre de la procédure d'implantation. Avis de l'Afsset et rapport du groupe d'experts avec la participation de l'ADEME.

- Contrairement au bruit continu, le bruit impulsionnel a une durée très courte et sa dangerosité est directement liée à son niveau élevé. En fonction de l'activité, il peut

1. Commission électrotechnique internationale (CEI), une organisation mondiale de normalisation dans le secteur de l'électricité.

aussi se répéter avec une certaine récurrence. La figure 1 présente de manière schématique la différence de répartition temporelle existant entre un bruit continu et une succession de bruits impulsionnels.

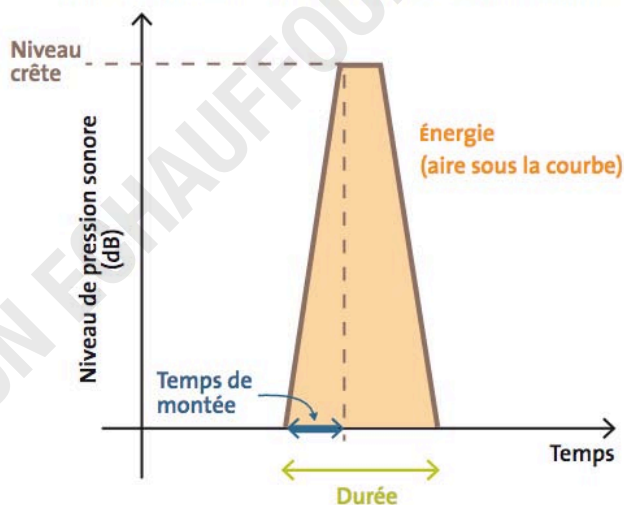
Figure 1 : Schématisation de la différence temporelle entre bruit impulsionnel et bruit continu.



- ▶ Concernant la forme de l'onde acoustique, on peut caractériser le bruit impulsionnel via différentes grandeurs : le **niveau maximum atteint** (niveau pic ou niveau crête en dB SPL ¹), le **temps de montée**, la **durée de l'impulsion**, l'**énergie acoustique transportée**.

La figure 2 illustre ces grandeurs sur une onde acoustique schématisée.

Figure 2 : Forme d'onde idéalisée et grandeurs caractéristiques.



Les formes d'ondes réelles étant très variées et parfois complexes, les grandeurs citées ci-dessus sont parfois difficiles à quantifier avec exactitude.

- ▶ La forme de l'onde est étroitement liée à la répartition de l'énergie selon les fréquences (spectre). Plus l'impulsion est courte, plus l'étalement en fréquence est large : le spectre des bruits impulsionnels s'étale ainsi généralement sur la totalité des fréquences audibles.

Mais, si la pondération (A) est appliquée pour les bruits continus, c'est la pondération (C) qui reste d'usage pour les bruits impulsionnels. Cette dernière prend mieux en

1. dB SPL : Sound Pressure Level. Niveau de pression acoustique mesuré ayant pour référence le seuil d'audition absolu de l'oreille humaine (0 dB).

compte les basses fréquences que la pondération (A) qui conduit, à spectre équivalent, à « pénaliser » le bruit impulsionnel par rapport au bruit continu : [cet usage fait donc l'hypothèse implicite d'une dangerosité accrue de ce type de bruits dans des fréquences autres que celles de la conversation humaine.](#)

- ▶ Comme pour les bruits continus, les sources de fortes intensités sonores (tir d'un canon par exemple) génèrent des sons contenant plus de basses fréquences que ceux de plus faible intensité. Ce constat aura de l'importance lorsqu'il s'agira de se protéger efficacement, les basses fréquences étant plus difficiles à atténuer par les matériaux absorbants ou isolants.
- ▶ La définition d'un bruit impulsionnel a évolué dans le passé et n'a pas toujours fait l'unanimité d'un pays à l'autre.

En France, même aujourd'hui, on retrouve différentes définitions :

- La [norme ISO 1996-2](#) (dédiée à la détermination des niveaux de bruit de l'environnement) qualifie le caractère impulsif d'un son pendant un intervalle de temps t spécifié. La définition complète de la norme, malgré une technicité apparente, n'en demeure pas moins très vague : l'impulsivité y est seulement considérée via une émergence de niveau sur une durée « courte » t non précisée.
- La [norme NF EN 458 \(2016\)](#) (dédiée aux recommandations d'usage des protections auditives) décrit quant à elle un bruit impulsionnel comme un « brusque changement de pression acoustique consistant en un événement unique ou une série irrégulière d'impulsions. »
- La [norme NF S 31-010 \(décembre 1997\)](#) définit un bruit impulsionnel comme « un bruit consistant en une ou plusieurs impulsions d'énergie acoustique, ayant chacune une durée inférieure à environ 1 s et séparée (s) par des intervalles de temps de durée supérieure à 0,2s. »

Ainsi, à l'heure actuelle, aucune définition précise et quantifiée des bruits impulsionnels n'est en vigueur.

- ▶ Aujourd'hui, l'hypothèse d'énergie équivalente (EEH - Equivalent Energy Hypothesis), reste le seul critère d'estimation des risques sanitaires liés aux bruits impulsionnels. En effet, la norme ISO 1999 : 2013 (en application actuellement) se base sur une généralisation de l'EEH qui suppose que le traumatisme associé à une exposition sonore donnée est fonction de l'énergie sonore totale reçue par l'oreille.



Cette hypothèse (EEH) considère donc le niveau d'énergie moyen reçu (dose de bruit) comme unique indicateur des risques potentiels de dommages pour l'audition, sans considération des autres propriétés de l'onde sonore. Elle ignore de nombreux attributs du bruit tels que la distribution temporelle, le temps de montée ou la distribution spectrale (considérant toutes les fréquences de manière similaire et indépendante).

En se basant sur l'énergie, tout en ignorant la manière dont celle-ci est absorbée par le récepteur auditif périphérique, la législation actuelle fait fi de certains fonctionnements de l'oreille.

«

Or, outre les niveaux crêtes élevés, la nocivité des bruits impulsionnels peut également s'expliquer par l'opposition entre leur rapidité de pénétration dans le système auditif et la latence d'un mécanisme de protection de l'oreille moyenne : le réflexe stapédien. Ce réflexe correspond à la contraction involontaire des deux muscles de l'oreille moyenne (le muscle stapédien et le muscle du marteau), permettant l'atténuation des niveaux sonores transmis à l'oreille interne.

Le seuil du réflexe stapédien se situe, chez l'homme, à environ 80 dB, son amplitude augmentant avec le niveau de la stimulation (environ 0,6 dB/dB) [17]. La protection induite pour l'oreille interne est d'environ 10 dB et la durée potentielle de protection du muscle stapédien diminue avec le niveau de la stimulation. La latence du réflexe varie ainsi de 150 ms à 80 dB à 25-35 ms à fort niveau, impliquant une dangerosité accrue des bruits impulsionnels pour l'oreille, de par leur temps de montée très court (de l'ordre de quelques millisecondes), une unique impulsion pouvant provoquer des dommages immédiats. La mise en place du réflexe est alors suivie d'une période de veille protectrice laissant supposer que les dommages causés par l'exposition à une série d'impulsions dépendent également du rapport entre le taux d'apparition des impulsions et la durée de cette veille. Pour des bruits impulsionnels, même la constante d'intégration la plus faible généralement disponible aujourd'hui dans les appareils courants (35 ms) peut s'avérer trop longue pour les impulsions très courtes et fournir une valeur de crête plus faible que la réalité. Il convient donc de considérer les mesures avec prudence lorsque l'on se trouve en présence d'un environnement sonore impulsionnel.

Bruits impulsionnels, un danger mal connu ?

J. Terroir, département Ingénierie des équipements de travail, INRS

INRS - Institut national de recherche et de sécurité (Vandoeuvre lès Nancy) - NS 365, janvier 2019

Source : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03498920/document>

c) Facteurs influençant le niveau du bruit

- ▶ Le bruit émis par les éoliennes varie selon les caractéristiques de la source, dont les principales sont : le nombre d'éoliennes, leur puissance et leur disposition.
- ▶ Les particularités du terrain jouent aussi un rôle dans la propagation du son. La topographie, la composition du sol, la présence de végétation, de bâtiment, ou de neige peuvent favoriser ou non la capacité du son à voyager.
- ▶ Dans le cas des éoliennes, les conditions météorologiques comme la température de l'air et ses inversions ¹, l'humidité, la vitesse et le sens du vent de même que le couvert nuageux sont des exemples de facteurs qui influencent la propagation du son.
- ▶ La perception du bruit des éoliennes varie selon le niveau de bruit initial ou résiduel du milieu d'implantation. Par exemple, dans certaines conditions, le bruit généré par les éoliennes peut être masqué (camouflé) par d'autres bruits présents dans l'environnement.
- ▶ Par ailleurs, il est affirmé que, considérant la modulation de l'intensité du bruit de bord de fuites ² lors du passage des pales devant le mât, le bruit des éoliennes serait faiblement masqué par les bruits environnants, particulièrement en présence de certaines conditions topographiques. Aussi, van den Berg rapporte que la modulation du bruit des éoliennes serait plus facilement détectable en condition atmosphérique stable. Cette condition, pouvant se produire la nuit lorsque le ciel est dégagé, favoriserait un vent plus fort à la hauteur de la nacelle qu'à la hauteur du sol. Le faible

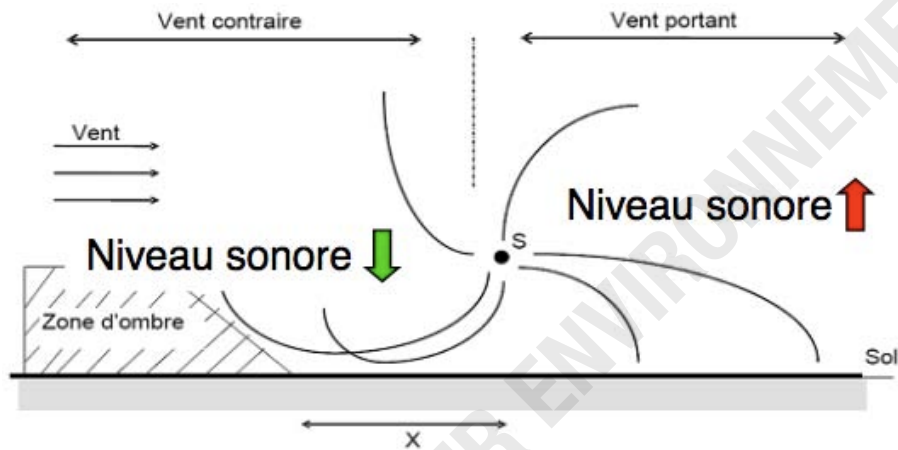
-
1. L'inversion de température désigne un phénomène météorologique lors duquel une couche d'air chaud surplombe l'air froid dans une couche donnée de l'atmosphère. Dans la troposphère (jusqu'à 11 à 12 km d'altitude aux latitudes tempérées), la température décroît avec l'altitude (en moyenne de 6,5°C par km), en raison de la baisse de pression, qui entraîne une dilatation et donc un refroidissement de l'air. Mais dans certaines circonstances, le phénomène est parfois inversé.
 2. Le bord de fuite correspond à la partie amincie d'une pale où s'écoule l'air. Le bruit de bord de fuite (trailing edge noise) provient des turbulences de l'air, une fois que l'air s'est écoulé de chaque côté de la pale et qu'il se rejoint en bordure de celle-ci. Le bruit de bord de fuite est considéré comme la source de bruit la plus importante pour les grandes éoliennes modernes 19 (p. 16).

niveau de bruit produit par le vent à la hauteur du sol masquerait moins le bruit des éoliennes qui serait alors plus facilement perceptible^B.

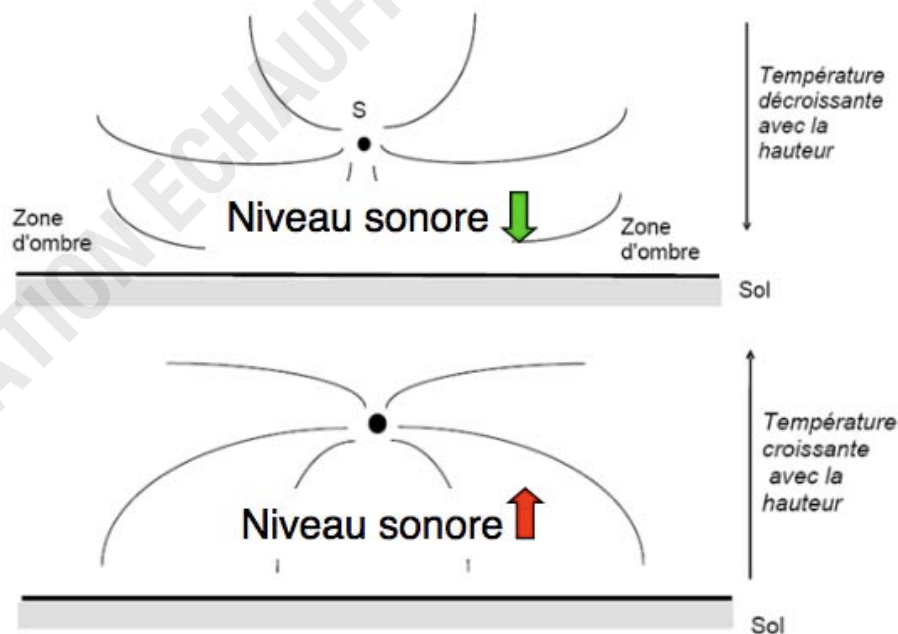
- ▶ Enfin, il est intéressant de noter qu'un son dont l'intensité est modulée, comme celui des éoliennes, peut être perçu par l'oreille humaine comme un son de basses fréquences, sans toutefois en être un^K.

Une des principales difficultés est de caractériser les phénomènes de modulation d'amplitude, qui sont liées à la gêne sonore rapportée par les riverains : en particulier, le décrochage dynamique sur les pales d'éoliennes qui constitue une source de bruit intense et intermittente qui contribue à la modulation.

Influence du vent



Influence de la température



d) Autres nuisances signalées par les riverains de centrales éoliennes

• Les infrasons et les sons basses fréquences

- ▶ Affirmer que les infrasons ne sont pas dangereux pour la santé humaine parce qu'ils ne sont pas audibles est aussi inepte, d'un point de vue scientifique, que d'affirmer que certaines ondes ne sont pas dangereuses parce qu'elles ne sont pas visibles.
- ▶ En milieu industriel, dans la nature ou à proximité d'installations classées (ICPE), les sources infrasonores sont nombreuses. Il est prouvé que les infrasons et les sons de basses fréquences sont nocifs pour l'homme quand les doses reçues deviennent importantes en niveau et en durée. 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.

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. Le développement des éoliennes comme source d'énergie électrique renouvelable a amené récemment des polémiques non tranchées sur leur potentialité à produire des infrasons dangereux pour la santé. 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. Cependant, il existe actuellement peu d'études portant sur ces caractéristiques et sur leurs effets sur la santé humaine.



En France prévaut jusqu'à aujourd'hui une sorte de déni qui peut être mis en rapport avec le souci de ne pas entraver le développement de cette industrie éolienne. Par ailleurs, il n'existe aucune réglementation relative aux normes d'exposition aux infrasons, ou déjà à minima aux basses fréquences qui sont une caractéristique essentielle du bruit éolien.

Les mesures actuellement imposées aux gestionnaires d'éoliennes industrielles ne portent que sur les bandes de fréquence supérieures à 125 Hz (excluant les basses fréquences et les infrasons). Par ailleurs, les normes de bruit du Code de la santé ne s'appliquent pas aux éoliennes industrielles car la réglementation ICPE relève désormais du code de l'environnement. Cependant, les éoliennes industrielles dérogent à la règle générale des ICPE qui prescrit une réduction des émergences sonores les dimanches et jours fériés, pour le repos pour les riverains.

- ▶ **La réglementation sur la mesure du bruit éolienne ne préconise pas de mesurer les infrasons**

Pour le gouvernement et l'industrie éolienne, la règle de la pondération des dB(A) doit être appliquée exclusivement aux mesures du bruit des éoliennes. Cette pondération a été conçue vers 1925 pour simuler la sensibilité particulière de l'oreille humaine au spectre de la voix, à des niveaux sonores de 40 dB. La pondération C correspond à la sensibilité de l'oreille à des sons purs de niveau de pression acoustique plus élevé, supérieurs à 80 dB SPL.

La seule pondération appropriée pour étudier les infrasons provenant de turbines serait l'absence de pondération, généralement appelée pondération Z ou zéro. En effet, nous ne parlons plus ici de bruit audible. Les infrasons des turbines sont essentiellement inaudibles en raison de leurs basses fréquences, mais leur perception ne se limite pas au seul système auditif (voir point précédent sur le bruit impulsionnel).

- Les vibrations transmises dans le sol

- ▶ Aucune étude n'a analysé les vibrations transmises par les éoliennes dans le sol en lien avec la santé, quoique des problèmes de vibrations aient déjà été documentés pour les résidences à proximité des voies de chemin de fer ferroviaire, de carrières, forages ou de chantiers de construction.

Notons ici qu'il n'existe pas de législation française sur cette question alors que pourtant :

- **Article 54 de l'arrêté du 8 août 2011** relatif aux prescriptions générales applicables aux installations relevant du régime de l'enregistrement au titre de la rubrique n° 2522 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement : *« L'installation est construite, équipée et exploitée afin que son fonctionnement ne soit pas à l'origine de vibrations dans les constructions avoisinantes susceptibles de compromettre la santé ou la sécurité du voisinage ou de constituer une nuisance pour celui-ci. Les tables vibrantes, ou toutes autres installations sources de bruit par transmission solidienne sont équipées de dispositifs permettant d'absorber des chocs et des vibrations ou de tout autre équipement permettant d'isoler le bâti du sol. »*
- **Article 26 de l'arrêté du 26 août 2011** relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement : *« L'installation est construite, équipée et exploitée de façon telle que son fonctionnement ne puisse être à l'origine de bruits transmis par voie aérienne ou solidienne susceptibles de compromettre la santé ou la sécurité du voisinage. »*
- **Article L571-1 du code de l'environnement**, dans sa version en vigueur depuis le 27 décembre 2019 : *« Les dispositions du présent chapitre ont pour objet, dans les domaines où il n'y est pas pourvu, de prévenir, supprimer ou limiter la pollution sonore, soit l'émission ou la propagation des bruits ou des vibrations de nature à présenter des dangers, à causer un trouble excessif aux personnes, à nuire à leur santé ou à porter atteinte à l'environnement. »*

- Les effets stroboscopiques et ombres mouvantes

- ▶ L'effet produit par la rotation des pales des éoliennes est souvent évoqué quant à ses impacts potentiels sur la santé. Ainsi, lorsque le ciel est dégagé et que le soleil est bas sur l'horizon, l'ombre des pales en mouvement (ombres mouvantes ou « shadow flickers ») peut devenir dérangeante pour certains individus, créant ce que l'on appelle l'effet stroboscopique.

- ▶ Le phénomène des ombres mouvantes surviendrait dans des conditions particulières, sous certaines combinaisons de position géographique, lorsque le soleil passe à l'horizon derrière les pales des éoliennes et donc, en fonction de l'heure du jour et du moment de l'année.

Certains auteurs évoquent la possibilité géométrique d'ombres d'éoliennes se projetant à des distances de 4,5 kilomètres au-delà de leur source . Ils atténuent cependant leurs propos en spécifiant que les conditions optiques de l'atmosphère ne permettraient que des ombres maximales réelles de deux kilomètres.

La nuisance due à la projection d'ombres mouvantes sur les résidences avoisinant les éoliennes n'a pas été documentée par des études originales, mais quelques auteurs

évoquent des situations susceptibles de provoquer une nuisance : ce phénomène pourrait se produire seulement à l'intérieur des résidences alors que le scintillement apparaît à travers une mince ouverture de la fenêtre. D'autres auteurs mentionnent, pour leur part, que la nuisance serait possible aussi à l'extérieur sur l'ensemble de la propriété, et qu'elle deviendrait évidente au moment d'activités de loisirs ou relatives au travail.

- [L'électro-hypersensibilité chez les humains et les animaux](#)

« L'électro-hypersensibilité est aujourd'hui davantage connue dans notre société que l'hypersensibilité aux infrasons du fait que l'installation de parcs éoliens industriels est bien plus récente (années 2000 en France) que celle des antennes de téléphonie mobile (1981 en France) ou même celle des lignes à Très Hautes Tensions (années 1990).

Les éoliennes émettent des infrasons mais aussi des champs électromagnétiques de différentes sortes : communication entre l'éolienne principale avec les autres par micro-ondes pulsées, champs électromagnétiques émanant de chaque éolienne prise individuellement, lignes à Très Haute Tension partant des centrales éoliennes aériennes ou souvent enterrées, etc.

Soumis à ce cocktail d'agressions diverses, beaucoup de riverains présentent de nombreux symptômes.

Pour bien cerner la situation liée aux centrales éoliennes, il faut d'abord comprendre les symptômes des personnes électro-hypersensibles exposées à des champs électromagnétiques. »¹

2) Cadre réglementaire

La loi n° 92-1444 du 31 décembre 1992 (codifiée aux articles L571-1 à L571-26 du code de l'environnement) dite loi "Royal" ou loi "bruit", est le premier texte global et fondateur. Cette loi offre un cadre législatif complet à la problématique du bruit et pose les bases du traitement réglementaire de cette nuisance. Elle renforce notamment le pouvoir de police des maires dans la lutte et la protection contre les nuisances sonores. Elle a pour but de prévenir, supprimer ou limiter l'émission ou la propagation sans nécessité ou par manque de précaution des bruits ou des vibrations de nature à présenter des dangers, à causer un trouble excessif aux personnes, à nuire à leur santé ou à porter atteinte l'environnement.

a) [Avant l'arrêté ministériel du 26 août 2011 : le code de la santé publique et la norme AFNOR NF S 31-010](#)

- ▶ **Les projets éoliens étaient soumis à la réglementation relative à la lutte contre les bruits de voisinage.** Celle-ci avait fait l'objet d'une évolution réglementaire en 2006 via le décret n°2006-1099 du 31 août 2006. Les articles du **code de la santé publique** réglementant le bruit des éoliennes étaient alors les articles R. 1334-32 à R. 1334-35. En cas de non-respect de ces dispositions, les sanctions encourues figuraient à l'article R. 1334-37 (sanctions administratives) et aux articles R. 1337-6 et R. 1337-8 à R. 1337-10-1 (sanctions pénales).

1. Docteur Marie-Stella Duchiron, Docteur Es-sciences, diplômée d'Agronomie Paris, ingénieur des eaux et forêts, expert forestier. Colloque sante et infrasons éoliennes, Paris 16 novembre 2018.

- ▶ Selon cette réglementation, le critère à respecter était un **critère d'émergence globale**. Les valeurs limites de l'émergence étaient de 5 dB(A) de jour (7h-22h) et 3 dB(A) de nuit (22h-7h), valeurs auxquelles s'ajoutait un terme correctif en fonction de la durée cumulée d'apparition du bruit particulier (dans le cas des éoliennes (fonctionnement continu), ce terme correctif était égal à 0) ; ainsi qu'un critère d'émergence spectrale, applicable uniquement à l'intérieur de pièces principales de logements d'habitation (les valeurs limites de l'émergence spectrale étaient fixées à 7 dB pour les bandes d'octaves 125 Hz et 250 Hz, et à 5 dB pour les bandes d'octave 500Hz à 4 kHz).
- ▶ L'infraction était caractérisable dès lors que le bruit ambiant en présence du bruit particulier incriminé dépassait 25 dB(A) en cas de mesure effectuée à l'intérieur des pièces principales de logements d'habitation, et 30 dB(A) dans les autres cas.
- ▶ Les mesures étaient alors effectuées selon les dispositions de la norme AFNOR NF S 31-010 « Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement. - Méthodes particulières de mesurage » (décembre 1996).

Cette norme fixe deux méthodes de mesure se différenciant par les moyens à mettre en œuvre et par la précision des résultats. La méthode de mesure à utiliser est la méthode dite « d'expertise » définie au point 6 de la norme. Cependant, un simple contrôle du respect des prescriptions peut être effectué selon la méthode dite de « contrôle » définie au point 5 de la norme. Dans ce cas, une conclusion quant à la conformité des émissions sonores de l'établissement ne pourra être tirée que si le résultat de la mesure diffère de la valeur limite considérée (émergence ou niveau admissible) de plus de 2 dB(A).



La norme AFNOR NF S 31-010 « Acoustique – Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement – Méthodes particulières de mesurage », élaborée au sein de la Commission de Normalisation S30J « Bruit dans l'environnement », reste aujourd'hui encore la seule norme officielle en vigueur et d'application obligatoire. Cette norme reste citée en référence dans tous les textes réglementaires qui suivront.

- b) **Après l'arrêté ministériel du 26 août 2011 : le code de l'environnement et le projet de norme abandonné Pr NF 31-114**
- ▶ L'arrêté ministériel du 26 août 2011 *relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement* **autorise**, par son article 26, les éoliennes industrielles à déroger à l'obligation de respecter le code de la santé publique, en portant à 35 dB(A) le seuil à partir duquel l'infraction d'une émergence excessive peut être caractérisée (avec des seuils admissibles d'émergences de 5dB entre 7h et 22h et de 3dB entre 22h et 7h).
 - ▶ Cet arrêté dispense les installations éoliennes de tout contrôle des basses fréquences alors que l'article R.1334-34 du code de la santé publique définit à 7db les valeurs limites de l'émergence spectrale dans les bandes d'octave normalisées centrées sur 125 Hz et 250 Hz.
 - ▶ Il inscrit l'**obligation d'effectuer désormais les mesures acoustiques de contrôle des installations éoliennes selon un projet de norme en cours d'élaboration : le projet de norme Pr NF S 31-114** (projet non abouti imposé comme réglementaire


pendant 10 ans mais qui ne sera jamais validé du fait des vives oppositions qu'il suscita).

« Lettre ouverte concernant la consultation du public sur les « Projets d'arrêtés portant modification de la réglementation relative aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent »

La référence à la norme 31-010, qui régit les bruits de voisinage, semble nécessaire à la juste prise en compte des nuisances sonores des éoliennes, tandis que le projet de norme 31-114, jamais achevé ni signé par le directeur de l'Afnor depuis 2011, pénalise les riverains en faussant la réalité de l'émergence instantanée qui reste pourtant le principal critère de leur gêne.

Le Mont Champot - Jean-Pierre RIOU, membre de la commission de normalisation S30J « Bruit dans l'environnement » de l'AFNOR.

Lundi 8 novembre 2021

 **Ce projet de norme introduit une dangereuse modification de la notion d'émergence sonore en basant son calcul sur des indicateurs statistiques de longue période (médianes ¹) ayant pour effets de lisser les pics de bruits impulsionsnels ² et la modulation d'amplitude du bruit des pales des machines ³.**

c) 22 mars 2022 : le protocole de mesure du bruit éolien ayant fait l'objet d'une décision de reconnaissance par le ministre des installations classées le 31 mars 2022

« Direction générale de la prévention des risques
Décision du 31 mars 2022 relative à la reconnaissance du protocole de mesure de l'impact acoustique d'un parc éolien terrestre

Article 1 : Le protocole de mesure acoustique des parcs éoliens terrestres dans sa version de mars 2022, est reconnu au titre de l'article 28 de l'arrêté modifié du 26 août 2011 relatif aux installations soumises à autorisation susvisé et au titre de l'article 8.4 de l'annexe I de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations soumises à déclaration susvisé.

NOR : TREP2210024S (Texte non paru au journal officiel)

- ▶ Un nouveau protocole de mesure du bruit éolien remplace le projet de norme Pr NF S 31-114 en sa version du 7 juillet 2011, inscrit dans l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à déclaration au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement.

1. En théorie des probabilités et en statistiques, la **médiane** est la valeur qui sépare la moitié inférieure de la moitié supérieure d'une série de valeurs. Intuitivement, la médiane est donc, non pas la moyenne, mais le point central de l'ensemble.
2. Selon la définition de l'AFNOR, un bruit impulsionsnel est : « Bruit consistant en une ou plusieurs impulsion(s) d'énergie acoustique, ayant chacune une durée inférieure à environ 1 s et séparée(s) par des intervalles de temps de durée supérieure à 0,2 s. »
3. Le Syndicat des énergies renouvelables (SER) avait d'ailleurs tenté, sans succès, d'intégrer cette modification de la notion d'émergence dans le texte même de l'arrêté, en proposant un amendement en ce sens lors de la réunion du Conseil supérieur de l'Énergie chargé de se prononcer sur le projet de texte de l'arrêté, le 8 août 2011.

Il s'affranchit définitivement, sans avoir été préalablement soumis à consultation du public, de toute référence solide à la seule norme officielle de caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement, la norme AFNOR NF S 31-010.

Il officialise, en en généralisant la méthode, l'utilisation d'indicateurs statistiques de longue période et de calculs basés sur la différence de médianes, pour définir un « indicateur d'émergence » décorrélé de la réalité des nuisances sonores impactant les riverains d'éoliennes : une obscure aberration, non scientifique, contraire à la norme homologuée NF S 31-010, qu'aucun riverain ne pourra comprendre, qu'aucun inspecteur des DREAL ne pourra vérifier et contrôler.



Ce nouveau Protocole confirme les anciennes pratiques dommageables aux riverains de parcs éoliens. Il donne plus de marge de manœuvres aux bureaux d'études des exploitants éoliens pour « organiser » les chiffres des études de bruit afin d'optimiser leur production électrique sous contrainte des plaintes pour nuisances sonores. Il fait perdurer une injustice pour les riverains et les experts qui espéraient un progrès mais qui, sans même avoir été consultés, se voient désormais imposer une méthode qui ne satisfait pas au principe de non-régression en matière de mesurage du bruit éolien.

d) La référence à la norme AFNOR NF S 31-010

- ▶ La norme AFNOR NF S 31-010 « Acoustique – Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement – Méthodes particulières de mesurage », élaborée au sein de la Commission de Normalisation S30J « Bruit dans l'environnement », est aujourd'hui la seule norme officielle en vigueur et d'application obligatoire dans le code de la santé publique.

Bien que les installations utilisant l'énergie mécanique du vent échappent depuis 2011 aux prescriptions de ce code, la norme AFNOR 31-010 reste citée en référence dans tous les textes réglementaires qui suivront ainsi que dans toutes les études d'impacts et campagnes de mesures de vérification d'installations éoliennes.

On s'étonnera donc que, faute d'en respecter la lettre, les nouvelles réglementations n'en respectent pas au moins l'esprit.



PROJET DE NORME PR NF S 31-114, VERSION DU 7 JUILLET 2011

Analyse

Le présent document décrit la méthode de mesurage et d'analyse des niveaux de bruit dans l'environnement d'un parc éolien. **Il est complémentaire à la norme française NF S 31-010.** Il a été rédigé pour répondre à la problématique posée par des mesurages en présence de vent, rendus nécessaires pour traiter le cas spécifique des éoliennes. Il définit les méthodes de mesurage des bruits et des données de vent, les indicateurs de bruit spécifiques, les méthodes de corrélation du bruit avec la variation du vent, les analyses statistiques permettant de définir une valeur de bruit pour une classe de vent et les incertitudes associées à la détermination des niveaux de bruit par classe de vitesse de vent. **Tous les points non traités ici devront respecter les exigences de la norme française NF S 31-010.**

Projet de norme Pr NF S 31-114 - Mesurage du bruit des éoliennes – page 2

Introduction

Le mesurage du bruit dans l'environnement fait aujourd'hui l'objet de méthodologies définies dans les normes françaises [NF S 31-110](#) et les déclinaisons [NF S 31-010](#), [NF S 31-085](#) et [NF S 31-088](#) en fonction de la source émettrice.

La présente norme est complémentaire à la norme française [NF S 31-010](#). Elle a été rédigée pour répondre à la problématique posée par des mesurages en présence de vent, rendus nécessaires pour traiter le cas spécifique des éoliennes. Tous les points non traités ici devront respecter les exigences de la norme française [NF S 31-010](#).

Projet de norme Pr NF S 31-114 - Mesurage du bruit des éoliennes – page 5

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

[NF S 30-101](#), *Vocabulaire de l'acoustique – Définitions générales*.

[NF S 31-010](#), *Acoustique – Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement – Méthodes particulières de mesurage*.

[NF S 31-110](#), *Acoustique – Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement – Grandeurs fondamentales et méthodes générales d'évaluation*.

[NF EN 61400-11](#) : 2004, *Aérogénérateurs partie 11, Techniques de mesures du bruit acoustiques*.

[NF EN 61400-11/ A1](#) : 2006, *Aérogénérateurs partie 11, Techniques de mesures du bruit acoustiques*.

[NF EN 61400-12-1](#) Décembre 2006, *Éoliennes - Partie 12-1 : mesurage des performances de puissance des éoliennes de production d'électricité*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent :

3.1 Acoustique

Pour les définitions générales de l'acoustique, se reporter à la norme [NF S 30-101](#).

Pour les définitions plus généralement liées à la métrologie de l'environnement, se reporter aux normes [NF S 31-110](#) et [NF S 31-010](#).

Projet de norme Pr NF S 31-114 - Mesurage du bruit des éoliennes – page 6

5.2 Niveaux sonores à l'intérieur des immeubles

Les localisations des points de mesure intérieurs doivent être choisies dans les pièces principales d'habitation fenêtres ouvertes ou fermées selon la préférence du riverain. [Les conditions de réalisation de la mesure suivront les spécifications de la norme \[NFS 31-010\]\(#\)](#).

Projet de norme Pr NF S 31-114 - Mesurage du bruit des éoliennes – page 10



PROTOCOLE DE MESURE DE L'IMPACT ACOUSTIQUE D'UN PARC EOLIEN TERRESTRE, VERSION DU 22 MARS 2022

Annexe 1 : définitions

2. Acoustique

Pour les définitions générales de l'acoustique, se reporter à la norme [NF S 30-101](#).

Pour les définitions plus généralement liées à la métrologie du bruit dans l'environnement, se reporter aux normes [NF S 31-110:2020](#) et [NF S 31-010:1996](#).

NOR : TREP22100245 (Texte non paru au journal officiel)



La norme AFNOR NF S 31-010 reste donc encore et toujours en référence alors que depuis plus de dix ans la filière et ses acousticiens font tout pour s'affranchir de ses préconisations en promouvant massivement l'utilisation d'indicateurs permettant de lisser les spécificités du bruit éolien sous couvert de prétendre mieux le cerner.

Plus que jamais, cette norme reste emblématique, sur des questions acoustiques et sanitaires liées aux éoliennes toujours mal maîtrisées, de l'application nécessaire d'un principe de précaution.

e) A propos du régime dérogatoire des éoliennes et du seuil de 35 dB(A)

- ▶ Avec l'arrêté ministériel du 26 août 2011, le seuil de caractérisation de la non-conformité des émergences des installations éoliennes passe de 30 dB(A)¹ à 35 dB(A).

Ces cinq décibels supplémentaires autorisés pour les éoliennes correspondent, en acoustique, au triplement de l'intensité sonore.

Cette dérogation est d'autant plus préjudiciable à la santé des riverains, que les bruits impulsionnels des éoliennes sont considérés, à puissance égale, plus dérangeants que la plupart des autres bruits et que les mesures en décibels pondérés « A » (dBA) minorent considérablement l'évaluation de la gêne liée aux basses fréquences caractéristiques du bruit des éoliennes comme le confirme, sur ces deux points, le rapport de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail, intitulé « Impacts sanitaires du bruit généré par les éoliennes », publié en mars 2008.

- ▶ Ce seuil est fixé arbitrairement à 35 dB(A) quelle que soit la zone d'implantation des installations éoliennes industrielles bien que les environnements puissent être radicalement différents : zones d'activités péri-urbaines, d'infrastructures autoroutières, rurales naturelles et d'espaces protégés, rurales d'agriculture intensive ou extensive, rurales d'élevage, rurales calmes... On comprend bien que les niveaux de bruit résiduel ne peuvent qu'être radicalement différents d'une situation à une autre :
 - A proximité d'un axe autoroutier, le bruit des éoliennes sera majoritairement couvert par celui du trafic.
 - La nuit, dans une campagne calme comme Echauffour (Orne) où le bruit résiduel varie entre 22dB(A) et 25 dB(A), ce seuil de 35 dB(A) revient à autoriser les éoliennes à générer des émergences de plus de 10 dB(A).



Au-delà du niveau sonore théorique en lui-même, la façon dont un bruit se manifeste et apparaît dans un environnement sonore est essentiel dans sa perception : on appréciera particulièrement le son de la trompette de Miles Davis en étant à quelques mètres de lui lors d'un concert de jazz ; beaucoup plus modérément s'il vient vous réveiller la nuit en en jouant au milieu de votre chambre...

OMS 2018



3. Effets sur la santé de la pollution par le bruit

Puisque le niveau de pression acoustique du discours normal est environ 50 dB(A), un bruit avec des niveaux sonores de 35 dB(A) ou plus, gêne la compréhension de la parole dans les plus petites pièces. Pour les groupes vulnérables, des niveaux de fond encore plus bas sont nécessaires [...]

4. Valeurs guides

Environnements spécifiques

Perturbation du sommeil

1. Code de la santé publique - *Chapitre VI : Prévention des risques liés au bruit - Section 2 : Dispositions applicables aux bruits de voisinage* - [Article R1336-5](#), [Article R1336-6](#), [Article R1336-7](#) et [Article R1336-8](#).

Les effets mesurables du bruit sur le sommeil commencent aux niveaux de LAeq d'environ 30 dB. Cependant, plus le bruit de fond est intense, plus son effet sur le sommeil est dérangeant. Les groupes sensibles incluent principalement les personnes âgées, les ouvriers par équipe, les personnes affectées de troubles physiques ou mentaux et autres individus qui ont des difficultés à dormir.

La perturbation de sommeil induite par des bruits intermittents augmente avec le niveau maximal de bruit. Même si l'équivalent total de bruit est assez bas, un petit nombre de bruits avec un niveau élevé de pression acoustique affectera le sommeil. Par conséquent, pour éviter la perturbation du sommeil, des directives relatives au bruit environnemental devraient être exprimées en termes de niveau sonore équivalent du bruit, aussi bien qu'en termes de niveaux de bruit et de nombre d'événements bruyants maximum. Il convient de noter que le bruit de basse fréquence, dû par exemple, à des systèmes de ventilation, peut déranger le repos et le sommeil, même à des niveaux de pression acoustique faibles.

Source : OMS, octobre 2018 - Lignes directrices relatives au bruit dans l'environnement dans la région européenne www.euro.who.int/fr/env-noise-guidelines

3) La faiblesse d'indicateurs de gêne acoustique au service d'une vision partielle de la mesure du bruit éolien : le protocole de mesure de l'impact acoustique d'un parc éolien terrestre dans sa version du 22 mars 2022 (ou comment imposer le controversé projet de norme AFNOR Pr NF S 31-114 sans plus avoir à le nommer)

a) Des failles connues et reconnues par le monde scientifique

«

Afin d'évaluer quantitativement l'ensemble des phénomènes physiques liés à l'émission d'un bruit, divers indices peuvent être mesurés ou calculés. Les indices les plus fréquemment rencontrés dans la littérature intègrent l'énergie sonore sur de longues périodes de temps, ils sont appelés « indices énergétiques moyens ». Même s'ils présentent de nombreux avantages, ils ne permettent pas de rendre compte de certaines caractéristiques de l'exposition, comme les événements sonores ponctuels ou la composition spectrale d'un bruit. La réglementation actuelle, notamment celle qui s'applique aux bruits des infrastructures routières et ferroviaires et aux ICPE, se réfère principalement à ces indices. Or, dans un rapport précédent publié en 2004, l'Agence signalait déjà que les indices énergétiques moyens sont insuffisants pour rendre compte notamment des perturbations biologiques induites par les événements bruyants ponctuels au cours de la nuit. Ce rapport indiquait, dans une approche également évoquée par l'OMS, qu'un indice événementiel semblerait mieux adapté pour évaluer les risques de perturbation du sommeil. »

Source : Avis de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) relatif à l'évaluation des impacts sanitaires extra-auditifs du bruit environnemental.

13 février 2013

<https://www.anses.fr/fr/system/files/AP2009sa0333Ra.pdf>

«

La réglementation actuelle se base sur des niveaux acoustiques équivalents. Une des bases de celle-ci est donc l'hypothèse d'énergie équivalente (EEH), qui suppose que le traumatisme auditif associé à une exposition sonore est fonction du niveau total de l'énergie reçue par l'oreille.

[...] Or, si l'hypothèse de l'énergie équivalente (EEH) s'avère plutôt satisfaisante pour les sons continus, des études en laboratoire chez l'animal et épidémiologiques chez l'humain apportent

la preuve que celle-ci n'est pas généralisable aux bruits impulsionnels¹. De plus, aucun domaine de validité de l'EEH n'a pu être identifié, que ce soit en termes de niveau équivalent ou de niveau acoustique de crête. Il apparaît au final que les propriétés corrélées à la dangerosité des sources impulsionnelles (pour lesquelles les temps de montée sont courts et les niveaux acoustiques de crête sont élevés) ne sont pas exclusivement énergétiques. »

Bruits impulsionnels, un danger mal connu ?

J. Terroir, département Ingénierie des équipements de travail, INRS

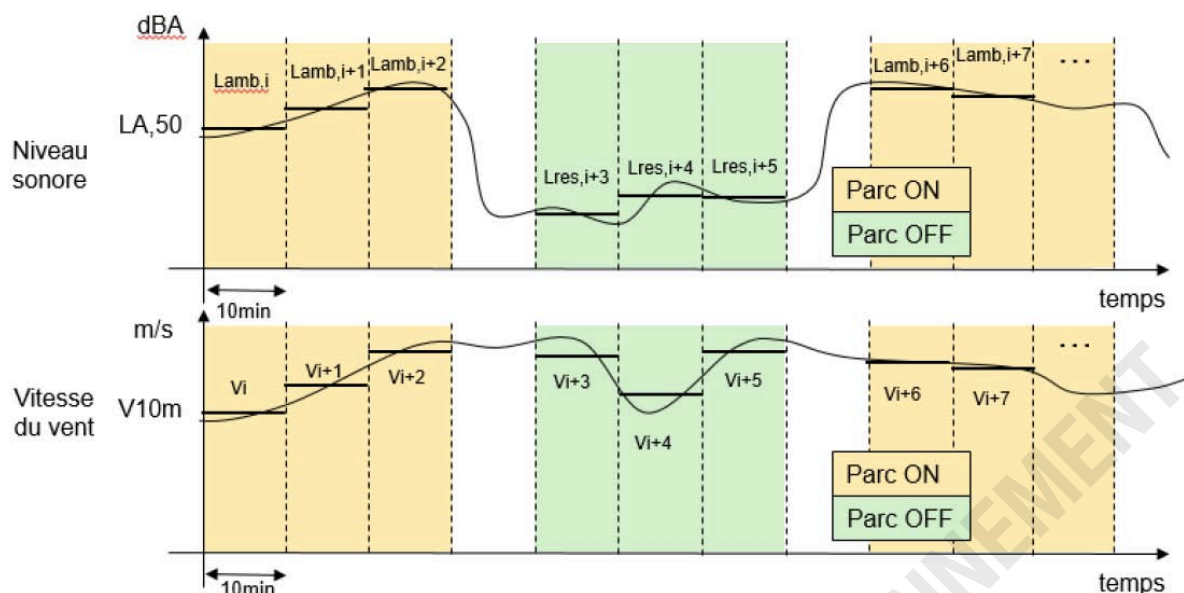
INRS - Institut national de recherche et de sécurité (Vandœuvre lès Nancy) - NS 365, janvier 2019

Source : <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03498920/document>

b) Le texte du protocole du 22 mars 2022

- Tel qu'il est présenté aux DREAL, aux élus et aux citoyens dans les rapports acoustiques des bureaux d'étude, le nouveau protocole de mesure du bruit définit des **descripteurs représentatifs de bruit et de vent**, et décrit l'analyse acoustique qui doit être réalisée pour s'assurer de la conformité des centrales éoliennes à la réglementation :
- Durant toute la campagne de mesures, le fonctionnement du parc éolien suit des cycles marche/arrêt réguliers.
 - Durant chaque cycle de marche, on évalue les **niveaux sonores** ambiants (bruit résiduel + bruit des éoliennes) au niveau d'une zone à émergence réglementée (ZER) en collectant au moins 10 échantillons sur des intervalles réguliers de 10 minutes à partir d'un indice fractile L50 (L50_10min)², calculé à partir des niveaux acoustiques moyen LAeq_1s³, mesurés sur 1 seconde.
 - On procède de la même façon durant chaque cycle d'arrêt des machines pour déterminer les niveaux sonores résiduels [sans le bruit des éoliennes].
 - On mesure simultanément sur ces intervalles la vitesse de vent moyenne associée à chacun de ces intervalles afin d'obtenir une **classification des niveaux sonores en fonction de la vitesse de vent**.

-
1. Selon la définition de l'AFNOR, un bruit impulsionnel est un « bruit consistant en une ou plusieurs impulsion(s) d'énergie acoustique, ayant chacune une durée inférieure à environ 1 s et séparée(s) par des intervalles de temps de durée supérieure à 0,2 s. »
 2. Indice statistique fractile L50 : exprime, par rapport à la durée totale de la mesure, le pourcentage de temps pendant lequel le niveau sonore moyen Leq a été dépassé, ici 50% - voir dans ce dossier le point IV b.
 3. Indicateur de gêne sonore basé sur une exposition globale au bruit sur une période donnée : le LAeq, T correspond donc à une « dose de bruit » moyenne reçue pendant une durée de temps déterminée.
Soit LAeq_1s : « L » = Level – « A » = pondération A dB(A) – « eq » = équivalent — « 1s » = durée de la mesure - voir dans ce dossier le point IV b.



Mesure des niveaux sonores ambiants (L_{amb}) et résiduels (L_{res}), ainsi que des vitesses de vents moyennes.
 Parc ON : éoliennes en fonctionnement. Parc OFF : éoliennes à l'arrêt.

- Pour chaque **classe de vitesse de vent**, on calcule la **médiane** des niveaux sonores pour la période de bruit ambiant ainsi que la **médiane** des niveaux sonores pour la période de bruit résiduel.
- L'**indicateur d'émergence** est finalement estimé pour chaque classe de vitesse de vent en calculant la différence entre l'indicateur sonore [médiane] représentatif du bruit ambiant et l'indicateur sonore [médiane] représentatif du bruit résiduel.

Cette valeur est associée à chaque classe de vitesse de vent, ainsi qu'à différents paramètres complémentaires (période de la journée et direction de vent par exemple), afin d'obtenir à la fin de la campagne de mesure une classification de l'indicateur d'émergence en fonction de la vitesse de vent, pour différentes **situation-types** (concept qui vient remplacer celui de **classe homogène**¹) définies par les paramètres complémentaires.

La classification obtenue pour chaque situation-type permettra de comparer pour chaque classe de vent un indicateur d'émergence avec un seuil réglementaire.

La campagne de mesure peut être scindée en plusieurs périodes de mesures non consécutives réalisées à différents moments de l'année (ex : une mesure en hiver et une mesure en été). Généralement, chaque période correspondra à une situation-type différente qu'il conviendra de distinguer spécifiquement.



L'émergence sonore, transformée insidieusement en « indicateur d'émergence », est donc bien désormais une différence de médianes

1 La classe homogène est définie en fonction des facteurs environnementaux ayant une influence sur la variabilité des niveaux sonores. A l'intérieur d'une classe homogène, la vitesse du vent n'est plus théoriquement que la seule variable influente sur les niveaux sonores.

d'échantillons sonores calculés à partir d'un indicateur statistique L50 qui est lui-même la médiane sur 10 minutes (il exclut les dépassements constatés 50% du temps) de relevés d'énergies sonores moyennes LAeq dont les pics impulsions sont « lissés » sur 1 seconde.

Cette nouvelle définition de l'émergence sonore est en totale contradiction avec celle de la norme internationale ISO 1996-1 ainsi que de la seule norme française AFNOR de mesure du bruit dans l'environnement et d'application réglementaire dans les troubles anormaux de voisinage : la norme NF S 31-010 (pourtant toujours citée en référence dans le protocole de mesure du bruit).

- c) **Le piège de la médiane : ou comment manipuler les chiffres pour, réglementairement, faire remonter le bruit résiduel et abaisser le bruit ambiant en faisant disparaître les extrêmes**

Dix mesures de bruit sont effectuées avec un sonomètre :

7h	8h30	10h	11h30	13h	14h30	16h	17h30	19h	20h30
23 dB	27 dB	44 dB	28 dB	24 dB	52 dB	54 dB	38 dB	29 dB	43 dB

Pour déterminer la médiane on classe ces valeurs par ordre croissant :

23	24	27	28	29	38	43	44	52	54
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

La médiane est la valeur centrale d'une distribution. Comme il y a un nombre pair de valeurs, on a donc 2 valeurs centrales. La médiane est alors la moyenne de ces deux valeurs.

23	24	27	28	29	38	43	44	52	54
----	----	----	----	-----------	-----------	----	----	----	----

La valeur médiane qui sera donc retenue est de $(29 + 38) / 2 =$ **33,5 dB**

Maintenant que ce principe est acquis, prenons un exemple plus proche de la réalité :

Dix « échantillons » de bruit sont sélectionnés parmi des mesures effectuées pendant 15 jours avec un sonomètre, lors d'une campagne acoustique visant à caractériser les émergences sonores avec un vent de secteur O-N-O soufflant à 4m/s. Pour effectuer les mesures, les éoliennes sont mises à l'arrêt puis remises en route lors de séquences régulières dites « marche/arrêt » (ON/OFF).

Des moyennes ¹ sont établies pour chaque tranche horaire :

¹ Nous parlons ici de « moyenne » pour faciliter la compréhension. En réalité, nous l'avons vu, il s'agit d'échantillons sonores calculés à partir des indices fractiles LA50,10 min (médiane) obtenus à partir des niveaux sonores élémentaires LAeq,1s (moyenne, et plus précisément une moyenne quadratique).

Eoliennes à l'arrêt (bruit résiduel en dB) :									
7h	8h30	10h	11h30	13h	14h30	16h	17h30	19h	20h30
28	34	33	37	31	38	35	39	36	31
Valeurs triées par ordre croissant :									
28	31	31	33	34	35	36	37	38	39
(valeurs centrales)									

La valeur médiane du bruit résiduel qui sera donc retenue est de : **34,5 dB**

Eoliennes en marche (bruit ambiant en dB) :									
40	42	35	45	34	39	36	42	49	39
Valeurs triées par ordre croissant :									
34	35	36	39	39	40	42	42	45	49
(valeurs centrales)									

La valeur médiane du bruit ambiant qui sera donc retenue est de : **39,5 dB**

La réglementation nous dit qu'en période diurne (de 7h à 22h) les émergences admissibles sont de 5 dB, dès lors que le seuil de caractérisation de 35 dB est dépassé. Il s'agit donc de faire une différence des médianes des bruits ambiants et résiduels :

Emergence retenue par la réglementation :	39,5	-	34,5	=	5 dB
--	-------------	---	-------------	---	-------------

5 dB(A) admissibles : la réglementation est donc respectée, le parc éolien est « conforme ».

MAIS, quelle est la réalité des émergences réelles subies à chaque moment par les riverains ?

Emergences réelles subies :									
7h	8h30	10h	11h30	13h	14h30	16h	17h30	19h	20h30
12 dB	8 dB	2 dB	8 dB	3 dB	1 dB	1 dB	3 dB	13 dB	8 dB



Grâce à cet artifice de la différence des médianes, une centrale éolienne peut donc fonctionner en toute légalité en dépassant 50% du temps (dans notre exemple) les seuils réglementaires fixés par les arrêtés ministériels, avec des pics de bruit de 10 dB(A). Cet exemple illustre parfaitement le fait que si à la base la notion d'émergence sonore visait, en droit français, à permettre de caractériser des nuisances environnementales et à prévenir les risques liés au bruit, le **régime dérogatoire éolien ne répond plus à ces critères de santé publique et de commodité du voisinage mais bien à permettre le déploiement massif de cette industrie sur le territoire en dissimulant ses impacts sanitaires.**

« C'est comme si...

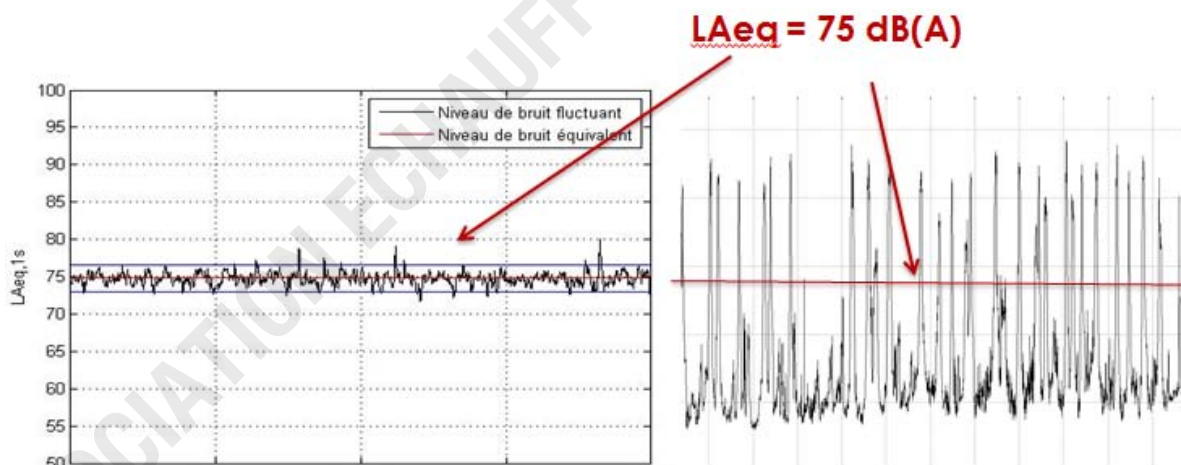
Le P.I.C.L.F. (lobby des Promoteurs Immobiliers Construisant sur le Littoral Français ¹) faisait prendre à l'État français la décision de n'accorder des permis de construire en bord de mer qu'en ne se basant plus que sur la hauteur médiane annuelle des marées. Ce secteur de la construction connaîtrait une très forte croissance et une grande prospérité, mais les nouveaux propriétaires passeraient alors la moitié de l'année sous l'eau.

d) **Le piège des indices énergétiques LAeq_1s : ou comment abaisser le niveau le bruit éolien en le réduisant à une « dose » moyenne acceptable**

- Indicateurs énergétiques et évènementiels correspondent à deux approches complémentaires qui ne sont, l'une comme l'autre, que partielles pour décrire la complexité de la réalité des nuisances sonores perçues par les citoyens.

En pratique, on observe une certaine corrélation entre LAeq et une sensation de gêne auditive. Cependant, la communauté scientifique s'interroge aujourd'hui sur les limites du LAeq. En intégrant les variations dans le temps du niveau de pression acoustique pour obtenir un niveau moyen, le LAeq « gomme » les évènements sonores isolés de forte amplitude et de courte durée très gênants.

De plus, il devient impossible de différencier deux bruits ayant le même LAeq mais avec des spectres différents, associés à des sensations de gêne différentes. Comme par exemple, un bruit relativement continu et une situation d'exposition à une succession de pics de bruits qui représenteraient au final la même énergie.



2 situations sonores bien différentes mais pourtant le même résultat en LAeq

Si l'on n'adapte pas la durée d'intégration (t) du LAeq,t au phénomène sonore que l'on cherche à caractériser, il ne permettra pas d'évaluer précisément les notions de gêne. Pire, il risquera même de les fausser.

1. Toute ressemblance avec un nom de produit, d'organisation ou de personne existant serait purement fortuite.

Dans le cas de bruits impulsionnels et modulants (caractère périodique) comme ceux des éoliennes, le LAeq_1s n'apporte pas de précisions suffisantes.



La « profondeur de modulation » d'un bruit éolien peut être définie comme la différence entre les « pics » et les « creux » des niveaux de bruit mesurés à court terme. Les mesures LAeq effectuées sur des temps courts (1 seconde) fournissent une indication générale des niveaux de modulation d'amplitude les plus défavorables caractéristiques d'une certaine période mais **seul un LAeq_100 ms ou similaire, permettra d'identifier la fréquence de modulation, puis d'évaluer l'amplitude de la modulation à cette fréquence, d'une manière robuste et objective, reproductible et applicable aux données mesurées réelles.**



OMS 2018

4. Valeurs guides

Environnements spécifiques

Une mesure du bruit basée seulement sur l'addition d'énergie et exprimée comme la mesure équivalente conventionnelle, LAeq, n'est pas suffisante pour caractériser la plupart des environnements bruyants. Il est également important de mesurer les valeurs maximum des fluctuations de bruit, de préférence combinées avec une mesure du nombre d'événements de bruit. Si le bruit inclut une grande proportion de composants de basse fréquence, des valeurs plus basses encore que les valeurs guides données ci-dessous seront nécessaires. Quand les composants de basse fréquence prévalent, les mesures de bruit basées sur la catégorie A sont inadéquates. La différence entre dB(C) et dB(A) fournira des informations approximatives sur la présence des composants de basse fréquence dans le bruit. Mais si la différence est de plus de 10 dB, on recommande une analyse de fréquence du bruit. Il convient de noter qu'une grande proportion de composants de basse fréquence dans le bruit peut augmenter considérablement les effets défavorables sur la santé.

Source : OMS 2018 - Lignes directrices relatives au bruit dans l'environnement dans la région européenne
www.euro.who.int/fr/env-noise-guidelines

e) Le piège de l'indice statistique LA50 : ou comment lisser et faire disparaître les bruits courts de forte intensité (pics) qui sont pourtant le critère de gêne principal des riverains

- ▶ Afin de pouvoir s'affranchir de certains bruits impulsionnels ou intermittents ¹ (claquements de portières de voiture, chute d'objets à proximité, tracteurs, tondeuses, animaux, etc.) parasitant la [mesure du bruit résiduel](#), la réglementation ICPE de 1997 ², avec en référence la norme NF S 31-010, autorise l'utilisation de l'indice fractile LA50 (permettant donc de « retirer » les bruits qui apparaissent pendant plus de 50% du temps de mesure).

1. « [...] porteurs de beaucoup d'énergie mais qui ont une durée d'apparition suffisamment faible pour ne pas présenter, à l'oreille, d'effet de " masque " du bruit de l'installation. Une telle situation se rencontre notamment lorsqu'il existe un trafic très discontinu. » (Annexe de l'arrêté ICPE du 23 janvier 1997 rappelant les dispositions de la norme AFNOR NF S 31-010 " Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement. - Méthodes particulières de mesurage ").
2. Arrêté du 23 janvier 1997 relatif à la limitation des bruits émis dans l'environnement par les installations classées pour la protection de l'environnement. NOR : ENVP9760055A - [JORF n°73 du 27 mars 1997](#)

L'usage de cet indice fractile L50 ne se justifie que ¹ :

- si la différence $L_{Aeq} - L50$ est supérieure à 5dB(A) et compte tenu du caractère stable des sources sonores à caractériser, l'indicateur représentatif est constitué par l'indicateur acoustique L50 ;
- si la différence $L_{Aeq} - L50$ est inférieure à 5dB(A), ou si les sources sonores présentent un caractère fluctuant, l'indicateur représentatif est constitué par l'indicateur acoustique L_{Aeq} .

De plus, lors du calcul de l'émergence, si l'indicateur retenu pour qualifier le bruit résiduel est le L50, les impacts du projet doivent également être évalués en L50. On ne peut pas intégrer des indices énergétiques et statistiques dans un même calcul.

Néanmoins, considérant que le choix du L50 peut ne pas être adapté à un contexte particulier en retirant trop d'informations à la mesure, la législation prévoit que l'acousticien puisse proposer d'autres indicateurs fractiles plus pertinents pour qualifier l'état du bruit initial.

L'indicateur fractile plus fin, L90, est préconisée par la méthode « expertise » au paragraphe 6.5.2.5.1 de la norme AFNOR NF S 31-010 (1996) dans les situations de bruits fluctuants ².

Or, le bruit résiduel de l'environnement est presque toujours fluctuant, car il est la somme d'un grand nombre de bruits d'apparition aléatoire (animaux, effet du vent dans les feuilles, bruits intermittents des trafics routiers, etc.).



En d'autres termes, l'utilisation de l'indice fractile L50 vise bien à éliminer les bruits **résiduels** intermittents et non les niveaux de bruit ambiant les plus élevés, en particulier lorsque seul le bruit de fonctionnement de l'installation est perçu, ou que les bruits intermittents masquant sont rares (moins de 10 % d temps).

-
1. « Dans le cas où la différence $L_{Aeq} - L50$ est supérieure à 5 dB(A), on utilise comme indicateur d'émergence la différence entre les indices fractiles L50 calculés sur le bruit ambiant et le bruit résiduel. »
Norme AFNOR NF S 31-010.
 2. Le niveau sonore d'un bruit fluctuant varie de façon notable, mais pas de façon impulsionnelle, pendant une période d'observation.

f) Comparaison des méthodes de calcul

- L_{aeq} vs LA₅₀

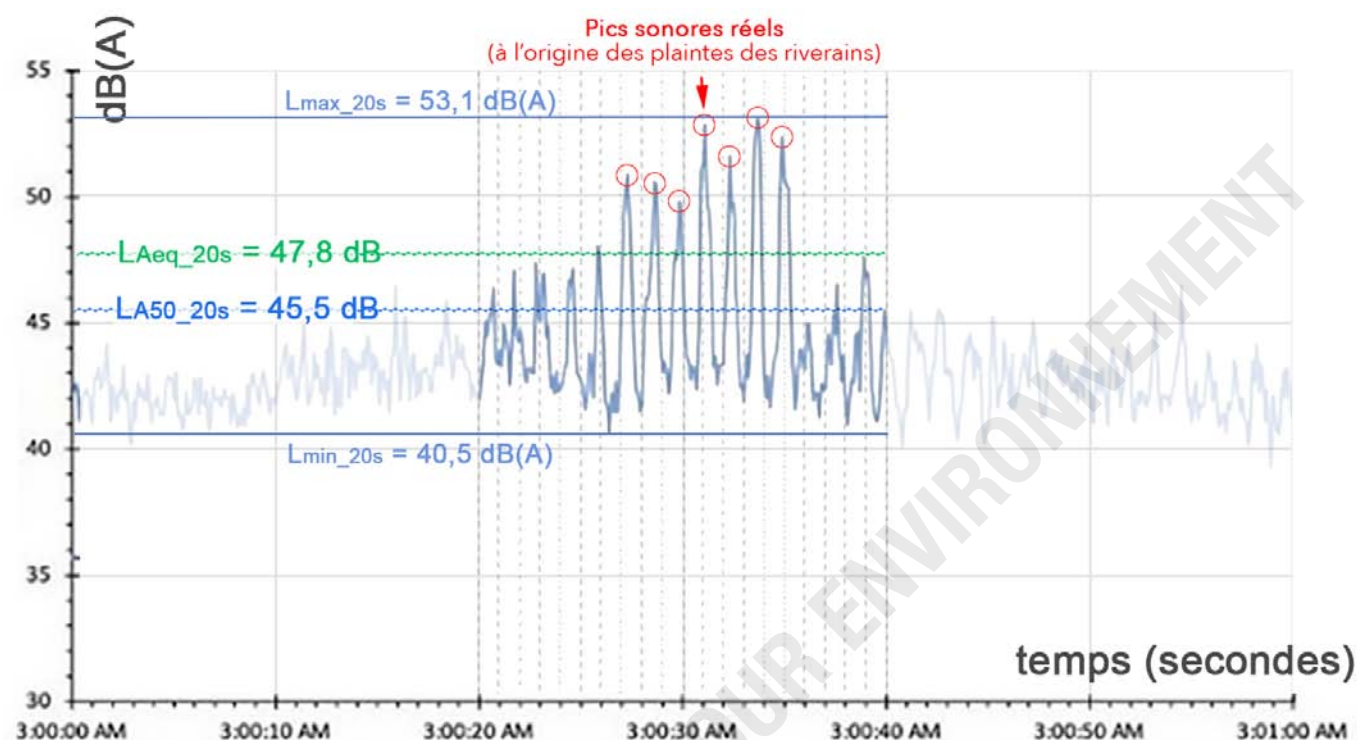


Figure 1 : Courbe sonore d'une éolienne – comparaison du LA50_20s et du LAeq_20s

- La figure 1, nous permet de comparer le relevé sonore effectué pendant 20 secondes, de 3:00:20 AM à 3:00:40 AM, avec le LA50 et LAeq :

- le niveau acoustique équivalent LAeq_20s est de 47,8 dB(A) ;
- le niveau fractile LA50_20s est de 45,5 dB(A).

La différence LAeq_20s – LA50_20s est de 1,3 dB(A).

En revanche, ces deux indicateurs écartent toutes références aux pics de bruit — plus de 50 dB(A), aux modulations d'amplitude des éoliennes qui sont à l'origine des plaintes des riverains des éoliennes, ainsi qu'au seuil inférieur du bruit résiduel qui descend à 40,5 dB(A) : une modulation d'une amplitude de 12,6 dB(A).

- LA50 calculé à partir des niveaux LAeq,1s

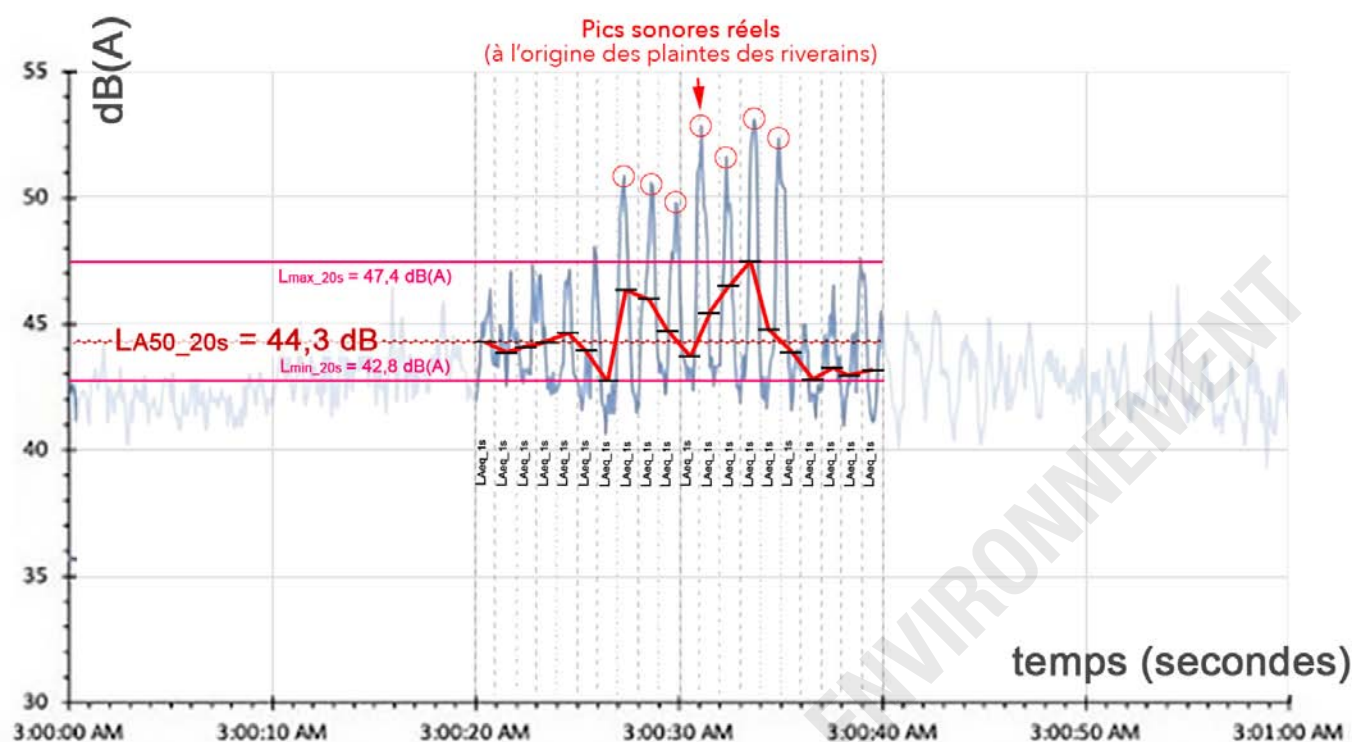


Figure 2 : Courbe sonore d'une éolienne – calcul du LA50_20s à partir des LAeq_1s

- ▶ La figure 2, ci-dessous, nous permet de comparer le relevé sonore effectué pendant 20 secondes, de 3:00:20 AM à 3:00:40 AM, à partir d'un niveau LA50 calculé sur la base des niveaux acoustiques équivalents LAeq_1s :

- le niveau fractile LA50_20s est de 44,3 dB(A), inférieur de 1,2 dB(A) à celui de la figure 1.

Bien que cet indicateur écarte à nouveau toutes références aux pics de bruit, aux modulations d'amplitude des éoliennes qui sont à l'origine des plaintes de riverains des machines, ainsi qu'au seuil inférieur du bruit résiduel, nous constatons que l'utilisation des niveaux acoustiques équivalents LAeq_1s a pour effet redessiner la courbe de bruit en la lissant :

- le niveau de bruit maximum descend à 47,4 dB(A) : - 5,7 dB(A) ;
- le niveau de bruit minimum remonte à 42,8 dB(A) : + 2,3 dB(A) ;
- la modulation d'amplitude n'est plus que de 4,6 dB(A) au lieu des 12,6 dB(A) réels.



En conclusion : on voit bien comment l'utilisation de ces seuls indicateurs peuvent permettre d'écarter tous les pics de bruit, de lisser les modulations d'amplitude des pales d'éoliennes et, dans tous les cas, permettre de faire remonter le seuil du bruit résiduel (sans les machines) et de descendre celui du bruit ambiant (avec les machines).

Et cela, avant même l'application d'une médiane pour déterminer le niveau global de l'émergence ... Un artifice précieux pour les promoteurs qui peuvent ainsi optimiser leur production électrique et leurs bénéfices ; mais préjudiciable en revanche pour les riverains qui se voient ainsi imposer réglementairement des amplitudes de bruit et une pollution sonore insupportable et dangereuse pour leur santé.

4) Autres failles notables du nouveau protocole de mesure du 22 mars 2022

a) Le refus de prise en compte des effets cumulés

- ▶ Le protocole dans sa version d'octobre 2021 prévoit, en son article 1.2, que « *le bruit résiduel intègre les bruits générés par les autres éléments, naturels ou anthropiques, qu'ils s'agissent d'autres installations classées pour la protection de l'environnement (exemple : élevage agricole, éoliennes, etc.) ou des équipements d'autre nature (exemple : infrastructures routières, ligne ferroviaire, etc.) présents dans l'environnement* » et, en son annexe 1, que le niveau sonore de bruit résiduel correspond au « *niveau sonore du bruit émis par toutes les sources du site lorsque le parc éolien objet de l'étude est à l'arrêt* ».
- ▶ Quant au protocole dans sa version de mars 2022, il reprend ces dispositions et ajoute, en son annexe 1, que « *dans le cas d'un nouveau projet éolien ou dans le cas d'un renouvellement de parc éolien, le bruit résiduel intègre tous les parcs en fonctionnement qui sont indépendants du parc étudié* ».

Cette façon de calculer le bruit résiduel, qui, en le soustrayant du bruit ambiant intégrant le bruit particulier émis par l'installation, permet de déterminer l'émergence autorisée, encadrée par l'article 26 de l'arrêté « autorisation » et l'article 8.1 de l'annexe 1 à l'arrêté « déclaration » (soit 5 dB(A) la journée et 3 dB(A) la nuit), est inacceptable, car **elle augmente artificiellement le bruit résiduel et minore par conséquent l'émergence sonore**. Elle permet en outre, en cas de réitération du processus, d'autoriser des parcs éoliens alors que le bruit pour les riverains serait devenu insupportable.



La seule méthode acceptable pour la commodité du voisinage, la santé et la salubrité publique, consiste à mesurer l'impact cumulé des parcs éoliens en calculant le bruit résiduel sans tenir compte des parcs éoliens existants à proximité, pour s'assurer que cet impact est conforme à la réglementation acoustique.

C'est tout naturellement la méthode qui aurait été suivie, si le ou les parcs existants et le parcs à créer avaient été autorisés en une seule fois.

C'est d'ailleurs la raison pour laquelle le Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens, dans son actualisation de 2010 (p. 135) exposait alors que, « *lorsque le projet est proche d'un ou plusieurs parcs éoliens existants, il existe de fait un risque d'impact cumulé. La méthodologie recommandée consiste à considérer comme état initial celui qu'il y aurait si l'ensemble des éoliennes étaient à l'arrêt* ».

b) La suppression des seuils les plus bas des niveaux de bruit résiduel

- ▶ Dans la mesure du bruit résiduel, le nouveau protocole de mesure de mars 2022 impose de supprimer les mesures dont les niveaux sont proches du niveau supposé du bruit du vent sur le sonomètre : **autrement dit de supprimer toutes les mesures de bruit les plus basses**.

- L'article 2.5.3.2 du protocole énonce que « *les intervalles de base pour lesquels la moyenne sur 10 minutes des vitesses de vent au niveau du microphone dépasse la vitesse de vent maximale V_{max} qui figure dans les tableaux de l'annexe 7 doivent être considérés comme invalides et être écartés des analyses* ».

Selon les tableaux de cette annexe 7, lorsque le niveau de bruit résiduel mesuré risque d'être augmenté de plus de 0,3 dB(A)¹ par celui du vent dans le micro, le protocole impose ainsi de supprimer la mesure, plutôt que de la corriger.

Un principe similaire existe certes dans la norme NF S 31-010² qui interdit de prendre en compte les mesures effectuées lorsque la vitesse du vent à côté du sonomètre est supérieure à 5 m/s. : « *Les conditions météorologiques peuvent influencer sur le résultat [...] par perturbation du mesurage, en particulier par action sur le microphone, il convient donc de ne pas faire de mesurage quand la vitesse du vent est supérieure à 5 m/s.* »



Mais, avec l'application de la méthode de la médiane, cette suppression des mesures incertaines, dont les niveaux sont les plus bas, a pour effet immédiat de remonter la valeur de la médiane du bruit résiduel, et ce de manière significative. Le remède est alors pire que le mal.

Si dans une série de n mesures de bruit résiduel, par exemple :

21 – 22 – 25 – **27** – 29 – 30 – 32

dont la médiane est 27 dB(A), on décrète que les mesures 21 et 22 doivent être éliminées parce qu'elles sont probablement majorées à cause du vent de 0,3 dB(A), la série de mesures devient :

~~21~~ – ~~22~~ – 25 – 27 – **29** – 30 – 32

et la médiane du bruit résiduel passe à 29 dB(A).

Le maintien des mesures douteuses n'aurait lui aucun effet sur la valeur médiane, **qui dépend exclusivement de la quantité et non des niveaux des mesures qui lui sont inférieures.**



Cette nouvelle règle considère qu'il est impossible de faire des mesures de bruit résiduel à bas niveau en présence de vent et conduit à éliminer un grand nombre de mesures qui étaient autrefois conservées.

Or, c'est dans ces conditions de faible bruit résiduel que les modulations d'amplitude des éoliennes sont les plus audibles et ces bruits perçus comme nuisances acoustiques par les riverains des machines (et particulièrement durant la nuit).

-
1. b_{vent} : contribution sonore maximale tolérée du bruit du vent³. Le choix de la valeur de b_{vent} est libre et la valeur de l'incertitude correspondant au choix adopté doit être intégrée in fine dans les calculs d'incertitudes (cf. §2.6 et 4). Choisir par exemple $b_{vent} = 0,3$ dB(A) signifie que l'on tolère que le vent augmente le bruit mesuré d'un maximum 0,3 dB(A).
 2. Paragraphe 6.4.2 de la norme AFNOR NF S 31-010

Exemple : 11 échantillons LA50 de 10 minutes sont mesurés pendant l'arrêt des éoliennes et traités par 3 bureaux d'étude différents :

$$L50 \text{ en dB(A)} = 24 - 25 - 27 - 28 - 30 - \mathbf{31} - 32 - 33 - 34 - 34 - 36$$

la médiane du bruit résiduel est **31 dB(A)**.

Or le vent mesuré à côté du sonomètre est de 1,5 m/s, le niveau de bruit théorique des turbulences est 13,7 dB(A), et le bureau d'étude retient une contribution sonore maximale $b_{\text{vent}} = 0,1 \text{ dB}$, en éliminant les quatre premiers échantillons inférieurs à 30 dB(A) :

$$L50 \text{ en dB(A)} = \del{24} - \del{25} - \del{27} - \del{28} - 30 - 31 - 32 - \mathbf{33} - 34 - 34 - 36$$

- la médiane du bruit résiduel devient **33 dB(A)**, soit une augmentation très significative sans commune mesure avec l'erreur de 0,3 dB(A) sur les valeurs les plus basses.

Un second bureau d'étude retient une contribution sonore maximale $b_{\text{vent}} = 0,3 \text{ dB}$, comme le protocole lui en laisse la liberté, et il supprime les valeurs inférieures à 25 dB(A) :

$$L50 \text{ en dB(A)} = \del{24} - \del{25} - 27 - 28 - 30 - 31 - \mathbf{32} - 33 - 34 - 34 - 36$$

- la médiane du bruit résiduel devient alors **32 dB(A)**.

Un troisième bureau d'étude décide de passer outre la règle et calcule une correction pour les niveaux les plus bas. Les valeurs deviennent :

$$L50 \text{ en dB(A)} = 23,6 - 24,7 - 26,8 - 27,9 - 30 - \mathbf{31} - 32 - 33 - 34 - 34 - 36$$

- la médiane du bruit résiduel est inchangée et vaut **31 dB(A)**.

Remarques conclusives

Imaginez qu'après avoir demandé à un aveugle de naissance de mesurer la lumière, d'en établir les caractéristiques, de décrire nos interactions et de mettre en place des règles qui permettent de prévoir quand et comment nous pouvons y être exposés... nous découvririons qu'il a totalement ignoré les couleurs du spectre ainsi que bon nombre de rayonnements potentiellement dangereux pour la santé.

Les failles de l'analyse acoustique, et de chaque indicateur de gêne sonore, nous rapprochent de cet exemple : en nous soumettant à leurs analyses, leurs prévisions et leurs conclusions, nous demandons bien à un sourd de nous expliquer le bruit.

L'oreille humaine est un puissant discriminateur qui permet, sans que nous y prêtions attention, de déterminer la nature, l'origine, la distance, la puissance... d'un bruit. Et quand nos oreilles elles-mêmes peinent à analyser certaines informations de pressions sonores, comme des variations dues à basses fréquences, c'est alors notre corps qui les ressent.

Aucun micro, aussi sophistiqué soit-il, aucun indicateur, aussi fin soit-il, n'est bien sûr capable d'un tel exploit : ils ne traiteront qu'une composante partielle du phénomène.

Le 5 octobre 2020, le Conseil national du bruit (CNB), saisi par les services du Ministère de la transition écologique, rendait un avis sans appel sur la pertinence des indicateurs et des seuils en matière de pics de bruit des infrastructures ferroviaires :



CONSEIL NATIONAL DU BRUIT

Avis

De l'avis des experts, les connaissances scientifiques recueillies à ce jour ne permettent pas de se prononcer sur la pertinence et la sélection d'un indicateur unique précis.

[...]

Le CNB considère qu'il n'existe pas à ce jour d'indicateur défini et validé scientifiquement qui permettrait à lui seul de tenir compte des principaux paramètres acoustiques d'influence de la gêne de long terme ressentie par les riverains des infrastructures ferroviaires.

[Source : Avis du Conseil National du Bruit du 5 octobre 2020 sur les pics de bruit des infrastructures ferroviaires](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/CNB-AVIS%20PICS%20DE%20BRUIT%205%20OCTOBRE%202020%20ADOPTÉ.PDF)

[https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/CNB-](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/CNB-AVIS%20PICS%20DE%20BRUIT%205%20OCTOBRE%202020%20ADOPTÉ.PDF)

[AVIS%20PICS%20DE%20BRUIT%205%20OCTOBRE%202020%20ADOPTÉ.PDF](https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/CNB-AVIS%20PICS%20DE%20BRUIT%205%20OCTOBRE%202020%20ADOPTÉ.PDF)

Cet avis démontre bien la grande difficulté de la science à rendre compte de phénomènes acoustiques complexes.

Que ce soit dans le domaine ferroviaire ou dans celui des *installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à déclaration au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement* (éoliennes), la problématique reste la même : **comment tenir compte des principaux paramètres acoustiques d'influence de la gêne de long terme ressentie par les riverains ?**

Pour rappel, ces principaux paramètres sont les suivants :

- La perturbation sonore aérodynamique des éoliennes, conditionnée par :
 - 1) l'intensité des pics de bruit sur de très courtes périodes (bruits impulsifs),
 - 2) les fluctuations temporelles marquées (modulation d'amplitude) du signal sonore,

- 3) l'influence complexe des conditions climatiques, météorologiques, topographiques, géologiques, naturelles liées à la faune et à la végétation...
 - 4) le différentiel de niveau sonore ambiant résultant du fonctionnement des machines par rapport au faible bruit de fond ambiant résiduel,
 - 5) une signature sonore particulière et une contribution importante dans le signal des basses fréquences,
 - 6) la présence simultanée de phénomènes vibratoires, entraînant une démultiplication de l'effet ressenti par les populations riveraines du fait d'une double composante acoustique et vibratoire.
- **La période d'apparition des pics de bruit** liés au fonctionnement des aérogénérateurs, la sensibilité au bruit étant variable selon les périodes de présence des personnes à leur domicile et leur vulnérabilité. Ainsi, la sensibilité des riverains est généralement plus forte la nuit que durant la soirée, et celle-ci étant elle-même plus forte que durant la période de journée. De la même manière, il peut être envisagé de tenir compte de l'exposition plus longue des riverains les jours de week-end et les jours fériés par rapport aux jours ouvrés et de leur aspiration à un environnement sonore extérieur de qualité aux beaux jours (du fait de l'utilisation plus importante des espaces extérieurs aux habitations et de l'ouverture des fenêtres). Une attention toute particulière devrait être accordée aux personnes vulnérables (malades, personnes âgées...) présentes à leur domicile une très grande partie de leur temps.
 - **Le caractère répétitif de l'apparition des pics de bruit**, et donc de leur nombre ou de leur durée d'apparition cumulée, pour chaque période d'intérêt.

Revenons à l'avis du CNB, dont la pertinence des remarques sur des questions acoustiques transversales nous permettra de conclure ce dossier sur le bruit éolien :



CONSEIL NATIONAL DU BRUIT

Avis

Pour chacun de ces paramètres d'influence, il existe des indicateurs acoustiques ou des méthodes de prise en compte (bonus/malus ou facteurs de pondération) qui apparaissent pertinents mais qui présentent chacun des forces et des faiblesses propres à leur méthode d'évaluation ainsi qu'à leur approche parcellaire de la problématique.

Certains indicateurs permettent d'appréhender de manière agrégée plusieurs paramètres d'influence à la fois. Il apparaît en outre nécessaire que l'indicateur ou l'association d'indicateurs qui sera retenu **puisse être traduit de manière pédagogique en des termes explicites et compréhensibles par le plus grand nombre en particulier par le public**. À pertinence similaire sur le plan technique et scientifique, le choix devra se porter sur les indicateurs les plus faciles à comprendre.

Dans le même ordre d'idée, il conviendra d'attacher la plus grande importance aux moyens d'information et de communication à mettre en place vis-à-vis de ces nouveaux indicateurs.

Le CNB est par ailleurs favorable à ce que les futurs objectifs fixés tiennent compte, comme c'est déjà le cas dans la réglementation actuelle, des **périodes de sensibilité différente au bruit ainsi que de la sensibilité du public** (nécessité d'adapter les seuils en fonction du type de situations).

La sélection d'un indicateur ou d'une combinaison d'indicateurs nécessite de poursuivre les travaux d'expérimentation et de confrontation avec des **situations réelles d'exposition au bruit**

d'ores et déjà documentées par la mesure et la modélisation. Il s'agit notamment d'approfondir la détermination des contextes pour lesquels l'introduction d'indicateur(s) complémentaire(s) au LAeq de long terme permettrait de modifier ou de moduler les exigences réglementaires pour mieux tenir compte des effets extra-auditifs principaux (perturbation du sommeil, gêne, difficulté d'apprentissage, risques cardiovasculaires) induits pour les populations riveraines exposées.

Si l'on peut considérer que les principaux facteurs de sources d'inconforts et de perturbations ressenties qui permettent d'enrichir la description de l'exposition au bruit sont relativement bien identifiés et connus de manière qualitative, il existe encore un manque important de connaissances quant aux lois de variation quantitative des effets sanitaires par rapport à ces différents facteurs et à leur poids respectif.

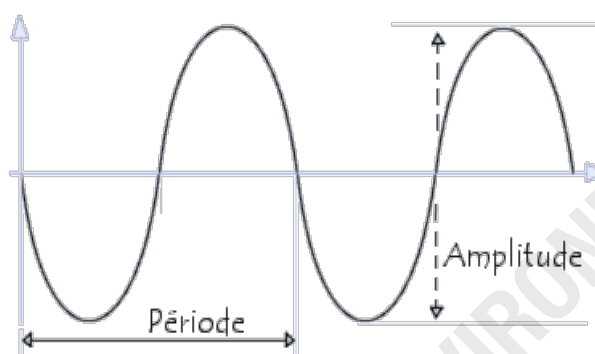
Aussi, le CNB considère qu'il n'est pas possible à ce stade de sélectionner précisément les indicateurs à retenir ni de définir ou moduler des seuils réglementaires sans réaliser des études complémentaires (étude de gêne en laboratoire et étude sanitaire auprès d'un échantillon représentatif de riverains soumis au bruit).

Source : Avis du Conseil National du Bruit du 5 octobre 2020 sur les pics de bruit des infrastructures ferroviaires
<https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/CNB-AVIS%20PICS%20DE%20BRUIT%205%20OCTOBRE%202020%20ADOPTÉ.PDF>

Glossaire

Amplitude

L'amplitude d'un son est la mesure caractérisant l'ampleur des variations périodiques de la forme d'onde. Elle rend compte de l'écart entre ses valeurs extrêmes sur une période d'observation donnée.



Bruit continu

Un bruit continu est constant et stable. Il peut notamment provenir de machines fonctionnant sans interruption, toujours sur le même mode, par exemple un ventilateur ou une pompe.

Bruit fluctuant

Le niveau sonore d'un bruit fluctuant varie de façon notable, mais pas de façon impulsionnelle, pendant une période d'observation.

Bruit impulsionnel

Selon la définition de l'AFNOR, un bruit impulsionnel est un « Bruit consistant en une ou plusieurs impulsion(s) d'énergie acoustique, ayant chacune une durée inférieure à environ 1 s et séparée(s) par des intervalles de temps de durée supérieure à 0,2s. »

Un bruit impulsionnel est caractérisé par de brèves augmentations du niveau sonore. Un bruit impulsionnel isolé dure généralement moins d'une seconde. Il peut s'agir de sources explosives, d'armes, de martelage, de claquement de portière de voiture, de jeux de ballons à l'extérieur, de cloches d'église ou de pales d'éoliennes.

Bruit intermittent

Un bruit intermittent s'entend seulement pendant certaines périodes, à intervalles réguliers ou irréguliers. La durée de chaque occurrence est supérieure à environ cinq

secondes. Le passage de véhicules la nuit sur une route généralement calme l'illustre bien.

Bruit modulant - Modulation d'amplitude

La modulation d'amplitude, encore appelée « swoosh », est une variation cyclique du niveau sonore (voir figure 2) atteignant typiquement 3 dB, parfois jusqu'à 7 à 8 dB. La fréquence du cycle est liée à la vitesse de rotation des pales, laquelle varie entre une fois toutes les deux secondes (0,5 Hz) à 2 fois par seconde (2 Hz). La variation d'amplitude est observable principalement lorsque les conditions atmosphériques créent une inversion de température, une situation se produisant surtout en début et en fin de journée.

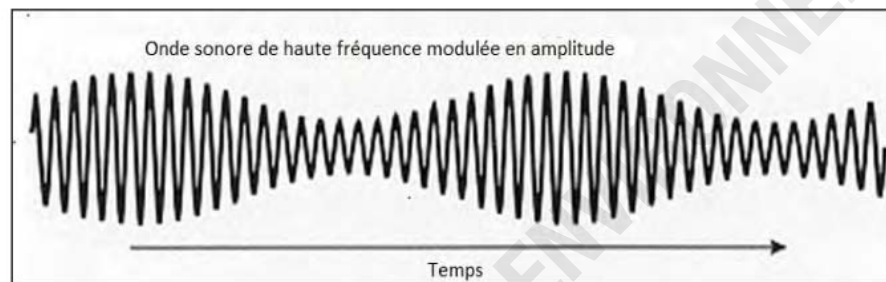


Figure 2 Schéma d'une onde sonore modulée en amplitude

Bruit initial

Le bruit initial est le bruit ambiant avant la modification envisagée. Dans le cas d'un projet de centrale éolienne, il s'agit du bruit ambiant existant avant l'installation des éoliennes.

Bruit particulier

Un bruit particulier est spécifiquement reconnu et associé à une source distinctive. Dans le cas d'une centrale éolienne, il s'agit du bruit émis par les éoliennes.

Bruit résiduel

Evaluer la gêne nécessite d'avoir une idée du bruit résiduel. Ce qui conduit à vouloir établir un point « zéro » pour avoir une idée du bruit environnant sans la nouvelle installation.

Le bruit résiduel est donc le bruit de fond ou « l'atmosphère » sonore habituelle d'un lieu en l'absence d'un bruit particulier ; par exemple, dans le cas d'une centrale éolienne, le bruit de la campagne lorsque tous les aérogénérateurs sont à l'arrêt total (ou avant leur installation).

Classe homogène (voir situation-type)

Une classe homogène est définie en fonction des facteurs environnementaux ayant une influence sur la variabilité des niveaux sonores. A l'intérieur d'une classe homogène, la vitesse du vent n'est plus théoriquement que la seule variable influençant les niveaux sonores.

Émergence

« [est] la différence entre les niveaux de pression acoustiques pondérés A du bruit ambiant (installation en fonctionnement) et du bruit résiduel (en l'absence du bruit généré par l'installation). » (définition de l'arrêté ministériel du 26 août 2011)

L'émergence est la différence arithmétique entre le niveau de bruit ambiant et le niveau de bruit résiduel. Elle est définie dans la norme internationale ISO 1996-1 : *Acoustique - Description, mesurage et évaluation du bruit de l'environnement* ¹.

L'ANSES ² précise que l'émergence est une « modification temporelle du niveau du bruit ambiant induite par l'apparition ou la disparition d'un bruit particulier. Cette modification porte sur le niveau sonore global ou sur le niveau sonore mesuré dans une bande de fréquence quelconque [NF S 30-101]. L'émergence (E) est obtenue en comparant le niveau de pression acoustique continu équivalent du bruit ambiant en présence du bruit particulier à caractériser [LA eq, T, part], au niveau de pression acoustique continu équivalent du bruit résiduel [LAeq, res] tel que déterminé sur l'intervalle d'observation. »

Émergence spectrale

L'émergence spectrale est la différence arithmétique entre le niveau de bruit ambiant et le niveau de bruit résiduel pour une bande particulière de fréquences, par exemple une octave.

Pour les sons ayant un contenu en basses fréquences, les valeurs des émergences spectrales diffèrent de l'émergence totale lorsque cette dernière est calculée à partir des valeurs pondérées selon la courbe A. Les différences se trouveront alors au niveau des bandes d'octaves situées dans les basses fréquences.

-
1. International Organization for Standardization - ISO (2003). Norme internationale ISO- 1996-1 : 2003(F). Acoustique — Description, mesurage et évaluation du bruit de l'environnement. Partie 1 : Grandeurs fondamentales et méthodes d'évaluation. Genève, 27 p.
 2. ANSES : Évaluation des impacts sanitaires extra-auditifs du bruit environnemental. Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective, édition scientifique février 2013.

Fractile :

(Statistiques) Valeur d'une fonction de répartition d'une variable aléatoire pour laquelle une certaine fraction de l'échantillon se trouve en-dessous. »

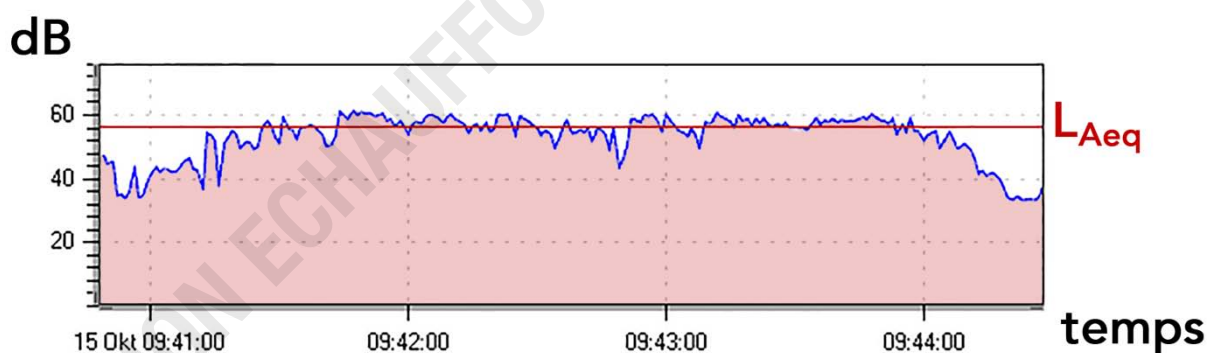
Les indicateurs statistiques fractiles de niveaux de gênes sonores $L_{x,t}$ indiquent les niveaux dépassés pendant x % du temps, au cours d'une période de mesure T . Lorsque que les mesures sont effectuées en appliquant la pondération A – dB(A), on notera L_{Ax} ; et quand la durée de mesure est de 10 minutes, on notera $L_{A50_10\text{ minutes}}$.

Indice énergétique L_{Aeq} , niveau de pression acoustique continu équivalent

Pour un bruit variable perçu pendant un certain temps, le L_{eq} représente le niveau de bruit constant qui aurait été produit au cours de cette même période avec la même énergie. Il est une moyenne énergétique pour une période donnée et est exprimé en dB.

Le L_{eq} devient L_{Aeq} lorsqu'il repose sur des données corrigées en fonction de la pondération A (décibel A).

Le L_{Aeq_1s} mesure une exposition globale au bruit sur une période de 1 seconde. Il correspond donc à la « **dose de bruit** » moyenne reçue sur une seconde. C'est un indicateur énergétique.



Sur ce graphique d'une mesure de niveau sonore dans le temps (t), l'aire rouge sous la courbe bleue représente l'énergie sonore instantanée mesurée sur la durée t . La ligne rouge horizontale tracée pour représenter la même surface sous la courbe bleue, nous donne le L_{Aeq} sur la même durée t : c'est la valeur équivalente ou la « moyenne » de l'énergie sonore totale reçue sur la durée t (ensemble du graphique).

Cet indicateur montre certaines faiblesses en gommant les pics d'amplitude de courte durée observés durant la période considérée. C'est pourquoi, d'autres indicateurs de type « événementiels » doivent également être utilisés.

Il ne reste pertinent pour la santé publique que lorsqu'il est basé sur une durée adéquate et qu'il peut être finement détaillé.

En matière de mesure de bruit impulsionnels, comme certaines modulations d'amplitude des éoliennes, il faut lui préférer une durée de 100 ms ou de 125 ms, seule capable de mesurer les modulations d'amplitudes des pales : L_{Aeq_100ms} ¹.

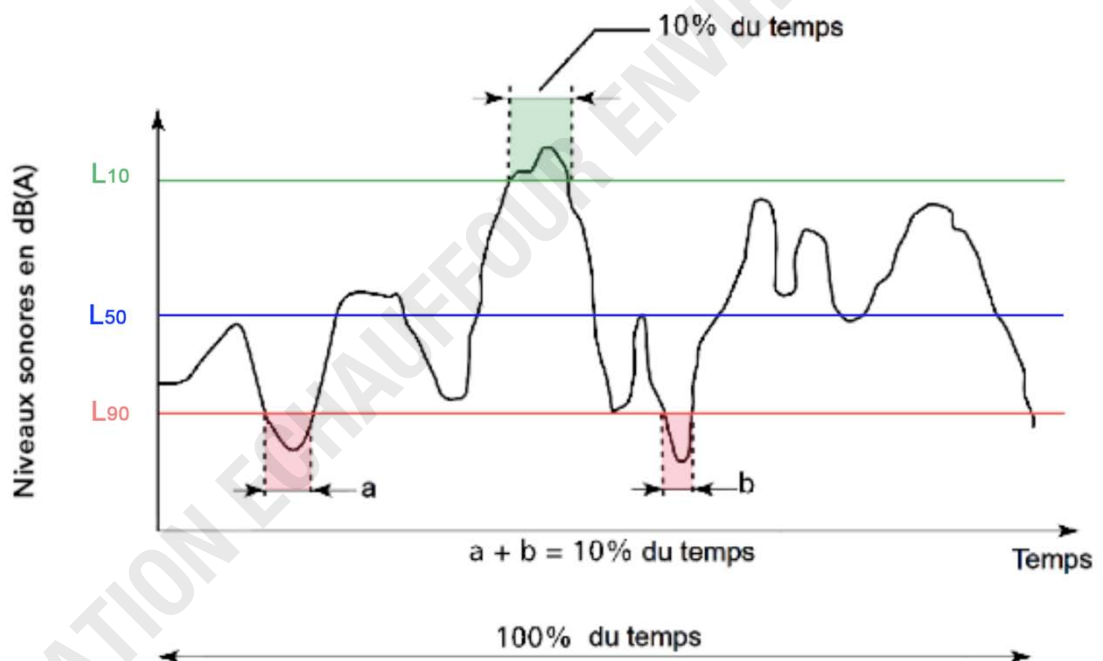
Indices statistiques fractiles L_{90} , L_{50} et L_{10}

Les indices statistiques ou niveau acoustique fractile (ISO-1996-2)², L_{90} , L_{50} , L_{10} , etc. exprimés en dB, servent à l'évaluation du bruit.

Pour une mesure d'un bruit variable sur une période donnée, le niveau L_{90} est dépassé pendant 90 % du temps. Le niveau L_{50} l'est pendant 50 % du temps et L_{10} , pendant 10 % du temps.

Les indices L_{90} , L_{50} et L_{10} représentent respectivement les niveaux ambiants, médians et de pics.

Lorsque ces indices sont utilisés pour des mesures pondérées selon la courbe A, ils sont notés L_{A90} , L_{A50} et L_{A10} .



Nous voyons sur ce graphique que les indicateurs L_{10} , L_{50} et L_{90} correspondent aux niveaux sonores dépassés durant respectivement 10%, 50% et 90% du temps de mesure.

1. La norme AFNOR NF S 31_010 dans sa version de 1996, utilise généralement une durée d'intégration élémentaire égale à 1 seconde mais prévoit pourtant, au paragraphe 6-5-2-2, des bornes d'intégration « de l'ordre de 100 ou 125 millisecondes », au lieu de 1 seconde, pour réduire les incertitudes du mesurage de ces bruits impulsionnels.
2. International Organization for Standardization - ISO (1987). Norme internationale ISO-1996-2 : 1987(F). Acoustique — Caractérisation et mesurage du bruit de l'environnement. Partie 2 : Saisie des données pertinentes pour l'utilisation des sols. Genève, 7 p.

L'indicateur statistique L_{50} est donc bien en lui-même une **médiane** des niveaux sonores sur une période donnée, qui permet d'atténuer significativement le niveau des bruits modulés et principalement ceux de tous les bruits de nature impulsionnelle comme ceux des éoliennes.

Rappelons que la norme officielle AFNOR NF S 31-010 impose de calculer l'émergence acoustique entre deux types similaires d'indices. Il est proscrit de calculer l'émergence acoustique d'un bruit particulier entre un indice de niveau continu équivalent (L_{eq}) et un indice fractile (L_x).

Médiane

En théorie des probabilités et en statistiques, une médiane est une valeur qui sépare la moitié inférieure de la moitié supérieure d'une série de valeurs. La médiane est donc, non pas la moyenne, mais bien le point central d'une distribution.

Situation-type (voir aussi classe homogène)

Dans le texte du protocole de mesure du bruit 2021 et 2022, le terme de « **situation type** » vient remplacer, sans autre explication, celui de « **classe homogène** » du précédent texte réglementaire (projet de norme Pr NF S 31-114).

La classe homogène était alors définie en fonction des facteurs environnementaux ayant une influence sur la variabilité des niveaux sonores et caractérisant un « paysage sonore » (chorus matinal, grillons au printemps, trafic ou activités spécifiques journalières et/ou saisonnières, etc.). A l'intérieur d'une classe homogène, la vitesse du vent devient donc théoriquement la seule variable influente sur les niveaux sonores.

Au point 2.1, le texte du protocole précise :

« L'indicateur d'émergence est finalement estimé pour chaque classe de vitesse de vent en calculant la différence entre l'indicateur sonore représentatif du bruit ambiant et l'indicateur sonore représentatif du bruit résiduel. Cette valeur est associée à chaque classe de vitesse de vent, ainsi qu'à différents paramètres complémentaires (période de la journée et direction de vent par exemple), afin d'obtenir à la fin de la campagne de mesure une classification de l'indicateur d'émergence en fonction de la vitesse de vent, pour différentes **situation-types** définies par les paramètres complémentaires. La classification obtenue pour chaque situation-type (voir paragraphe 4 de l'annexe 1) permettra de comparer pour chaque classe de vent un indicateur d'émergence avec un seuil réglementaire. La campagne de mesure peut être scindée en plusieurs périodes de mesures non consécutives réalisées à différents moments de l'année (ex : une mesure en hiver et une mesure en été). Généralement, chaque période correspondra à une **situation-type** différente qu'il conviendra de distinguer spécifiquement. »

Au paragraphe 4 de l'annexe 1 :

« Une situation-type est définie par l'opérateur en fonction des facteurs environnementaux ayant une influence sur la variabilité des niveaux sonores

(variation de trafic routier, activités humaines, réveil matinal de la faune (chorus matinal), orientation du vent, gradient de vent, saison ...). Une situation- type est bien définie si la vitesse du vent demeure la variable influente la plus importante sur les niveaux sonores (en théorie ce doit être la seule à l'intérieur d'une situation-type). De ce fait, une vitesse de vent n'est pas considérée comme un paramètre entrant dans la définition d'une situation-type. »

Son pur

Un son composé d'une seule fréquence est appelé « son pur ».

Spectre acoustique

Un bruit se compose souvent d'une superposition de sons de différentes fréquences. Le spectre acoustique est le niveau de dB pour chaque fréquence qui compose ce bruit.

L'analyse du bruit peut être faite par bande de fréquences, souvent des octaves ou des tiers d'octaves. Une telle analyse prend davantage en considération la sensibilité de l'oreille humaine, qui est différente selon les fréquences, et identifie les fréquences cibles permettant une réduction du bruit.

Tonalité marquée

Détecter une « tonalité marquée » consiste à mettre en évidence la prépondérance d'une composante fréquentielle. Cette notion est définie par l'arrêté du 23 janvier 1997 relatif aux mesures de bruit des ICPE : « *Dans le cas où le bruit particulier de l'établissement est à tonalité marquée au sens du point 1.9 de l'annexe du présent arrêté, de manière établie ou cyclique, sa durée d'apparition ne peut excéder 30 % de la durée de fonctionnement de l'établissement dans chacune des périodes diurnes ou nocturnes définies dans le tableau ci-dessus.* »

Le point 1.9. de l'annexe de cet arrêté dit que : « *La tonalité marquée est détectée dans un spectre non pondéré de tiers d'octave quand la différence de niveau entre la bande de tiers d'octave et les quatre bandes de tiers d'octave les plus proches (les deux bandes immédiatement inférieures et les deux bandes immédiatement supérieures) atteint ou dépasse les niveaux indiqués dans le tableau ci-après pour la bande considérée :*

Cette analyse se fera à partir d'une acquisition minimale de 10 s		
50 Hz à 315 Hz	400 Hz à 1250 Hz	1600 Hz à 8000 Hz
10 dB	5 dB	5 dB

Les bandes sont définies par fréquence centrale de tiers d'octave.

Index

A

Amplitude, 9, 10, 16, 20, 26, 40, 56, 57, 62

B

Basses fréquences, 11, 16, 18, 20, 23, 35, 39, 41, 42, 43, 46, 50, 51, 57, 58, 66, 67

Bruit continu, 11, 25, 28, 35, 38, 39, 52

Bruit fluctuant, 58, 59

Bruit impulsionnel, 12, 20, 27, 37, 38, 39, 40, 43, 47, 50, 52, 54, 57, 58, 66

Bruit initial, 40

Bruit intermittent, 11, 27, 28, 35, 51, 58, 59

Bruit résiduel, 22, 23, 31, 32, 40, 50, 52, 53, 54, 55, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 67

C

Classe homogène, 53

Code de l'environnement, 43, 44, 45, 46

Code de la santé publique, 6, 22, 23, 45, 46, 48

E

Emergence spectrale, 22, 23, 45, 46

Emergences, 18, 22, 24, 27, 28, 30, 31, 32, 33, 34, 39, 43, 45, 46, 47, 50, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 62

I

Indice énergétique LAeq, 25, 26, 28, 29, 51, 52, 54, 56, 57, 58, 60, 61, 68

Infrasons, 10, 11, 16, 19, 42, 43, 44

M

Médiane, 4, 21, 27, 47, 53, 54, 55, 56, 62, 63, 64

Modulation d'amplitude, 35, 36, 47, 57, 61, 67

N

Niveaux fractiles L50, 26, 28, 29, 52, 58, 59, 60, 61

Norme AFNOR NF S 31-010, 27, 39, 45, 46, 47, 48, 49, 54, 58, 63, 74

P

Projet de norme Pr NF S 31-114, 37, 46, 47, 48, 49, 51

Protocole de mesure du bruit éolien, 4, 47, 48, 49, 51, 52, 54, 62, 63, 64

S

Situation-type, 53, 54

Son pur, 10

T

Tonalité marquée, 23

Bibliographie

- A. Prévoir l'Impact du Bruit des Éoliennes: un projet de recherche ANR piloté par le Cerema, <https://www.cerema.fr/fr/actualites/prevoir-impact-du-bruit-eoliennes-projet-recherche-anr>
Janvier 2019 : le Cerema est le pilote et l'un des partenaires du projet ANR PIBÉ (Prévoir l'Impact du Bruit des Éoliennes). Ce projet vise à mieux maîtriser le risque sonore des éoliennes à chaque stade de vie d'un parc éolien, de sa phase de conception à sa phase d'exploitation. Cela, grâce à l'amélioration des méthodes de prévision et l'étude des solutions permettant de réduire le bruit des éoliennes. Il s'agit du premier projet français de recherche collaborative concernant le bruit des éoliennes.
- B. Van den Berg FGP (2004). Effects of the wind profile at night on wind turbine sound. *Journal of Sound and Vibration*; 277(4-5): 955-70.
- C. Siponen D (2011). Noise annoyance of wind turbines. Espoo, VTT Technical Research Centre of Finland, Rapport VTT-R-00951-11, 24 p.
- D. Van den Berg FGP (2005). The beat is getting stronger: The effect of atmospheric stability on low frequency modulated sound of wind turbines. *Journal of Low Frequency Noise & Vibration and Active Control*; 24(1): 1-24.
- E. Di Napoli C (2011a). Long distance amplitude modulation of wind turbine noise. *Proceedings of the 4th International Meeting on Wind Turbine Noise, 11-14 April 2011, Rome, Italy.*
- F. Moorhouse A, Hayes M, von Hünerbein S, Piper B et M Adams (2007). Research into aerodynamic modulation of wind turbine noise — final report, University of Salford, Royaume-Uni, 57 p.
- G. AECOM (2011). Wind Farm Noise Statutory Nuisance Complaint Methodology. (Report prepared for DEFRA: Contract No. NANR 277). Beckenham, London, United Kingdom, 6 April 2011, 122 p.
- H. Lee S, Kim K, Choi W et S Lee (2011). Annoyance caused by amplitude modulation of wind turbine noise. *Noise Control Eng J*; 59(1): 38-46.
- I. Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (Afsset) (2008). Impacts sanitaires du bruit généré par les éoliennes - État des lieux de la filière éolienne et propositions pour la mise en œuvre de la procédure d'implantation. Avis de l'Afsset et rapport du groupe d'experts avec le participation de l'ADEME, France, 116 p.
- J. Commission électrotechnique internationale - CEI (2005). CEI 61400-14 Wind turbines — Part 14: Declaration of apparent sound power level and tonality values. First Edition, Geneva, mars 2005, 11 p.
- K. Chernigovskaya TV (1977). Dependence of the perception of low-frequency amplitude modulation on age and training in man. *Neuroscience and Behavioral Physiology*; 8(4): 341-3.