

Le Bruit, Effets Sanitaires et Réglementations

REDACTEUR : PATRIC KRUISSEL

EDITION DU : 29 OCTOBRE 2010 (EXTRAIT VOLS DE NUIT)

1. INTRODUCTION

Ce rapport élaboré par les associations de protection de la santé des populations subissant les nuisances aériennes, est une compilation de comptes-rendus d'études épidémiologiques et de méta-analyses, c'est-à-dire d'analyses comparatives des études internationales sur l'impact sanitaire du bruit, notamment celle de l'Agence Française de Sécurité Sanitaire et Environnementale¹ et celle de Jean-Philippe Camard du l'Observatoire Régional de Santé d'Ile-de-France².

La compilation de ces résultats montre qu'il est nécessaire de poursuivre certaines études pour confirmer certaines conclusions à la marge. Mais surtout elle démontre que les éléments, qui font consensus au sein des plus grands experts internationaux, notamment ceux de l'OMS, sont suffisamment irréfutables, pour que les pouvoirs publics au plus haut niveau prennent des décisions à la hauteur de l'impact sanitaire provoqué par le trafic aérien.

2. LE BRUIT, UNE NUISANCE MAJEURE IMPACTANT LA SANTE

2.1. LE BRUIT EST UNE NUISANCE MAJEURE

Le bruit figure parmi les nuisances majeures ressenties par les Français. L'enquête réalisée en 2001 par l'IFEN montre que 36 % des Français sont gênés dans leur vie quotidienne par le bruit. Ils sont 49 % dans les communes de 100 000 habitants et plus et 61 % dans l'agglomération parisienne³. Ces résultats rejoignent ceux obtenus par l'INSEE où le bruit est la nuisance ressentie à domicile la plus citée (54 %) par les ménages vivant dans les grandes agglomérations⁴. Parmi les personnes interrogées, 17 % citent le bruit des avions (17 %)⁵. Une personne interrogée sur cinq considère que le bruit constitue un risque « très élevé » pour la santé, près d'une personne sur deux (48 %) l'estime « plutôt élevé ». Seuls 27 % d'entre eux l'estiment « plutôt faible »⁶.

Dans les années 70, 33 % des résidents vivant à moins de 8 km de l'aéroport Kennedy à New-York se plaignaient des nuisances nocturnes⁷. Trente ans plus tard, malgré une amélioration technique des avions, l'étude de Franssen en 2006, réalisée sur des populations résidant dans un rayon de 25 km autour de l'aéroport de Schiphol d'Amsterdam, a confirmé l'impact de l'exposition au bruit des avions sur la santé perçue parmi les riverains. Lorsque l'on interroge les riverains d'une plate-forme, sur laquelle sont autorisés les vols de nuit, sur la qualité de leur sommeil, on constate qu'entre 20 et 40 % des personnes sont réveillées la nuit ou le matin de bonne heure⁸.

2.2. LE BRUIT IMPACTE LA SANTE

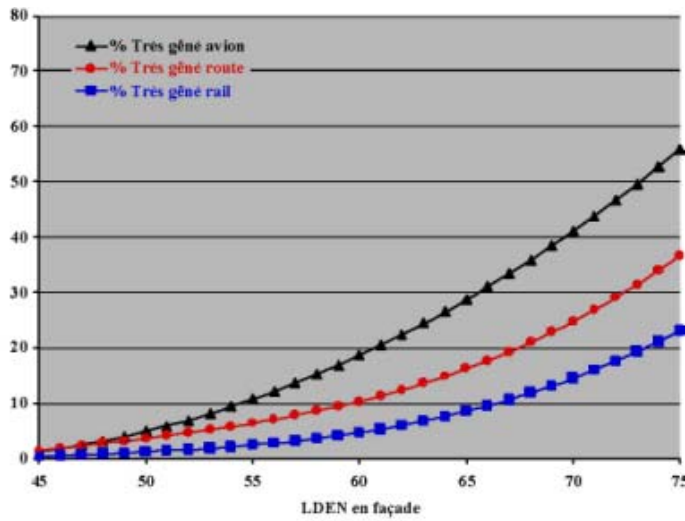
Le bruit induit deux types d'effets sur la santé : les effets physiologiques et les effets psychologiques. La conception de la santé correspond à la définition de l'OMS, très large et en partie subjective : « *la santé est un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité* »⁹.

2.2.1. LES EFFETS PHYSIOLOGIQUES :

Les effets extra-auditifs du bruit, nombreux, sont difficiles à attribuer de façon indéniable et univoque au bruit en raison de l'existence de nombreux facteurs de confusion. Ils sont appréciés soit par des mesures *objectives* (par exemples les mesures électro physiologiques : électroencéphalographie, électro-oculographie et/ou des paramètres des systèmes végétatifs : fréquences cardiaque et respiratoire ; les modifications de concentrations hormonales...) ; soit par des mesures *subjectives* (appréciation de la qualité du sommeil par des questionnaires appropriés...). L'OMS a proposé en 2000 et 2005 des valeurs guides (exposition mesurée à travers deux descripteurs : un descripteur énergétique et un descripteur événementiel) relatives aux effets du bruit sur la santé et dans des environnements spécifiques (intérieur des logements, intérieur des chambres à coucher, salles de classe et jardins d'enfants, etc.).

2.2.2. LES EFFETS PSYCHOLOGIQUES

Les relations entre bruit et troubles du comportement sont étudiées soit sur le terrain, soit par des travaux en laboratoire. Les mécanismes de ces phénomènes ne sont aujourd'hui pas élucidés. La gêne peut apparaître à de faibles niveaux de bruit. Dans le cas du trafic aérien, la corrélation gêne – intensité sonore n'existe pas. Il semble que la répétitivité, la gamme de fréquence et l'impossibilité de pouvoir contrôler la source sonore soit plus déterminante que son intensité. On constate sur la figure suivante que le rail bénéficie d'un « bonus » significatif par comparaison avec les transports routier et aérien.



Gêne due au bruit des différents moyens de transport

La directive européenne 2002/49/CE tient compte de ces différences pour l'élaboration des cartes de bruit. La transposition en droit français a été faite par le décret du 26 mars 2006. L'arrêté du 4 avril 2006 en donne les valeurs limites suivantes :

| Valeurs limites dB(A) | | | | |
|-----------------------|------------|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Indicateurs de bruit | Aérodromes | Route et/ou ligne à grande vitesse | Voie ferrée conventionnelle | Activité industrielle |
| Lden | 55 | 68 | 73 | 71 |
| Ln | | 62 | 65 | 60 |

Ces valeurs limites concernent les bâtiments d'habitation ainsi que les établissements d'enseignement et de santé.

3. LES PATHOLOGIES DU BRUIT

3.1. PRINCIPALES PATHOLOGIES, ETUDES EPIDEMIOLOGIQUES DE REFERENCE

Les impacts sanitaires de l'exposition au bruit sont divers, comprenant l'impact sur l'audition, les effets dits « extra auditifs » (effets sur le sommeil, sur la sphère végétative, sur le système endocrinien, sur le système immunitaire, sur la santé mentale), les effets subjectifs (effets du bruit sur les attitudes et le comportement social, gêne due au bruit, effets sur les performances, effets sur la communication). Les coûts économiques des impacts sanitaires du bruit comprennent le coût des réductions, voire des suppressions de bruit, jusqu'au coût des traitements médicamenteux pouvant être associés à une exposition au bruit.

Les effets du bruit sur la perturbation du sommeil sont étudiés de manière expérimentale en laboratoire et par des études épidémiologiques. Les effets à court terme se traduisent par une difficulté d'endormissement, des éveils au cours de la nuit et des troubles du sommeil. A plus long terme, ces troubles du sommeil peuvent nuire à l'efficacité au travail, à l'apprentissage (surtout chez l'enfant), à une perte de vigilance. Des accidents du travail et des accidents de la route sont donc liés à ces troubles du sommeil.

De nombreux travaux épidémiologiques ont été effectués aux alentours des aéroports^{10 11 12 13 14}. L'étude de Meecham et Shaw¹⁵ a analysé sur une période de 10 ans la population proche de l'aéroport de Los Angeles. Un accroissement de 18 % des décès cardio-vasculaires a été constaté au-delà de 75 ans et un accroissement de 5 % de la mortalité dans la population générale comparé à une population témoin. L'étude démontre même une augmentation de 100 % des suicides de la tranche des 45 – 54 ans, confirmé par une autre étude à Sydney¹⁶. Les mêmes auteurs confirment l'augmentation de la mortalité dans une étude plus récente¹⁷. Les études en 1979 autour de l'aéroport de Sydney ont trouvé une surmortalité chez les plus de 65 ans et les enfants de moins de 5 ans¹⁸. Par contre, une étude de 1980 autour de l'aéroport de Los Angeles ne mettait plus en évidence de surmortalité après la prise en compte de facteurs sociologiques tels que l'âge, l'ethnie, le sexe¹⁹.

Les études épidémiologiques comparant la gêne rapportée par les individus à leur exposition réelle montrent que s'il existe bien une relation globalement positive entre l'exposition et la gêne, de nombreux facteurs de confusion dont les facteurs socio-économiques, la sensibilité individuelle au bruit, l'âge... interviennent dans cette relation. Le trafic aérien est particulièrement emblématique de cette caractéristique. Des individus moyennement exposés se plaignent souvent plus de la gêne occasionnée par le bruit des avions que ceux très exposés, qui eux cumulent cette gêne avec des préoccupations souvent plus importantes^{20 21 22}.

Trois études épidémiologiques en Ile-de-France ont rendu leurs conclusions. La première ETADAM²³ en 2000, a mis en évidence l'existence de liens entre exposition au bruit des avions et certaines pathologies ou indicateurs de l'état de santé (manifestations d'angoisse, consommations de médicaments à visée neuropsychiatriques). Dans les zones très exposées aux bruits d'avions, les indicateurs d'angoisse sont 4 fois plus importants et le nombre de prescriptions de médicaments pour les nerfs double (antidépresseurs, tranquillisants...).

La deuxième INSOMNIA²⁴ en 2004 financée par le CSNA²⁵ et l'ADVOCNAR a permis l'étude des troubles du sommeil des riverains de l'aéroport de Roissy CDG. A partir d'un questionnaire standard international spécifique des troubles du sommeil (MOS-sleep GHQ 28), l'étude montre notamment un nombre plus important de ces troubles et dans une moindre mesure un accroissement du stress et de l'angoisse parmi les populations survolées. Cette première étude française confirme l'impact sanitaire des mouvements aériens nocturnes déjà démontré dans d'autres pays.

La troisième étude dirigée par Jean-Marie Cohen du cabinet Open Rome a été menée en 2005 sur 4 391 patients chez 78 médecins franciliens²⁶. Cette étude a mis en évidence les troubles de la tension artérielle chez les personnes les plus exposées, c'est-à-dire pour le bruit aérien le fait d'être survolé à moins de 2 000 mètres, soit plus de 2 millions de franciliens concernés. Elle relie aussi l'exposition au bruit à une fréquence plus importante des états anxieux, à une augmentation du nombre de médicaments prescrits, à une plus grande fréquence des hospitalisations et des arrêts de travail.

Contrairement au système oculaire, le système auditif demeure actif pendant le sommeil, et les sons perçus pendant cette période sont évalués par le cortex cérébral. Les études ayant montré une altération du sommeil à partir de 30 dB(A), l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) préconise de ne pas dépasser ce seuil dans la chambre à coucher. Les troubles du sommeil ne sont pas simplement représentés par la situation de réveil. En deçà du seuil de réveil, on constate des perturbations des cycles du sommeil pouvant aboutir à des troubles de santé.

Les auteurs de la récente étude HYENA ont démontré qu'il existe une association positive entre le niveau de bruit aérien nocturne (L_{night} supérieur à 35 dB) et l'hypertension artérielle d'une part et l'augmentation des pressions diastolique et systolique²⁷. Ce travail visait à mesurer l'impact sur la tension artérielle et les maladies cardiovasculaires du bruit généré par les trafics aériens auprès de 4 800 personnes vivant depuis au moins 5 ans autour de 6 aéroports européens majeurs (Londres, Stockholm, Milan, Berlin, Amsterdam et Athènes). Les résultats d'une actualisation de cette étude en novembre 2009²⁸ montrent que le taux de nuisances générées par le trafic aérien est plus élevé que celui prévu par les courbes de prédiction standard, avec une différence estimée entre 5 et 7 décibels. D'autres données suggèrent également que l'attitude des Européens vis-à-vis du bruit aérien a évolué au cours des années et que le modèle de prévision de la Commission, fondé sur des études datant de plus de 25 ans, doit être modifié. Aux yeux des auteurs, « *des mesures doivent être envisagées pour réduire le bruit nocturne à proximité des aéroports, dans le but de protéger la santé des riverains* ». Matthias Basner en Allemagne a décrit le modèle de transition de Markov en six étapes de sommeil construit pour évaluer quantitativement l'effet sur la structure du sommeil d'un couvre-feu à l'aéroport de Francfort²⁹. L'objectif est d'optimiser les profils de trafic dans les aéroports et de guider les décideurs.

Dans le cadre de sa mission d'information envers le particulier, l'ACNUSA a également lancé une étude intitulée "**Discussion sur les effets du bruit des avions touchant la santé**" (**DEBATS**), afin d'améliorer les connaissances sur l'impact réel des nuisances sonores sur la santé. Elle regrette cependant la lenteur du ministère de la santé à débloquer les crédits nécessaires.

Le Préfet de région d'Ile-de-France préside le comité de pilotage de l'étude d'impact sanitaire (bruit et pollution) du trafic aérien de Paris-CDG, Paris-Orly et Paris-Le Bourget, intitulée SURVOL. L'étude de surveillance menée sur les trois plates-formes aéroportuaires franciliennes a été confiée en décembre 2007 par le Préfet de région, au Dr Hubert Isnard, coordonnateur scientifique de la Cellule interrégionale d'épidémiologie d'Ile-de-France (CIRE), antenne régionale de l'Institut de Veille Sanitaire (INVS). Le comité de pilotage est composé de 53 membres représentant à parité les collectivités (Conseil régional, conseils généraux, Association des Maires d'Ile-de-France, CESR), les associations de riverains, les usagers et l'Etat. AIRPARIF et BRUITPARIF font partie de l'équipe projet. L'Autorité de contrôle des nuisances sonores aéroportuaires (ACNUSA) participe à cette démarche dans le comité scientifique.

3.2. PARAMETRES EPIDEMIOLOGIQUES DU BRUIT

La nocivité du bruit est liée à un certain nombre de paramètres.

→ *La qualité du bruit* : les bruits de fréquence élevée sont, à intensité égale, plus nocifs que les bruits graves.

- *La pureté* : un son pur de forte intensité est plus traumatisant pour l'oreille interne qu'un bruit à large spectre.
- *L'intensité du bruit* : le risque de dommages irréversibles croît avec l'augmentation de l'intensité.
- *L'émergence et rythme du bruit* : un bruit impulsionnel ayant un caractère soudain et imprévisible est plus nocif qu'un bruit continu de même énergie.
- *La durée d'exposition* : plus la durée d'exposition est longue, plus les lésions auditives de l'oreille interne seront importantes.
- *La vulnérabilité individuelle* : l'âge est un facteur de fragilité cochléaire notamment au-delà de 50 ans^{30 31}.

3.3. EFFETS DU BRUIT SUR LE SOMMEIL

3.3.1. DESCRIPTION

Les perturbations du sommeil sont souvent présentées comme étant la plainte majeure des personnes exposées au bruit en complément de la gêne exprimée. La sensibilité et la fragilité du sommeil méritent qu'on leur accorde une attention particulière. Le sommeil et la veille sont les deux états physiologiques fondamentaux qui rythment notre vie quotidienne. Le sommeil occupe en moyenne un tiers de notre vie et il nous est indispensable pour récupérer de l'épuisement momentané, tant de nos capacités physiques que de nos capacités mentales.

Le sommeil n'est pas un état unique mais une succession d'états (on parle de stades ou de cycles de sommeil) qui s'organisent de façon quasiment identique et relativement ordonnée pour une classe d'âge déterminée. C'est ainsi que l'on distingue des stades de sommeil plus ou moins profonds (selon l'intensité de la stimulation qu'il faut produire pour réveiller le dormeur) ou encore des stades de sommeil qui sont associés ou non aux rêves. Le sommeil est essentiel pour la survie de l'individu et une forte réduction de sa durée entraîne des troubles plus ou moins marqués, dont le principal est la réduction du niveau de vigilance de l'individu éveillé, avec toutes les conséquences possibles en termes de fatigue, de mauvaises performances et même de survenue d'accidents.

La qualité du sommeil peut être appréciée par des mesures objectives (mesures électro physiologiques : électroencéphalographie³², électro-oculographie et/ou mesures végétatives : fréquences cardiaque et respiratoire) ainsi que par des mesures subjectives (appréciation de la qualité du sommeil par des questionnaires appropriés). La structure physiologique du sommeil est quantifiée par divers paramètres tels que la latence d'endormissement, les éveils et les changements de stades, ainsi que les modifications des rythmes propres aux stades de sommeil.

Les études sur l'impact du bruit sur le sommeil sont très nombreuses. La structure du sommeil est perturbée en allant vers un allègement de celui-ci jusqu'à un stade de réveil^{33 34 35 36 37}. La probabilité qu'un bruit agisse sur l'éveil dépend de son intensité, mais aussi de l'intervalle qui le sépare du bruit qui l'a précédé³⁸.

Le temps total de sommeil peut être diminué par une plus longue durée d'endormissement, par des éveils nocturnes prolongés ou encore par un éveil prématuré non suivi d'un rendormissement. Il a ainsi été montré que des bruits intermittents ayant une intensité maximale de 45 dB(A) et au-delà (L_{Amax} mesuré à l'intérieur des locaux), peuvent augmenter la latence d'endormissement de quelques minutes à près de 20 minutes³⁹. De même, au cours des heures matinales, les bruits ambiants peuvent plus facilement éveiller un dormeur et l'empêcher de retrouver le sommeil. Ce réveil prématuré peut, par conséquent, entraîner une forte réduction du

temps de sommeil total.

Il est évident que l'exposition au bruit entraîne des éveils. Le seuil de bruit à partir duquel de tels éveils sont observés, varie en fonction du stade de sommeil dans lequel se trouve plongé le dormeur. Ce seuil d'éveil est plus élevé lorsque le sommeil est profond et il diminue au fur et à mesure que le temps cumulé de sommeil augmente. Ce seuil dépend par ailleurs des caractéristiques physiques du bruit et également, très fortement, de la signification de celui-ci.

La perturbation d'une séquence normale de sommeil (sans qu'un éveil soit nécessairement provoqué) peut être observée pour un niveau sonore momentané de l'ordre de 50 dB(A)⁴⁰. Des changements de stades de sommeil ont été reproduits en laboratoire pour des niveaux sonores de 40 à 45 dB(A)⁴¹. Dans une même population générale, des éveils nocturnes peuvent être provoqués à partir de 55 dB(A). Cela ne signifie toutefois pas que pour des niveaux sonores inférieurs, mesurés à proximité immédiate du dormeur, il ne soit pas observé d'effets perturbateurs. Des réactions cardiovasculaires (accélération cardiaques ou vasoconstrictions artériolaires) peuvent s'observer pour des niveaux nettement inférieurs, démontrant ainsi que l'organisme du dormeur a perçu la stimulation sonore, même si son comportement n'a pas changé de façon significative et qu'il n'en a aucune conscience immédiate ou lors du réveil matinal^{42 43}.

Sous l'effet du bruit, des changements immédiats dans la structure intime du sommeil, et notamment des changements de stades de sommeil, se font toujours dans le sens d'un allègement de ce dernier. Ces modifications ne sont pas perceptibles par le dormeur et il faut utiliser des enregistrements polygraphiques pour pouvoir les mettre en évidence. Ces changements de stades sont souvent accompagnés de mouvements corporels⁴⁴ et ils se font au détriment des stades de sommeil les plus profonds et au bénéfice des stades de sommeil les plus légers. Bien qu'encore non déterminées de façon irréfutable, les fonctions du sommeil à ondes lentes et du sommeil paradoxal semblent être essentielles pour la croissance et le développement harmonieux de l'organisme ainsi que pour la récupération de la fatigue physique ou mentale. Carter indique, par exemple, que la quantité de sommeil à ondes lentes peut être sensiblement réduite chez le jeune dormeur exposé à des nuisances sonores au cours de son sommeil⁴⁵. La rythmicité interne du sommeil paradoxal peut être notablement perturbée lors d'une exposition nocturne au bruit^{46 47}. Ainsi, l'instabilité du sommeil provoquée par le bruit entraîne une fragmentation de sa structure et, par là même, un amoindrissement de sa qualité ; caractéristiques que l'on peut retrouver, avec une intensité variable, dans des cas d'insomnie chronique.

Une étude montre qu'avant et après une intervention visant à réduire le trafic des transports, la qualité du sommeil des personnes concernées a été améliorée de façon objective (actimétrie) et subjective, suite à la réduction des niveaux sonores⁴⁸. Les études épidémiologiques concernant les effets du bruit sur la qualité du sommeil sont le plus souvent des études transversales, c'est-à-dire des études faisant le cliché d'un groupe de personnes souffrant d'une même pathologie. L'une de ces études combine le bruit aérien à d'autres nuisances sonores⁴⁹.

Les éveils nocturnes et les modifications de la structure interne du sommeil ne sont pas les seuls effets liés à la présence des bruits. Si, pour la population générale, les éveils peuvent être obtenus pour des intensités supérieures à 55 dB(A), la perturbation d'une séquence normale de sommeil peut apparaître dès le niveau de 45 dB(A). Notons que les valeurs recommandées par l'OMS à l'intérieur de la chambre à coucher sont de $L_{Aeq, 8h} = 30$ dB et de $L_{Amax} = 45$ dB⁵⁰.

Le nombre de modifications du processus hypnique ou d'éveil nocturnes augmente avec le nombre de bruits nocturnes, mais pas toujours de façon proportionnelle. Toutefois, lorsque le nombre de bruits est important ou que le niveau sonore de ceux-ci est élevé, le moindre éveil nocturne peut se prolonger en raison de la persistance de la perturbation et, dans ce cas, la fragmentation du sommeil peut être très marquée. Une telle

perturbation du sommeil nocturne peut alors entraîner une fatigue notable⁵¹ au cours de la journée suivante, se traduisant par des épisodes d'hypovigilance ou des capacités de travail réduites.

Même s'il n'y a pas de *perception consciente* par le dormeur, chaque son est traité par le système sensoriel et les signaux nerveux sont conduits vers la région du cerveau qui traite les informations auditives. A partir de là, des fibres nerveuses peuvent véhiculer des informations spécifiques vers d'autres régions cérébrales et entraîner des réponses partielles ou globales⁵².

3.3.2. L'HABITUATION AU BRUIT NOCTURNE

Un certain degré d'habituation aux conditions sonores nocturnes existe, car il n'est pas rare de voir disparaître progressivement les plaintes subjectives de mauvaise qualité de sommeil après plusieurs jours ou semaines d'exposition au bruit. Cependant, l'habituation de l'organisme reste incomplète et les effets mesurés au cours du sommeil (notamment les effets cardio-vasculaires) montrent que les fonctions physiologiques du dormeur restent affectées par la répétition des perturbations sonores⁵³. Cette non habituation physiologique au bruit est préoccupante, car on ne peut négliger les effets possibles à long terme de la répétition, nuit après nuit, des perturbations sonores sur la santé des personnes exposées.

Ainsi, les accélérations cardiaques initiées de façon réflexe et observées en réponse à la plupart des bruits intenses se répètent journallement et sont toujours mesurables après des mois et des années d'exposition au bruit, alors que les personnes exposées disent souvent ne plus être gênées par le bruit⁵⁴. Il est indéniable que ces réactions répétées sollicitent de façon permanente son système cardio-vasculaire.

3.3.3. LES DIFFERENCES INTERINDIVIDUELLES DE LA SUSCEPTIBILITE AU BRUIT NOCTURNE

Parmi les facteurs individuels les plus fréquemment évoqués, on trouve l'âge, le sexe ou le profil psychologique des personnes exposées. En utilisant les stimulations sonores, on constate l'existence d'une nette hypo-réactivité électro-encéphalo-graphique de l'enfant et les seuils d'éveil sont chez lui de 10 dB(A) plus élevés en moyenne que chez les adultes⁵⁵. En d'autres termes, l'enfant réagit peu aux perturbations sonores une fois endormi et il se plaint rarement d'avoir mal dormi en raison du bruit ambiant. Cette sensibilité réduite au niveau subjectif contraste toutefois avec une réactivité cardio-vasculaire qui est identique à celle que l'on peut observer chez l'adulte.

3.3.4. LES EFFETS CHRONIQUES DE LA PERTURBATION DU SOMMEIL

Il est évident qu'une perturbation du sommeil entraîne une réduction de la durée de celui-ci. La question la plus critique, pour les praticiens de la médecine, concerne les répercussions à long terme sur la santé d'une réduction quotidienne de la durée du sommeil, répétée jour après jour pendant des mois ou des années. Selon certains auteurs, le coût le plus important de la privation de sommeil pour la santé est la réduction de la qualité de vie. Pour ces auteurs, la privation de sommeil entraîne une fatigue chronique excessive et de la somnolence, une réduction de la motivation de travail et une baisse des performances conduisant souvent à un sentiment de frustration et à des conflits avec l'entourage. Pour des travailleurs qui ont besoin de maintenir un très haut niveau de vigilance, tels que les contrôleurs du trafic aérien, l'anxiété liée à la privation chronique de sommeil peut être particulièrement marquée, car ils savent que cette dernière affecte leurs possibilités de concentration sur la tâche et entraîne des baisses momentanées de l'attention. Cet état anxieux peut également se traduire par une augmentation des erreurs et peut générer des plaintes médicales associées à l'anxiété chronique.

Les « absences », les fausses réponses, le ralentissement intellectuel, les problèmes de mémorisation et la diminution rapide de l'état de vigilance sont des manifestations classiques des effets de la privation de sommeil évalués à l'aide de tests de courte durée. De même, plus la somnolence consécutive à la privation de sommeil

est grande et plus le fonctionnement cérébral est dépendant des influences environnementales et sensibles à la monotonie ambiante. C'est ainsi que certaines pertes de vigilance et toutes les conséquences que celles-ci entraînent, peuvent être accentuées par l'existence d'une privation chronique de sommeil. Il est donc nécessaire de s'interroger sur les répercussions exactes que peut entraîner la perturbation chronique du sommeil par le bruit, sur la qualité des activités diurnes et notamment sur les risques d'incidents voire d'accidents liés à l'activité professionnelle.

3.4. LES EFFETS DU BRUIT SUR LE SYSTEME ENDOCRINIEN

Le système endocrinien est composé par l'ensemble des glandes qui possèdent une fonction de sécrétion d'hormones. L'exposition au bruit entraîne une modification de la sécrétion des hormones liées au stress que sont l'adrénaline et la noradrénaline⁵⁶. Les concentrations de ces hormones surrénaliennes sont augmentées de façon significative lors de l'exposition au bruit au cours du sommeil et ceci se traduit par une excrétion urinaire accrue de leurs produits de dégradation⁵⁷. L'élévation du taux nocturne de ces hormones peut entraîner des conséquences sur le système cardio-vasculaire tels que l'élévation de la fréquence cardiaque et de la pression artérielle ou encore des arythmies cardiaques, des agrégations plaquettaires ou encore une augmentation du métabolisme des graisses⁵⁸. Plusieurs études rapportent également une élévation du taux nocturne de cortisol sous l'effet du bruit⁵⁹. Le cortisol est une hormone qui traduit le degré d'agression de l'organisme et qui joue un rôle essentiel dans les défenses immunitaires de ce dernier. Une étude émet l'hypothèse que cette augmentation du cortisol puisse entraîner une atrophie de l'hippocampe au niveau cérébral⁶⁰.

Dans une étude réalisée autour de l'aéroport de Munich, il a été montré que les adultes et les enfants exposés au bruit des avions présentent une élévation du taux des hormones du stress associée à une augmentation de leur pression artérielle. Ces observations confirment l'impact non négligeable du bruit sur le système cardio-vasculaire dans son ensemble. Chez les enfants, cette augmentation des taux hormonaux est accompagnée par une détérioration des capacités cognitives de mémorisation et de réalisation de tâches complexes.

3.5. LES EFFETS DU BRUIT SUR LE SYSTEME IMMUNITAIRE

La stimulation acoustique entraîne des modifications au niveau endocrinien. L'une des conséquences majeures de ces effets est l'atteinte des défenses immunitaires de l'individu agressé, et par conséquent, par une plus grande fragilité de l'organisme aux diverses agressions subies. Sous l'effet du stress, la composition sanguine en ces divers éléments peut être modifiée (taux de cortisol et de cholestérol, concentration intracellulaire de magnésium ou de fibrinogène...). Le rôle des globules blancs est très important dans la défense de l'organisme et leur atteinte peut causer de graves dommages dans le fonctionnement du système immunitaire.

3.6. LES EFFETS DU BRUIT SUR LA SANTE MENTALE

Des études ont été consacrées aux répercussions psychiatriques de l'exposition au bruit des avions^{61 62}, même pour des enfants⁶³. Le bruit est considéré comme la nuisance principale chez les personnes présentant un état anxiodépressif. La présence de ce facteur joue un rôle déterminant dans l'évolution et le risque d'aggravation de cette maladie⁶⁴. La sensibilité au bruit est très inégale dans la population, mais le sentiment de ne pouvoir « échapper » au bruit auquel on est sensible, constitue une cause de souffrance accrue qui accentue la fréquence des plaintes subjectives d'atteinte à la santé. Des études conduites en Angleterre indiquent que le pourcentage des personnes admises dans un service psychiatrique augmente en même temps que l'exposition au bruit de trafic⁶⁵. Des résultats similaires ont été observés au Danemark, autour de l'aéroport de Copenhague, où les consultations et les hospitalisations en service psychiatrique sont nettement plus nombreuses dans les zones exposées au bruit que dans les zones témoins. D'autres études confirment l'augmentation des consultations et hospitalisations psychiatriques parmi les riverains d'aéroports⁶⁶. Une étude transversale concernant les populations adultes autour de l'aéroport de Roissy CDG⁶⁷ a permis de mettre en évidence des différences d'état de santé mentale entre les individus très exposés au bruit aérien et les individus moins

exposés, en termes de prescriptions d'un médicament à visée neuropsychiatrique, notamment.

En France, la mise en place d'un « Observatoire d'Épidémiologie Psychiatrique » a permis de mettre en évidence la grande permanence des états anxiodépressifs et le rôle particulier des nuisances dans leur déclenchement et leur entretien. Ainsi, il apparaît que 27 % des patients en consultation présentent de tels troubles, parmi lesquels 21 % ressentent fortement les nuisances. 59 % des patients anxiodépressifs évoquent le bruit comme facteur de nuisance. Une enquête récente faite par questionnaire autour de l'aéroport de Schiphol entre 2002 et 2005 confirme le lien anxiodépressif avec le niveau de plainte vis-à-vis du bruit⁶⁸.

3.7. L'EXPOSITION AU BRUIT ET LA CONSOMMATION DE MEDICAMENTS

Une étude réalisée dans la province canadienne de l'Ontario⁶⁹ et une autre conduite autour de l'aéroport d'Amsterdam aux Pays-Bas⁷⁰ montrent également une corrélation entre consommation de médicaments et exposition aux nuisances sonores. L'étude néerlandaise indique que les taux de consultation et de prescription médicale étaient de 9,5 % dans les zones exposées au bruit alors qu'ils n'étaient que de 5,7 % dans les zones plus calmes. De la même façon, la consommation des médicaments traitant l'hypertension artérielle et les troubles gastro-intestinaux, appréciée par le volume total des achats annuels, augmente autour de l'aéroport d'Amsterdam en fonction de son activité. Une telle variation n'a pas été observée pour une population témoin non exposée au bruit. De tels résultats montrent que l'exposition au bruit se traduit également en termes de consommation médicale. Elle traduit une qualité de vie amoindrie et une recherche de soutien, notamment médical, en raison de l'inconfort créé par l'exposition permanente au bruit.

Une étude plus récente a été menée à Brême par le professeur Greiser⁷¹ sur 809 000 assurés sociaux et 1,8 million d'actes et observations médicales. Ces données ont été croisées avec les statistiques de décollages et d'atterrissages sur l'aéroport de Cologne – Bonn. Par rapport à une population soumise à un bruit inférieur à 40 dB la nuit, l'étude montre que le risque de se faire soigner pour hypertension augmente de 24 % pour les hommes et 66 % pour les femmes, lorsque le bruit nocturne est compris entre 46 dB et 61 dB. L'étude montre également que la prise de médicaments pour traitement cardiaque augmente de 27 % pour les hommes et 116 % pour les femmes, lorsque le bruit nocturne est compris entre 46 dB et 61 dB.

L'étude de Relster menée à Copenhague autour de l'aéroport montre que 25 % de la population consomme des tranquillisants, soit 47 % de plus que dans les zones reculées⁷². La dernière étude de Franssen en 2006 faite autour de l'aéroport international d'Amsterdam montre, après prise en compte des variables de confusion potentielle, une augmentation de 70 % de l'automédication, pour une augmentation de 10 dB(A) entre 22h et 23h (heure du coucher).

4. EFFETS DU BRUIT SUR LE COMPORTEMENT SOCIAL

En Angleterre, une étude sur les riverains d'aéroports⁷³, indique que ces derniers gardent les fenêtres fermées pour dormir, quelle que soit la saison, dans une proportion qui varie de 10 % à 46 dB(A) (en Leq de 23h à 7h) à 50 % pour un niveau de 70 dB(A). Les directives de l'OMS préconisent un niveau maximum de 45 dB(A) à ne pas dépasser à l'extérieur à environ un mètre des façades des chambres à coucher, de sorte que les gens puissent dormir avec les fenêtres ouvertes.

Que ce soit chez les enfants ou les adultes, au domicile ou au travail, on évoque régulièrement les méfaits du bruit sur les relations interpersonnelles : le bruit serait à l'origine d'une agressivité accrue, d'une augmentation du nombre de conflits... Il apparaît difficile de parler d'effets directs du bruit sur les troubles du comportement et de l'équilibre mental ; les recherches menées dans ce domaine tendent à montrer que le bruit ne provoque pas une augmentation des cas pathologiques mais semble plutôt aggraver les problèmes psychologiques préexistants.

4.1. LES FACTEURS DE MANIFESTATION DE LA GENE PSYCHOLOGIQUE INDUITE PAR LE BRUIT

Selon la définition de l'OMS, la gêne est « *une sensation de désagrément, de déplaisir provoquée par un facteur de l'environnement (ex : le bruit) dont l'individu ou le groupe connaît ou imagine le pouvoir d'affecter sa santé* »⁷⁴. Il est ainsi possible d'évaluer l'inconfort provoqué par le bruit en comptabilisant les plaintes déposées auprès des services compétents, mais l'on ne dispose pas là d'un critère fiable car nombre de personnes incommodées n'utilisent pas cette procédure. Le baromètre Santé Environnement en 2007 précise que 10 % se disent gênés par les avions. Caractérisé par une somme d'événements sonores irréguliers provoquant une gêne sonore, le bruit des avions s'est affirmé comme un enjeu de santé publique, du fait d'une conscience grandissante de ses impacts sanitaires⁷⁵.

Autour de Paris CDG et Orly, une étude portant sur la gêne a été réalisée en 1999 parmi quelque 1 500 riverains de 36 communes⁷⁶. 48 % des personnes se disaient gênées ou très gênées. 51 % des répondants éprouvaient une difficulté à suivre une conversation. 30 % renonçaient à ouvrir la fenêtre la nuit, même en cas de forte chaleur. 44 % des personnes interrogées envisageaient un déménagement. Le niveau de la gêne est corrélé avec les représentations négatives de la plate-forme (bruit des avions, pollution, dépréciation des biens immobiliers...). « *Cet effet de représentation de la gêne n'a toujours pas été considéré par les gestionnaires et les décideurs comme un problème de santé à part entière*⁷⁷ ».

4.2. LES EFFETS DU BRUIT SUR L'APPRENTISSAGE

4.2.1. ASPECTS TECHNIQUES ET REGLEMENTAIRES DU CONTROLE DU BRUIT DANS LES ECOLES

L'OMS précise : « *Il est évident que les garderies et les écoles ne devraient pas être situées à proximité de sources de bruit importantes, telles que des autoroutes, des aéroports, et des sites industriels*⁷⁸ ». En évitant de construire des établissements scolaires près des axes de circulation, pour des raisons de sécurité routière, on évite aussi l'exposition aux nuisances ; pollution et bruit. S'efforcer de construire des locaux scolaires, les crèches, les hôpitaux dans des zones à l'abri des nuisances routières est un aspect élémentaire de l'urbanisme permettant d'éviter dans le coût des constructions les contraintes d'isolation acoustique. Pour ce qui concerne nuisances du trafic aérien d'une plate-forme internationale comme Roissy CDG, dont le Plan d'Exposition au Bruit étend son emprise sur 127 communes réparties sur 5 départements, la seule solution reste la réduction à la source par l'élimination des avions les plus bruyants et la limitation du trafic, en priorité la nuit.

4.2.2. QUELQUES RESULTATS D'ETUDES

Une liste actuelle des problèmes de santé liés au bruit chez les enfants figure dans le rapport de PINCHE⁷⁹, qui recommande en particulier expressément de réduire le bruit ambiant durant la nuit. Le CRETEIL⁸⁰ et le CSNA³⁵ ont fourni en août 2007 un riche inventaire sur les effets des nuisances aériennes sur la scolarité et la santé des enfants⁸¹. Cette bibliographie confirme l'étude de Hygge⁸² faite autour de l'aéroport de Munich, montrant que les enfants exposés aux nuisances sonores depuis plus de 5 ans avaient des performances amoindries. Le bruit des avions provoque des interférences dans l'émission et la compréhension du discours de l'enseignant, ce qui empêche une bonne acquisition du langage⁸³. L'étude multicentrique RANCH⁸⁴ faite sur 2 000 enfants de 89 écoles autour de 3 aéroports internationaux (Amsterdam, Madrid et Londres) a mis en évidence une relation entre l'exposition au bruit et une baisse des performances scolaires, notamment en lecture. Les auteurs précisent qu'en comparaison avec un bruit routier, qui est plus constant, le bruit du trafic aérien, souvent de courte durée, est beaucoup plus gênant ; il surprend et distrait davantage les élèves. Autre facteur aggravant : les élèves soumis au bruit aérien le sont également au domicile, notamment la nuit en l'absence de couvre-feu nocturne.

Dans le cas des bruits d'avions, les enfants subissent le niveau de bruit dans l'enceinte scolaire comme au domicile. Les effets à court terme de la perturbation du sommeil de l'enfant surviennent dès le lendemain (sommolence à l'école, sensation de fatigue, difficultés de concentration, problèmes d'apprentissage...). Ces troubles des fonctions cognitives et du comportement chez l'enfant ont été rappelés dans un rapport au ministère de la Santé et des Solidarités en 2006⁸⁵.

4.3. COUTS ECONOMIQUES DES IMPACTS SANITAIRES DU BRUIT

Le bruit, et plus particulièrement celui des transports, représente un coût pour la collectivité : coût pour le réduire, voire le supprimer. Il convient de prendre en compte le coût des atteintes au patrimoine immobilier, le bruit étant à l'origine d'une perte de valeur des logements. L'évaluation de l'impact du bruit sur le marché immobilier s'effectue à partir de l'analyse des prix immobiliers. L'objectif est d'estimer la dépréciation de la valeur des logements qu'occasionne une situation sonore particulièrement dégradée. Il faut prendre en compte le coût des nuisances sonores du fait des atteintes à la santé et plus généralement au bien-être des individus dont les effets perçus peuvent être appréhendés au travers de la notion de gêne⁸⁶.

Ces pertes de bien-être pour les riverains d'infrastructures de transport s'évaluent de plusieurs façons⁸⁷. L'évaluation économique de la gêne due au bruit s'effectue à partir d'enquêtes auprès de la population (méthode d'évaluation contingente, par exemple). Ces enquêtes visent à estimer le prix que les riverains accordent à un environnement sonore acceptable (prix qu'ils se déclarent prêts à payer pour une diminution voire une suppression de la gêne).

Sur la base d'études de ce type, le Commissariat Général du Plan (CGP) a proposé en 2001⁸⁸ des évaluations du coût social du bruit (tableau ci-dessous).

| Bruit en façade exprimé en Leq de jour (6h-22h) | Taux de dépréciation | Domage annuel pour un logement de 100 m ² |
|---|----------------------|--|
| 55 dB(A) | 0 % | 0 euro |
| 60 dB(A) | 2 % | 132 euros |
| 65 dB(A) | 6 % | 395 euros |
| 70 dB(A) | 10,5 % | 691 euros |
| 75 dB(A) | 17 % | 1 120 euros |
| 80 dB(A) | 24, 15 % | 1 591 euros |

Si l'on applique ces coûts unitaires à l'ensemble des habitations exposées au bruit des transports en France, on obtient un coût total des dommages estimé à 0,26 % du PIB, dont 84 % sont imputables à la circulation routière, 8 % au trafic ferroviaire et 8 % au trafic aérien⁸⁹. Même si ces estimations s'appuient sur des données anciennes concernant l'exposition des Français au bruit des transports, elles indiquent très clairement l'ampleur de la gêne que représente cette nuisance pour la collectivité.

4.4. SYNTHÈSE DES EFFETS DU BRUIT

Le bruit, et notamment le bruit des transports, est la nuisance environnementale dont se plaint le plus la population française. Parallèlement aux effets sur la santé, comme les perturbations du sommeil et les réactions de stress, le bruit est souvent ressenti comme une gêne, car il empêche l'homme d'accomplir ses activités quotidiennes dans des conditions satisfaisantes et peut être vécu comme une véritable agression. Mais le bruit a également un impact sur le climat social : il serait à l'origine d'une agressivité accrue, d'une diminution de la sensibilité et de l'intérêt de l'individu à l'égard d'autrui, manifeste dans certains comportements. Le bruit vient aussi renforcer certaines inégalités sociales dans la mesure où il touche en premier les personnes les plus défavorisées qui peuvent plus difficilement s'y soustraire.

Son coût économique est certain, même s'il est mal chiffré. Les états européens et la France en particulier ont pris des mesures pour réglementer la construction des locaux scolaires nouveaux ; cependant il existe encore sans doute beaucoup d'établissements où les conditions acoustiques sont très médiocres, qu'il convient d'améliorer, pour limiter l'impact du bruit dans le domaine de l'éducation.

Les répercussions sur la santé sont réelles et ne peuvent être négligées par les autorités politiques et les responsables médicaux qui sont garants de la santé des citoyens. Les conséquences médicales sont encore plus inquiétantes dans le cas d'exploitation nocturne des aéroports et cela a bien été mis en évidence à Strasbourg⁹⁰ où les autorités ont refusé de prendre la responsabilité de ce développement.

Dans leur rapport en juin 2007, les médecins experts de l'OMS ont analysé les études épidémiologiques existantes de l'impact sanitaire du bruit, et estiment que le niveau de preuves est suffisant pour les troubles du sommeil, pour la gêne et pour la baisse des fonctions cognitives et des performances scolaires des enfants. Ces trois domaines n'exigent donc pas d'études complémentaires pour faire les recommandations qui s'imposent (niveau de bruit à ne pas dépasser dans la chambre à coucher, dans les salles de classes, les hôpitaux...).

5. LES REGLEMENTATIONS

5.1.1. CONCEPT D'EMERGENCE

Le concept d'émergence repose sur l'hypothèse qu'un phénomène est d'autant plus gênant qu'il se distingue du bruit existant. Cette situation est souvent rencontrée dans les environnements industriels ou de voisinage pour lesquels l'origine de la gêne se trouve souvent dans l'apparition d'une nouvelle source de bruit identifiable, qui vient modifier la situation existante. Pour estimer l'importance de cette modification, on choisit d'abord une période temporelle caractéristique, sur laquelle on mesure le LAeq ambiant en présence du bruit perturbateur puis le LAeq résiduel en l'absence de celui-ci. L'émergence est donnée par la différence entre les valeurs relevées. Pour les bruits de voisinage, la réglementation considère comme tolérable une émergence de 5 dB durant le jour et de 3 dB pour la nuit⁹¹.

5.1.2. REGLEMENTATIONS EN MATIERE DE FIXATION DES VALEURS LIMITES

- Les critères pour l'établissement de valeurs limites

Les deux principaux critères pris en compte pour fixer des valeurs limites dans la population générale sont la gêne psychologique et les perturbations du sommeil. C'est donc sur la base de travaux de recherche portant sur ces effets que les valeurs limites sont la plupart du temps établies. A ces critères viennent s'ajouter ceux de la perturbation de la communication, particulièrement importants en milieu scolaire.

Les **valeurs limites** d'exposition résultent le plus souvent de compromis entre les exigences humaines découlant des effets du bruit (gêne ressentie, effets du bruit sur le sommeil notamment) et des conséquences économiques et financières induites par la mise en œuvre des protections phoniques. Ce compromis, réalisé le plus souvent par les autorités gouvernementales, tend à évoluer dans le temps, dans la mesure où les exigences humaines semblent plus marquées actuellement que dans le passé (plus grande sensibilité des populations au bruit, pression sociale accrue, inquiétude vis-à-vis de la réduction du "capital silence") et les coûts de protection mieux intégrés dans les projets d'infrastructures nouvelles.

Outre la période de la journée, les valeurs limites d'exposition dépendent de la sensibilité de la zone où elles s'appliquent (hôpitaux, écoles, zone résidentielle, zone mixte : résidentielle et commerciale, zone industrielle) ou du stade de développement des infrastructures et des bâtiments (existant, en projet, planifié notamment). Des différences de 10 à 15 dB(A) sont couramment rencontrées entre les valeurs limites d'exposition des zones considérées comme les plus sensibles (hôpitaux, écoles) et des zones les moins sensibles (zones industrielles). Les situations sont donc très diverses et parfois difficilement comparables. Néanmoins, on peut considérer que la limite de 60-65 dB(A) mesurée en Leq de jour en façade d'habitation et 50-55 dB(A) la nuit semble, dans bon nombre de pays, être la règle de base pour ce qui concerne la prise en compte du bruit aux abords des voies routières nouvelles dans les zones résidentielles. Des différences de 5 à 10 dB(A) sont aussi couramment observées entre les valeurs limites d'exposition concernant les situations nouvelles (action de prévention) et celles concernant les situations existantes (action de rattrapage)¹.

5.2. LES RECOMMANDATIONS

Un programme de rattrapage des points noirs devait être engagé dès l'an 2000 et porter en priorité sur la protection des habitations exposées à des nuisances sonores excessives et des bâtiments publics sensibles. Rappelons qu'un point noir du bruit est une habitation, un établissement d'enseignement social ou sanitaire exposés à plus de 70 dB le jour et 65 dB la nuit. En février 2002, le bilan restait mitigé : le recensement, par les préfets, des zones fortement exposées au bruit n'était pas complet ; les reports des informations de classement dans les PLU étaient rarement réalisés. 37% des collectivités locales interrogées dans le cadre d'une enquête conduite par le CIDB déclaraient en 2002 que le recensement des points noirs n'avait pas été fait dans leur département ; 30 % des collectivités locales ne savaient pas que ce recensement devait avoir lieu ! Seules 30 %

des CL déclaraient que les opérations de rattrapage avaient été programmées sur leur territoire ; et 30 % ne se prononçaient pas. On peut donc estimer qu'il y a un manque d'engagement suivi de l'État dans la politique de réduction des nuisances sonores, et en particulier en ce qui concerne la résorption des points noirs.

Les bâtiments d'habitation, les établissements d'enseignement et de santé, ainsi que les hôtels venant s'édifier dans ces secteurs devront présenter des isolements acoustiques (qui caractérisent la « résistance » de la façade, fenêtres fermées, à la transmission du bruit provenant de l'extérieur) compris entre 30 et 45 dB(A) afin que les niveaux de bruit résiduels intérieurs ne dépassent pas 35 dB(A) de jour et 30 dB(A) de nuit.

Les opérations de protection contre le bruit doivent privilégier les solutions de protection à la source (écrans antibruit, parements acoustiques, actions de réduction du bruit de roulement) par rapport à l'insonorisation des locaux qui doit rester le dernier recours. Ces solutions techniques sont conçues de manière à ce que les contributions sonores extérieures soient si possible inférieures à 65 dB(A) de jour et à 60 dB(A) de nuit, et qu'en tout cas, les contributions sonores intérieures résiduelles soient inférieures à 40 dB(A) de jour et à 35 dB(A) de nuit.

5.2.1. RECOMMANDATIONS DE L'AGENCE FRANÇAISE DE SECURITE SANITAIRE ENVIRONNEMENTALE

Recommandations sur les indicateurs Bruit - Santé

Une première « recommandation » d'ordre général consisterait à préciser, préalablement à la définition des mesures de santé publique, ce que l'on entend par « santé » lorsque l'on tente de quantifier les effets des facteurs environnementaux sur l'homme. La définition large donnée par l'OMS de la santé n'est en effet pas toujours admise par les « décideurs » et les notions de « bien-être physique, mental et social » sont difficiles à définir. Il serait donc fort utile de préciser quelles sont les atteintes à l'intégrité humaine qui doivent être considérées comme inacceptables, et ce choix devrait être fait en fonction du facteur considéré et du contexte dans lequel il se manifeste. La réponse à cette question doit guider l'intervention des pouvoirs publics et la mise en œuvre des politiques de santé publique.

La traduction des effets du bruit sur la santé, à l'aide d'indicateurs, mérite un important travail d'amélioration des connaissances des impacts sanitaires du bruit. Si pour le trafic routier, la gêne exprimée est bien connue et représentée à travers les courbes dose-réponse, il existe une grande variabilité, en ce qui concerne le trafic aérien, variabilité suivant les aéroports et la période de consultation. Pour répondre à la question des effets à long terme de l'exposition au **bruit nocturne**, il conviendrait de réaliser une large enquête épidémiologique centrée sur l'exposition au bruit nocturne et dans laquelle seraient comparées deux populations de personnes ayant une même exposition au bruit au cours de la journée et qui ne diffèreraient que par le niveau d'exposition au bruit au cours de la nuit. De tels travaux permettraient de déterminer la part liée à l'exposition bruit nocturne dans les effets de l'exposition cumulée au bruit.

Indices de bruit et indicateurs bruit-santé (intégrés ou évènementiels)

Les descripteurs acoustiques de l'exposition au bruit sont multiples, ce qui n'est pas un facteur de transparence en matière de gestion des nuisances sonores. On distingue les indices *intégrés* (énergétiques ou statistiques) et les indices *évènementiels*. Dans le premier cas, les valeurs données sont globalement plus faibles (car moyennées sur une longue période de temps) et elles ne devraient pouvoir être mises en relation qu'avec une évaluation globale, tandis que, dans le second cas, les valeurs peuvent être mises en relation avec des effets immédiatement observables sur la santé.

Un descripteur ou indice *intégré* peut sans doute rendre compte de la *gêne globale* exprimée par des individus

pour une période d'exposition telle que la journée. En revanche, les perturbations du sommeil sont vécues inconsciemment par le dormeur et toute interruption de son processus hypnique peut entraîner un éveil prolongé et une réduction du temps de sommeil, chaque événement bruyant doit donc être quantifié. Un indice intégré sur les 8 heures nocturnes est insuffisant pour rendre compte des perturbations biologiques subies du fait de la survenue d'évènements bruyants ponctuels au cours de la nuit.

Les indicateurs retenus dans la directive européenne 2002/49/CE relative au bruit de l'environnement (Lden et Lnight) sont fondés sur l'évaluation de l'énergie équivalente développée sur de longues périodes (niveau LAeq sur la période jour, soirée, nuit). Ils ne traduisent pas de façon pertinente toutes les situations et notamment l'émergence des sources événementielles dans un bruit de fond faible (bruit nocturne par exemple). Ils sont donc insuffisants comme outil de gestion des niveaux de bruit dans la perspective de protéger la santé des populations.

Il est essentiel de préciser systématiquement quelle catégorie d'indices (intégrés ou événementiels) est utilisée pour quantifier l'environnement ou l'évènement sonore.

Afin de prendre en considération plusieurs paramètres en plus du niveau énergétique total, il convient de compléter, dans la réglementation française, les indicateurs énergétiques imposés dans la directive 2002/49/CE, en tenant compte :

- de l'*émergence* du bruit (le Lmax mais celui-ci n'est pas pleinement satisfaisant) ;
- du *nombre d'évènements sonores* ;
- de la *période* pendant laquelle les évènements bruyants se produisent, en particulier la nuit.

Il est ainsi souhaitable que les indices *évènementiels* soient introduits dans les indices déjà mis en place de manière prendre en compte les effets sur le sommeil de l'exposition au bruit. Cependant, il convient de s'en tenir à un petit nombre d'indicateurs pertinents appliqués à l'ensemble des sources en supprimant les indicateurs spécifiques à certains types de sources.

Pour ce qui concerne les indicateurs intégrés de la directive européenne 2002/49/CE, les pondérations (pénalités) du Lden, retenues à ce jour pour les périodes de soirée et de nuit, méritent d'être reconsidérées de façon approfondie et validées. Dans le cadre du programme Santé Publique initié par le Conseil du Parlement Européen⁹², l'OMS (Bureau Régional Européen à Bonn) a déposé récemment le projet *Night Noise Guidelines* (NNGL). Les deux principaux objectifs de ce projet consistent à :

- proposer des recommandations (valeurs limites) en matière de bruit nocturne, pour des expositions de courte comme de longue durée, dans le but de protéger la santé des populations ;
- valider la pondération (+10 dB) affectée à la période nocturne dans le calcul du Lden. Ces travaux pourraient être suivis et pris en compte dans la réglementation nationale.

Recommandations pour les pouvoirs publics

Les effets du bruit sur la santé sont particulièrement marqués pour les périodes de nuit et soirée. Les pouvoirs publics pourraient être amenés à renforcer les limitations et exigences pour les périodes de soirée et nuit en termes d'exposition de la population au bruit des transports.

Recommandations pour les élus locaux

Le bruit reste une compétence de la seule commune, voire de l'Etablissement Public de Coopération

Intercommunale, lorsque cette compétence lui a été transférée, et l'on peut regretter que les nuisances sonores ne fassent pas l'objet d'actions plus globales. Une politique globale et cohérente de lutte contre le bruit serait plus efficace au niveau de l'agglomération avec la mise en place de moyens financiers et humains plus importants.

D'autres recommandations

Dans un avis du 6 mai 2004, le **Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France** (CSHPF) a émis des recommandations relatives aux expositions des populations au bruit aérien. Il préconise ainsi :

- de ne pas dépasser, en façade des habitations un niveau de L_{den} de 60 dB(A), toutes sources confondues
- de respecter pendant la période 22h – 6h en façade des habitations, les critères suivants, correspondant aux recommandations de l'OMS, en prenant en compte un isolement de façade de 25 dB(A)
 - $L_{aeq} < 55$ dB(A) toutes sources confondues
 - Moins de 10 évènements sonores, toutes sources confondues, avec un $L_{Amax} > 70$ dB(A)

Le Conseil a rappelé la nécessité de l'optimisation du ciel et que soit affinée la connaissance de la situation sanitaire française résultant de l'exposition au bruit des avions, notamment pour les enfants.

Les experts d'un travail de synthèse pour le ministère de la santé en 1999 ont préconisé une limite de 15 à 20 bruits par nuit n'excédant pas 45 dB(A) (L_{max}) dans la chambre du dormeur⁹³.

L'Observatoire Régionale de Santé d'Ile-de-France place le bruit comme un enjeu de santé publique, précisant qu'un francilien sur 4 déclare avoir ressenti des effets du bruit sur sa santé dans une région à forte densité urbaine et forte densité d'infrastructures de transport. L'Observatoire affirme que les études épidémiologiques sous-estiment les effets sanitaires du bruit, car nous n'attribuons pas forcément nos problèmes de santé au bruit, surtout si les effets opèrent à long terme⁹⁴.

Dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, le **Conseil National du Bruit** souhaite que la fiscalité soit plus dissuasive pour réduire les vols de nuit et que, parallèlement, les conditions pour l'instauration d'un couvre-feu au niveau européen soient recherchées.

5.2.2. RECOMMANDATIONS DE L'OMS

Pour la mise en œuvre des directives, l'OMS recommande que :

- Les gouvernements assument la protection de la population contre le bruit de la collectivité, et la considère comme partie intégrante de leur politique de protection de l'environnement.
- Les gouvernements envisagent la mise en œuvre de plans d'action avec des objectifs à court terme, à moyen terme et à long terme, pour réduire des niveaux de bruit.
- La rentabilité et les analyses coûts-avantages soient considérées comme des instruments potentiels pour des décisions de gestion significatives.

Les valeurs guides de l'OMS

Des valeurs guides relatives aux effets spécifiques du bruit sur la santé et dans des environnements spécifiques ont été proposées par l'OMS en 2000⁵⁰.

| Environnement spécifique | Effet critique sur la santé | L _{Aeq} [dB(A)] | Base de temps [heures] | L _{Amax} |
|--|---|--------------------------|------------------------|-------------------|
| Zone résidentielle extérieure | Gêne sérieuse pendant la journée et la soirée | 55 | 16 | - |
| | Gêne modérée pendant la journée et la soirée | 50 | 16 | - |
| Intérieur des logements | Intelligibilité de la parole et gêne modérée pendant la journée et la soirée | 35 | 16 | - |
| Intérieur des chambres à coucher | Perturbation du sommeil, la nuit | 30 | 8 | 45 |
| A l'extérieur des chambres à coucher | Perturbation du sommeil, fenêtre ouverte | 45 | 8 | 60 |
| Salles de classe et jardins d'enfants, à l'intérieur | Intelligibilité de la parole, perturbation de l'extraction de l'information, communication des messages | 35 | Pendant la classe | - |

Recommandations du groupe d'experts de l'OMS

L'étude de la bibliographie internationale atteste l'existence d'un impact sanitaire des nuisances sonores aéroportuaires en matière de troubles du sommeil et de gêne notamment, effets pour lesquels les experts s'accordent sur un niveau de preuves suffisant.

En dépit de l'utilisation d'avions moins bruyants depuis quelques années entraînant une baisse du niveau global de bruit, attesté par l'indice global mesuré pondéré (IGPM) de bruit annuel, les nuisances persistent. Les améliorations techniques sont neutralisées par l'augmentation du trafic aérien et le rapprochement des vols. C'est pourquoi les plaintes des riverains sont nombreuses et légitimes. Cela implique que le principe de prévention soit appliqué.

La revue de la littérature sur l'impact des nuisances aéroportuaires sur la santé des riverains permet d'affirmer que la survenue de certains effets sanitaires est suffisamment étayée⁷⁸.

5.2.3. RECOMMANDATIONS DE L'ACTION 21 DES NATIONS-UNIS

Le document Action 21⁹⁵ adopté par les Nations-Unis soutient un certain nombre de principes de gestion de l'environnement sur lesquels les politiques des gouvernements peuvent être basées : le **principe de précaution**, quand il existe un risque que la santé publique soit mise en danger, sans attendre que la preuve scientifique soit pleinement établie ; le principe pollueur – payeur pour inciter les acteurs responsables de la nuisance à réduire cette nuisance et à limiter les populations impactées.

6. LES NUISANCES AERIENNES

Pour les avions à réaction en vol, on distingue : le bruit des groupes motopropulseurs et le bruit aérodynamique. A la base du bruit émis par l'ensemble propulsif, on trouve plusieurs sources de bruit directement liées aux composants du moteur : soufflantes amont et aval, compresseur, turbine, chambre de combustion, ainsi que le bruit de jet. Le bruit des parties tournantes est caractérisé par la présence de fréquences pures (bruit de raies) qui se superposent à un bruit à large bande. Ce bruit de raies est plus marqué à l'avant du réacteur. Le bruit de jet est dû à la génération de fortes turbulences dans la zone où les gaz chauds à haute pression sont éjectés dans la tuyère du moteur et se mélangent à l'air ambiant. Ce bruit est un bruit large bande, sa directivité est maximale à l'arrière et il est fonction de D^2V^8 (D étant le diamètre de la tuyère et V la vitesse d'écoulement du jet). L'introduction dans les années 1970 de moteurs à taux de dilution élevé fut à l'origine d'une diminution importante du niveau de bruit des avions commerciaux. Le bruit de jet a été réduit, dans les moteurs modernes à double flux, de grand diamètre et à basse vitesse d'éjection.

6.1. LES PRATIQUES AU NIVEAU INTERNATIONAL

6.1.1. LES INDICATEURS DE LA DIRECTIVE EUROPEENNE 2002/49/CE (2002)

Suite aux travaux du Groupe de Travail « Indicateurs de bruit » de la Commission des Communautés européennes, il a été proposé de retenir, pour décrire le bruit de toutes les sources extérieures (route, fer, avion, équipement extérieur, de façon séparée) et à des fins d'évaluation, de cartographie, de planification et de réduction du bruit, les indicateurs suivants :

1/ le Lden (day - evening – night) qui combine le LAeq de jour (12 heures), le LAeq de soirée (4 heures) et le LAeq de nuit (8 heures) avec une correction de 5 dB pour la soirée, de 10 dB pour la nuit et aucune correction pour le jour. La formule est la suivante :

$$Lden = 10 \lg [(12/24).10^{LD/10} + (4/24).10^{(LE+5)/10} + (8/24).10^{(LN+10)/10}]$$

Par défaut les périodes sont les suivantes :

- jour : 07:00 – 19:00 (période d'activité)
- soirée : 19:00 – 23:00 (période de relaxation)
- nuit : 23:00 – 07:00 (période de sommeil)

La directive laisse le soin aux pays membres de moduler de plus ou moins une heure ces horaires pour tenir compte des décalages horaires et des différences d'habitudes de vie locales. La France a choisi de retirer une heure :

- jour : 06:00 – 18:00 (période d'activité)
- soirée : 18:00 – 22:00 (période de relaxation)
- nuit : 22:00 – 06:00 (période de sommeil)

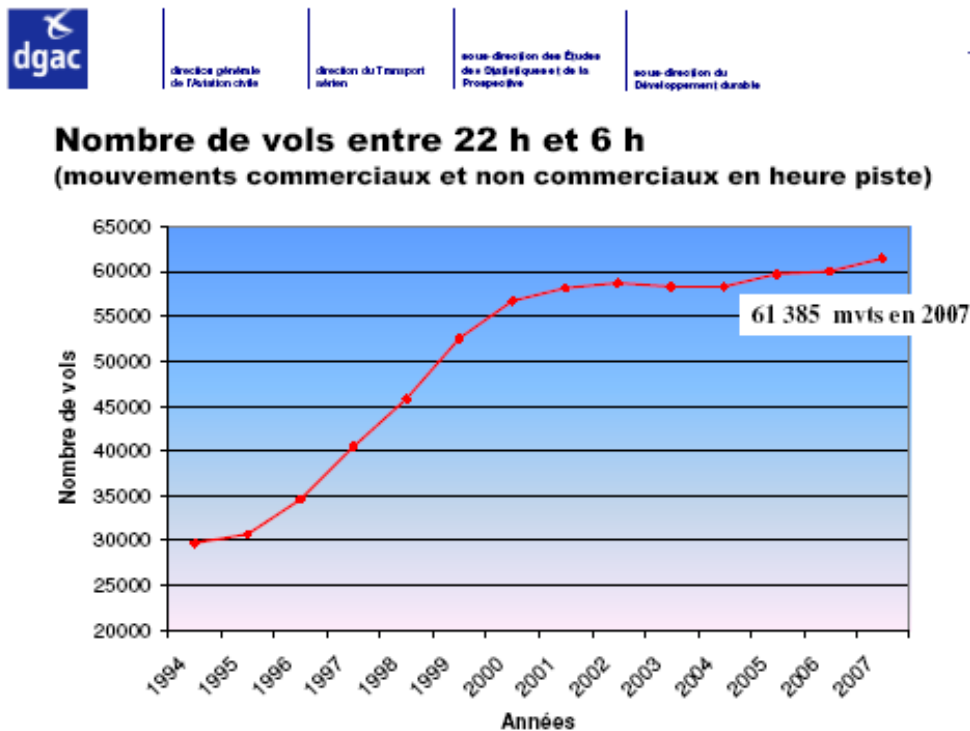
2/ le LAeq nuit (8 heures), niveau équivalent mesuré en dB(A)

Ces niveaux doivent être mesurés ou calculés sur la façade la plus exposée à 4 mètres du sol et doivent être représentatifs de l'exposition moyenne au cours d'une année (exposition de long terme). Deux critères de santé et de bien-être ont été retenus dans le choix de ces indicateurs : la gêne psychologique (perturbation des activités) ainsi que les effets sur le sommeil.

6.2. ÉTAT DES LIEUX DE LA SITUATION FRANÇAISE

Dans une communication en Conseil des ministres le 17 décembre 2003, le ministre de l'Équipement a présenté les résultats des mesures mises en œuvre pour réduire les nuisances sonores en Île-de-France. Ces mesures avaient comme objectifs le retrait progressif des avions les plus bruyants et la **diminution de plus de 15% du nombre de vols de nuit**, sur la plate-forme de Roissy CDG.

Le graphe ci-dessous fourni par la DGAC montre ce que vaut la promesse d'un ministre.



Le législateur français, soucieux de réduire les vols de nuit, mais en ménageant globalement les intérêts économiques des acteurs du trafic aérien a limité l'attribution des créneaux de cœur de nuit (0h – 5h) sur la plate-forme de Roissy CDG, qui est la plus chargée d'Europe en termes de vols de nuit. Les compagnies n'obtenant plus de créneaux dans cette tranche horaire ont déplacé leur demande en début de nuit (22h – minuit) et fin de nuit (5h – 6h). De sorte que le nombre de créneaux a effectivement baissé dans le cœur de nuit, et fortement augmenté sur les tranches adjacentes. Les études épidémiologiques montrent que les bruits au moment de l'endormissement et aux heures matinales sont ceux qui réduisent le plus la durée totale et la qualité du sommeil, notamment les travaux menés autour de l'aéroport de Zurich⁹⁶. C'est ainsi que les périodes initiale et finale du sommeil sont considérées comme étant les plus sensibles aux perturbations sonores⁹⁷.

Le transport aérien doit aujourd'hui faire face à des demandes contradictoires. D'une part, la demande de transport s'accroît ; le secteur aérien est en fort développement, hormis quelques périodes de décroissance conjoncturelle. D'autre part, la demande environnementale s'affirme ; la croissance du trafic aérien s'accompagne de nuisances sonores et de pollution chimique qui ont été, pendant longtemps, insuffisamment prises en compte par les politiques publiques, malgré les protestations réitérées et justifiées des riverains d'aéroports. Sans une volonté politique forte, nous ne pourrions pas atténuer l'impact sanitaire du bruit.

7. REFERENCES

7.1. SITES INTERNET

Agence française de sécurité sanitaire environnementale (AFSSE)
<http://www.afsse.fr>

Ministère de l'écologie et du développement durable
http://www.ecologie.gouv.fr/rubrique.php3?id_rubrique=327

Ministère des transports : Bruits de circulation, comment isoler votre logement
http://www.logement.equipement.gouv.fr/publi/accesbat/doc_pdf/bruit.pdf

Site bruit de la Commission européenne
<http://www.europa.eu.int/comm/environment/noise/>

Mairie de Paris, carte du bruit de Paris
http://www.paris.fr/FR/environnement/bruit/carto_bruit/

Autorité de contrôle des nuisances aéroportuaires
<http://www.acnusa.fr/index.asp>

Organisation mondiale de la santé
<http://www.who.int/topics/noise/fr/>

Centre d'information et de documentation sur le bruit
<http://www.infobruit.org/FR/info/00>

France nature environnement, dossier bruit et santé
<http://www.fne.asso.fr/PA/sante/publi/LettreRSEn24.pdf>

BruitParif
<http://www.bruitparif.fr/cms/>

Union Française Contre les Nuisances des Aéronefs
<http://www.ufcna.eu/>

Association de Défense contre les Nuisances Aériennes
<http://www.advocnar.fr/>

7.2. BIBLIOGRAPHIE

- ¹ AFSSE « Impacts sanitaires du bruit – Etat des lieux – Indicateurs bruit-santé », mai 2004
- ² Camard JP, Lefranc A, Gremy I, Ferry R « Effets du bruit sur la santé : données épidémiologiques récentes » ORS Environnement, Risques et santé juillet-août 2004.
- ³ http://www.ifen.fr/actualites/presse/detail-d-un-communique-ou-dossier/article/environnement-de-proximite.html?tx_ttnews%5BbackPid%5D=878&cHash=68ecee190c
- ⁴ INSEE « Mesurer la qualité de vie dans les grandes agglomérations » n° 868, octobre 2002.
- ⁵ Alexis Roy, Institut Français de l'Environnement « La sensibilité des Français à leur environnement de proximité », N° 85 août 2003.
- ⁶ Menard C, Girard D, Léon C, Beck F « Baromètre santé environnement 2007 » Editions INPES
- ⁷ Borsky PN « Sociopsychological factors affecting the human response to noise exposure », 1979
- ⁸ François J « Les répercussions du bruit des avions sur l'équilibre des riverains des aéroports », rapports IFOP 1979 et 1982
- ⁹ Cette définition, qui n'a pas été modifiée depuis 1946, figure dans le Préambule à la Constitution de l'Organisation mondiale de la Santé, tel qu'adopté par la Conférence internationale sur la Santé, New York, 19-22 juin 1946; signé le 22 juillet 1946 par les représentants de 61 Etats. 1946; (Actes officiels de l'Organisation mondiale de la Santé, n°. 2, p. 100) et entré en vigueur le 7 avril 1948.
- ¹⁰ Wu TN, Lai JS, Shen CY, Yu TS, Chang PY « Aircraft noise, hearing ability, and annoyance 1995
- ¹¹ Vorob'ev OA, Krylov IV, Zaritskii VV, Skrebnev SV, Shcherbachenko GE « Aviation noise an ecological environmental factor, 1995
- ¹² Maschke C, Breinl S, Grimm R, Ising H « The influence of nocturnal aircraft noise on sleep and on catecholamine secretion » 1993
- ¹³ Belojevic G « The effect of aircraft noise on the health of an exposed population », 1988
- ¹⁴ Fidell S, Horonjeff R, Mills J, Baldwin E, Teffeteller S, Pearsons K « Aircraft noise annoyance at three joint air carrier and general aviation airports » 1985
- ¹⁵ Meecham WC et Shaw NA 1986 « Jet plane noise effects on mortality rates, Cambridge.
- ¹⁶ Taylor R, Lyle D « Third runway proposal draft environmental impact statement Sydney airport », 1980.
- ¹⁷ Meecham WC et Shaw NA « Increase in mortality rates due to aircraft noise », 1993.
- ¹⁸ « Aircraft flyover and mortality », Environmental Impact Reports, Sydney, 1979.
- ¹⁹ Frerichs RR, Beeman BL, Coulson AH « Los Angeles airport noise and mortality », 1980
- ²⁰ Van Wiechen CMAG, Franssen EAM, de Jong RG, Lebret E « Aircraft noise exposure from Schiphol airport ; a relation with complainants » 2002
- ²¹ Bjorkman M, Ahrlin U, Rylander R « Aircraft noise annoyance and average versus maximum noise levels » 1992
- ²² Hiramatsu K, Minoura K, Matsui T, Miyakita T, Osada Y, Yamamoto T « An analysis of the general health questionnaire survey around airports in terms of annoyance reaction » International Congress and Exhibition on noise control engineering, Nice august 2000
- ²³ Vallet M, Cohen JM 2000, Etude épidémiologique des troubles anxio-dépressifs autour des aéroports INRETS rapport LTE n° 2008
- ²⁴ Nérome S, Enjalbert JP, Bouée S, Lainey E, 2004, Impact des nuisances sonores (maladie et insomnie) à proximité des aéroports, Hôpital Européen Georges Pompidou.
- ²⁵ Collectif Santé Nuisances Aériennes BP6, 95390 Saint-Prix
- ²⁶ Cohen JM « Bruit et santé en Ile-de-France », Open ROME (Réseaux d'Observation des Maladies et des Epidémies), 2007
- ²⁷ Haralabidis AS, Dimakopoulou K, Vigna-Taglianti F, Bluhm G, Babisch W, Velonakis M, Katsouyanni K, Jarup L « Etude HYENA (Hypertension and Exposure to Noise near Airport) Acute effects of night-time noise exposure on blood pressure in populations living near airports » European Heart Journal 29, 658-664 HYENA Consortium 2008.
- ²⁸ Babisch W. et al. « Annoyance due to aircraft noise has increased over the years - Results of the Hyena study », Environment International, vol.35 n°8 p. 1169-1176 (novembre 2009)
- ²⁹ « Ninth international congress on noise as a public health problem » Mashantucket, Connecticut, USA 21-25 juillet 2008
- ³⁰ Toppila E., Pyykko I. et Stark J., "Age and noise-induced hearing loss", Scan Audiol, n°30 pp.236-44, 2001.

- ³¹ Prince M.M., Gilbert S.J., Smith R.J. et Stayner L., "Evaluation of the risk of noise-induced hearing loss among unscreened male industrial workers", *J Acoust Soc Am*, n°113 pp.871-80, 2003.
- ³² Libert JP, Bach V, Johnson LC, Ehrhart J, Wittersheim G, Tassi P " Cardiovascular responses and electroencephalogram disturbances to intermittent noises : effects of nocturnal heat and daytime exposure ", 1991.
- ³³ Jong RG " extraaural health effects of aircraft noise ", 1993
- ³⁴ Libert JP, Bach V, Johnson LC, Ehrhart J, Wittersheim G, Keller D " relative and combined effects of heat and noise exposure on sleep in humans ", 1991.
- ³⁵ Ettema JH " Sleep and nocturnal air traffic ", 1991.
- ³⁶ Kawada T, Suzuki S, Aoki S, Ogawa M " Effects of noise on sleep ", 1989.
- ³⁷ Nakagawa Y " Sleep disturbances due to exposure to tone pulses throughout the night ", 1987.
- ³⁸ Griefahn B, Muzet A " Noise-induced sleep disturbances and their effects on health ", 1978.
- ³⁹ Öhrström E., Research on noise since 1988: present state, *Noise and man*, Nice, I. ed. M. Vallet, vol.3, pp.331-338, 1993.
- ⁴⁰ Muzet A., Schieber J.P., Olivier-Martin N., Ehrhart J. et Metz B., Relationship between subjective and physiological assessments of noise-disturbed sleep, *International congress on noise as a public health problem*, Dubrovnik - Yugoslavia, U. S. E. Agency, pp.575-586, 1973.
- ⁴¹ Kawada T « Effects of traffic noise on sleep », 1995.
- ⁴² Muzet A. et Ehrhart J., "Amplitude des modifications cardiovasculaires provoquées par le bruit au cours du sommeil", *Cœur et médecine interne*, n°17 pp.49-56, 1978.
- ⁴³ Carter N.L., Cardiovascular response to environmental noise during sleep, *7th International Congress on Noise as a Public Health Problem*, Sydney, Australie, vol.2, pp.439-444, 1998.
- ⁴⁴ Horne JA, Reyner LA, Pankhurst FL, Hume KI « patterns of spontaneous and evoked body movements during sleep », 1995.
- ⁴⁵ Carter N.L., "Transportation noise, sleep, and possible after-effects", *Environm. Internat.*, n°22 pp.105-116, 1996.
- ⁴⁶ Naitoh P., Muzet A. et Lienhard J.P., Effects of noise and elevated temperature on sleep cycle. *Sleep Research*, 2nd International Congress of Sleep Research, Edimburgh, vol.4, pp.174, 1975.
- ⁴⁷ Thiessen G.J., "Effect of traffic noise on the cyclical nature of sleep", *J Acoust Soc Am*, n°84 pp.1741-1743, 1988.
- ⁴⁸ Ohrstrom E " Sleep studies before and after : results and comparison of different methods " *Noise Health 2002*
- ⁴⁹ Horne JA, Pankhurst FL, Reyner LA, Hume K, Diamond ID " A field study of sleep disturbance: effects of aircraft noise and others factors " 1994
- ⁵⁰ Berglund B, Maschke C " Bruit et santé ", WHO Local Authorities Health and Environment, 2000.
- ⁵¹ Fruhstorfer B, Pritsch MG " Effects of daytime noise load on the sleep-wake cycle and endocrine patterns in man ", 1988.
- ⁵² AFSSE « Impacts sanitaires du bruit – Etat des lieux – Indicateurs bruit-santé », mai 2004
- ⁵³ Muzet A. et Ehrhart J., Habituation of heart rate and finger pulse responses to noise during sleep, *Noise as a Public Health Problem*. ASHA report, 10, Rockville, Maryland, 401-404, 1980.
- ⁵⁴ Vallet M., Gagneux J.M., Clairet J.M., Laurens J.F. et Letisserand D., Heart rate reactivity to aircraft noise after a long term exposure, *Noise as a Public Health Problem*, Centro Ricerche E Studi Amplifon, Milano, 965-971, 1983
- ⁵⁵ Muzet A., Ehrhart J., Eschenlauer R. et Lienhard J.P., "Habituation and age differences of cardiovascular responses to noise during sleep", *Sleep* 1980, pp.212-215, 1981.
- ⁵⁶ Maschke C, Arndt D, Ising H, Laude G, Thierfelder W, Contzen S " The effect of night time airplane noise on excretion of stress hormones in residents living near airports ", 1995.
- ⁵⁷ Babisch W, Fromme H, Beyer A, Ising H « Increased catecholamine levels in urine in subjects exposed to road traffic noise » *Environ Int* 2001
- ⁵⁸ Babisch W « Stress hormones in the research of cardiovascular effects of noise » *Noise Health 2003*
- ⁵⁹ Ising H, Ising M « Chronic cortisol increase in the first half of the night by road traffic noise » *Noise Health 2002*
- ⁶⁰ Nguyen V " Le stress prolongé pourrait entraîner une atrophie de l'hippocampe ", *Le quotidien du médecin* 1996.
- ⁶¹ Kryter KD "Aircraft noise and social factors in psychiatric hospital admission rates", 1990.

- ⁶² Kawada T, Naganuma S, Kiryu Y, Suzuki S “ The effect of noise on sleep: changes in hypnograms of subjects exposed to repeated truck-passing sound ”, 1992.
- ⁶³ Schmeck K, Poustka F “ Psychological and psychiatric tests with children and adolescents in a low-altitude flight region ”, 1993.
- ⁶⁴ Stansfeld SA “ Noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychological studies ”, 1992.
- ⁶⁵ Tarnopolsky A., Watkins G. et Hand D.J., "Aircraft noise and mental health: I. Prevalence of individual symptoms", Psychol. Med, n°10 (4), pp.683-698, 1980.
- ⁶⁶ Abbey-Wickrama I, Brook MF « Mental hospital admission and aircraft noise », 1969.
- ⁶⁷ Cohen JM, Mosnier A, Abramowitch JM, Goldberg P « Etude épidémiologique des troubles anxio-dépressifs autour des aéroports », Paris INRETS 1999.
- ⁶⁸ Van Kamp et al – Internoise, Istanbul, août 2007.
- ⁶⁹ Bly S, Vlahovich S, Mclean J, Cakmak S “ Le bruit des avions civils à proximité des aéroports: effets sur la santé humaine ”, Santé Canada, 2001
- ⁷⁰ Knipschild P. et Oudshoorn N., "Medical effects of aircraft noise: drug survey", Int. Arch. Occup. Environ. Health, n°40 pp.197-200, 1977.
- ⁷¹ Greiser E, Janhsen K, Greiser C « Nächtllicher Fluglärm und Arzneimittelverbrauch », novembre 2006
- ⁷² Muzet A « Le bruit nuit gravement à la santé », journal du CNRS n° 204 – janvier 2007.
- ⁷³ DORA (directorate of operational research and analysis) « Aircraft noise and sleep disturbance », 1980
- ⁷⁴ OMS, Le bruit, critère d'hygiène de l'environnement, OMS, n°12, 1980.
- ⁷⁵ Faburel G, Chatelain F, Gobert J, Lévy L, Manola T, Mikiki F, Zagagh D « les effets des trafics aériens autour des aéroports franciliens », 2006
- ⁷⁶ Vallet M, Vincent B, Olivier D « La gêne due au bruit des avions autour des aéroports », Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement, Mission Bruit, 2000
- ⁷⁷ « Impact sanitaire du bruit et de la pollution atmosphérique autour des zones aéroportuaires », rapport du groupe d'experts DRASS Ile-de-France, juin 2007.
- ⁷⁸ OMS, “ Résumé d'orientation des directives de l'OMS relatives au bruit dans l'environnement ”, Genève 2000
- ⁷⁹ Policy interpretation network for child health and environment. Rapport 2006. PINCHE, réseau financé par l'UE, a rassemblé et analysé les résultats scientifiques sur 4 thèmes, dont celui du bruit.
- ⁸⁰ Centre de Recherche sur l'Espace, les Transports, l'Environnement et les Institutions Locales
- ⁸¹ Faburel G, Charre S, CRETEIL Université Paris XII « Effets des nuisances aériennes sur la scolarité et la santé des enfants » <http://www.saintprix.fr/media/media68064.pdf>
- ⁸² Hygge S, Evans GW, Bullinger M 1996 « the Munich airport noise study : cognitive effects on children from before to after the change over airports
- ⁸³ Federal Interagency Committee on Aviation Noise (FICAN) 2000 « Position on research into effects of aircraft noise on classroom learning »
- ⁸⁴ Stansfeld SA, Berglund B, Clark C, Lopez-Barrio I, Fischer P, Orhstrom E, Haine MM, 2005 « Road Traffic and Aircraft Noise Exposure and Children's Cognition and Health (RANCH)
- ⁸⁵ “ Rapport sur le thème du sommeil ” Ministère de la Santé à Xavier Bertrand, décembre 2006.
- ⁸⁶ Lambert J., "La gêne due au bruit des transports terrestres", Acoustique et Techniques, n°28 1er trimestre 2002.
- ⁸⁷ Lambert J., Quinet E. et Kail J.M., Evaluer les effets des transports sur l'environnement : le cas des nuisances sonores, Cadas, n°16, novembre 1999.
- ⁸⁸ Boiteux M., Transports : Choix des investissements et coût des nuisances. Rapport du Groupe de travail.Commissariat Général du Plan, La Documentation Française, Paris, 2001.
- ⁸⁹ Quin C., Duprez F. et Bourgis N., Compte national du transport de voyageurs (1998). Tome 2 : Les coûts externes du transport de voyageurs. Rapport au Ministre de l'Equipement, des Transports et du Logement, Ministre de l'Equipement, des Transports et du Logement, février 2001.

- ⁹⁰ Muzet A, Vallet M « Les prévisions concernant la gêne subjective, les effets physiologiques et les risques pour la santé des populations exposées aux bruit des avions dans le cadre du projet d'utilisation nocturne de l'aéroport de Strasbourg-Entzheim par l'entreprise DHL », rapport d'expertise 12 septembre 1996.
- ⁹¹ Décret n° 95-408 du 18 avril 1995
- ⁹² Décision n° 1786/2002/EC du 23 septembre 2002
- ⁹³ Mouret J, Vallet M « Les effets du bruit sur la santé », Ministère de l'emploi et de la solidarité, 1999.
- ⁹⁴ Grange D, Chatignoux E, Grémy I « Les perceptions du bruit en Ile-de-France », mars 2009
- ⁹⁵ Site des Nations-unis : <http://www.un.org/french/ga/special/sids/agenda21>
- ⁹⁶ Brink M, Wirth K, Schierz C « Effects of early morning aircraft overflights on sleep and implications for policy making », Proceedings of the congress Euronoise 2006, Tampere Finland.
- ⁹⁷ Fields JM « The relative effect of noise at different times of the day » NASA , 1986.