



AVIS DU CONSEIL NATIONAL DU BRUIT DU 12 JUIN 2019 SUR LES INDICATEURS RELATIFS AU BRUIT GÉNÉRÉ DANS L'ENVIRONNEMENT

Depuis 1982, le Conseil National du Bruit (CNB) s'attache à améliorer la qualité de l'environnement sonore de nos concitoyens. Dans le cadre de sa feuille de route 2016-2019, la commission santé environnement du CNB a décidé de s'autosaisir du sujet des indicateurs de bruit et de formuler des propositions visant à améliorer l'évaluation du bruit dans l'environnement. Il s'agissait notamment de tenir compte des attentes croissantes exprimées par les riverains de voir leur gêne, liée au nombre et aux caractéristiques des « pics de bruit », mieux prise en considération.

Après avoir effectué une revue, aux niveaux national et international, des principaux indicateurs utilisés à des fins de réglementation ou de recommandation, la commission santé environnement du CNB a conduit une analyse simplifiée de leur pertinence en prenant en compte les critères de représentativité, d'opérationnalité et d'utilité, et en s'appuyant sur plusieurs cas opérationnels d'étude. Ces travaux, menés de janvier à juin 2019, lui ont permis de soumettre à l'adoption des membres du CNB le présent avis, structuré selon quatre recommandations :

I. Encourager l'utilisation des indicateurs événementiels et des indicateurs statistiques en complémentarité des indicateurs énergétiques

Les indicateurs dits « événementiels » qui s'intéressent aux caractéristiques des pics de bruit ainsi que les indicateurs statistiques qui permettent de les dénombrer ou d'étudier la variabilité des niveaux de bruit au cours d'une période donnée s'avèrent être très complémentaires des indicateurs dits « énergétiques », largement utilisés dans la réglementation et qui s'intéressent à la dose de bruit (ou bruit moyen dans le langage courant) sur une période donnée. Le CNB encourage vivement les maîtres d'ouvrage, les maîtres d'œuvre et l'ensemble des professionnels de l'acoustique à recourir à une utilisation conjointe de ces différents types d'indicateurs, en mesure comme en modélisation. Cela permettra d'améliorer la compréhension, de renforcer l'information et d'améliorer le porter à connaissance que ce soit dans les études de diagnostics, dans la surveillance de long terme ou dans les études prospectives. Il apparaît par ailleurs très utile de croiser l'évaluation spatiale de ces indicateurs (cartes de bruit) avec les données de population afin de disposer d'indicateurs d'impact, permettant d'évaluer et de comparer les effets de différentes variantes d'un projet.

II. Mieux tenir compte de la variabilité de l'exposition au bruit et du ressenti au cours du temps

Le CNB recommande de mieux tenir compte de la variabilité des situations d'exposition au bruit et de ressenti en fonction de la modulation dans le temps des trafics ou des régimes de fonctionnement des activités, de la saisonnalité ou des différentes configurations météorologiques, ainsi que des périodes de plus forte sensibilité au bruit des riverains. Pour cela, les indicateurs doivent pouvoir être évalués à des pas de temps fins (par jour, par période de la journée, voire par heure ou quart d'heure), et non uniquement en moyenne sur l'année, comme cela est généralement d'usage actuellement. L'introduction, dans les dispositifs de gestion ou de régulation de bruit, d'une approche statistique tenant compte de la distribution des valeurs des indicateurs au cours du temps et permettant, le cas échéant, la mise en place de quotas de nombres admissibles de dépassements par période, doit être encouragée.

III. Lancer des études complémentaires

La plupart des études qui se sont intéressées aux relations entre le bruit, la gêne et la santé ont été conduites en utilisant des indicateurs énergétiques pour quantifier l'exposition des populations, et se sont limitées au domaine des bruits des transports. Le CNB suggère donc aux acteurs du domaine de la santé environnement de lancer des appels à projet de recherche permettant de financer des études complémentaires, en axant les priorités sur les volets suivants :

- L'identification des indicateurs, notamment événementiels, les plus adaptés à traduire la gêne ressentie ainsi que ceux qui présentent les plus fortes corrélations avec les effets du bruit sur la santé.
- La caractérisation de l'exposition aux bruits d'origine comportementale, issus du voisinage ou de la vie locale, et de leurs impacts sur la gêne et la santé.
- L'étude de l'impact des composantes fréquentielles (notamment des basses fréquences), des tonalités marquées ou encore des bruits solidiens ainsi que des vibrations dans la gêne ressentie et les effets induits sur la santé.

Le CNB recommande par ailleurs d'encourager la recherche opérationnelle en matière de développement des méthodes de surveillance et d'évaluation (méthodologies et outils) afin de permettre l'utilisation des indicateurs événementiels en complémentarité des indicateurs énergétiques, tant dans le domaine de la mesure que de la modélisation.

IV. Améliorer la pédagogie autour des indicateurs de bruit

Le CNB considère enfin que la question des indicateurs joue un rôle central dans la bonne appropriation des problématiques de bruit par l'ensemble des parties prenantes et dans l'instauration d'un dialogue et d'une concertation de qualité. Il souligne le besoin de renforcement de la pédagogie dans ce domaine complexe et technique et propose l'élaboration d'un guide tout public en la matière.

Le contenu de l'avis du CNB est présenté de manière détaillée dans les pages qui suivent.

Il convient enfin de considérer cet avis du CNB comme un cadre de recommandations préliminaires et générales sur le sujet des indicateurs de bruit. Il pourra utilement être complété par des propositions plus opérationnelles et plus précises, en réponse à une éventuelle saisine ultérieure, afin d'accompagner la montée en puissance de la mobilisation des pouvoirs publics sur le sujet.

DÉTAIL DE L'AVIS

RAPPEL DE LA SAISINE

Depuis 1982, le Conseil National du Bruit s'attache à améliorer la qualité de l'environnement sonore de nos concitoyens. Il peut être consulté sur toute question traitant de nuisances sonores et sur tout projet de réglementation dans ce domaine ; il propose des mesures propres à améliorer la qualité de l'environnement sonore et à réduire les nuisances sonores, informe et sensibilise le public. Il est notamment doté d'une capacité d'auto-saisine.

La feuille de route 2016-2019 de sa commission santé environnement prévoit une réflexion sur les indicateurs de bruit et la formulation de propositions relatives à ceux-ci visant à améliorer l'évaluation et le suivi du bruit dans l'environnement ainsi que la prise en compte de l'impact acoustique des projets de créations ou de modifications d'infrastructures, d'activités ou d'aménagements.

Le Conseil National du Bruit s'est donc autosaisi du sujet afin de préparer le présent avis.

MÉTHODE D'ELABORATION

La commission santé environnement a élaboré ce projet d'avis à l'issue de quatre réunions qui se sont déroulées entre janvier et juin 2019. Il est soumis à l'approbation de l'assemblée plénière du 12 juin 2019.

CONTEXTE

La pollution sonore fait l'objet d'une préoccupation croissante au sein de la population en Europe et ses impacts sanitaires sont aujourd'hui démontrés.

Pour établir des limites de bruit acceptables, il faut tout d'abord déterminer les niveaux, ce qui n'est pas chose aisée étant donné que le bruit est une notion partiellement subjective. Il y a toutefois deux caractéristiques que l'on peut mesurer ou évaluer objectivement : l'intensité et la répartition fréquentielle, sachant que l'interaction entre ces deux caractéristiques peut avoir une influence sur la perception d'un bruit (deux sons de même intensité sont perçus différemment selon leur fréquence). Par ailleurs, le bruit produit par une infrastructure ou une activité varie à chaque instant. La question des indicateurs utilisés pour évaluer le bruit revêt donc une importance particulière.

A l'heure actuelle, la réglementation relative aux nuisances sonores repose en grande partie sur une caractérisation du bruit utilisant des indicateurs dits « énergétiques » qui correspondent à la notion de « bruit moyen équivalent » sur une période donnée. Des attentes croissantes s'expriment pour que soient davantage pris en considération le nombre et les caractéristiques des « pics de bruit », via l'utilisation complémentaire d'indicateurs dits « événementiels », considérés par les riverains comme davantage représentatifs de la gêne vécue. Ces revendications exprimées depuis longtemps par les personnes soumises aux nuisances aéroportuaires sont apparues plus récemment dans le domaine ferroviaire, en lien avec la mise en service de nouvelles lignes à grande vitesse (LGV). Les attentes sont également fortes concernant la meilleure prise en compte et

évaluation des bruits événementiels associés aux comportements inciviques de certains usagers de la route (conduite de véhicules deux-roues motorisés particulièrement bruyants, de voitures sportives ou « tunées », usage excessif d'avertisseurs sonores...), non intégrés à ce jour dans la réglementation relative au bruit des infrastructures routières. La montée en puissance des problématiques de nuisances sonores liées à la vie nocturne dans les centres villes animés plaide par ailleurs pour un renforcement des méthodes de caractérisation et de gestion en la matière.

Réunissant les différentes parties concernées, la commission santé environnement du Conseil National du Bruit est apparue comme une enceinte pertinente pour analyser l'état de l'art de l'utilisation des indicateurs de bruit et formuler des propositions susceptibles d'améliorer l'évaluation du bruit dans l'environnement et l'information des différentes parties concernées. Elle a choisi, dans un premier temps, de concentrer ses travaux sur le bruit généré dans l'environnement et a peu traité des bruits de voisinage générés à l'intérieur des logements et qui se transmettent aux logements voisins, bien que ceux-ci constituent également une source importante des nuisances sonores ressenties par la population.

ÉTAT DE L'ART

Les réglementations française et européenne promeuvent principalement l'utilisation d'indicateurs représentant l'énergie globale reçue en dB(A) sur une période. Ainsi les valeurs limites réglementaires en France reposent sur les indicateurs LAeq,6-22h, LAeq,22-6h, Lden et Ln pour les bruits des transports (trafic routier, trafic ferroviaire, trafic aérien) ainsi que pour le bruit des activités bruyantes des installations classées. Dans le cas des installations classées pour l'environnement (ICPE) ainsi que des activités professionnelles, des critères d'urgences sonores (différentiel entre le niveau de bruit avec l'activité et le niveau de bruit sans activité) sont également pris en considération.

L'analyse des réglementations mises en œuvre dans d'autres pays (cf. annexe 2) montre que des indicateurs événementiels sont parfois utilisés en complément des indicateurs énergétiques pour fixer des valeurs limites ou des valeurs de gestion. Par contre, les indicateurs événementiels ne sont jamais utilisés seuls.

Les cartes de bruit stratégiques élaborées en application de la directive européenne 2002/49/CE exigent l'utilisation des indicateurs Lden et Ln. La directive laisse toutefois la possibilité de recourir à des indicateurs de bruit supplémentaires pour la planification ou le zonage acoustiques (cf. alinéa 3 de l'article 5 de la directive européenne 2002/49/CE) ainsi que pour des cas spécifiques décrits dans l'annexe I de la directive, notamment pour rendre compte de situations ou de bruits singuliers tels que des « sources de bruit présentes moins de 20% du temps », des « zones calmes en rase campagne » ou du « bruit comportant des composantes à tonalité marquée ».

Les lignes directrices de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) publiées en octobre 2018 fixent également des valeurs de recommandation exprimées selon des indicateurs énergétiques moyens (Lden et Ln) pour les bruits des transports et les éoliennes¹. Toutefois,

¹ Les valeurs de recommandation de l'OMS (octobre 2018) sont :

- pour la route : Lden : 53 dB(A) et Ln : 45 dB(A),
- pour le fer : Lden : 54 dB(A) et Ln : 44 dB(A),
- pour l'aérien : Lden : 45 dB(A) et Ln : 40 dB(A)
- pour les éoliennes : Lden : 45 dB(A)

dans ses préconisations de 1999 (guidelines for community noise), l'OMS préconisait aussi de combiner à l'indicateur LAeq sur la période de nuit, l'indicateur LAmax avec des valeurs recommandées à ne pas dépasser de 45 dB(A) en intérieur et de 60 dB(A) en extérieur afin de prévenir les perturbations du sommeil. Dans sa publication de 2009 intitulée Night Noise Guidelines for Europe, portant sur la seule période de nuit, l'OMS indique que des effets biologiques se manifestent dès le seuil de 32 dB(A) selon l'indicateur LAmax en intérieur et que des réveils peuvent survenir à partir du seuil de 42 dB(A) selon l'indicateur LAmax en intérieur.

Des revues et publications scientifiques récentes^{2,3,4} confirment que certains effets biologiques comme les modifications du rythme cardiaque la nuit et les perturbations du sommeil seraient davantage liés aux émergences sonores qu'au bruit moyen. La gêne liée au bruit est également exacerbée par le nombre de pics de bruit intervenant sur une période et peut également varier en fonction du contenu spectral du bruit.

Les relations dose-réponse publiées en octobre 2018 par l'OMS mettent en lumière que les bruits à forte composante événementielle comme les circulations aériennes ou ferroviaires ont des effets sanitaires plus marqués que les bruits du trafic routier (du moins, lorsque ceux-ci sont relativement continus), et ce, pour un même niveau moyen équivalent exprimé en Lden ou Ln.

Lors de sa séance du 6 mai 2004 relatif à la santé des personnes exposées au bruit des avions, le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) préconisait déjà d'introduire dans la réglementation l'indice événementiel LAmax (LAeq intégré sur 1 seconde) et de respecter pendant la période 22h-6h, en façade des habitations, les critères suivants, correspondant aux recommandations de l'époque de l'OMS, en prenant en compte un isolement de façade de 25 dB(A) :

- LAeq extérieur inférieur à 55 dB(A) (toutes sources confondues)
- moins de 10 événements sonores toutes sources confondues, avec un LAmax extérieur supérieur à 70 dB(A).

En 2005, l'Autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires (ACNUSA) a recommandé l'utilisation d'un indicateur complémentaire permettant de caractériser le nombre d'événements sonores dépassant un seuil donné en LAmax sur une journée. Ce type d'indicateur appartenant à la famille des descripteurs appelés NA (Number of events Above) était déjà utilisé sur les plateformes aéroportuaires australiennes et était recommandé par le Federal Interagency Committee On Noise (FICON, Etats-Unis), dans le cadre de la réalisation d'études prospectives. L'Autorité a notamment préconisé qu'à l'extérieur d'un plan de gêne sonore (cartographie réalisée avec l'indicateur Lden), des communes ou parties de communes fortement ou très exposées au bruit des avions et/ou aux survols puissent être rattachées à ce plan, sous réserve de respecter deux conditions :

- 1) être exposées :
 - a. soit à plus de 100 survols générant un niveau de bruit LAmax supérieur ou égal à 65 dB(A) par jour (NA 65 / 100)

² WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and effects on Sleep, Mathias Basner and Sarah McGuire, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 2018, 15, 519.

³ Nassur, A.-M.; Léger, D.; Lefèvre, M.; Elbaz, M.; Mietlicki, F.; Nguyen, P.; Ribeiro, C.; Sineau, M.; Laumon, B.; Evrard, A.-S. Effects of Aircraft Noise Exposure on Heart Rate during Sleep in the Population Living Near Airports. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2019, 16, 269.

⁴ Nassur AM, Léger D, Lefèvre M, Elbaz M, Mietlicki F, NGuyen P, Ribeiro C, Sineau M, Laumon B, Evrard AS. The impact of aircraft noise exposure on objective parameters of sleep quality: Results of the DEBATS study in France, *Sleep Medicine* 2019, 54, 70-77.

- b. soit à plus de 200 survols générant un niveau de bruit L_{Amax} supérieur ou égal à 62 dB(A) par jour (NA 62 / 200)
- 2) être soumises aux contraintes d'urbanisme afférentes à la zone C du PEB si elles en sont extérieures.

Depuis 2006, l'ACNUSA encourage également l'utilisation des indicateurs de type NA aux fins de communication et d'information, en complément des indicateurs énergétiques.

Il peut être en revanche précisé que, désormais et depuis l'entrée en vigueur le 13 juin 2016 du règlement (UE) 598/2014 relatif à l'établissement de règles et de procédures concernant l'introduction de restrictions d'exploitation liées au bruit dans les aéroports de l'Union dans le cadre d'une approche équilibrée, les restrictions d'exploitation liées au bruit ne peuvent qu'être fondées sur les caractéristiques acoustiques des aéronefs, déterminées par la procédure de certification menée conformément à l'annexe 16, volume 1, de la convention de Chicago (sixième édition, mars 2011).

La Direction générale de la prévention des risques (DGPR) et la Direction générale des infrastructures, des transports et de la mer (DGITM) ont saisi l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) en 2010 pour lui demander d'élaborer des indicateurs opérationnels accompagnés de valeurs de référence et de gestion permettant de prendre en compte les effets sanitaires associés aux événements sonores ponctuels en vue de leur utilisation dans le cadre du volet bruit des études d'impacts sanitaires des projets d'infrastructures de transports et industriels. À l'issue d'une expertise collective mise en place en 2011 et 2012, l'ANSES a indiqué qu'elle n'était pas en mesure de déterminer des indicateurs opérationnels répondant aux objectifs fixés, en raison d'une part des lacunes dans les connaissances au moment de cette expertise et d'autre part de la complexité des interactions entre les divers paramètres physiques, physiologiques, humains et cognitifs impliqués dans les relations bruit-santé. Elle a par contre proposé l'utilisation d'une grille d'analyse pouvant servir de support à l'évaluation des risques sanitaires liés au bruit dans le cadre d'un projet d'aménagement. Le principe retenu par l'ANSES est de combiner évaluation quantitative des impacts sanitaires par l'utilisation des relations exposition-réponse existantes et évaluation qualitative en identifiant les paramètres amenant une aggravation ou une atténuation de ces impacts. Le Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'environnement (Cerema) a eu l'occasion en 2014 de réaliser une analyse de l'applicabilité de la méthode préconisée par l'ANSES et a mis en lumière les difficultés liées au recueil de certaines données descriptives tant pour les états initiaux que futurs et les nombreux facteurs d'incertitudes associés aux différentes étapes de l'évaluation.

Dans sa note du 08/07/2015⁵, l'Autorité environnementale a également recommandé de tenir compte des émergences et bruits singuliers, que les indicateurs moyennés auxquels la réglementation fait référence peinent à intégrer. L'Autorité environnementale a ainsi pu observer au fil de ses avis que les maîtres d'ouvrage sont fréquemment confrontés à des situations où doivent être traités des bruits dont l'application de réglementations fondées sur des indicateurs moyennés n'assure manifestement pas la prise en compte. Il s'agit par exemple de la situation des voies ferrées empruntées par un trafic de fret faible mais non nul qui ne se traduira pas par une valeur élevée de l'indicateur L_{Aeq} (22h-6h), bien que la gêne pour les populations riveraines puisse être ressentie comme importante. Toujours dans le domaine ferroviaire, les points particuliers que constituent les appareils de voie et les

⁵ Note de l'Autorité environnementale sur la prise en compte du bruit dans les projets d'infrastructures de transport routier et ferroviaire – n° Ae 2015-N-02, adoptée lors de la séance du 08/07/2015

tronçons où les convois sont amenés à freiner, ou encore les virages serrés dans lesquels les tramways peuvent produire des crissements, appellent également une prise en compte que les modèles de bruit utilisés par les maîtres d'ouvrage ne garantissent pas nécessairement. L'Autorité environnementale conclut ainsi que « *La question des bruits émergents ponctuels méritent donc, chaque fois que la situation se présente, des développements spécifiques du fait de leurs effets potentiellement importants alors même qu'il est impossible de les détecter en utilisant des indicateurs moyennés* ».

L'imperfection des indicateurs énergétiques à traduire totalement la gêne des populations a encore été mise en lumière récemment dans le cadre de la mise en service des LGV Bretagne Pays de Loire et Sud Europe Atlantique. Bien que respectant, à quelques rares exceptions près, les niveaux admissibles fixés par la réglementation portant sur la création d'infrastructures nouvelles, la circulation des TGV a suscité de vives réactions parmi les riverains qui ont réclamé des mesures de compensation et de correction tenant compte de la prise en compte des bruits instantanés générés. Dans ce cadre, la Ministre chargée des Transports a indiqué que « *La réglementation dans le domaine du ferroviaire se basant actuellement sur la mesure d'un bruit moyen, il faudra sans doute aussi compléter les mesures en cours par une vérification des pics sonores enregistrés. S'ils s'avéraient excessivement pénalisants pour les riverains de l'infrastructure et que ni les réglementations existantes ni les obligations des concessionnaires ne le permettaient, il faudrait dès lors trouver le cadre adapté pour traiter cette situation.* » Elle a demandé au Conseil général de l'environnement et du développement durable (CGEDD) de diligenter une mission de médiation afin de faire des propositions en la matière. Cette mission a rendu en avril 2019 ses recommandations. Dans son rapport, la mission préconise notamment de retenir comme critère de priorisation des habitations les plus exposées, les niveaux L_{Amax} modélisés au passage d'un TGV, selon la norme de calcul scandinave TemaNord 1996 :524. Elle considère que les habitations qui sont identifiées comme potentiellement exposées à des pics de bruit de L_{Amax} supérieur ou égal à 80 dB(A), et qui répondent au critère d'antériorité, doivent faire l'objet de protections acoustiques complémentaires (mur, merlon anti-bruit ou traitement de façade). Elle propose également qu'une acquisition amiable des logements soit proposée aux propriétaires de maisons exposées à des pics de bruit supérieurs à 85 dB(A) en L_{Amax} modélisé, si la protection à la source n'est pas réalisable.

ANALYSE DES INDICATEURS

La commission santé environnement du CNB rappelle tout d'abord que les mécanismes d'action du bruit sur la santé sont complexes.

D'une part, une stimulation acoustique constitue une sollicitation de l'organisme et engendre une réponse non spécifique, qui dépend des caractéristiques physiques du bruit (niveau sonore, spectre en fréquence, tonalité du bruit, composante basses fréquences, émergence par rapport au bruit de fond, caractère impulsionnel et pente de montée du bruit, durée, répétitivité, régularité...).

D'autre part, la gêne ressentie par rapport à une stimulation sonore est influencée par des représentations individuelles (utilité des sources de bruit, bruit choisi ou subi, contrôle des sources, sensibilité au bruit, attitudes des gestionnaires ou des autorités locales par rapport au bruit...) ainsi que des facteurs contextuels (activité en cours, période au cours de laquelle le bruit se manifeste : l'impact du bruit allant croissant de la journée à la soirée puis à la nuit, de même que des jours ouvrables aux jours de week-end et jours fériés, prévisibilité)

voire territoriaux (satisfaction résidentielle, aménités environnementales). Ainsi, de multiples facteurs acoustiques et non acoustiques entrent en jeu dans les impacts sanitaires du bruit. Il doit être tenu compte de cette réalité dans le choix des indicateurs à retenir pour caractériser les expositions au bruit.

La commission santé environnement du CNB a passé en revue les **principaux indicateurs acoustiques** (cf. annexe 1 – définition des indicateurs) utilisés usuellement de par le monde en matière de réglementation ou de gestion du bruit et en a analysé les avantages et inconvénients, en vue de sélectionner les indicateurs les plus pertinents. L'analyse s'est essentiellement portée à ce stade sur les indicateurs utilisés pour caractériser le bruit dans l'environnement à l'extérieur des bâtiments. Celle-ci pourrait se poursuivre à l'avenir par une étude complémentaire des indicateurs qui peuvent être utilisés à l'intérieur des bâtiments, notamment les indicateurs de bruit solidiens ou de vibrations.

Plusieurs critères synthétiques ont été retenus pour juger de la pertinence des indicateurs recensés :

- Représentativité : l'indicateur doit être adapté à caractériser la situation sonore d'intérêt et à refléter correctement ses variations. Il doit être scientifiquement validé dans son domaine d'application. Il doit pouvoir être produit avec une bonne reproductibilité. Des valeurs de référence doivent pouvoir être proposées pour comparer les résultats de l'indicateur.
- Opérationnalité : l'indicateur doit être prévisible et mesurable, avec un rapport coût/bénéfice/temps acceptable.
- Utilité : le fait d'utiliser l'indicateur doit permettre de renforcer l'information et d'aider à la prise de décision.

Cette analyse critique des indicateurs s'est par ailleurs nourrie de plusieurs cas d'étude opérationnels qui ont été présentés et discutés au sein des membres de la commission santé environnement du CNB : nuisances associées à la succession de pics de bruit autour d'un aérodrome (exemple de Toussus-le-Noble) ou de grands aéroports (exemple de l'aéroport Paris-CDG), le long d'infrastructures ferroviaires (cas des LGV Bretagne Pays de Loire et Sud Europe Atlantique) ou d'infrastructures routières pour lesquelles les bruits de véhicules excessivement bruyants (notamment véhicules deux-roues motorisés) se surajoutent au bruit plus continu de la circulation routière (exemple de l'étude réalisée par Bruitparif le long de la RD91 en Vallée de Chevreuse). Elle a été confrontée par ailleurs aux travaux en cours au sein de l'AFNOR en vue de définir un guide sur les indicateurs physiques acoustiques et vibratoires adaptés au ressenti des riverains.

On notera par ailleurs que les indicateurs qui nécessitent des protocoles de mesure ou d'évaluation très spécifique (cas par exemple de l'indicateur EPNL utilisé pour la certification acoustique des avions) n'ont pas été retenus, l'objectif étant de préconiser des indicateurs dont l'utilisation et l'évaluation peuvent être généralisées à un spectre large de domaines d'application.

Pour chaque critère, une note allant de A à C a été attribuée en fonction du niveau de pertinence décroissante (cf. tableau ci-après) :

A : pertinent ; B : moyennement pertinent ; C : peu pertinent

Famille d'indicateurs	Indicateur	Domaine d'application	Représentativité	Opérationnalité	Utilité	Commentaires
Indicateurs événementiels calculés au moment d'un pic de bruit	L_{Amax}	général	B	B	A	Manque de reproductibilité
	L_{Aeq,evt} <i>Dans cette famille d'indicateur, on peut citer deux indicateurs utilisés dans le domaine ferroviaire :</i> - <i>L_{Aeq,tp} : niveau de pression acoustique pendant le temps de passage du train</i> - <i>TEL : niveau de pression acoustique pendant une période intégrant une partie de l'apparition, le temps de passage ainsi qu'une partie de la disparition du train.</i>	général ferroviaire	A	B	A-B	Meilleure reproductibilité que le L _{Amax} Du point de vue de la mesure, moins sensible que le L _{Amax} à des petites perturbations (exemple : cui-cui d'oiseau qui vient parasiter un pic de bruit aérien)
	SEL	général	A	B	A	Mêmes commentaires que pour le L _{Aeq,evt} Permet de comparer aisément deux événements entre eux car il intègre à la fois le niveau et la durée d'exposition, ce qui est intéressant (cf. exemples ⁶), les deux paramètres pouvant influencer la perception.
	Émergence événementielle, E _{evt}	général	A	C	A	Tient compte à la fois du niveau max atteint et du bruit de fond résiduel. Manque de reproductibilité liée à la double difficulté de caractérisation du L _{Amax} et du bruit de fond
Indicateurs énergétiques moyennés	Leq,T <i>Périodes T usuellement utilisées : jour 6-18h, soirée 18-22h, nuit 22-6h, diurne 6-22h, total jour 24h...</i>	général	B	B	A	Adapté pour évaluer la gêne ou les effets sanitaires associés à des bruits relativement continus ou peu fluctuants au cours de la période considérée. Insuffisant pour rendre compte de la gêne ou des effets biologiques en lien avec des bruits de

⁶ Exemple 1 : un coup de klaxon d'une seconde ne représente pas la même gêne qu'un klaxon appuyé de plusieurs secondes

Exemple 2 : relever les altitudes de survols s'accompagnent d'une diminution du L_{Amax} mais peut augmenter la durée d'émergence, le SEL permet d'en tenir compte.

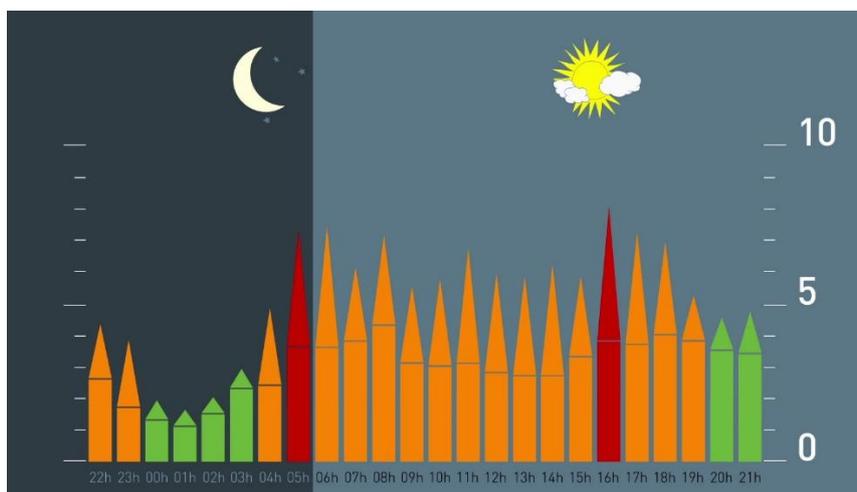
	<p>Peut être calculé sur le bruit ambiant (toutes sources de bruit confondues) ou uniquement pour une source de bruit particulière</p> <p>Peut être calculé sur l'ensemble du spectre de fréquence en utilisation des pondérations fréquentielles (A ou C par exemple) ou uniquement sur un domaine fréquentiel (exemple : basses fréquences)</p>					caractéristiques spectrales, temporelles, impulsives ou de dynamiques très marquées.
	Lden	général (transports ICPE)	B	B	A	Mêmes commentaires que pour LAeq. Effet de seuil marqué lié aux coefficients de pondération pris en compte pour les périodes de soirée et de nuit (1 événement de nuit = 3 événements de soirée = 10 événements de jour).
	Emergence globale E	activités	B	C	B	Adapté lorsque le bruit perturbateur est relativement stable lorsqu'il apparaît et que l'on connaît sa durée d'apparition. Sinon, peu approprié.
Indicateurs statistiques	Indices fractiles Lx					
	<p>Dans cette famille d'indicateur, on peut citer l'indice TNI qui a été construit à partir de la combinaison d'indices fractiles et qui peut être utilisé dans le domaine du bruit routier pour mieux tenir compte des véhicules très bruyants dans le flux de trafic que ne le fait le LAeq</p> <p>$TNI = 4x(L10-L90)+(L90-30)$ en dB(A) et calculé sur 24h</p>	général	A-B	B	A-B	Permettent d'accéder aux distributions des niveaux associés à une situation sonore, donc de prendre en compte la dynamique du bruit.
	NA_rX	général	A-B	B	A	Permet de décompter sur une période donnée le nombre d'événements ayant atteint ou dépassé un niveau sonore Attention au choix du seuil.
	TA X Temps au-dessus d'un seuil de niveau sonore X en dB(A)	général	C	B	C	Adapté si un seul type d'événements sonores en présence (avec des caractéristiques assez proches). Ne permet pas de hiérarchiser entre deux situations avec un nombre identique d'apparition de bruit particulier mais à un niveau différent. Attention au choix du seuil.

Cette liste d'indicateurs acoustiques peut être complétée en mentionnant l'indice Harmonica, développé dans le cadre du programme européen LIFE, par les observatoires du bruit français Bruitparif et Acoucity, et dont l'objectif principal était de rendre plus compréhensible et pédagogique la notion de bruit.

L'indice Harmonica peut être calculé par heure, par période de la journée, par jour, mois ou année et correspond à la somme de deux sous-indices qui permettent de caractériser les contributions du bruit de fond et des pics de bruit dans le bruit ambiant. Sa formule est la suivante :

$$\text{Indice Harmonica} = \text{sous-indice bruit de fond } (=0,2 \times (\text{LA}_{95\text{eq}} - 30)) + \text{sous-indice pics de bruit } (=0,25 \times (\text{LA}_{\text{eq}} - \text{LA}_{95\text{eq}}))$$

La représentation graphique de l'indice Harmonica (cf. ci-dessous) permet de diffuser de manière combinée des informations sur le niveau de bruit (note allant de 0 à 10 pour les situations d'exposition usuelle au bruit dans l'environnement), la contribution du bruit de fond et des pics de bruit (via deux formes superposées - rectangle et triangle) et la situation par rapport aux valeurs de référence (couleur vert/orange/rouge). Cette représentation simple et didactique, qui s'affranchit de la notion de décibel, permet de mieux traduire le ressenti de la population par rapport à une situation sonore, que ne le font les indices énergétiques moyennés.



Exemple de variation de l'indice Harmonica au cours de 24h (source : Bruitparif)

Enfin, **des indicateurs d'impact**, calculés en croisant les indicateurs acoustiques avec la population, sont parfois utilisés. Deux indicateurs d'impact intéressants ont pu être identifiés :

L'indice PEI(x) (person-events-index) qui somme le nombre d'occurrences (sur la population totale d'une zone déterminée) où une personne est soumise à un événement sonore dont la valeur en SEL (ou en L_{Amax}) dépasse un certain seuil. Cet indice est utilisé principalement dans le domaine aéroportuaire mais son utilisation peut être facilement généralisée à d'autres domaines d'application. Son intérêt principal est de comparer l'impact pour la population dans son ensemble de plusieurs scénarii ou variantes de projets entre eux. L'utilisation de valeurs de gestion associées à cet indicateur ne permet toutefois pas de garantir une bonne protection contre les nuisances sonores, un résultat de PEI(90) de 70000 pouvant théoriquement correspondre à une seule personne subissant 70 000 événements sonores de SEL >= 90 dB(A) ou 7000 personnes subissant chacune 10 événements sonores.

L'indicateur EBD (Environmental Burden Disease) préconisé par l'Organisation mondiale de la Santé pour évaluer la morbidité liée à un facteur environnemental (ici le bruit) au sein d'une population à travers le calcul des années de vie en bonne santé perdues (DALY pour disability-life-years) du fait des impacts sanitaires générés par l'exposition à ce facteur environnemental. Cet indicateur a pu récemment être mis en œuvre par Bruitparif pour estimer l'impact sanitaire du bruit des transports à l'échelle de la zone dense francilienne.

RECOMMANDATIONS DU CNB

I. De l'utilité de l'utilisation des indicateurs événementiels et des indicateurs statistiques en complémentarité des indicateurs énergétiques

Il apparaît, au vu des différents travaux menés par la commission santé environnement du CNB, que les indicateurs événementiels qui s'intéressent aux caractéristiques des pics de bruit ainsi que les indicateurs statistiques qui permettent de les dénombrer ou d'étudier la variabilité des niveaux de bruit au cours d'une période donnée, s'avèrent être très complémentaires des indicateurs énergétiques, largement utilisés dans la réglementation et qui s'intéressent au bruit moyen sur une période donnée.

Le CNB encourage vivement les maîtres d'ouvrage, les maîtres d'œuvre et l'ensemble des professionnels de l'acoustique à recourir à une utilisation conjointe de ces différents types d'indicateurs, que ce soit dans les études de diagnostics (état des lieux, constat), dans la surveillance de long terme (réseaux de mesure permanente) que dans les études prospectives relatives à l'impact acoustique de créations ou de modifications d'infrastructures, d'activités, d'aménagements ou d'évolution de procédures d'exploitation.

Il s'agit d'apporter de l'information de manière combinée sur le niveau global de bruit mais aussi sur le caractère répétitif, le nombre d'événements et leur répartition selon les périodes de la journée (journée, soirée, nuit) ou les périodes de l'année (saisonnalité, dépendance à une configuration météorologique) afin d'améliorer le porter à connaissance notamment, lors des consultations, débats ou enquêtes publics portant sur des projets.

L'utilisation conjointe de ces indicateurs permet également pour les gestionnaires d'infrastructures ou responsables d'activités de mieux comprendre les phénomènes mis en œuvre afin de pour pouvoir agir en vue de diminuer la perception des nuisances.

Pour les bruits comportant des événements répétés (trafic aérien, trafic ferroviaire, mais aussi trafic routier dès lors qu'il y a une forte contribution de véhicules particulièrement bruyants – véhicules deux roues motorisés, bus ou poids lourds, avertisseurs sonores, bruits de certaines activités), la commission santé environnement du CNB recommande ainsi :

- Lors de la réalisation de mesures de bruit effectuées pour caractériser un état initial ou dans le cadre d'une surveillance de long terme, de produire les indicateurs énergétiques classiques (LA_{eqT} moyen par période T, Lden) mais aussi un ou plusieurs indicateurs événementiels, adaptés à la durée des événements à caractériser, tels que SEL, LAm_{ax}, LA_{eq,evt}, émergence événementielle... Il convient également de produire la distribution du nombre d'événements observés par période T, par plages de valeurs des indicateurs événementiels retenus, ainsi que les valeurs des indicateurs de type NA_{TX} .
- Lors des études d'impacts de projets, ou dans le cadre de l'élaboration des cartes

stratégiques de bruit requises par la directive européenne 2002/CE/49, de produire, en complément des cartes de bruit élaborées selon les indicateurs LAeq par période (jour, soirée, nuit), Lden ou Ln, des cartes du nombre d'événements dépassant certains seuils de bruit au cours d'une période T déterminée – NA_TX. Le cas échéant, à titre d'illustration pédagogique des phénomènes mis en jeu, des cartes de SEL, de LAmax voire d'émergence événementielle au passage d'un événement individuel type – train, avion, véhicule bruyant peuvent utilement être produites, sachant toutefois qu'il peut être observé dans la pratique une forte dispersion des valeurs mesurées, même pour un trafic relativement homogène. Il convient toutefois de noter que les méthodes de production de telles cartes (méthodologies et outils) sont encore au stade embryonnaire et qu'il conviendrait d'encourager fortement leur développement (cf. recommandation III).

- De croiser les cartes d'indicateurs événementiels et énergétiques avec les données de population afin de calculer des indicateurs d'exposition (indicateurs de nombre de personnes touchées du type PEI) ou des indicateurs d'impacts sanitaires (du type DALY sur la base des courbes exposition-réponse disponibles), ces indicateurs pouvant être très utiles pour comparer l'impact de différents scénarii dans le cadre de projets de modification ou de création d'infrastructure ou de modification des trajectoires.
- De tenir compte de l'évolution des connaissances et des preuves scientifiques (notamment des résultats des études complémentaires nécessaires – cf. recommandation III) pour introduire progressivement dans la réglementation des indicateurs événementiels aux côtés des indicateurs énergétiques afin :
 - o de mieux tenir compte des effets néfastes des pics de bruit sur la gêne et la santé,
 - o de prévenir leur apparition et de les contrôler,
 - o et de limiter l'exposition des populations.

II. De la nécessité de mieux tenir compte de la variabilité de l'exposition au bruit et du ressenti au cours du temps

Le fait que la réglementation actuelle en matière de bruits des transports ne soit fondée que sur des indicateurs énergétiques dits de long terme (moyenne sur une période d'un an typiquement) pose un certain nombre de difficultés. La même valeur d'indicateur Lden peut ainsi être observée pour des situations d'exposition et de ressenti fort différentes en termes de temporalité (cf. exemples fournis en annexe 3).

Ces éléments de constat prônent pour :

- ➔ L'utilisation d'un pas de temps plus fin pour le calcul des indicateurs : indicateurs par jour, par période voire par heure ou quart d'heure.
- ➔ La mise en place d'une approche statistique sur les distributions des valeurs des indicateurs au cours du temps, afin de ne pas se limiter à des valeurs moyennes comme c'est le cas actuellement.
- ➔ La prise en compte et la documentation dans les études d'impact de différentes situations représentatives de l'exposition au bruit avec leur fréquence d'apparition respective, notamment en termes de conditions météorologiques.
- ➔ L'introduction, dans les dispositifs de gestion et de régulation du bruit, de quotas de nombres admissibles de dépassements autorisés pour les indicateurs de bruit. Cela permettrait ainsi de mieux tenir compte de la saisonnalité, des différentes configurations météorologiques et/ou de la modulation dans le temps de certaines activités.

III. De l'utilité de lancer des études complémentaires pour améliorer la connaissance

La quasi-totalité des études épidémiologiques et des enquêtes de perception qui ont été menées au niveau international ont été conduites en utilisant des indicateurs énergétiques pour quantifier l'exposition des populations au bruit, et ont été restreintes au domaine des transports, pour lesquels les données d'exposition au bruit peuvent être plus facilement obtenues que pour les autres sources de bruit. Certaines études réalisées en laboratoire ou avec des protocoles plus aboutis (réalisation d'enregistrements polysomnographiques du sommeil en simultané de mesures de bruit par exemple) ont toutefois utilisé des indicateurs événementiels en complément. On peut citer à cet égard l'étude DEBATS (Discussion sur les Effets du Bruit des Aéronefs Touchant la Santé) actuellement en cours en France et qui comporte la réalisation de mesures acoustiques précises au domicile des riverains d'aéroports participant au volet sommeil de l'étude. Les résultats de ces études semblent mettre en évidence que le rythme cardiaque ainsi que la qualité du sommeil sont perturbés par l'apparition de pics de bruit générés par les transports et que le risque de perturbations augmenterait avec l'indicateur LA_{max} ainsi qu'avec le nombre de pics de bruit. D'autres études semblent indiquer également que les perturbations biologiques occasionnées sur le sommeil sont relativement proches pour les différentes sources de bruit des transports (rail, route, aérien), pour des pics de même niveau LA_{max} atteint. Toutefois, ces résultats mériteraient d'être confirmés par un plus grand nombre d'études.

Le CNB suggère donc aux acteurs du domaine de la santé environnement de lancer des appels à projet de recherche permettant de financer des études complémentaires sur les liens entre le bruit, la gêne et la santé, en axant les priorités sur les volets suivants :

- **L'identification des indicateurs, notamment événementiels, les plus adaptés à traduire la gêne ressentie ainsi que ceux qui présentent les plus fortes corrélations avec les effets du bruit sur la santé.** Il semblerait notamment intéressant que des travaux soient menés pour identifier quels sont les poids respectifs des facteurs suivants – nombre d'événements, niveau maximum atteint, durée des événements, pente de montée des événements, émergence événementielle, niveau équivalent de bruit sur la période, SEL - tant dans les effets déclaratifs (gêne déclarée, perturbations déclarées du sommeil) que dans les effets objectifs du bruit (dégradation de la qualité objective du sommeil, modifications du rythme cardiaque). Le poids du contexte d'apparition du bruit (typologie des lieux tenant compte du bruit de fond résidentiel) devra également être davantage analysé. Il s'agit notamment de savoir si un pic de bruit qui survient dans un environnement calme ou dans un environnement déjà bruyant aura les mêmes répercussions en termes de gêne et d'impacts sanitaires. La réponse à ces questions est fondamentale pour déterminer quel indicateur s'avérerait être le plus pertinent entre le LA_{max}, le SEL, le LA_{eq,evt} ou l'indicateur d'émergence événementielle. Le lancement d'études complémentaires sur ces sujets s'avère donc crucial pour pouvoir affiner la sélection des indicateurs événementiels les plus pertinents.
- **La caractérisation de l'exposition aux bruits d'origine comportementale, issus du voisinage ou de la vie locale, et de leurs impacts sur la gêne et la santé.** Il s'avère en effet qu'aucune étude épidémiologique ni enquête de perception de grande échelle n'a été conduite jusqu'à présent dans ce domaine. La montée en puissance notamment des problématiques liées à la gestion de la vie nocturne dans les centres villes animés ainsi que le déploiement en cours de dispositif d'objectivation des nuisances sonores pourrait offrir un cadre propice au lancement d'études pilotes. L'objectif serait notamment de savoir si l'exposition aux bruits d'origine comportementale ou humaine (musique, cris, voix humaines) présente des

répercussions similaires à celles qui peuvent être générés par les bruits liés aux transports.

- **L'étude de l'impact des composantes fréquentielles (notamment des basses fréquences), des tonalités marquées ou encore des bruits solidiens ainsi que des vibrations dans la gêne ressentie et les effets induits sur la santé.**

Le CNB recommande par ailleurs d'encourager la recherche opérationnelle en matière de développement des méthodes de surveillance et d'évaluation (méthodologies et outils) afin de permettre l'utilisation des indicateurs événementiels en complémentarité des indicateurs énergétiques. Tant dans le domaine de la mesure que de la modélisation, il convient notamment de s'assurer de la qualité et de la bonne représentativité des indicateurs produits, par la transparence sur les conditions de mesure mises en œuvre ainsi que sur les données d'entrée, les paramètres et hypothèses pris en considération dans les calculs.

IV. De l'intérêt d'améliorer la pédagogie autour des indicateurs de bruit

Le CNB considère que la question des indicateurs joue un rôle central dans la bonne appropriation des problématiques de bruit par l'ensemble des parties prenantes et dans l'instauration d'un dialogue et de processus de concertation de qualité. Il souligne le besoin de renforcement de la pédagogie dans ce domaine complexe et technique et propose l'élaboration d'un guide tout public en la matière, auquel il se propose de contribuer.

Il convient enfin de considérer cet avis du CNB comme un cadre de recommandations préliminaires et générales sur le sujet des indicateurs de bruit. Il pourra utilement être complété par des propositions plus opérationnelles et plus précises, en réponse à une éventuelle saisine ultérieure, afin d'accompagner la montée en puissance de la mobilisation des pouvoirs publics sur le sujet.

Annexe 1 : Définition des principaux indicateurs

Les niveaux acoustiques équivalents Leq,t

Le « niveau acoustique équivalent » (Leq,t exprimé en dB) d'un bruit stable ou fluctuant 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 niveau acoustique équivalent correspond donc à une « dose de bruit » reçue pendant une durée de temps 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 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 $LAeq,t$.

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}

L_{day} correspond au niveau de bruit moyen représentatif d'une journée ($LAeq$ (6h-18h) ou $LAeq$ (7h-19h) la période de journée étant considérée différemment selon les pays – en France, 6h-18h), déterminé sur une année. Il constitue un indicateur de bruit associé à la gêne pendant la période diurne.

→ $L_{evening}$

$L_{evening}$ correspond au niveau de bruit moyen représentatif d'une soirée ($LAeq$ (18h-22h) ou $LAeq$ (19h-23h) la période de soirée étant considérée différemment selon les pays – en France, 18h-22h), déterminé sur une année. Il constitue un indicateur de bruit associé à la gêne en soirée.

→ L_{night}

L_{night} correspond au niveau de bruit moyen annuel représentatif d'une nuit ($LAeq$ (22h-6h) ou $LAeq$ (23h-7h) la période de nuit étant considérée différemment selon les pays – en France, 22h-6h). Il constitue un indicateur de bruit associé aux perturbations du sommeil.

→ L_{den}

L'indicateur pondéré L_{den} (day-evening-night) représente le niveau annuel moyen sur 24h évalué à partir des niveaux moyens de journée, de soirée et de nuit. 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. Il est calculé selon la formule :

$$L_{den} = 10 \log \left(\frac{12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}}}{24} \right)$$

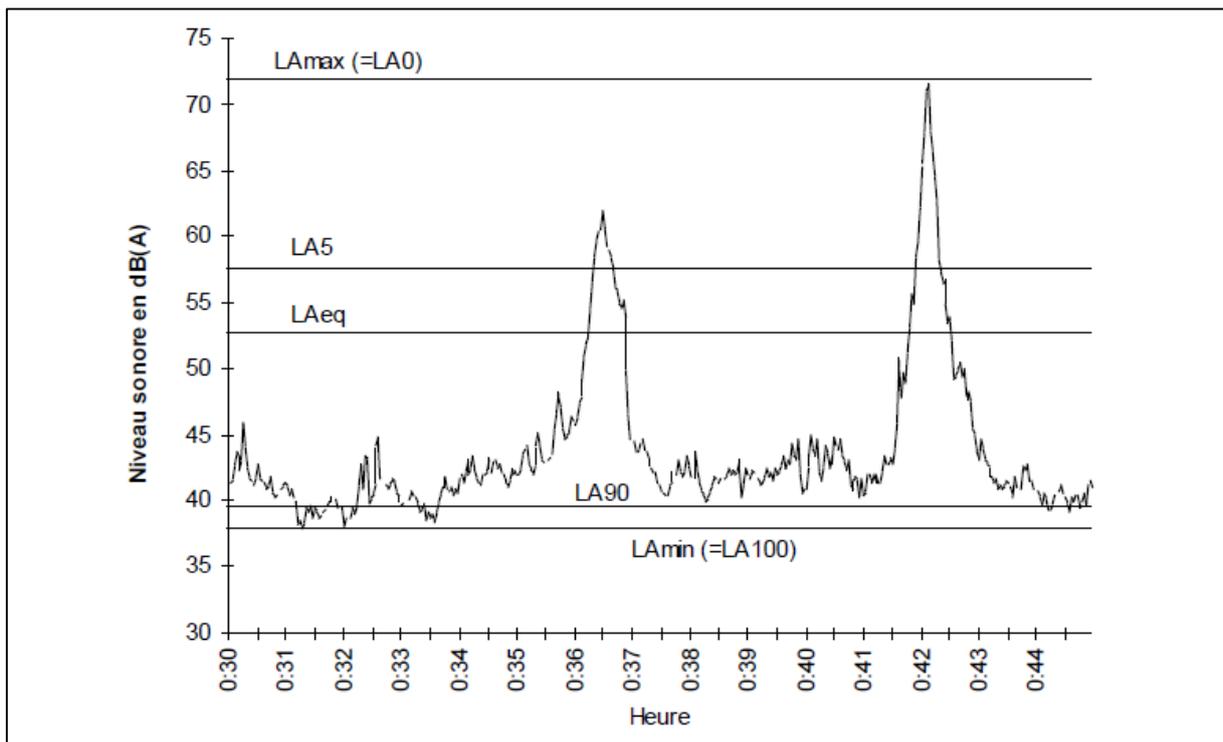
Les niveaux fractiles Lx

Le « niveau fractile » est exprimé en dB et est symbolisé par le paramètre Lx, où x est compris entre 0 et 100 (par exemple : L10, ..., L90, L95, ...). Il exprime le niveau sonore dépassé pendant le pourcentage de temps x (10%, ..., 90%, 95%, ...) par rapport à la durée totale de la mesure.

Comme pour les niveaux équivalents, les niveaux fractiles sont déterminés sur 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 un niveau de bruit donné a été dépassé. Les valeurs L1 et L5 caractérisent généralement les niveaux de pointe et permettent de prendre en compte la caractéristique d'émergence forte de certains bruits tandis que les valeurs L90 et L95 caractérisent les niveaux de bruit de fond.

Si l'échantillonnage a été effectué avec une pondération (A par exemple), les niveaux fractiles seront alors exprimés en dB(A) et symbolisés par LAx.

Le graphique ci-dessous constitue un exemple de mesure et d'enregistrement des niveaux sonores. Il représente également les niveaux $L_{Amin,1}$ et $L_{Amax,1s}$, les indicateurs fractiles LA90 et LA5 ainsi que le niveau acoustique équivalent relatif à la période de mesure.



Source : Bruxelles Environnement

Principe de calcul des indices fractiles.

Les indicateurs LA5 et LA90 correspondent aux niveaux sonores atteints ou dépassés durant respectivement 5 et 90% du temps de mesure (15 minutes dans l'exemple du graphique ci-dessus). LA0 (ou LAmax) correspond au niveau sonore maximum et LA100 (ou LAmin) correspond au niveau sonore minimum.

Les indicateurs événementiels

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

→ LA_{max} (ou « niveau instantané maximum »)

Le LA_{max} est le niveau maximum de bruit mesuré (avec une pondération fréquentielle A) durant une période de temps donnée.

L'indicateur LA_{max} peut correspondre à la valeur la plus élevée des différents niveaux équivalents intégrés sur une seconde (LA_{eq,1s}) au cours d'une période d'observation.

Il peut également correspondre à la valeur LA_{Smax} (S pour « Slow ») qui est le plus grand niveau de pression acoustique pondéré temporellement avec une constante de 1s au cours d'un intervalle de temps donné. Cet indice est utilisé pour lire plus facilement les valeurs sur un sonomètre car il varie lentement, même en cas de fortes fluctuations de niveaux sonores.

L'usage de l'indicateur LA_{max} peut également correspondre à une pondération temporelle plus faible comme 125 ms. On parle dans ce cas de LA_{Fmax} (F pour Fast (125 ms)) ou LA_{max, 125ms}.

Ces indicateurs ne donnent pas toujours les mêmes résultats et doivent être adaptés à la nature des bruits évalués.

→ E_{evt} (ou émergence événementielle de l'événement)

L'émergence événementielle ou amplitude du pic de bruit correspond à la différence entre le niveau maximal atteint (LA_{max}) et le niveau de bruit de fond (évalué à travers le niveau fractile LA₉₀ ou LA₉₅) avant l'apparition de l'événement sonore.

→ Leq_{evt} (ou niveau de bruit équivalent de l'événement)

Le Leq_{evt} correspond au niveau de pression acoustique continu équivalent calculé pendant la période associée à l'événement particulier considéré. Dans le cas d'une pondération fréquentielle A, le niveau équivalent, sera alors exprimé en dB(A) et symbolisé par LA_{eq,evt}.

→ SEL (Sound Exposure Level)

Le SEL (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.

Le SEL se calcule suivant la formule :

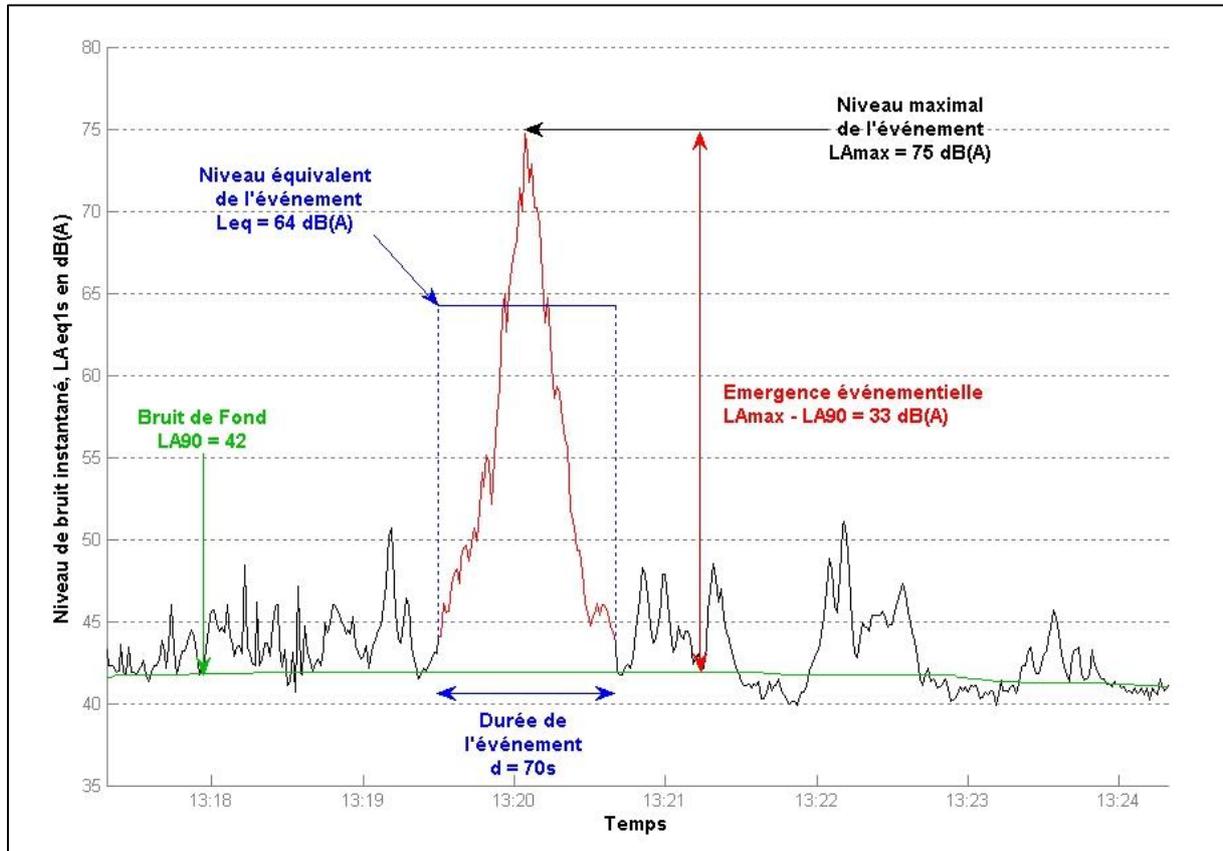
$$SEL = Leq, evt + 10 * \log(t)$$

avec Leq_{evt} calculé sur la durée de l'événement. Pour le calcul du SEL, cette durée est généralement considérée entre les instants pour lesquels le niveau sonore prend la valeur L_{max}-10 dB.

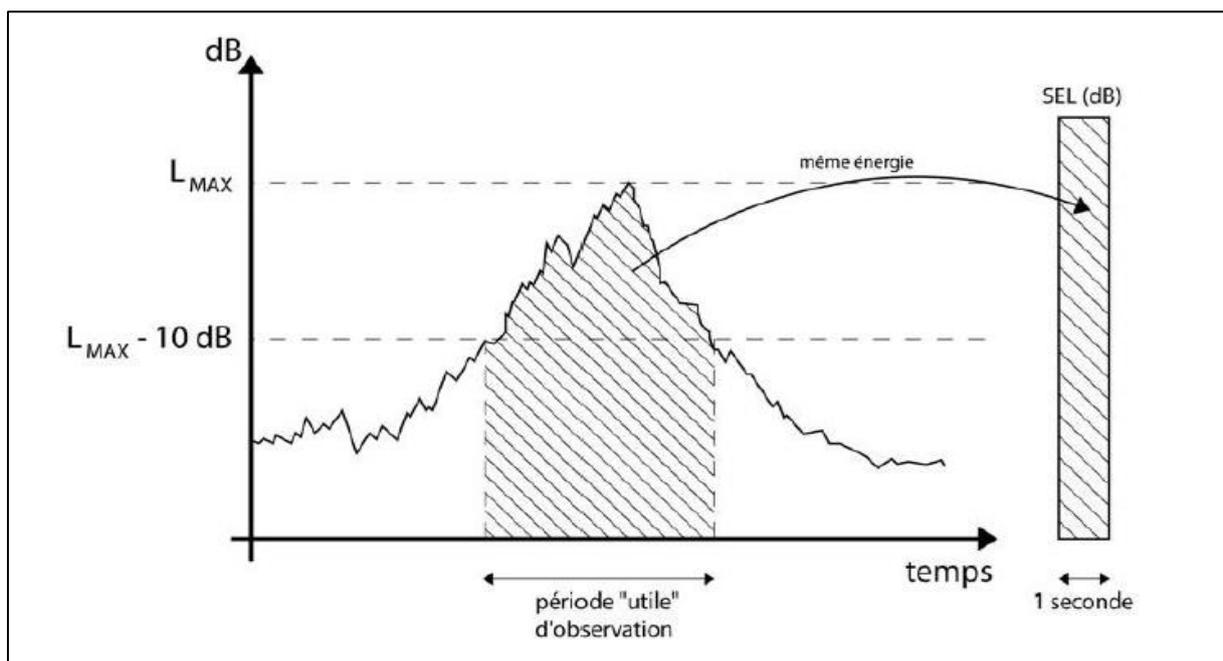
Il est possible de dénombrer les événements survenus au cours d'une période T déterminée,

en fonction du niveau L_{Amax} ou SEL atteint. Cela a donné lieu par exemple aux indicateurs statistiques du type $NA_{T,X}$ (NA : Number Above – nombre d'événements au cours de la période T dont le niveau L_{Amax} ou SEL dépasse un certain seuil X de niveau de bruit).

Les figures ci-dessous présentent le principe de calcul des différents indicateurs événementiels L_{Amax} , $L_{Aeq,evt}$, émergence événementielle (figure du haut) et SEL (figure du bas).



Source : Bruitparif



Source : Bruxelles Environnement

Annexe 2 : Revue – non exhaustive - des indicateurs utilisés à l'international

Cette annexe est constituée de deux documents :

1. Une présentation des indicateurs acoustiques utilisés à l'international tels qu'ils avaient été recensés dans le cadre d'une mission effectuée par le CidB dans le cadre du rapport d'expertise collective de l'ANSES de 2012.
2. Une note établie par SNCF Réseau concernant les indicateurs événementiels utilisés en et hors Europe dans le domaine du bruit ferroviaire.

Indicateurs acoustiques : revue des différences entre les réglementations nationales

Synthèse d'un rapport rédigé
pour l'ANSES en mai 2011

Philippe Strauss – CidB

18 avril 2017

Activités bruyantes : utilisation d'une combinaison LAeq et LAmax

Allemagne :

- LA_{eq} (6h-22h)
- LA_{eq} (22h-6h) (évaluation basée sur le $LA_{eq,1h}$ le plus élevé évalué durant la période 22h-6h).
- niveau de pression acoustique maximum LA_{Fmax}

Activités bruyantes : utilisation d'une combinaison LAeq et LAm_{ax}

bruit.fr



Indicateurs acoustiques : revue des différences entre les réglementations nationales

3

Allemagne - valeurs limites d'exposition à l'extérieur des constructions :

Zones industrielles	70 dB(A)
Zones d'activités commerciales	
le jour	65 dB(A)
la nuit	50 dB(A)
Zones rurales habitées et zones mixtes	
le jour	60 dB(A)
la nuit	45 dB(A)
Zones à dominante résidentielle	
le jour	55 dB(A)
la nuit	40 dB(A)
Zones exclusivement résidentielles	
le jour	50 dB(A)
la nuit	35 dB(A)
Zones de cure, établissements hospitaliers et de soins	
le jour	45 dB(A)
la nuit	35 dB(A)

Les **niveaux de crête** ne peuvent dépasser les valeurs limites de plus de 30 dB(A) le jour et de plus de 20 dB(A) la nuit.

Activités bruyantes : utilisation d'une combinaison LAeq et LAm_{ax}

bruit.fr



Indicateurs acoustiques : revue des différences entre les réglementations nationales

4

Australie - local sensible au bruit situé à moins de 15 mètres d'une activité bruyante :

- $L_{10} < 35$ dB(A) la nuit, le dimanche et les jours fériés,
- $L_1 < 45$ dB(A)
- $L_{A_{max}} < 55$ dB(A).

Danemark

- L_{Aeq} évalué sur les heures les + bruyantes du jour, soirée, nuit (avec des termes correctifs pour les tonalités marquées ou les bruits impulsionnels) ;
- dans les zones résidentielles, la nuit: $L_{AFmax} = L_r + 15$ dB (soit 50 ou 55 dB).

Activités bruyantes : utilisation du $L_{Aeq,1h}$ la nuit ou en soirée

Allemagne

- $LA_{eq(22h-6h)}$ (évaluation basée sur le $LA_{eq,1h}$ le plus élevé évalué durant la période 22h-6h).

Danemark :

- Jour : $L_{Aeq\ 8h(7h00-18h00)}$ - moyenne sur les 8 heures les plus bruyantes
- Soirée : $L_{Aeq\ 1h(18h00-22h00)}$ - moyenne sur l'heure la plus bruyante
- Nuit : $L_{Aeq\ 30mn(22h00-7h00)}$ - moyenne sur la demi-heure la plus bruyante

Pologne (bruit industriel) :

- $L_{Aeq,1h}$, soit le niveau de bruit le plus élevé pendant 1 heure, sur la période nocturne (il peut être assimilé à un indicateur L_{10})

Activités bruyantes : critère d'émergence

Grande-Bretagne (installations industrielles et portuaires) :

- $L_{Ar,Tr}$ (niveau d'évaluation) - $L_{A90,T}$ (niveau ambiant) (avec prise en compte des éventuelles tonalités marquées ou le caractère impulsionnel du bruit).

Activités bruyantes : terme correctif pour caractère impulsionnel ou tonalité marquée

Allemagne :

- Le caractère impulsionnel, les tonalités marquées ou le « contenu informationnel » du bruit font l'objet de facteurs correctifs (indicateur L_{AFTeq}).

Danemark :

- L_{Aeq} évalué sur les heures les + bruyantes du jour, soirée, nuit, avec des termes correctifs pour les tonalités marquées ou les bruits impulsionnels.

Espagne :

- Valeurs limites pour les installations industrielles, portuaires, commerciales, sportives ou de loisirs : indice $L_{K,x}$ tenant compte d'éventuelles tonalités marquées, de composantes basses fréquences ou de bruit à caractère impulsionnel.

Grande-Bretagne

- Le niveau d'évaluation $L_{A_{r,Tr}}$ prend en compte les éventuelles tonalités marquées ou le caractère impulsionnel du bruit

Activités bruyantes : terme correctif pour caractère impulsionnel ou tonalité marquée

Suisse :

- Première correction allant de 0 à 6 dB, suivant l'importance des composantes tonales marquées
- seconde correction allant de 0 à 6 dB, suivant l'importance de l'impulsivité de la source de bruit.

2 Valeurs limites d'exposition

Degré de sensibilité (art. 43)	Valeur de planification L_r en dB (A)		Valeur limite d'immission L_r en dB (A)		Valeur d'alarme L_r en dB (A)	
	Jour	Nuit	Jour	Nuit	Jour	Nuit
	I	50	40	55	45	65
II	55	45	60	50	70	65
III	60	50	65	55	70	65
IV	65	55	70	60	75	70

Activités bruyantes : terme correctif pour caractère impulsionnel ou tonalité marquée

Penalties for Tones and Impulsiveness		
Country	K_T dB	K_I dB
Australia	2 or 5	2 or 5
Austria	3 or 6	3 if $L_{A1Max} - L_{AFMax} < 2$ dB 5 if $L_{A1Max} - L_{AFMax} \geq 2$ dB
Belgium	–	$L_{A1Max} - L_{AFMax}$ if ≥ 4 dB
Denmark	5	5
France	5	3, 5 or 10 depending on duration and $L_{AFMax} - L_{Aeq}$
Germany	3 or 6	$L_{AFTeq} - L_{Aeq}$
Hong Kong	3 or 6	3
Korea	–	5
Netherlands	5	5
Switzerland	2, 4 or 6	2, 4 or 6
UK	5	5

Activités bruyantes : prise en compte des basses fréquences

Danemark

- Pour les zones exposées aux basse fréquences, aux infrasons ou aux vibrations, des valeurs limites sont prévues (niveau équivalent basses fréquences : $L_{pA,LF(10-160Hz)}$ et niveau d'infrasons pondéré G : $L_{pG(ca. 5-20Hz)}$). Les parcs éoliens tombent sous le coup du niveau équivalent L_{Aeq} , mais un volet basses fréquences a récemment été intégré ($LA_{eq,10-160 Hz}$, niveau calculé).

Espagne

- L'indice $L_{K,x}$ tient compte d'éventuelles tonalités marquées, de composantes basses fréquences ou de bruit à caractère impulsionnel.

Espagne

- Limitation des vibrations : indicateur L_{aw}

Voies routières : niveaux équivalents

Australie :

- Voies rapides : 55 dB(A) L_{Aeq} (7h-22h)
- Desserte locale : 50 dB(A) L_{Aeq} , 1h
- bâtiments sensibles : niveaux seuils « intérieurs »,
- crèches ou hôpitaux : seuils OMS repris intégralement !

Japon :

- 65 dB(A) L_{Aeq} 6h-22h
- 55 dB(A) L_{Aeq} 22h-6h



Danemark :

- Pour les voies routières, depuis 2007, le L_{den} a succédé au $L_{Aeq, 24h}$.

Norvège :

- 55 dB L_{den}
- valeurs limites supplémentaires pour la période de nuit lorsque 10 événements sonores de L_{AFmax} > valeurs limites

Pologne:

- 55 dB L_{den}
- 50 dB L_n

USA:

- L_{dn} = niveaux nocturnes augmentés de 10 dB(A)

Voies routières : indices fractiles



Grande-Bretagne :

- Voie routière nouvelle ou modifiée : indice fractile L_{A10} (6h-24h) considéré pour déterminer l'éligibilité aux aides à l'insonorisation
 - Seuil : 68 dB(A) $L_{A10, 18h}$ (6h-24h) (niveau en façade)

USA :

- Construction d'une autoroute non concédée :
 - Soit $L_{Aeq, 1h}$ évalué pour l'heure de plus fort trafic. Valeur limite en zone résidentielle : 67 dB(A) $L_{Aeq, 1h}$.
 - Soit l'indice fractile L_{A10} . La valeur limite en zone résidentielle est alors de 70 dB(A) L_{A10}

USA :

- Train, tramway : critère d'émergence dont les valeurs limites sont dégressives à mesure que le niveau résiduel augmente. Ceci afin de tenir compte de résultats de recherche qui indiquent que des personnes subissant déjà de forts niveaux sonores toléreront moins un accroissement du niveau sonore ambiant.

Transports : correction fréquentielle

Suisse :

- La correction C_{tr} s'applique pour les bruit chargés en basse fréquence comme le bruit des routes où les véhicules circulent à moins de 80 km/h,
- la correction C s'applique pour les bruits chargés en hautes fréquences comme les routes circulées à grande vitesse ou les aérodromes

Lr en dB (A)		R'w - (C ou C _{tr}) en dB
Jour	Nuit	
jusqu'à 75 compris	jusqu'à 70 compris	32
plus de 75	plus de 70	38

Espagne :

- La multiexposition est prise en compte : les nouvelles infrastructures routières, ferroviaires et aéroportuaires doivent faire en sorte que leurs effets cumulatifs ne dépassent pas les objectifs de qualité acoustique établis pour chaque type de zone acoustique.

Bruit ferroviaire : bonus acoustique

Allemagne :

- « bonus » de 5 dB (sauf cas de l'assemblage ou désassemblage de trains de marchandises).

Danemark :

- valeurs limites de 6 dB moins strictes que pour la route ; mais un niveau instantané L_{Amax} est également pris en compte.

France:

- bonus ferroviaire de 3 dB(A) pour les lignes classiques (vitesses inférieures à 250 km/h).
- A noter qu'un bonus similaire est en vigueur en Hollande (7 dB(A)), en Autriche (5 dB(A)) et en Suisse (entre 5 et 15 dB(A)).

Bruit ferroviaire : $L_{Aeq} + L_{Amax}$

bruit.fr

(IDB)

Indicateurs acoustiques : revue des différences entre les réglementations nationales

Australie :

- Fret ou train de grande ligne : $55 L_{Aeq(22h-7h)}$ ou $80 L_{Amax}$ (cas d'une ligne nouvelle)
- trains de banlieue et tramways : pas de contrainte L_{Amax} sur la période diurne.

Danemark :

- 64 dB Lden (zones résidentielles)
- 85 dB L_{Amax}
- Niveau d'accélération vibratoire maximum : 75 KB

Japon :

- Pour les lignes à grande vitesse : $L_{Amax, Slow}$
- voies ferrées conventionnelles : L_{Aeq}

19

Bruit ferroviaire : $L_{Aeq} + L_{Amax}$

bruit.fr

(IDB)

Indicateurs acoustiques : revue des différences entre les réglementations nationales

Espagne :

- $L_{Aeq, jour}$ 60, $L_{Aeq, soirée}$ 60, $L_{Aeq, nuit}$ 50
- L_{AFmax} 85

20

Grande-Bretagne :

- Emission à la source quantifiée en faisant appel à l'indice énergétique SEL, valeurs en SEL ensuite converties en $L_{Aeq,6h-24h}$ 18h (exposition de jour) et $L_{Aeq, 6h}$ (exposition de nuit) en tenant compte du nombre d'événements sonores et de la durée de la période considérée.
- Voie nouvelle : $L_{Aeq(6h-24h)} = 68$ dB(A)
ou
- $L_{Aeq(24h-6h)} = 63$ dB(A)

Bruit des avions

Allemagne

- L_{Aeq} , jour, L_{Aeq} , nuit, L_{Amax} , 1s pour la période de nuit (un maximum de 6 événements sonores dépassant la valeur limite est toléré) et l'indicateur événementiel NAT (*Number Above Threshold*).
- des valeurs limites s'appliquent aux aéroports militaires.

Australie

- Indicateur ANEF, dérivé de l'EPNL et corrigé d'un critère d'expression de la gêne.
- N70
- PEI (person-events-index)

Objet : Réglementation du bruit ferroviaire. Benchmark de l'usage d'un indicateur évènementiel en et hors Europe (novembre 2018)

L'exercice est difficile car la bibliographie disponible ne fournit que des éléments très sommaires voire contradictoires. Nous avons donc contacté un certain nombre de nos homologues en et hors Europe dans la limite du temps imparti et de la juste compréhension de réglementations toujours très complexes.

Un premier constat est que dans la plupart des pays, l'exposition au bruit des infrastructures de transport terrestre est caractérisée par des indicateurs de type LAeq(t), généralement évalués sur deux périodes diurne et nocturne ou Lden. Seuls certains pays utilisent des indicateurs évènementiels, **mais** :

- toujours en complément du LAeq,
- sous forme de recommandations uniquement,
- avec ou sans valeur limite,
- sous des formes diverses,
- généralement sans obligation de résultats a posteriori (pas de mesure de contrôle du respect de la valeur),
- sans horizon d'évaluation, car il n'est pas prédictible.

Le Japon fait exception mais est en train de revoir sa position.

En Europe

La réglementation de 8 pays a été investiguée. Pour rappel, la Suède, la Norvège et le Danemark n'ont pas de ligne à grande vitesse.

L'Allemagne, la Belgique et l'Italie ne proposent pas d'indicateur évènementiel.

La Grande-Bretagne fait appel à l'indice énergétique SEL pour quantifier l'émission à la source (de l'anglais Sound Exposure Level ou Single Event Level) qui correspond à un niveau de pression équivalent défini sur la période de temps t lié à l'évènement. Les valeurs en SEL sont ensuite converties en niveaux continus équivalents LAeq, 18h (exposition de jour) et LAeq, 6h (exposition de nuit) en tenant compte du nombre d'événements sonores et de la durée de la période considérée. En considérant un bruit variable perçu pendant une durée T, le SEL représente le niveau de bruit émis pendant une seconde qui aurait été produit avec la même énergie que le bruit réellement perçu pendant cette durée.

L'Espagne, la Suède, le Danemark et la Norvège ont recours au LAfmax c'est-à-dire le niveau maximum de pression équivalent défini sur la période de temps 125ms. En Espagne, 97 % des valeurs journalières ne doivent pas dépasser une valeur seuil définie selon le type d'urbanisation. En Suède et au Danemark, les limites en LAmax ne s'appliquent que pour les lignes nouvelles ou les modifications de lignes augmentant le

NOTE

niveau sonore de plus d'un dB(A). Il n'existe pas de limite en LAmax sur les lignes existantes. Les niveaux LAmax sont calculés au niveau des logements (valeur en champ libre à 1.5m de haut). Ils ne sont jamais mesurés. En suède, si les valeurs limites sont dépassées, elles ne doivent pas l'être de plus de 10dB(A) 5 fois par heure sur la période de jour et de plus de 5dB(A) 5 fois par heure sur la période de nuit. Au Danemark, le seuil est plus élevé mais s'applique dès un seul dépassement. En Norvège, c'est la LA5f (23h – 7h) c'est-à-dire le niveau atteint par les 5% d'évènements les plus bruyants pendant la période nocturne uniquement.

Hors Europe

Le Québec n'a pas encore de politique globale sur la question du bruit dans l'environnement. Hormis quelques paragraphes ou directives spécifiques isolées, aucune loi globale n'encadre les activités bruyantes, avec une vue d'ensemble, une volonté ferme exprimée et des orientations détaillées pour toutes les nuisances.

Hong Kong propose une valeur seuil en LAfmax (23h – 7h).

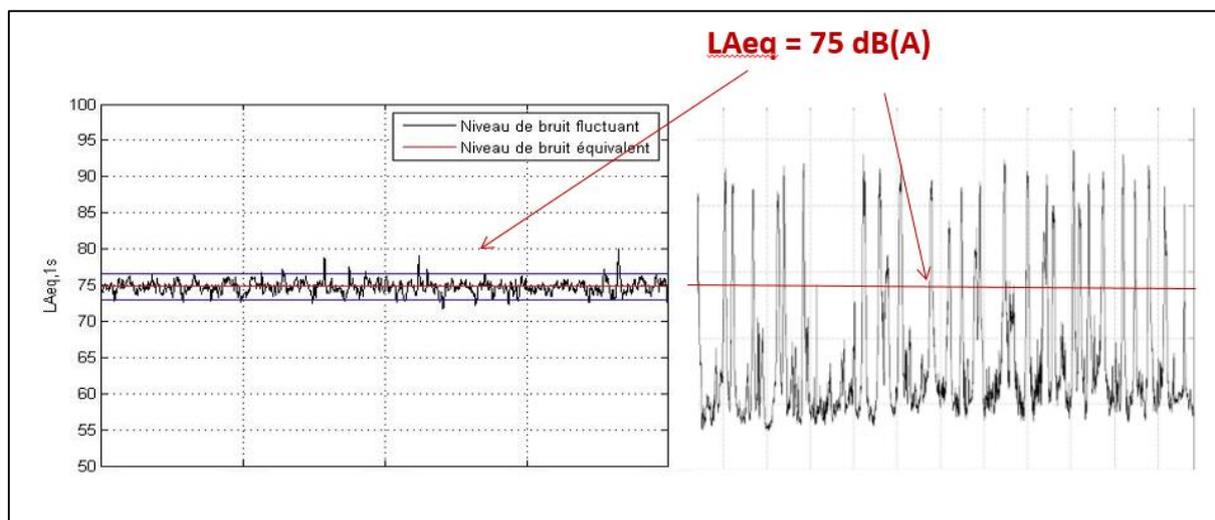
En Australie, la réglementation bruit est de la responsabilité de chaque Etat (6) ou de chaque territoire (2). La réglementation du New South Wales, état le plus peuplé (Sydney), propose des valeurs seuils en LAeq et en LAfmax, de jour comme de nuit, en distinguant le cas des lignes nouvelles de celui des modifications de lignes.

Ces trois pays ne disposent pas de la grande vitesse.

Le cas du Japon : l'expression Shinkansen signifie littéralement «nouvelle ligne interurbaine». Les Shinkansen, trains à grande vitesse japonais, ne roulent que sur ligne dédiée. Le réseau est fermé de minuit à 6 h du matin pour laisser place à la maintenance. En raison de la forte densité de population du Japon, la presque totalité des voies du Hokaido Shinkansen passe en plein milieu des villes, souvent à moins d'une vingtaine de mètres des maisons. Le Sanyō Shinkansen ainsi que le Kyūshū Shinkansen sont plus ruraux mais comportent beaucoup de tunnels. Le Tohoku Shinkansen est, à l'exception notable de la zone proche de Tokyo, moins affecté par la densité de population et les contraintes liées au bruit. Le bruit du Shinkansen est évalué par l'énergie moyenne de la moitié des pics de bruit les plus forts mesurés. L'indicateur est le LAsmax (slow) qui correspond à la moyenne quadratique (=énergétique) des 10 évènements sonores les plus bruyants sur la période de passage de 20 trains successifs. Il n'y pas d'indicateur de type LAeq(t). Néanmoins, le ministère de l'environnement japonais explore actuellement la possibilité d'introduire le LAeq(t) comme indicateur de bruit pour les lignes à grande vitesse, en lieu et place de l'indicateur LAmax jugé comme trop complexe.

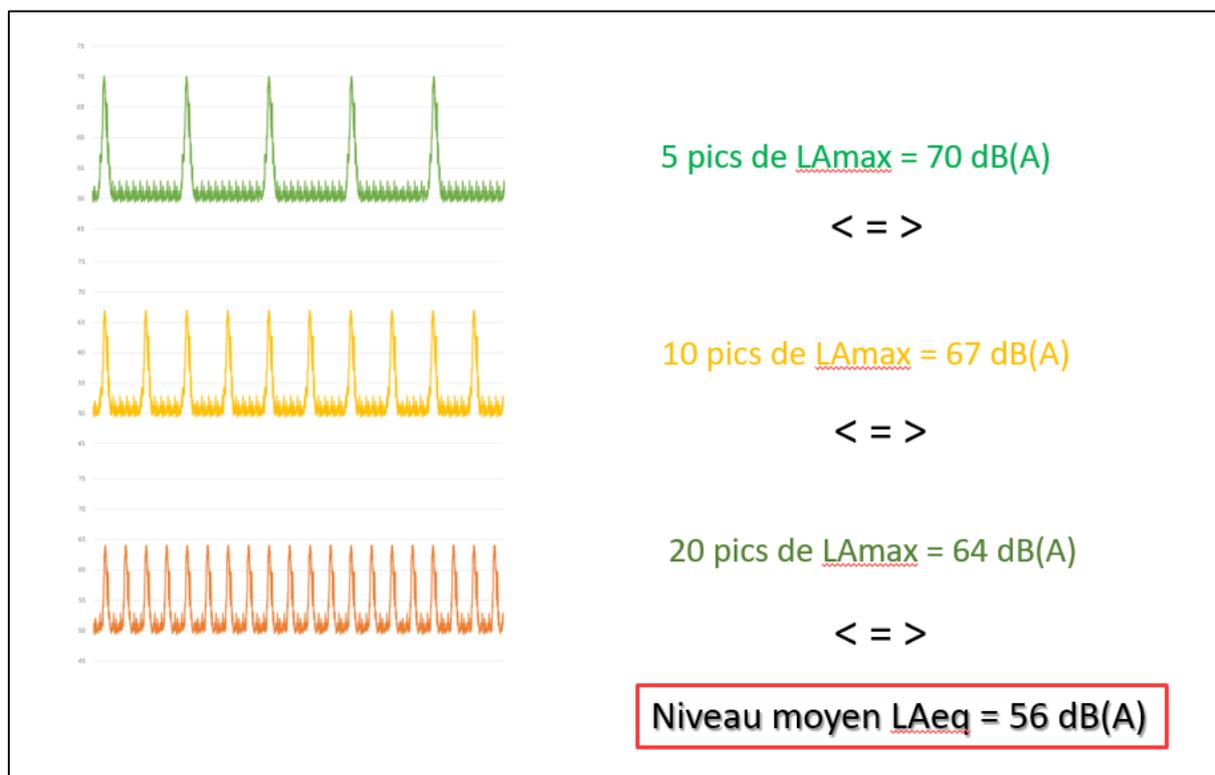
Annexe 3 : Exemples de correspondances entre pics de bruit et valeurs de LAeq ou Lden

D'une manière générale, une même valeur de niveau équivalent sur une période donnée peut être obtenue dans des situations très différentes (bruit relativement continu ou bruit à forte composante événementielle), comme l'illustre le graphique ci-dessous :



Source : Bruitparif

Pour un bruit à composante événementielle, la valeur du niveau équivalent sur une période donnée dépendra à la fois de l'intensité de pics et du nombre de pics, de telle sorte que des situations différentes peuvent également conduire à la même valeur du niveau moyen équivalent sur une période, comme l'illustre le schéma ci-dessous :



Source : Bruitparif

Du fait de ce mode de calcul du niveau équivalent, et compte tenu par ailleurs du fait que des pondérations pour les périodes de soirée (+5 dB(A)) et de nuit (+10 dB(A)) sont intégrées dans le calcul de l'indicateur Lden, une même valeur de l'indicateur Lden peut refléter elle aussi des situations très différentes. En voici trois exemples différents dans le domaine du bruit des transports :

Exemple 1 : un Lden de 55 dB(A) pour le bruit aérien pourra être :

- Soit le résultat d'une exposition à un niveau Lden de 59 dB(A) pour les journées de vent d'Est et à une quasi-absence de bruit lié au trafic aérien par vent d'ouest (dans le cas d'une répartition 40% vent d'Est, 60% vent d'Ouest) (cas d'un riverain survolé uniquement en configuration face à l'Est).
- Soit le résultat d'une exposition quotidienne au bruit du trafic aérien à un niveau de Lden journalier d'environ 55 dB(A) (cas d'un riverain survolé dans les deux configurations face à l'Est et face à l'ouest).
- Soit le résultat d'une exposition à un niveau de bruit Lden de l'ordre de 65 dB(A) mais dix pour cent du temps seulement (cas d'un riverain qui subirait les nuisances d'un aéroport de loisirs ne fonctionnant que les week-ends de la belle saison).

Exemple 2 : un Lden de 65 dB(A) pour le bruit routier pourra être :

- Soit le résultat d'une exposition sur la période diurne (6-22h) de 65 dB(A) et sur la période nocturne de 45 dB(A).
- Soit le résultat d'une exposition à des niveaux de 65 dB(A) sur la période jour (6-18h), de 60 dB(A) sur la période de soirée (18-22h) et de 55 dB(A) sur la période nuit.
- Soit le résultat d'une exposition à un niveau de bruit relativement constant de 59 dB(A) sur les trois périodes.

Exemple 3 : 5 pics de bruit à 70 dB(A) sont équivalents en terme d'énergie sonore à un seul pic de bruit à 75 dB(A). Conséquence : l'ajout de 5 passages de train moyennement bruyants peut être compensé d'un point de vue énergétique par la suppression d'un train générant 5 dB(A) de plus. Du fait que le bruit la nuit « compte » pour dix fois plus que le bruit en journée dans le calcul de l'indicateur Lden, supprimer un train bruyant de nuit (75 dB(A)) peut théoriquement permettre l'introduction de 50 trains moins bruyants (70 dB(A)) supplémentaires en journée sans changer la valeur de l'indicateur Lden.