



AÉROPORT DE LILLE SAS



Note explicative sur la façon de caractériser le bruit des avions

Rédaction du rapport : Ir. Jean-Pierre Clairbois, acousticien sénior

Note établie le 09 décembre 2021

Référence du document : 20211209_FR0383_ADL_Note_caracterisation_bruit_des_avions.docx



1. CARACTERISER LE BRUIT DES AVIONS

Pour permettre de mieux comprendre les effets du bruit dans l'environnement, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a établi des lignes directrices relatives au bruit¹ et ses effets sur la santé : cette élaboration a suivi une méthodologie rigoureuse. Il a été procédé à un examen de la littérature pertinente, pour incorporer dans le texte les recherches importantes entreprises dans le domaine. Des études systématiques ont été effectuées pour évaluer la relation existant entre le bruit dans l'environnement et les résultats suivants sur la santé.

La qualité des données scientifiques, une fois identifiées et synthétisées, a été évaluée, puis le groupe chargé de l'élaboration des lignes directrices a formulé des recommandations.

Pour ce qui concerne les indicateurs de bruit, le rapport¹ de l'OMS reprend :

« Indicateurs de bruit

D'un point de vue scientifique, le meilleur indicateur du bruit est celui qui prédit le mieux l'effet en question. Un certain nombre de critères supplémentaires peuvent cependant influencer le choix d'un indicateur. Divers indicateurs peuvent par exemple convenir pour différents effets sanitaires...

Les lignes directrices actuelles sont conçues pour convenir à la formulation de politiques dans la Région européenne de l'OMS. C'est pourquoi elles privilégient les indicateurs du bruit les plus utilisés, L_{den} et/ou L_{night} ². Ils peuvent être construits à partir de leurs composants (L_{day} , $L_{evening}$, L_{night} et la durée de la nuit de L_{night} en heures) et sont fournis pour l'exposition de la façade la plus exposée, à l'extérieur. Les indicateurs L_{den} et L_{night} sont ceux que mentionnent le plus fréquemment les autorités ; ils sont largement utilisés pour l'évaluation de l'exposition dans les études des effets sur la santé. »

Les indicateurs pour caractériser le bruit des transports sont cependant nombreux et souvent difficilement compréhensibles de façon intuitive : la présente note a pour but d'expliquer au mieux que possible la signification et la représentativité des indicateurs généralement utilisés pour évaluer l'impact du bruit des aéronefs sur l'environnement, en ce compris les indicateurs L_{den} et L_n ².

Pour encore plus de précisions, le lecteur pourra également se référer à l'annexe (3.) qui présente quelques notions d'acoustique dans le contexte du bruit des aéroports.

1.1 Le niveau instantané L(t)

La gêne réellement perçue lors d'un survol d'aéronef est logiquement reliée à l'évolution du niveau de bruit à son passage : le niveau de bruit dit « instantané » à l'instant « t », appelé L(t), évolue depuis le niveau dit de « bruit ambiant » composé des contributions de l'ensemble des bruits environnants « hors avions » puis, progressivement lors de son approche, il s'élève jusqu'à un niveau maximum suivant sa position par rapport au point d'observation, pour redescendre ensuite au fur et à mesure que l'avion s'écarte, et ensuite ne plus être perceptible par rapport au bruit ambiant « hors avions ».

La Figure 1 ci-après montre l'évolution temporelle du niveau de bruit instantané L(t) dans un environnement aéroportuaire : relevés sur une période de 15 minutes, pendant la période de jour entre 13 heures 54 et 14 heures 09, quatre passages d'avions (en vert) se détachent du bruit ambiant (en noir : ici assez calme de 45 à 50 dB(A)).

En examinant attentivement l'évolution temporelle, on peut dire que la gêne ressentie par un riverain lui est directement liée : la totalité des événements y est bien reprise.

Cependant, une telle évolution est très fluctuante et il s'agit de la caractériser au mieux que possible avec des indicateurs pertinents.

¹ Lignes directrices relatives au bruit dans l'environnement dans la Région européenne (2018), Organisation mondiale de la santé, 2018, ISBN 978 92 890 5356 3.

² L_{night} et L_n représentent le même indicateur, à savoir : le niveau sonore équivalent de nuit

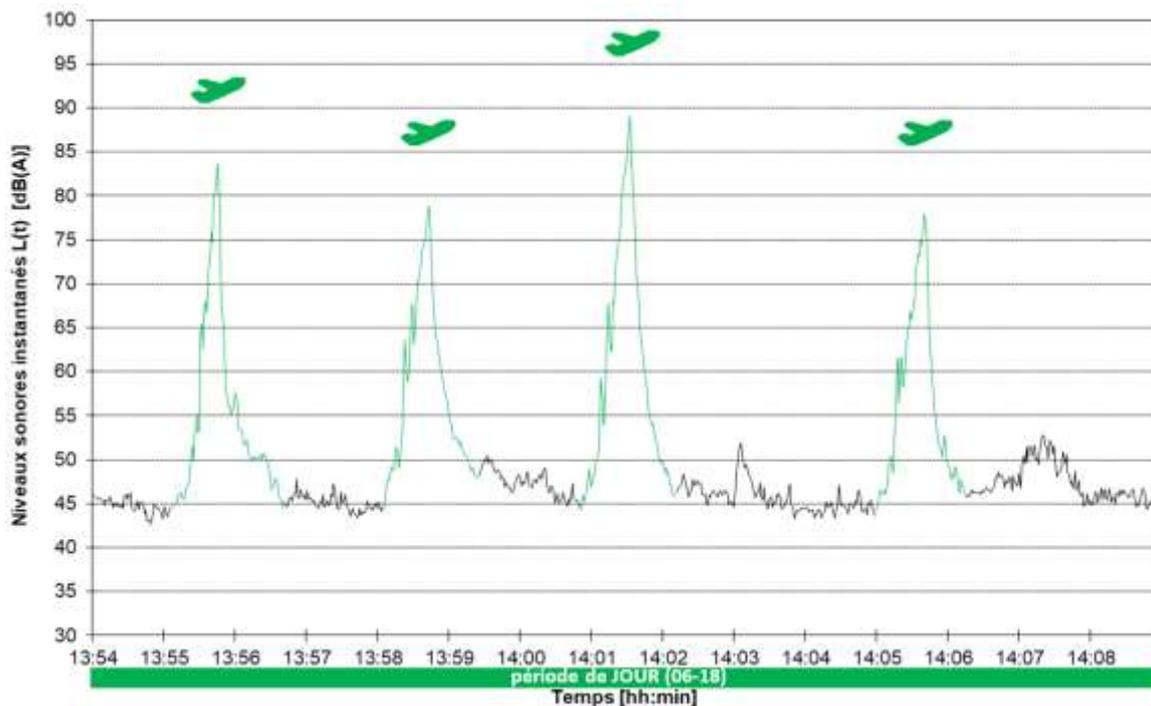


Figure 1 : évolution temporelle du niveau de bruit à proximité d'un aéroport en période de jour (© A-Tech)

1.2 Le niveau maximum L_{Amax} , $L_{Amax,T}$, $L_{Amax,evt}$

Lorsqu'on observe l'évolution temporelle du niveau instantané sur une période de durée T ou sur un évènement evt , **c'est le niveau de bruit maximum relevé pendant la période ou l'évènement** : ce niveau *maximum* peut ne correspondre qu'à *une fraction de secondes* et, même s'il est un indicateur facilement compréhensible et intuitif, il reste peu représentatif de l'évènement lui-même, tout au moins au niveau statistique puisqu'il est unique.

Il est dès à présent important de ne pas confondre le **niveau instantané**, qui évolue constamment, avec les **niveaux maximums** $L_{Amax,evt}$ qui sont rattachés à des évènements comme les passages d'avions : à la Figure 2, on relève les niveaux $L_{Amax,evt}$ de chacun des quatre évènements / passages d'avions ; ils sont respectivement de 83,6, 78,9, 89,0 et 77,9 dB.

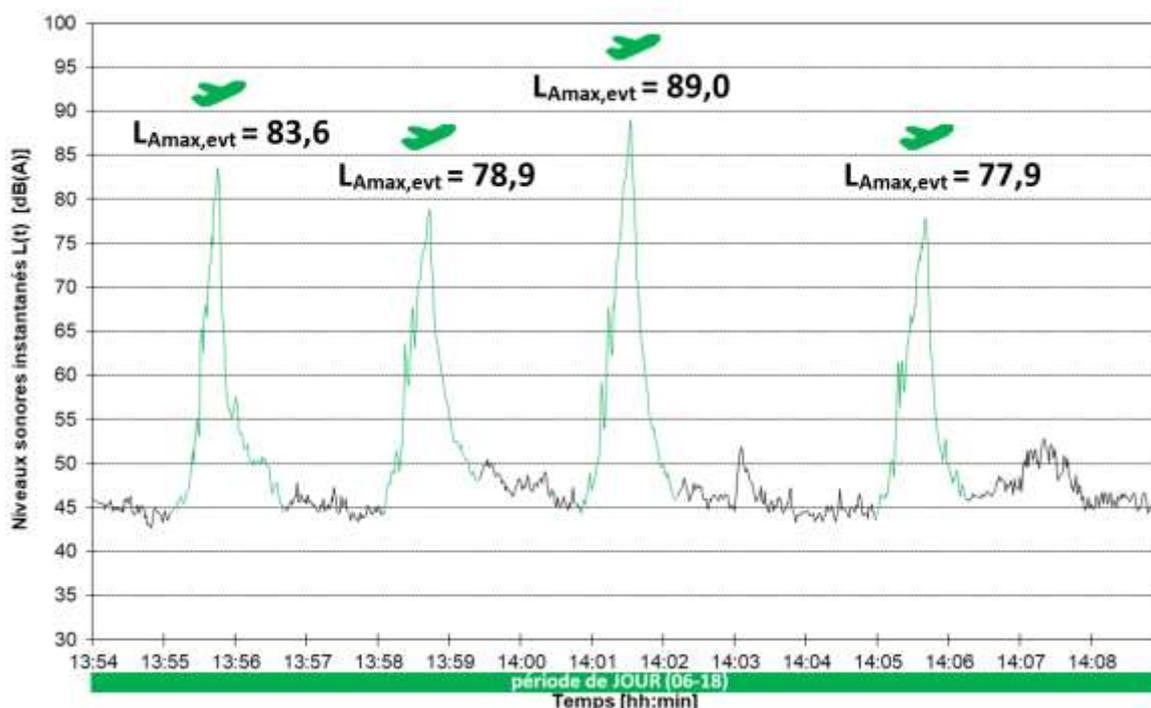


Figure 2 : évolution temporelle du niveau de bruit à proximité d'un aéroport en période de jour : L_{Amax} , avions (© A-Tech)



C'est bien la **totalité de l'évolution temporelle $L(t)$** d'un évènement qui en induit la gêne : si le $L_{Amax,evt}$ correspond bien au plus haut niveau de bruit relevé, comme déjà indiqué ci-avant, ce niveau maximum peut ne correspondre qu'à une fraction de secondes et, quand bien même il est un des indicateurs « clé » de l'évènement, il ne suffit pas à *lui seul* à en caractériser l'ensemble des composantes du bruit...

Le recours à l'indicateur L_{Amax} reste très rare. Cependant, l'effet des « pics de bruit » reste important dans l'analyse de la gêne induite par les aéronefs : **l'indicateur NAT lui est préféré** car il remet les « pics de bruit » dans leur contexte. Le NAT permet de mieux tenir compte des L_{Amax} en comptabilisant le nombre d'évènements correspondant à des dépassements d'un seuil T (voir chapitres 1.6 et 3.5.8) sur une période donnée (généralement la nuit pendant laquelle un nombre trop important pourrait affecter la qualité du sommeil).

1.3 La durée d'exposition d

La durée d'exposition au bruit est aussi essentielle : on comprend facilement qu'un avion qui induit un niveau de bruit $L_{Amax,evt}$ au sol de, par exemple, 80 dB, est moins gênant si son passage dure 10 secondes que s'il durait plus d'une minute malgré le fait que son $L_{Amax,evt}$ resterait identique. La Figure 3 détaille la durée d'exposition de chacun des quatre passages d'avions, soit respectivement 1'33", 1'19", 1'19" et 1'14".

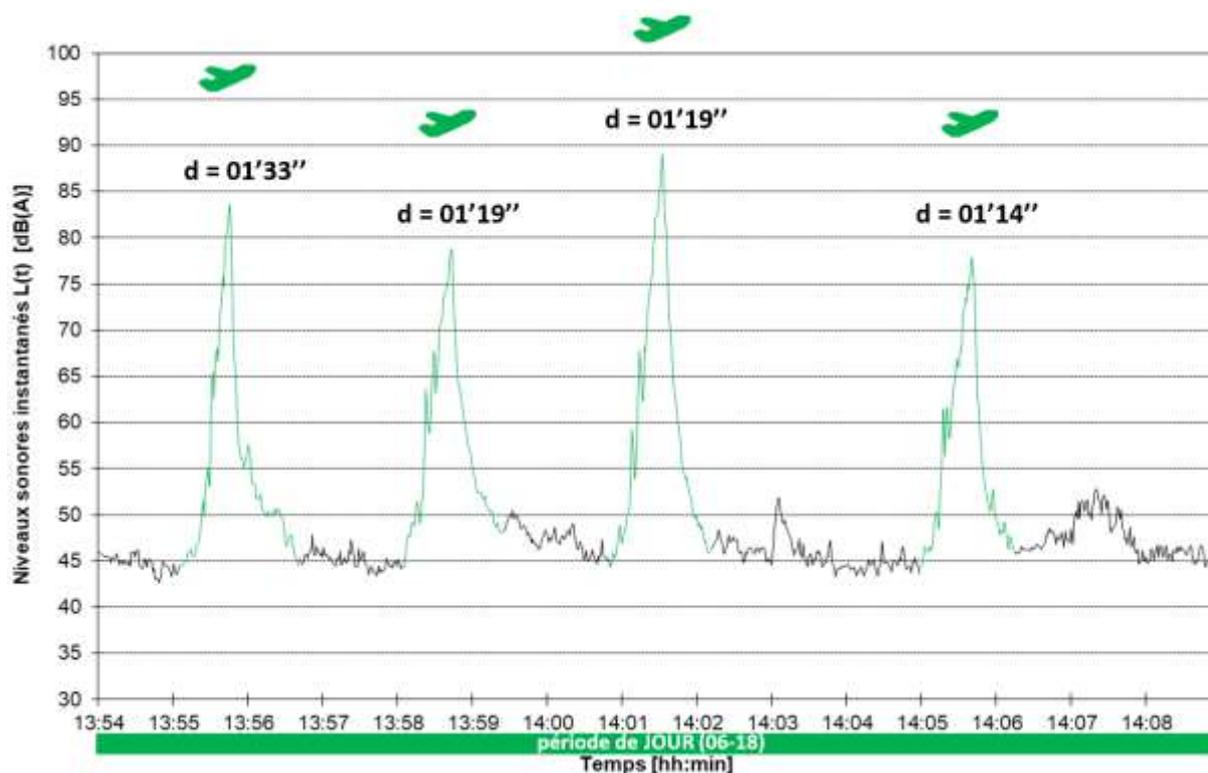


Figure 3 : passages d'avions à proximité d'un aéroport en période de jour : durée d'exposition d au bruit de chaque avion
(© A-Tech)



1.4 Le niveau équivalent $L_{Aeq,evt}$

La durée des événements bruit aux passages d'aéronefs est cependant peu utilisée : on lui préfère l'indicateur *intégrateur* $L_{Aeq,evt}$ qui intègre la durée de l'évènement et l'énergie sonore accumulée lors de celui-ci.

Le $L_{Aeq,evt}$ *intègre la totalité de l'évolution temporelle du bruit* pour en donner une valeur équivalente qui correspond à un bruit *continu* de même durée et de même énergie (voir aussi chapitre 3.5.6) : la Figure 4 présente les niveaux équivalents correspondant aux quatre passages d'avions de la Figure 1. Les niveaux intégrés pour chaque passage correspondent aux *surfaces hachurées en vert*, alors que leurs niveaux équivalents sont représentés par l'*horizontale supérieure* des rectangles en vert clair : ils correspondent respectivement à 70,3 , 67,7, 76,5 et 67,1 dB.

Il est très important de noter que les $L_{Aeq,evt}$ *correspondent à des intégrations énergétiques³ exprimées en dB*, c'est-à-dire suivant une *échelle logarithmique* et non une échelle linéaire : cela explique que les $L_{Aeq,evt}$ *sont très fortement influencés par les forts niveaux, comme les $L_{Amax,evt}$ par exemple*, ce qui se constate facilement à la lecture de la Figure 4.

Enfin, sur la même Figure 4 et à titre d'information purement comparative, les simples « moyennes arithmétiques » des *niveaux de pression* exprimés en dB sont également présentées en *couleur grise*, afin de bien montrer que les $L_{Aeq,evt}$ sont beaucoup plus représentatifs des $L_{Amax,evt}$ que cela ne serait pour de simples moyennes « arithmétiques » des *niveaux de pression*, comme cela est trop souvent mal interprété. Ces « moyennes arithmétiques » des niveaux de pression seraient respectivement de (55,0), (57,8), (59,9) et (56,5) dB.

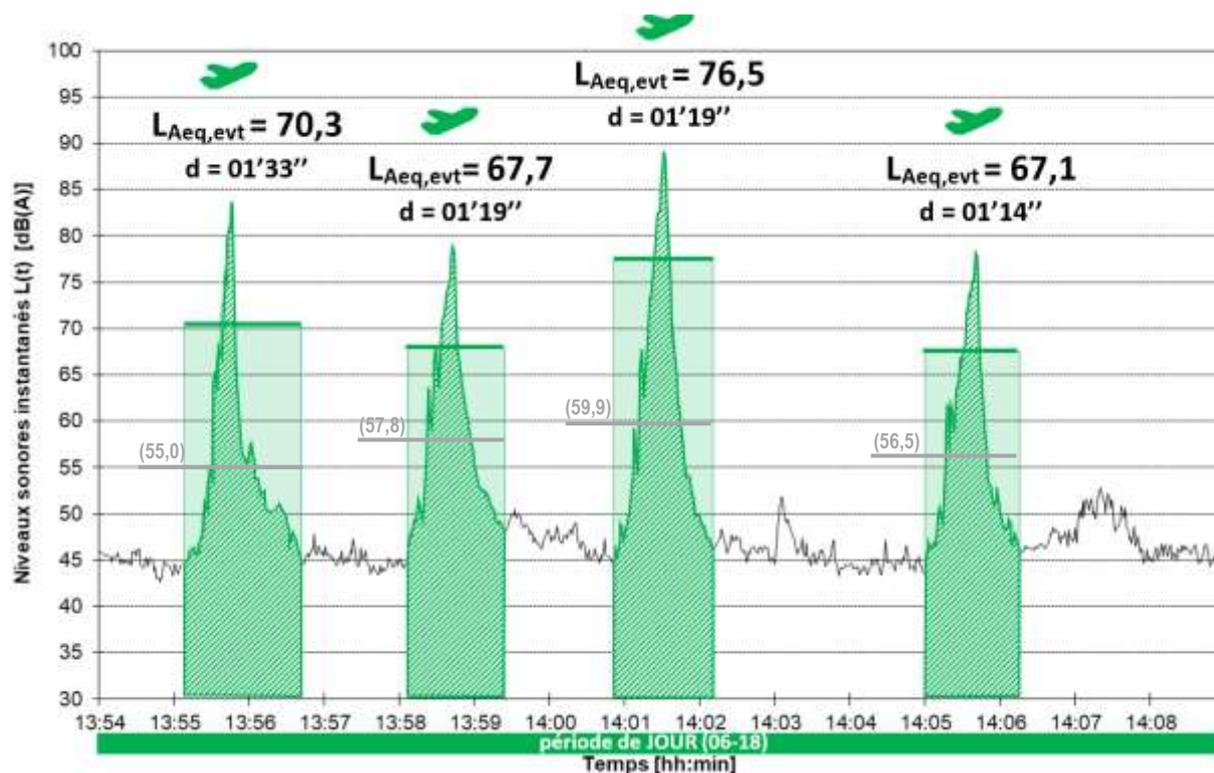


Figure 4 : passages d'avions à proximité d'un aéroport en période de jour : $L_{Aeq,evt}$ (dB) des événements et leur durée (en gris entre parenthèses : moyennes arithmétiques (dB), présentées à titre purement comparatif) (© A-Tech)

Le $L_{Aeq,evt}$ est un indicateur essentiel dans la caractérisation du bruit des avions car il intègre :

- l'évolution temporelle du niveau instantané au passage d'un avion, et donc aussi
- le niveau maximum $L_{Amax,evt}$ relevé lors de son passage⁴, mais encore
- la durée totale d'exposition au bruit.

³ ce sont les *pressions acoustiques* exprimées en *Pascal (Pa)* qui sont moyennées, puis converties en *niveaux de pression (dB)*

⁴ rappel : les forts niveaux de bruits, tels que le $L_{Amax,evt}$ influencent très fortement le $L_{Aeq,evt}$



1.5 Le nombre de mouvements et la période concernée : indicateurs L_{den} et L_n

Dans l'analyse de la gêne autour d'un aéroport, outre la prise en compte des $L_{Aeq,evt}$ correspondant à chaque passage d'avion, deux autres facteurs sont aussi très importants : le nombre de mouvements et la période de la journée pendant laquelle ces mouvements sont effectifs.

1.5.1 Nombre de mouvements

A l'évidence, le nombre d'événements bruyants impacte directement la gêne ressentie : on est bien plus gêné par 20 avions ayant tous le même $L_{Amax,evt}$, par exemple de 80 dB, que par un seul. Ceci montre une fois de plus combien le $L_{Amax,evt}$ ne peut être utilisé seul. Pour établir l'impact bruit de l'activité d'un aéroport, les contributions $L_{Aeq,evt}$ de chaque passage sont établies pour ensuite être cumulées par période.

1.5.2 Périodes d'exposition

Pour bien caractériser une période de 24 heures au cours de laquelle la sensibilité au bruit peut différer, dans sa Directive relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement⁵, la Commission Européenne a défini 3 périodes : un période de 12 heures caractérisant le jour, un période de 4 heures caractérisant la soirée, et un période de 8 heures caractérisant la nuit, le début de ces périodes étant déterminé par l'Etat membre lui-même.

En France, ce sont les périodes de 06 à 18 heures (jour), de 18 à 22 heures (soirée), et de 22 à 06 heures (nuit) qui sont définies par la réglementation⁶ (voir aussi chapitre 3.5.7).

Remarque importante :

Les L_d , L_e , L_n et L_{den} sont toujours déterminés sur l'ensemble des périodes correspondantes d'une année⁶.

Comme il est clairement démontré que **la sensibilité au bruit est plus importante en période de soirée, et encore plus en période de nuit**, la Commission Européenne a également défini dans sa Directive⁵ un **indicateur unique représentant l'exposition au bruit sur une période de 24 heures : le L_{den}** .

Le L_{den} correspond au niveau *équivalent* calculé sur chacune des 3 périodes (jour / day, soirée / evening, et nuit / night) tout en appliquant une pondération de + 5 dB pour la période de soirée par rapport à la période de jour, et de + 10 dB pour la période de nuit par rapport à la période de jour (voir aussi chapitre 3.5.7).

Pour illustrer comment sont prises en compte ces pondérations aggravantes pour les bruits relevés en périodes de soirée et de nuit, les Figure 5 et Figure 6 montrent tout d'abord **les évolutions temporelles du niveau de bruit instantané $L(t)$** aux passages des quatre mêmes avions qu'à la Figure 1, sur une même période de 15 minutes, mais maintenant « à cheval » sur les transitions entre la période de jour et la période de soirée (entre 17 heures 53 et 18 heures 09) et entre la période de soirée et la période de nuit (entre 21 heures 54 et 21 heures 09) : la période de **jour** est caractérisée en **couleur verte**, la période de **soirée** en **couleur orange**, et la période de **nuit** en **couleur rouge**.

⁵ Directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement

⁶ Article R112-1 du Code de l'urbanisme (extrait) :

L_d = niveau sonore moyen à long terme pondéré A tel que défini par la norme ISO 1996-2:1987, déterminé sur l'ensemble des périodes de jour d'une année. La période de jour s'étend de 6 heures à 18 heures ;

L_e = niveau sonore moyen à long terme pondéré A tel que défini par la norme ISO 1996-2:1987, déterminé sur l'ensemble des périodes de soirée d'une année. La période de soirée s'étend de 18 heures à 22 heures ;

L_n = niveau sonore moyen à long terme pondéré A tel que défini par la norme ISO 1996-2 :1987, déterminé sur l'ensemble des périodes de nuit d'une année. La période de nuit s'étend de 22 heures à 6 heures le lendemain.

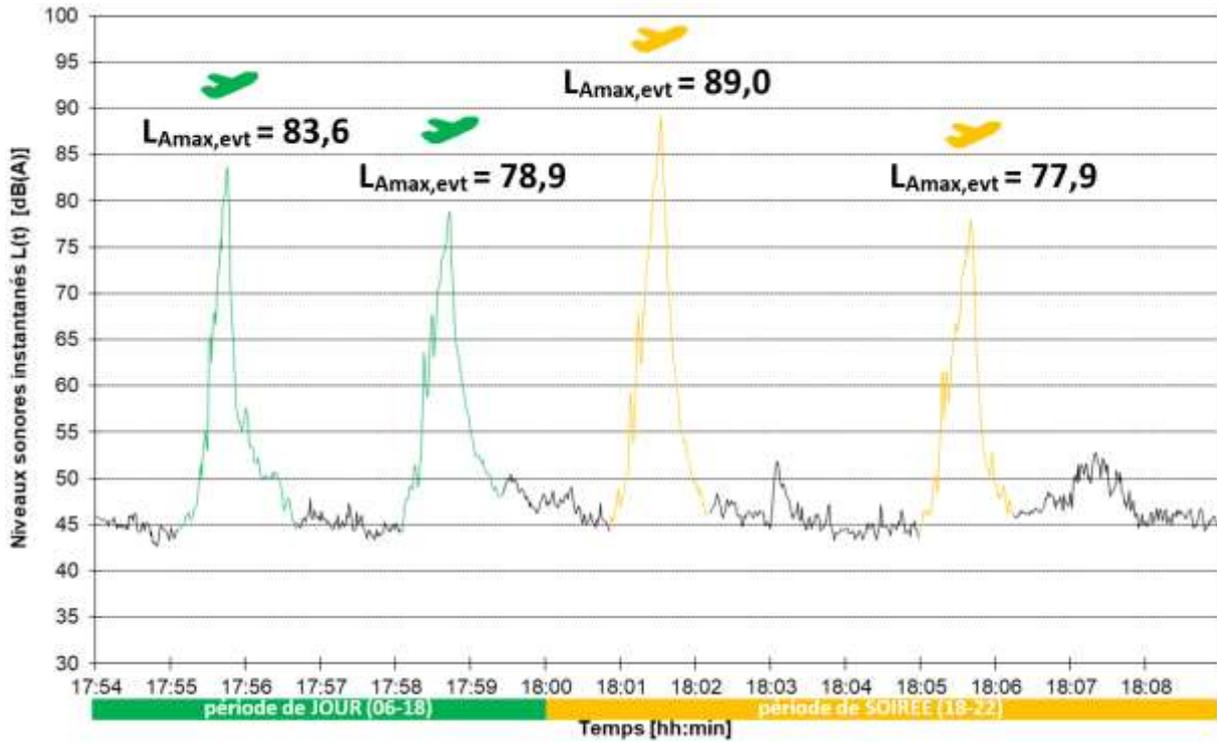


Figure 5 : évolution temporelle du niveau de bruit à proximité d'un aéroport en périodes de jour / de soirée (© A-Tech)

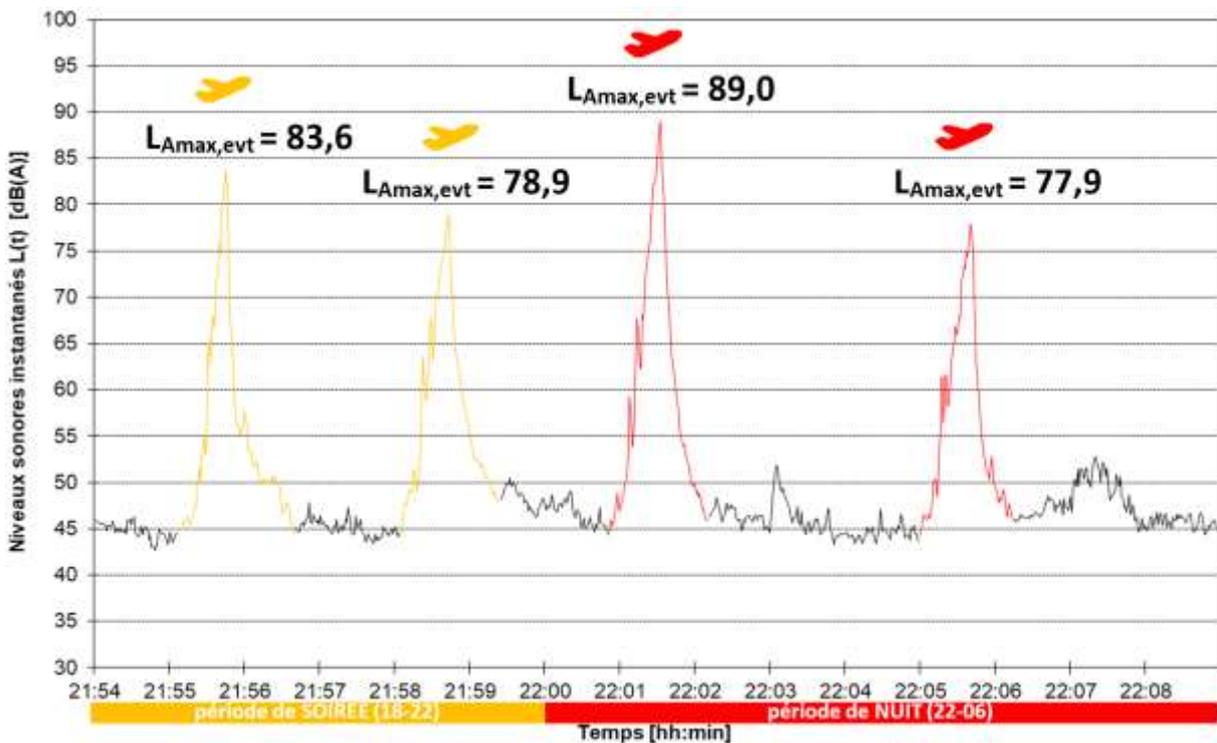


Figure 6 : évolution temporelle du niveau de bruit à proximité d'un aéroport en périodes de soirée / de nuit (© A-Tech)



Les Figure 7 et Figure 8 montrent les niveaux équivalents $L_{Aeq,evt}$ pour chaque passage d'avion : **dans le calcul final du L_{den}** , tant que les événements se déroulent en période de jour, aucune pondération aggravante n'est appliquée et les niveaux $L_{Aeq,evt}$ restent identiques à ceux de la Figure 1. Par contre, dès que les événements se déroulent en période de soirée ou de nuit, **c'est « comme si », on leur ajoutait une contribution aggravante de + 5 dB en soirée, et + 10 dB pendant la nuit.**

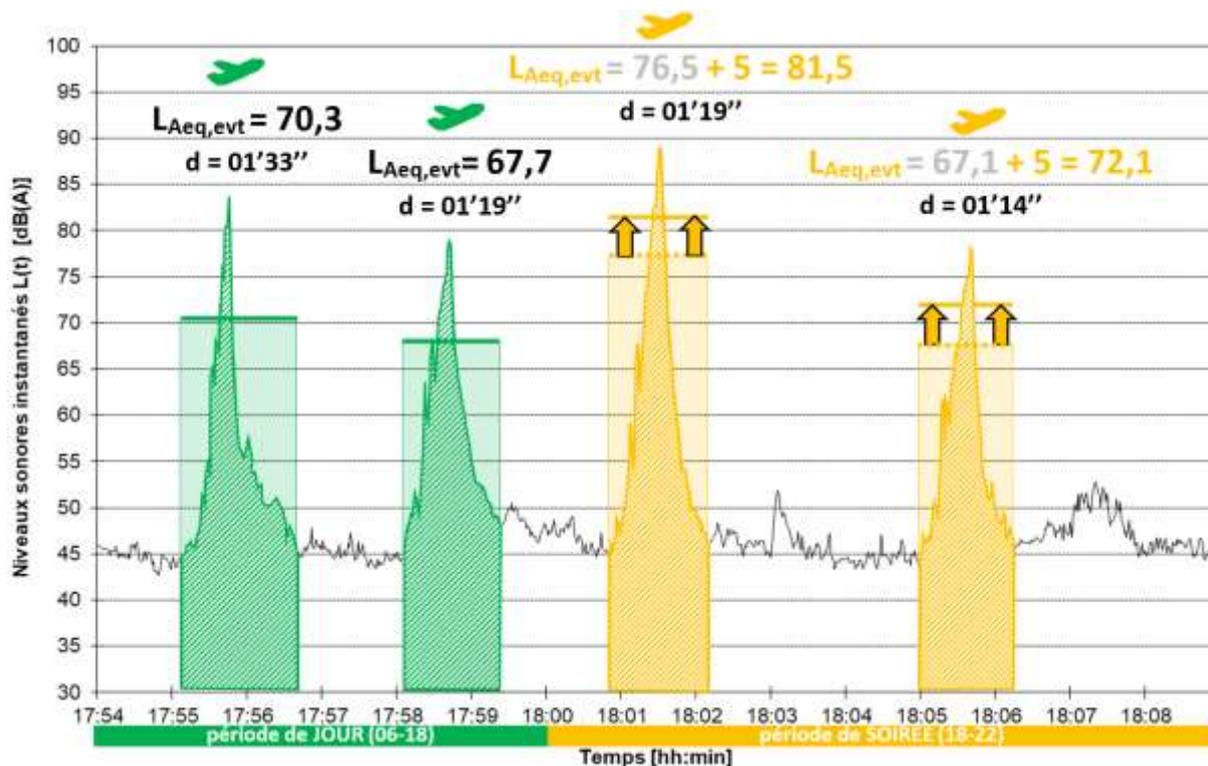


Figure 7 : passages d'avions à proximité d'un aéroport en période de jour / de soirée : $L_{Aeq,evt}$ (dB) et durées d'exposition (© A-Tech)

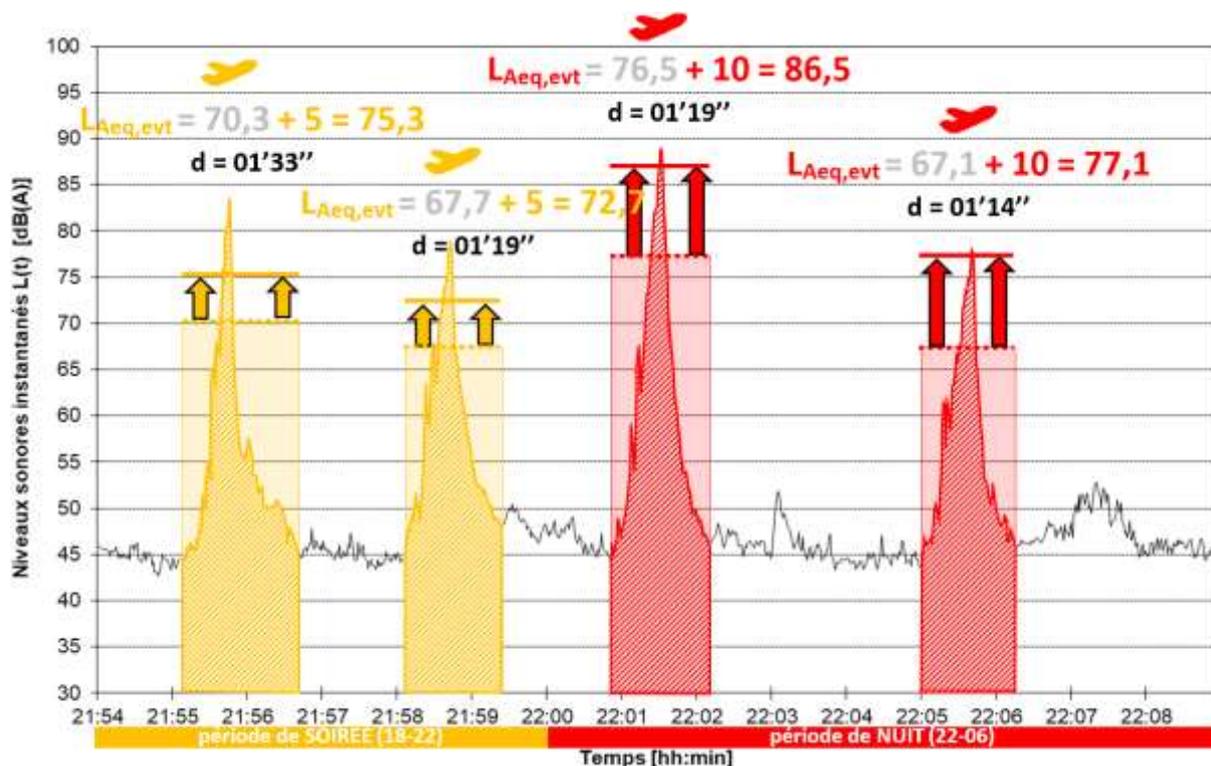


Figure 8 : passages d'avions à proximité d'un aéroport en période de soirée / de nuit : $L_{Aeq,evt}$ (dB) et durées d'exposition (© A-Tech)



Outre le fait que les $L_{Aeq,evt}$ sont des indicateurs très complets (ils intègrent tous les niveaux et notamment valorisent les niveaux les plus élevés, tout en intégrant la durée totale d'exposition – durée des passages et nombre d'occurrences), **le L_{den} combine l'ensemble des $L_{Aeq,evt}$ suivant la sensibilité de la période d'exposition.**

C'est la raison pour laquelle **les indicateurs L_{den} et L_n sont les indicateurs privilégiés dans toute l'Europe, en ce compris par l'OMS, pour l'étude du bruit dans l'environnement.**

Ces indicateurs peuvent, bien sûr, toujours être complétés par d'autres indicateurs, comme par exemple les NAT (voir plus bas et chapitre 3.5.8) dans le cadre plus spécifique du bruit des avions.

1.6 Le nombre d'événements bruyants dépassant un certain seuil de bruit : le NAT

Comme déjà indiqué au chapitre 1.2, l'effet des « pics de bruit » reste important dans l'analyse de la gêne induite par les aéronefs ; cependant, même s'il est très intuitif, le L_{Amax} , est *peu représentatif* d'un événement bruit dont *toutes* les composantes sont importantes pour comprendre la gêne.

Le L_{Amax} est donc très rarement utilisé « tel quel, tout seul » : **l'indicateur NAT permet de bien considérer les niveaux maximaux de bruit / « pics de bruit » / L_{Amax} , tout en les insérant mieux dans leur contexte.**

Le NAT permet de mieux tenir compte des L_{Amax} en comptabilisant le nombre d'événements correspondant à des dépassements d'un seuil T (voir chapitre 3.5.8) sur une période donnée (généralement la nuit : par exemple, un nombre trop important de mouvements pourrait affecter la qualité du sommeil).

Le NAT complète donc utilement les indicateurs L_{den} et L_n en caractérisant l'importance et les occurrences des « pics de bruit ».

1.7 Ne pas confondre les *indicateurs* de bruit avec les *critères* de bruit

1.7.1 Indicateurs de bruit

Quelle qu'en soit la cause, **un bon *indicateur* de bruit est un *indicateur* qui va permettre de caractériser le plus d'information possible sur la façon dont le bruit va induire la gêne** perçue dans l'environnement.

Pour caractériser le bruit des avions, les indicateurs L_{den} , L_n et NAT permettent d'intégrer un maximum d'information : ils sont conseillés par la Commission Européenne, l'OMS, ou encore les différentes autorités concernées sur le territoire. **Même s'ils sont plus *abstraits*, les indicateurs L_{den} , L_n et NAT sont beaucoup plus complets que les L_{Amax} à caractériser la gêne induite par le bruit des avions.**

On insistera encore ici sur le fait qu'on ne peut pas comparer les valeurs absolues d'un L_{den} avec celles d'un L_n ou encore moins d'un L_{Amax} qui, même s'ils représentent tous les trois des *niveaux* de bruit, ne correspondent pas du tout à une même gêne potentielle.

1.7.2 Critères de bruit

Les *critères* de bruit correspondent à des *valeurs limites appliquées à des indicateurs* : ces critères sont généralement définis dans la législation et conditionnent, entre autres, les études stratégiques (autour des aéroports : PEB, PGS et plans d'action).

On notera encore que les valeurs limites doivent être correctement liées à l'indicateur considéré : les valeurs limites applicables sur des L_{den} ne sont évidemment pas les mêmes que celles que pour des L_n , et encore moins pour des L_{Amax} ...



1.8 Différents indicateurs / critères suivant le type d'étude

Enfin, il est important de bien comprendre quels sont les outils / indicateurs / critères à utiliser suivant le type d'étude à réaliser : **les études stratégiques, tout comme les études d'impact nécessitent des outils qui soient les plus complets possibles afin de comparer différents scénarii, voire d'optimiser** les routes de vols, les types d'avions, le nombre de mouvements ou encore leurs horaires en vue de minimiser l'impact au sol : **les L_{den} , L_n et NAT⁸ sont parfaitement adaptés à ce type d'étude.**

Par contre, il se peut toujours qu'après optimisation de l'ensemble de l'activité aéroportuaire, celle-ci continue à apporter des **impacts résiduels sur certaines zones**. Dans ce cas, des **moyens d'action** doivent être étudiés : pour des insonorisations de logements, par exemple, le but étant de rendre l'activité aéroportuaire compatible avec les activités des riverains à *l'intérieur* de leurs habitations (perturbations des activités diurnes / en soirée ou de nuit – dont la qualité du sommeil), **l'utilisation d'indicateurs de type L_{Amax} ⁹ prendra alors tout son sens et les riverains seront effectivement protégés en fonction de leur ressenti intuitif.**

2. INDICATEURS DE L'ETUDE D'IMPACT

L'étude d'impact du Projet de modernisation de l'Aéroport de Lille – Lesquin considère les indicateurs L_{den} , L_n et NAT, en conformité avec la législation en vigueur et aux recommandations émises par les autorités avant de commencer l'étude.

⁸ déterminés à *l'extérieur*, en façade des bâtiments concernés comme indiqué à la Directive 2002/49/CE

⁹ ici déterminés à *l'intérieur* des habitations, avec des critères dépendant de l'utilisation des locaux (pièces de jour / de nuit)



3. ANNEXE : QUELQUES NOTIONS D'ACOUSTIQUE / BRUIT DES AEROPORTS

Le domaine de l'acoustique est très complexe, tout comme l'est la propagation acoustique elle-même : la présente note a pour but d'aider les riverains d'aéroports à mieux comprendre les phénomènes en jeu, le vocabulaire très particulier qui est utilisé, la façon dont le bruit est caractérisé, notamment en relation avec la gêne ressentie.

Elle se veut toutefois didactique et accessible, sans chercher à être exhaustif : le lecteur aura toujours la possibilité de consulter des documents scientifiques plus approfondis. De même, le lecteur pourra aussi se limiter à la lecture des points qui ne lui sont pas encore familiers.

3.1 Sons, bruits...

Tout ébranlement de l'air donne lieu à des oscillations de la pression autour de la pression atmosphérique, qui se propagent sous la forme d'ondes. Le son correspond à un domaine restreint de ces variations de pression, dont les fréquences sont sensibles à l'oreille et dont l'amplitude s'appelle "pression acoustique" (voir chapitre 3.5).

Que ce soit pour des sons agréables (naturels ou artificiels, mais perçus comme agréables ou non gênants par la personne qui les entend) ou des bruits (sons perçus comme désagréables, quelle qu'en soit la raison), les ondes sonores sont issues d'une source (corde d'un violon, moteur en fonctionnement). Elles se propagent ensuite dans l'air pour être alors captées par l'oreille externe, le tympan, l'oreille interne qui en transmet le signal au cerveau, que celui-ci interprète finalement comme des sons.

3.2 Principaux phénomènes pouvant intervenir lors de la propagation acoustique

Durant leur propagation, l'amplitude des sons va progressivement diminuer avec la distance (on parle de *divergence géométrique*), mais les ondes sonores peuvent aussi être réfléchies par les surfaces sur lesquelles elles arrivent (on parle alors de *réflexion sonore*), ou encore rencontrer des obstacles à leur propagation, obstacles qu'elles vont « contourner » tout en s'atténuant (on parle alors d'effet d'écran : c'est la *diffraction sonore*).

3.3 Les dimensions en jeu

Au-delà même de l'amplitude des sons, la propagation acoustique fait intervenir 5 dimensions physiques :

- **les 3 dimensions géométriques** : l'espace dans lequel se déroule la propagation, soit les 3 dimensions (souvent appelées X,Y et Z) : on parle de *propagation 3D* ;
- **la dimension fréquentielle** : les sons peuvent être composés d'un très grands nombre de fréquences ; leur amplitude à chaque fréquence en définit le *spectre sonore* (un chant d'oiseau est aigu, alors qu'une grosse caisse a un spectre très riche en basses fréquences).
- **la dimension temporelle** : les sons peuvent être continus, varier dans le temps, être impulsifs, être issus de sources fixes ou mobiles, etc...

La perception des bruits est la résultante de tous ces phénomènes : **les dimensions physiologique et psychologique** vont intervenir dans l'interprétation du signal physique pour déterminer la perception et ses effets possiblement gênants. Nous allons présenter ci-après les éléments les plus importants qui vont caractériser l'impact du bruit des aéronefs dans l'environnement d'aéroports.

3.4 Le bruit dans l'environnement

Le bruit dans l'environnement est induit par de très nombreuses sources sonores, dont le bruit des transports, le bruit des activités bruyantes, le bruit social, etc...

3.4.1 Bruit du transport aérien

Ce type de transport est particulier : mis à part lorsque les avions circulent *au sol*, auquel cas la propagation peut être fortement influencée par des réflexions sur, et / ou des effets d'écrans induits par des bâtiments, le bruit des aéronefs *en vol* arrive au sol sans aucun autre facteur que la distance pour l'atténuer : il est donc impossible d'utiliser des écrans antibruit pour en réduire le bruit. *La dimension fréquentielle* est importante : le spectre du bruit des avions est particulier et souvent composé de tonalités (fréquences plus prononcées) pouvant être gênantes. Enfin, *la dimension temporelle* est également très particulière : le bruit d'un avion peut être entendu assez longtemps lors de son survol, survol dont la durée peut atteindre et même dépasser la minute.



3.4.2 Bruit des transports terrestres

Les transports terrestres ont la possibilité d'être plus facilement protégés contre le bruit que le transport aérien car, étant au sol à contrario des aéronefs en survols, ils impactent un espace nettement plus limité autour de leurs infrastructures : le profil en long, voire l'utilisation d'écrans antibruit permettent une maîtrise plus aisée de leurs impacts que pour celles des transports aériens / aéronefs *en vol*.

Le transport routier.

Le bruit routier est induit par le trafic des véhicules (voitures privées, camions, motocyclettes...) présents sur la route : il présente une composante mécanique (bruits de moteur, transmission) mais aussi une importante composante de bruits de roulement, ceux-ci augmentant fortement avec la vitesse. *La dimension fréquentielle* est différente de celle des aéronefs : le trafic étant composé d'un ensemble hétéroclite de véhicules roulant de façon aléatoire sur la largeur des voies, le spectre résultant est plus homogène et moins caractéristique que celui des avions. Enfin, *la dimension temporelle* est complètement différente de celle du bruit des aéronefs : plus le trafic est important, plus le bruit induit devient « continu », cependant qu'un faible trafic, par exemple la nuit le long d'axes moins fréquentés, va permettre de rediscerner la contribution spécifique de chaque véhicule.

Le transport ferroviaire.

Le bruit ferroviaire est induit par le trafic des trains sur les voies ferrées (classiques, TGV, marchandises) : il présente différentes composantes (contact roue-rail, traction, ventilation, voir même aérodynamique à très grande vitesse), mais il s'agit ici d'un véritable *trafic guidé*, dont le bruit est beaucoup localisé et donc plus facile à atténuer. *La dimension fréquentielle* est importante, les spectres concernés étant souvent moins riches en basses fréquences, les dispositifs d'atténuation du bruit en seront d'autant plus efficaces. Enfin, *la dimension temporelle* est très particulière : un train est composé de plusieurs voitures mises bout à bout sur une certaine longueur : il s'agit ici d'une source sonore linéique de longueur finie se déplaçant à une certaine vitesse : la signature temporelle du bruit d'un train au passage est typique : le niveau de bruit augmente à l'approche du train, puis reste stable tout au long de son passage (« palier »), pour redescendre lorsque le train s'écarte progressivement.

3.4.3 Bruit des sites industriels (ICPE)

Les sites industriels peuvent également impacter leur environnement : ces installations sont très localisées et leur impact reste très limité autour d'elles. Leurs sources de bruit peuvent être très variées, tant en spectre fréquentiel qu'en régime d'utilisation.

3.5 **Vocabulaire utile et définition des paramètres caractérisant le bruit**

La caractéristique physique d'un bruit est sa *pression* acoustique. Cependant, la gamme de *pression* acoustique entre le seuil d'audibilité de l'oreille humaine ($2 \cdot 10^{-5}$ Pascal – Pa) et les niveaux maxima que l'on peut entendre (de l'ordre de 20 Pascals, voire plus) correspond à un facteur 10^6 , ou encore 1.000.000 : on se rend compte qu'utiliser une *échelle linéaire* (en Pascals) pour caractériser le bruit n'est pas très pratique : on lui préfère ainsi une *échelle logarithmique* et on utilise les *niveaux* de pression acoustique (en décibels / dB, voir chapitre 3.5.2), à la place des *pressions* acoustiques (en Pascals, Pa).

3.5.1 Niveau de bruit $L(t)$

A tout instant « t », un bruit est caractérisé par son *niveau* de pression acoustique $L(t)$ (dérivé de l'anglais : Sound Pressure Level abrégé par la lettre *L / Level*). A partir de sa *pression* acoustique, le *niveau* de pression acoustique est caractérisé par le logarithme du rapport de sa pression effective à la pression sonore de référence :

$$L(t) = 10 \times \log_{10} \left[\frac{p(t)^2}{p_0^2} \right] \text{ (dB)}$$

où: $p(t)$: est la variation de *pression* sonore en fonction du temps
 p_0 : est la *pression sonore de référence*, soit 2×10^{-5} Pascal, seuil moyen d'audibilité de l'oreille humaine

L'unité du *niveau de pression acoustique* est le *décibel* (dB) comme présenté en 3.5.2 ci-après.



3.5.2 Le décibel (dB)

Le décibel est l'unité du *niveau* de pression acoustique. Cette unité correspond à l'expression logarithmique suivant la formule présentée en 3.5.1 ci-avant. L'échelle utilise comme référence (« 0 dB ») une variation de *pression* sonore de 2×10^{-5} Pascal, correspondant au seuil moyen d'audibilité : toute autre valeur est donc exprimée par (10 fois) le *logarithme de son rapport* à cette référence.

On a vu que l'énorme plage de variation des ondes de pression sonore justifie l'utilisation d'une échelle *logarithmique* plutôt qu'une échelle *linéaire*. Toutefois, exprimée en Bels (en honneur à Graham Bell, inventeur du téléphone) l'échelle logarithmique aurait ramené cette plage de 0 à 14 *Bels* (B), devenant alors trop petite : il a finalement été décidé d'utiliser des *décibels*, les niveaux de bruit pratiques s'étalant de 0 à 140 dB.

3.5.3 L'échelle de pondération "A" / le décibel "A" / dB(A)

Les appareils de mesure utilisés (« sonomètres ») pour relever les niveaux sonores enregistrent les variations de la pression atmosphérique en un endroit particulier. Or, l'oreille humaine, sujette aux mêmes variations de pression lorsqu'elle perçoit les bruits, présente une sensibilité différente selon les fréquences pour fournir la *sensation auditive*. Ainsi, la courbe de pondération fréquentielle "A" est utilisée sur les sonomètres pour correspondre au mieux possible (sous forme de chiffres faciles à manipuler) notre perception auditive des sons et des bruits.

Pour fixer les idées, les Tableau 1 (texte) et Figure 9 (image) ci-après présentent les principaux effets du bruit et des exemples de situations correspondants à ces *niveaux*.

Tableau 1 : *niveaux* de bruit : les effets aux différents niveaux de pression / pressions correspondantes

<i>Principaux effets</i>	<i>SPL (dB(A))</i>	<i>pression (Pa)</i>	<i>Lieux typiques</i>
Seuil de douleur	120	20	Avion à réaction sur la piste de décollage
Risque de lésion rapide et irréversible de l'oreille	110	6.3	Orchestre de musique Pop
Grave danger de dommage auditif pour une exposition habituelle 8h/jour	100	2	Marteau piqueur à 1 mètres Moto sans silencieux en pleine accélération à 7 mètres
	90	0.6	Camion à 7 mètres
Début du danger de dommage auditif pour une exposition continue 8h/ jour	80	0.2	Carrefour animé Bruit dans une voiture peu insonorisée
	70	0.06	Façade d'immeuble au bord d'une autoroute, Conversation animée
	60	0.02	Intérieur d'une pièce avec fenêtre ouverte donnant sur une rue animée
	50	0.006	Fenêtre fermée sur rue animée
	40	0.002	Salle de séjour calme
	30	0.0006	Chambre à coucher silencieuse Bruissement de feuilles
	20	0.0002	Studio de radio, désert
A peine audible, silence insupportable	10	0.00006	Chambres sourdes (niveaux non mesurables)
Seuil d'audibilité	0	0.00002	

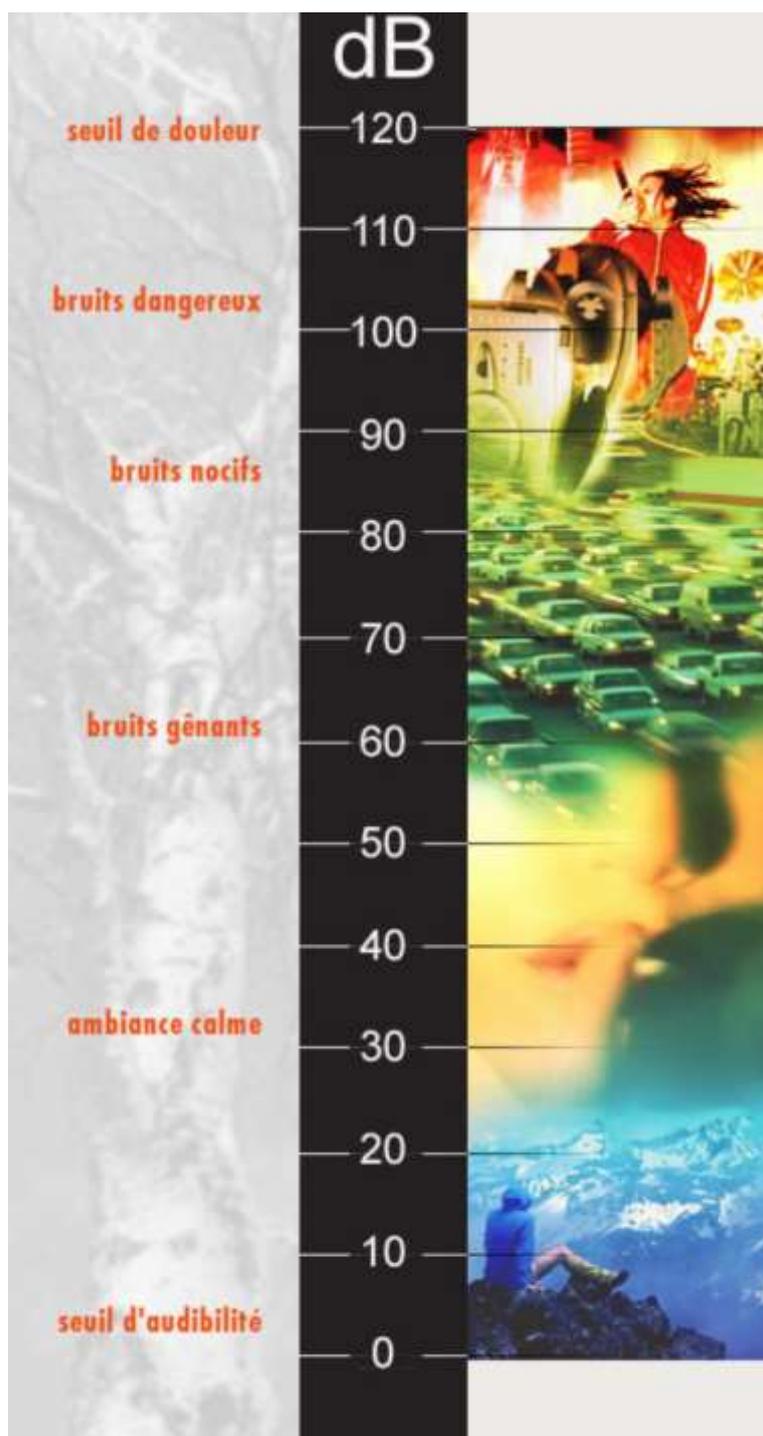


Figure 9 : échelle du bruit : présentation visuelle des effets suivant le niveau exprimé en dB (© ACNUSA)

3.5.4 Niveaux de bruit et gêne réellement perçue

Les Tableau 1 et Figure 9 ci-avant présentent quelques exemples de *niveaux* de bruit pour différents évènements : même s'il est justifié, le recours à une échelle logarithmique complique déjà sa compréhension directe. Malgré cela, cette échelle n'est pas encore directement corrélée à la *gêne sonore* telle qu'elle est réellement perçue.



Il n'est pas possible de détailler ici les relations entre la *gêne sonore* et les *niveaux* qui l'induisent ; cependant, outre le fait que la gêne soit fortement influencée par le type de source impliquée et par de nombreux autres facteurs, il est important de noter que :

- **une réduction de 10 dB d'un *niveau* de bruit correspond généralement seulement à une réduction de la *gêne* de moitié ;**
- **une modification inférieure à 2 dB¹⁰ est quasi imperceptible, alors que**
- **une réduction de 3 à 5 dB commence à être ressentie comme une variation sensible.**

3.5.5 Addition de *niveaux* de pression acoustique de plusieurs événements sonores

Vu leur formulation logarithmique particulière, les "décibels" correspondant à des événements différents ne s'additionnent pas de façon *arithmétique*, mais bien en suivant la logique *logarithmique*.

Ainsi, si deux sources de bruit engendrent, en un point, un *niveau* de bruit de 70 dB chacune, le *niveau total* n'est pas de $(70 + 70 =) 140$ dB, mais bien de 73 dB.

Pour *i* niveaux de bruit à cumuler, c'est en fait, une addition logarithmique des niveaux L_i qui doit être utilisée :

$$L_{total} = 10 \log_{10} \left[\sum_i 10^{\left(\frac{L_i}{10}\right)} \right] \text{ (dB)}$$

Pour éviter autant que faire se peut la complexité de cette formule, retenons que :

- **ajouter deux niveaux de même valeur correspond à une augmentation de 3 dB¹¹**
- **ajouter dix niveaux de même valeur correspond à une augmentation de 10 dB¹²**
- **ajouter deux niveaux, dont un est plus faible de 11 dB que l'autre, revient à un niveau total quasi identique au niveau le plus fort¹³.**

3.5.6 Le niveau équivalent $L_{Aeq,T}$

Le *niveau* de bruit induit par les très nombreuses et différentes sources de bruit dans un environnement est généralement très fluctuant dans le temps : c'est d'ailleurs le cas pour les nombreuses sources de bruit mobiles (véhicules, trains, avions) constituant le bruit des transports.

Un bruit fluctuant ne peut pas être décrit de façon aussi simple qu'un bruit continu : on peut le décrire d'une manière statistique, mais en général, on le caractérise par le niveau global de la pression acoustique pondérée (A) d'un bruit continu *équivalent* qui donnerait la même énergie acoustique que le bruit fluctuant considéré sur la même période de mesure T : c'est le *niveau acoustique équivalent* $L_{Aeq,T}$ (voir Figure 10). Il est calculé sur une période de temps T, variable selon les appareils et /ou les objectifs poursuivis, selon la formule suivante :

$$L_{Aeq,T} = 10 \times \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_0^T 10^{\left(\frac{L_i(t)}{10}\right)} \right] \text{ (dBA)}$$

¹⁰ Comme d'ailleurs reconnu au *Décret no 95-22 du 9 janvier 1995 relatif à la limitation du bruit des aménagements et infrastructures de transports terrestres* : Art. 2. - Est considérée comme significative, la modification ou la transformation d'une infrastructure existante, résultant d'une intervention ou de travaux successifs autres que ceux mentionnés à l'article 3 et telle que la contribution sonore qui en résulterait à terme, pour au moins une des périodes représentatives de la gêne des riverains mentionnées à l'article 4, serait supérieure de plus de 2 dB (A) à la contribution sonore à terme de l'infrastructure avant cette modification ou cette transformation.

¹¹ ex. : 70 dB '+' 70 dB = 73 dB

¹² ex. : 70 dB '+' 70 dB = 80 dB

¹³ ex. : 70 dB '+' 80 dB '≈' 80 dB

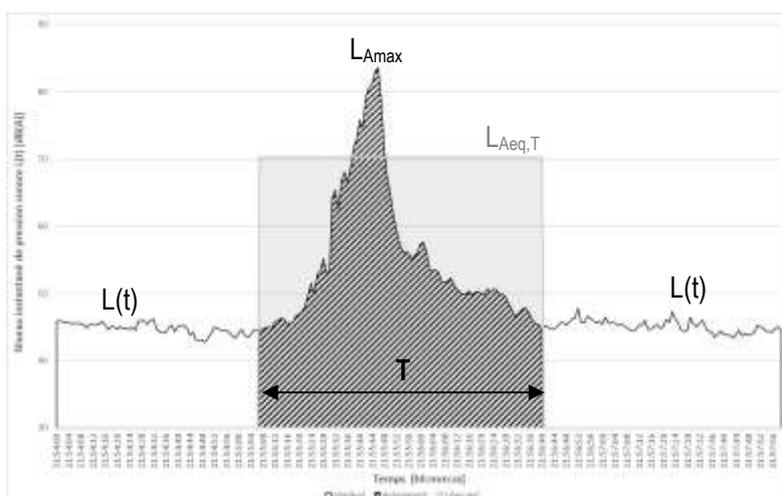


Figure 10 : conversion d'un bruit fluctuant en un bruit continu de même énergie¹⁴ (© A-Tech)

3.5.7 L'indicateur du niveau de bruit jour-soir-nuit : le L_{den}

L'indicateur du *niveau de bruit jour-soir-nuit* (L_{den}) est utilisé pour avoir une compréhension synthétique du niveau de bruit accumulé sur un jour complet.

Comme la sensibilité / la gêne ressentie n'est pas la même suivant la période de la journée, le jour de 24 heures est d'abord « divisé » en 3 parties : une partie dite de *jour* (*day* en anglais, de 06 à 18 heures), une partie dite de *soirée* (*evening* en anglais, de 18 à 22 heures), et une partie dite de *nuit* (*night* en anglais, de 22 à 06 heures).

Les *niveaux* caractéristiques de chacune de ces 3 périodes sont les *niveaux* L_d (day), L_e (evening) et L_n (night), correspondant aux *niveaux équivalents déterminés sur l'ensemble d'une année* et relatifs aux périodes suivantes :

- L_d est le niveau sonore équivalent de *jour*, pondéré A et déterminé sur la période entre 06 et 18H ;
- L_e est le niveau sonore équivalent de *soirée*, pondéré A et déterminé sur la période entre 18 et 22H ;
- L_n est le niveau sonore équivalent de *nuit*, pondéré A et déterminé sur la période entre 22 et 06H, Le niveau L_{den} est alors obtenu par la formule suivante :

$$L_{den} = 10 \times \log_{10} \frac{1}{24} \left[12 \times 10^{\left(\frac{L_d}{10}\right)} + 4 \times 10^{\left(\frac{L_e+5}{10}\right)} + 8 \times 10^{\left(\frac{L_n+10}{10}\right)} \right] (dB)$$

où l'on remarque l'application d'un facteur correctif de + 5 dB pour la soirée et de + 10 dB pour la nuit : ces facteurs sont utilisés afin de bien tenir compte du fait que les bruits sont plus gênants en soirée, et encore plus de nuit, que lorsqu'ils sont perçus en période de jour.

Pour les avions par exemple, le survol d'un seul avion de nuit est considéré comme aussi gênant que 10 survols du même avion pendant la journée.

3.5.8 Le nombre d'évènements bruyants dépassant un certain seuil de bruit : le NAT

Le NAT^{15} (en anglais : *Number Above Threshold*) est le nombre (*Number*) d'évènements bruyants (pour un aéroport : les évènements induits par des survols d'aéronefs) dépassant (*Above*) un **seuil** (*Threshold*) de bruit fixé pendant une période fixée ; cet indice est facile à comprendre et paraît relativement bien adapté pour décrire la gêne liée à de nombreux « pics de bruit ».

A titre d'exemple, les indices NA62, NA65 ou NA70 correspondent respectivement au nombre de survols d'aéronefs dont le niveau de bruit induit au sol dépasse respectivement les seuils (*Threshold*) de 62, 65 et 70 dB(A) ; la gêne de nuit y est particulièrement corrélée.

¹⁴ cette conversion étant faite sur les niveaux de bruit exprimés en dB (suivant une échelle logarithmique et donc non linéaire), la contribution des niveaux élevés est beaucoup plus forte que dans une moyenne arithmétique sur une échelle linéaire « classique »

¹⁵ attention : ici, le **T** ne correspond pas à une *période* T, mais bien à l'abréviation de **Threshold** (*seuil*) comme p.ex.: NA65