

Ingénieur du Génie Sanitaire

Promotion : **2008 - 2009**

Date du Jury : **29 Septembre 2009**

**Contribution à l'élaboration
d'indicateurs sanitaires liés au bruit
des transports, et à la réflexion sur la
mise en place de systèmes de
surveillance**

Elève Ingénieur : Magalie LAMBERLIN

Lieu du stage : Direction Générale de la Santé

Référent Professionnel : Emmanuel BRIAND

Référent pédagogique : Christophe GOEURY

Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier mon référent professionnel, M. Emmanuel Briand, chef de bureau à la DGS (Direction Générale de la Santé), pour m'avoir permis de réaliser mon mémoire au sein du bureau environnement intérieur.

Je remercie également mon référent pédagogique, M. Christophe Goeury, enseignant-chercheur au département Santé-Environnement-Travail de l'EHESP (Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique) pour ses conseils et son implication dans la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent également aux personnes qui m'ont consacré du temps au cours de mon mémoire, plus particulièrement M. Albert Godal, Ingénieur d'Etudes Sanitaires à la DDASS des Yvelines, présent une fois par semaine à la DGS pour le pôle bruit, M. Hubert Isnard et Mme Carla Estaquio de la CIRE IdF (Cellule Interrégionale d'Epidémiologie Ile-de-France), le Professeur Pierre Ducimetière, chercheur de l'INSERM (Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale), le Professeur Damien Léger, médecin du centre du sommeil de Paris et le Docteur Jean-Pierre Giordanella, médecin en santé publique et directeur de la prévention CPAM de Paris.

Enfin, je tiens à remercier l'ensemble du personnel de la DGS pour leur accueil et leurs conseils.

Sommaire

| | |
|--|-----------|
| Introduction | 1 |
| 1. Cadre de l'étude | 3 |
| 1.1. Contexte..... | 3 |
| 1.2. Objectifs et périmètre du travail | 3 |
| 1.3. Méthodologie..... | 3 |
| 1.4. Terminologie | 4 |
| 2. Les impacts du bruit sur la santé : Synthèse bibliographique | 5 |
| 2.1. Les effets choisis pour cette étude..... | 5 |
| 2.2. La gêne | 7 |
| 2.2.1. Définition | 7 |
| 2.2.2. L'évaluation et les conséquences de la gêne liée au bruit..... | 7 |
| 2.2.3. Les facteurs de confusion liés à la gêne..... | 8 |
| 2.2.4. Les relations dose-réponse..... | 10 |
| 2.3. Les effets sur le sommeil | 11 |
| 2.3.1. Le sommeil et ses troubles | 11 |
| 2.3.2. L'évaluation de la qualité du sommeil | 12 |
| 2.3.3. Les principaux facteurs de confusion..... | 13 |
| 2.3.4. Les relations dose-réponse..... | 14 |
| 2.4. Les maladies cardiovasculaires | 15 |
| 2.4.1. Les pathologies associées..... | 15 |
| 2.4.2. Les principaux facteurs de confusion..... | 17 |
| 2.4.3. Etudes chez les adultes | 17 |
| 2.4.4. Etudes chez les enfants..... | 18 |
| 2.4.5. Les relations dose-réponse..... | 19 |
| 2.5. Un mode d'évaluation commun : La consommation de médicaments | 19 |
| 2.6. Les études prenant en compte la multi exposition | 21 |
| 3. Elaboration d'indicateurs sanitaires du bruit | 22 |
| 3.1. Notion d'indicateur | 22 |
| 3.1.2. Définition et objectif d'un indicateur sanitaire..... | 22 |
| 3.1.3. Critères de choix d'un indicateur..... | 23 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1.4. Limites d'un indicateur..... | 23 |
| 3.2. Les indicateurs sanitaires du bruit | 24 |
| 3.2.1. Les indicateurs utilisés dans les études | 24 |
| 3.2.2. Autre indicateur possible | 25 |
| 3.3. Discussion sur les données nécessaires et leur accessibilité pour la France..... | 26 |
| 3.3.1. La gêne..... | 26 |
| 3.3.2. Les effets sur le sommeil..... | 30 |
| 3.3.3. Les maladies cardiovasculaires..... | 32 |
| 3.3.4. Les modes d'évaluation globaux | 34 |
| 3.4. Bilan..... | 36 |
| 4. Pertinence d'une surveillance autour du bruit | 41 |
| 4.1. Généralités sur la surveillance en santé environnement | 41 |
| 4.1.1. Définition..... | 41 |
| 4.1.2. Objectifs..... | 42 |
| 4.1.3. Démarche | 42 |
| 4.2. Surveillance autour du bruit..... | 43 |
| 4.2.1. Périmètre et objectifs..... | 43 |
| 4.2.2. Les indicateurs à suivre..... | 43 |
| 4.2.3. Les lieux à surveiller | 45 |
| 4.2.4. Organisation | 45 |
| 4.2.5. Les limites..... | 49 |
| 4.2.6. Perspectives européennes | 50 |
| Conclusion | 51 |
| Bibliographie..... | 53 |
| Liste des figures | 59 |
| Liste des tableaux | 59 |
| Liste des annexes..... | 61 |
| Abstract..... | 91 |

Liste des sigles utilisés

| | |
|---------|---|
| ACNUSA | Autorité de contrôle des nuisances sonores aéroportuaires |
| AFSSA | Agence Française de Sécurité Sanitaire des Aliments |
| AFSSAPS | Agence Française de Sécurité Sanitaire des Produits de Santé |
| AFSSET | Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail |
| ARS | Agence Régionale de Santé |
| BEH | Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire |
| CepiDc | Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès |
| CIDB | Centre d'Information, de Documentation sur le Bruit |
| CIM | Classification Internationale des Maladies |
| CIRE | Cellule Interrégionale d'Epidémiologie |
| CNAM | Caisse Nationale d'Assurance Maladie |
| CNAMTS | Caisse Nationale d'Assurance Maladie des Travailleurs Salariés |
| CNIL | Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés |
| CSP | Catégorie Socio Professionnelle |
| CRAM | Caisse Régionale d'Assurance Maladie |
| CV | Cardiovasculaire |
| dB | Décibel |
| DGS | Direction Générale de la Santé |
| DDASS | Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales |
| DDEA | Direction Départementale de l'Equipeement et de l'Aménagement |
| DEBATS | Discussion sur les effets du bruit des aéronefs touchant la santé |
| DGAC | Direction Générale de l'Aviation Civile |
| DR | Dose-Réponse |
| DRASS | Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales |
| DRIRE | Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement |
| EG | Extremement gêné |
| EHIS | Environment and Health Information System |
| ERASME | Extraction, Recherches, Analyses pour un Suivi Médico-Economique |
| EU | European Union |
| G | Gêne |
| HTA | Hypertension Artérielle |
| HYENA | Hypertension and Exposure to Noise near Airports |
| IdF | Ile de France |
| ICBEN | International Commission on Biological Effects of Noise |

| | |
|----------|---|
| ICSD | International Classification of Sleep Disease |
| INCa | Institut National du Cancer |
| INERIS | Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques |
| INPES | Institut National de Prévention et d'Education pour la Santé |
| INSEE | Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques |
| INSERM | Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale |
| INSOMNIA | Impact des Nuisances SONores (Maladies et Insomnie) à proximité des Aéroports |
| INRETS | Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité |
| Interase | Integrated Assessment of Health Risks of Environmental Stressors in Europe |
| INVS | Institut de Veille Sanitaire |
| IRSN | Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire |
| ISO | Internationale Organization for Standardization |
| LAeq | A-equivalent level (niveau sonore équivalent en dB(A)) |
| LAmx | A-maximum level (niveau sonore maximum en dB(A)) |
| Lday | Day level (niveau sonore diurne) |
| Lden | Day-evening-night level (niveau sonore jour-soirée-nuit) |
| Lnight | Night level (niveau sonore nocturne) |
| MONICA | Monitoring of Trends and Determinants in Cardiovascular Diseases |
| OMS | Organisation Mondiale de la Santé |
| OR | Odds Ratio |
| ORS | Observatoire Régionale de Santé |
| PMSI | Programme de Médicalisation des Systèmes de l'Information |
| PNSE | Plan National Santé-Environnement |
| Psas | Programme de Surveillance Air et Santé |
| PSQI | Pittsburgh Sleep Quality Index |
| RESE | Réseau d'Echange en Santé Environnement |
| RIVM | Dutch National Institute for Public Health and the Environment |
| RUMEUR | Réseau Urbain de Mesure de l'Environnement sonore d'Utilité Régional |
| RR | Risque Relatif |
| SPL | Sound Pressure Level |
| VSEI | Volet Sanitaire des Etudes d'Impact |
| WG | Working Group |
| WHO | World Health Organization |

Introduction

Le bruit figure parmi les nuisances majeures ressenties par les Français dans leur vie quotidienne et leur environnement de proximité. Les sources de bruit sont nombreuses : bruit dans l'habitat et les lieux de résidences, bruit ambiant notamment lié aux moyens de transport, bruit dans le milieu du travail, bruit au cours de loisirs. Face à ces préoccupations, les autorités, et notamment les collectivités locales, sont fortement sollicitées pour lutter contre les problèmes de nuisances sonores.

Pour répondre aux besoins de connaissances et préparer l'élaboration des futurs plans d'action de lutte contre le bruit des transports, rendus obligatoires par la directive 2002/49/CE, l'AFSSET a été saisie par les ministères chargés de la santé et de l'environnement au cours de l'été 2003. Dans son rapport publié en mai 2004, l'AFSSET propose un état des lieux des connaissances sur les différents impacts connus du bruit sur la santé, qu'il s'agisse de l'impact sur l'audition, des effets biologiques extra auditifs et des effets subjectifs [1] et mentionne des indicateurs sanitaires qui permettraient de quantifier ses effets. Il n'existe pas à l'heure actuelle d'indicateurs sanitaires du bruit validés, mais certains indicateurs d'exposition actuels prennent en compte la gêne. Ce sont notamment les indicateurs dits « intégrés » qui prennent en compte le fait que le bruit représente une nuisance croissante selon qu'il se produit le jour, en soirée ou la nuit. Toutefois, la gêne, du fait de son caractère subjectif, est un indicateur sanitaire insuffisant.

Ce constat souligne la nécessité d'améliorer les connaissances en matière d'impacts sanitaires de l'exposition au bruit, qu'il s'agisse des effets biologiques extra-auditifs ou subjectifs, et en particulier dans le cas des populations dites sensibles. C'est pourquoi il est préconisé de mieux quantifier les impacts sanitaires sur la population et de fournir des outils de comparaison fiables utilisables dans des travaux d'analyse sur les liens entre bruit et santé.

L'objectif de ce mémoire est ainsi de proposer des indicateurs pertinents pour la représentation du risque sanitaire associé au bruit des transports. Après avoir choisi les effets sanitaires qui seront développés dans le mémoire, la première étape sera une recherche bibliographique afin de recenser les études réalisées sur les effets du bruit sur la santé ainsi que les indicateurs sanitaires potentiels évoqués dans les projets et les études. Dans un deuxième temps, il s'agira de proposer des indicateurs sanitaires pour chacun des effets choisis et définir leurs utilisations possibles. Enfin, une réflexion sera menée sur la pertinence d'une surveillance sanitaire du bruit.

1. Cadre de l'étude

1.1. Contexte

Depuis une vingtaine d'années, la littérature sur les effets du bruit sur la santé est abondante. Différents organismes nationaux et internationaux s'intéressent continuellement à la quantification de l'impact du bruit sur la santé (AFSSET, ACNUSA, INRETS, CSTB, Commission Européenne, Bureau Régional de l'Europe de l'OMS) ce qui montre que ce sujet est une préoccupation d'actualité et un sujet très complexe. Les plans nationaux font également référence à des actions de lutte contre le bruit : Les conclusions du Grenelle de l'environnement, dont certaines actions se retrouvent dans le PNSE2, montrent une volonté d'accroître les connaissances sur l'impact du bruit sur les pathologies auditives et non-auditives ainsi que résorber les points noirs de bruit¹ identifiés en particulier ceux liés aux transports aériens et terrestres [2] [3].

1.2. Objectifs et périmètre du travail

L'objectif de ce mémoire est de contribuer à l'élaboration d'indicateurs sanitaires du bruit et de discuter leurs utilisations possibles telles que les volets sanitaires des études d'impact, les protocoles d'études ou encore les dispositifs de surveillance sanitaire. De tels indicateurs doivent permettre d'évaluer l'état de santé de la population résultant de l'exposition au bruit. Le mémoire se focalisera principalement sur les effets de l'exposition au bruit des transports –rail, route, air- à l'intérieur des habitations, domaine parmi les plus étudiés pour ce qui concerne la problématique bruit-santé, comme le montre la directive 2002/49/CE du Parlement européen et du conseil, relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement, qui concerne pour l'essentiel le bruit des transports [4]. Seront ensuite abordés les autres types de bruit tel que le bruit des industries ou le bruit de voisinage.

1.3. Méthodologie

Pour répondre aux objectifs cités en 1.2, la démarche utilisée sera la suivante :

Dans un premier temps le travail a porté sur une étude bibliographique afin d'avoir une connaissance la plus complète possible sur les impacts sanitaires du bruit les plus

¹ Bâtiment sensible antérieur à l'infrastructure et exposé en façade à plus de 70 dB(A) de jour (6h-22h) ou plus de 65 dB(A) de nuit (22h-6h) (source : Ministère de l'écologie)

documentés et dont le niveau de preuve du lien entre bruit et santé est suffisant. Plusieurs sources d'information ont été utilisées :

- Interrogation des bases de données telles que Pubmed pour les publications scientifiques. Pour les articles non disponibles sur internet, un simple email aux auteurs donne généralement de bons résultats.
- Recherches spécialisées sur le bruit : Documentation de la DGS, bibliothèque du CIDB, site intranet du RESE dossier 'bruit et santé'.
- Echange avec des professionnels du domaine :
 - Carla Estaquio, épidémiologiste à la CIRE IdF, en charge de l'étude SURVOL et Hubert Isnard, coordinateur scientifique de le CIRE IdF
 - Docteur Jean-Pierre Giordanella, docteur en médecine, auteur du rapport ministérielle sur le sommeil
 - Pierre Ducimetière, scientifique de l'INSERM et spécialiste des maladies cardiovasculaire

Dans un second temps il s'agira de réfléchir à la construction d'un ou plusieurs indicateurs pertinents pour la problématique de l'impact sanitaire du bruit sur la santé, c'est-à-dire ceux qui présentent une corrélation significative avec les effets sanitaires connus. Ces indicateurs pourront se construire en fonction de relations dose-réponse des effets du bruit sur la santé, qu'il faudra alors discuter (pertinence, applicabilité en terme sanitaire, en terme de gestion, données manquantes...). Il sera alors nécessaire de discuter l'accessibilité des données nécessaires pour la France et/ou les études éventuelles à mettre en place pour construire ces indicateurs.

Enfin une discussion sera menée sur une des applications possibles des indicateurs ainsi développés, à savoir la pertinence d'une surveillance sanitaire autour du bruit, qui répondrait à la forte préoccupation de la population face aux nuisances sonores de plus en plus présentes dans les villes. Seront développés en particulier les objectifs, les lieux à surveiller, les indicateurs à suivre, les acteurs et les limites d'une telle surveillance.

1.4. Terminologie

Il est nécessaire de définir au préalable les indicateurs d'exposition utilisés dans les différentes études bruit/santé qui seront évoqués tout au long du rapport. Il existe un grand nombre d'indicateurs permettant de décrire l'environnement sonore qu'on peut regrouper en deux catégories **[1]**:

→ Ceux qui caractérisent un événement sonore, tel que le passage d'un véhicule isolé. Le plus répandu est le Lmax qui représente le niveau maximal, souvent exprimé en dB(A), alors LAmax.

→ Ceux qui caractérisent une exposition de long terme qui prennent en compte le cumul des bruits sur une période donnée. Les indicateurs les plus utilisés dans le domaine des bruits de transports terrestres sont le LAeq exprimé en dB(A) et ses dérivés Lden (day, evening, night), Lday (6h-18h), Levening (18h-22h), Lnight (22h-6h). Dans le domaine des avions, les indicateurs d'exposition sont beaucoup plus nombreux et complexes. Le LAeq est une valeur moyenne énergétique du bruit fluctuant mesurée sur une durée T mentionnée, qui donne plus d'importance aux valeurs élevées. Le Lden est calculé sur les trois périodes du jour, de la soirée et de la nuit, avec une pondération pour la soirée et la nuit ce qui permet de prendre en compte que le bruit représente une nuisance croissante au cours d'une journée.

2. Les impacts du bruit sur la santé : Synthèse bibliographique

2.1. Les effets choisis pour cette étude

L'AFSSET, dans son rapport de 2004, fait un état des lieux des effets du bruit sur la santé [1] :

- Effets auditifs
- Effets biologiques extra-auditifs ou non-spécifiques
 - ✓ Effets sur le sommeil
 - ✓ Effets sur la sphère végétative
 - système cardio-vasculaire : Hypertension artérielle, troubles cardiaques ischémiques
 - système respiratoire
 - système digestif
 - ✓ Effets sur le système endocrinien : Modifications de la sécrétion d'hormones liés au stress (adrénaline, cortisol...)
 - ✓ Effet sur la santé mentale
- Effets subjectifs
 - ✓ La gêne
 - ✓ Les effets sur les attitudes et les comportements
 - ✓ Effets sur les performances
 - ✓ Intelligibilité de la parole

Les effets du bruit sont donc nombreux et variés. Dans le cadre de ce mémoire, il est nécessaire de choisir les effets qui seront étudiés, notamment ceux qui sont les plus documentés et qui ont un niveau de preuve suffisant.

→ Les **effets auditifs** ne seront pas pris en compte car même si cela reste imparfaitement établi, il est généralement accepté que les conditions d'exposition au bruits qui conduisent à des lésions auditives sont plutôt celles rencontrées en milieu professionnel (expositions supérieures à 75 dB(A) en LAeq sur 8h à l'intérieur des locaux pendant la journée de travail) ou en cas d'exposition prolongée à de forts niveaux sonores tels que ceux rencontrés lors de concerts de musique amplifiée ou lors de l'utilisation prolongée de baladeurs. Ce qui ne correspond donc pas aux effets attendus à des niveaux sonores habituels retrouvés dans les habitations.

→ Parmi les **effets subjectifs** la gêne sera prise en compte. En effet, même si la gêne a un caractère éminemment subjectif, elle représente une expression globale traduisant les effets ressentis par les personnes exposées et est reconnue par l'OMS comme indicateur sanitaire le plus sensible au bruit environnemental [5]. Elle sert donc de base à la détermination de seuils d'exposition utilisés notamment dans l'action réglementaire [1]. De plus, la gêne a été beaucoup étudiée: Un très grand nombre d'enquêtes sociales ou socio-acoustiques a été mené depuis près de 60 ans sur la gêne due au bruit et des relations dose-réponse ont pu être établies par la Commission Européenne entre niveaux d'exposition au bruit et gêne individuelle. Il sera nécessaire de préciser les limites de cet effet sur la santé et dans quelle mesure la gêne peut être prise en compte dans les indicateurs sanitaires du bruit.

→ Les **effets biologiques extra-auditifs** les plus documentés sont les effets sur le sommeil et les effets sur le système cardio-vasculaire. De plus, un groupe d'experts de l'OMS [6] a récemment dressé la liste des effets liés au bruit nocturne en fonction de leur niveau de preuve : preuve suffisante pour la perturbation du sommeil et preuve limitée pour le risque cardio-vasculaire qui reste plausible (**Annexe 1 et Annexe 2**). Pour ce dernier, même si le niveau de preuve est limité, il serait intéressant de le prendre en compte du fait que plusieurs études internationales récentes montrent un lien statistique significatif entre bruit et maladies cardiovasculaires (CV) [7].

Ce mémoire sera donc centré sur la gêne, les effets sur le sommeil et sur le système CV, provoqués par le bruit des transports au domicile, à savoir le bruit aérien, ferroviaire et routier. Les différents types d'études épidémiologiques que nous avons identifiés sont

présentés en **Annexe 3**. Il est nécessaire de les passer en revue afin de pouvoir déterminer celles qui sont recevables et de les hiérarchiser en fonction du niveau de preuve qu'elles apportent.

2.2. La gêne

2.2.1. Définition

Le bruit a un caractère éminemment subjectif. On qualifie de bruits, des sons qui apparaissent comme indésirables ou qui provoquent une sensation désagréable. Les effets du bruit sont difficiles à saisir en raison de la diversité des situations: le bruit provient de sources très différentes (transports, machines, musiques...) et les effets sont plus ou moins marqués selon la prédisposition physiologique ou psychologique de la personne qui le subit. Ainsi, le contexte dans lequel nous évoluons, l'environnement social, culturel, voire le climat affectif, apportent une dimension toute personnelle sur la façon dont chacun perçoit et subit le bruit [8].

Il n'y a pas de définition officielle de la gêne due au bruit. On notera cependant celle de l'OMS : «La gêne peut se définir comme une sensation de désagrément, de déplaisir provoquée par un facteur de l'environnement (le bruit) dont l'individu (ou le groupe) connaît ou imagine le pouvoir d'affecter sa santé» [9].

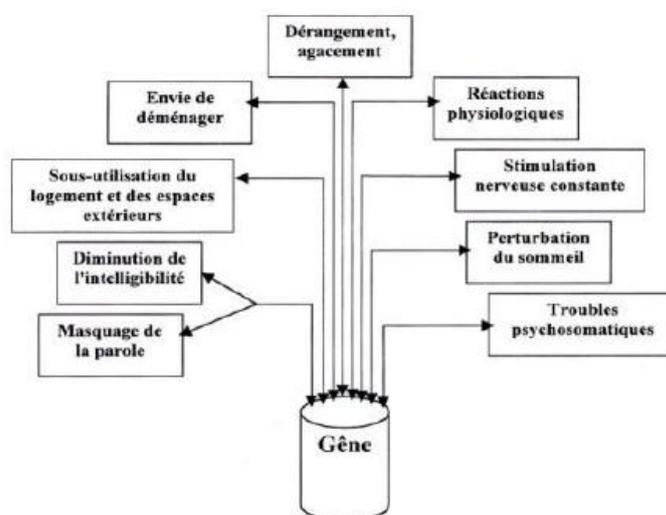
2.2.2. L'évaluation et les conséquences de la gêne liée au bruit

Fields a recensé 521 enquêtes sociales et socio-acoustiques sur la période 1943-2000 [10]. L'approche psycho acoustique est l'approche traditionnelle. Elle se base sur l'analyse des caractéristiques physiques du son et de la gêne exprimée. La gêne y est mesurée principalement à partir d'échelles. Cependant, l'utilisation de différents types d'échelle ainsi que des formulations variées ont rendu difficile la comparaison des résultats d'enquête, surtout sur le plan international. Pour ces raisons, le Team 6 (Community response to noise) de l'ICBEN (International Commission of the Biological Effects of Noise) a produit en 2000 des recommandations concernant la conception des enquêtes sur la gêne due au bruit et plus particulièrement sur le choix des échelles de gêne ainsi que sur la formulation et la structure des questions à poser aux personnes enquêtées. Ces travaux ont fait l'objet en 2003 d'une norme ISO « Evaluation de la gêne causée par le bruit au moyen d'enquêtes sociales et d'enquêtes socio-acoustiques » [11].

Il faut noter que pour un niveau de bruit donné de Lden, le bruit ferroviaire est perçu comme moins gênant que le bruit routier qui lui-même est moins gênant que le bruit aérien [12]. Malgré des corrélations relativement faibles mais significatives, entre les niveaux d'exposition au bruit et la gêne, on dispose actuellement de courbes dose-réponse assez fiables pour la population exposée au bruit routier, ferroviaire et aérien, qui seront détaillées plus loin.

Les effets de la gêne sur l'être humain sont multiples. On distingue des effets sur le comportement et les effets en lien avec l'apparition d'une pathologie, comme le montre la Figure 1.

Figure 1 : Principaux effets de la gêne due au bruit [13]



2.2.3. Les facteurs de confusion liés à la gêne

L'ensemble des études montre que la gêne est un phénomène très complexe et qu'elle n'est déterminée que partiellement par le niveau de bruit. Les facteurs non acoustiques jouent un rôle important dans la relation bruit/gêne et le bruit n'expliquerait ainsi que 30 à 40 % de la gêne exprimée [1]. Ces facteurs peuvent être regroupés en 4 catégories : les facteurs individuels, les facteurs de contexte, les facteurs culturels et sociaux et les facteurs environnementaux :

➤ Facteurs individuels

Les facteurs individuels sont nombreux. Il y a les facteurs sociodémographiques : sexe, âge, niveau de formation, statut d'occupation du logement, dépendance professionnelle vis-à-vis de la source de bruit, usage de la source... et les facteurs d'attitude : sensibilité

au bruit, satisfaction résidentielle/territoriale, peur de la source, capacité à surmonter, à faire face au bruit, confiance dans l'action des pouvoirs publics...

- **Sensibilité au bruit**

La sensibilité au bruit est un important facteur de modulation de la gêne. La plupart des études utilisent une question pour évaluer la sensibilité telle que « En général, comment évaluer vous votre sensibilité au bruit ? (aucune, un peu, modéré, fortement, extrêmement) ». Récemment, une échelle allemande « NoiseQ » (Noise Sensitivity Questionnaire) a été publiée [14]. Elle a pour objectif de mesurer la sensibilité globale au bruit ainsi que dans différents domaines de la vie quotidienne (loisirs, travail...). Cette échelle a également été traduite en 7 langues et testée sur 18 personnes dans chaque pays concerné, dont la France. Son utilisation n'est cependant pas encore validée car quelques problèmes subsistent, tels que des questions à reformuler [15].

- **Perception du risque**

Il est communément admis dans la littérature que les populations riveraines des aéroports sont généralement plus préoccupées par d'éventuels accidents, crash d'avions ou incendies. Peu d'études se sont intéressées à la perception du risque autour des plates formes aéroportuaires. Cependant, des échelles ont été développées afin d'évaluer cette perception du risque [16].

- **Confiance dans les pouvoirs publics**

Le déficit d'information nourrit la gêne. Pour ce qui est du bruit aérien, si les résidents sont persuadés que le trafic aérien n'augmentera pas indéfiniment et que les autorités aéroportuaires feront tout leur possible pour éviter le bruit excessif, alors la gêne diminuera [16].

- **Facteurs de contexte**

De manière générale, le fait de détenir un contrôle sur le bruit ou au contraire d'être totalement démunie influe sur le vécu plus ou moins négatif de celui-ci. Ainsi un bruit choisi sera moins gênant qu'un bruit subi. De la même façon, les bruits imprévisibles, inattendus, perturbent plus que ceux qui sont répétitifs, réguliers [1].

- **Facteurs culturels et sociaux**

Les facteurs culturels sont importants dans la manière dont l'homme appréhende son environnement, les informations sensorielles qui lui parviennent et en particulier les informations sonores. Il existe ainsi des différences notables selon les cultures, liées au mode de vie, lui-même dépendant de facteurs tels que le climat et l'urbanisme du pays.

Bien que ces différences culturelles aient tendance parfois à s'atténuer, elles peuvent expliquer des sensibilités différentes aux nuisances sonores et à la tolérance vis-à-vis des comportements et des activités bruyants.

➤ **Facteurs environnementaux**

Certains auteurs se sont intéressés à l'effet des conditions météorologiques sur la gêne ressentie par ces populations [61]. Elle est en effet plus importante en été qu'en hiver car les comportements sont différents selon ces deux saisons et notamment par rapport à l'ouverture des fenêtres et l'utilisation d'espaces extérieurs. Les paramètres de climat, de saison, de localisation, tel que la température, l'ensoleillement, les précipitations et le vent impactent vraisemblablement l'appréciation de la gêne due aux nuisances sonores.

D'autre part, dans une étude réalisée au Brésil, les chercheurs ont été surpris de constater que malgré une baisse significative des niveaux de bruit sur une dizaine d'années dans une ville, la perception de la gêne due au bruit parmi les populations exposées a augmenté, principalement à cause des bruits de voisinage [17]. En effet, une diminution du bruit de fond que pouvait constituer le bruit routier rend certainement plus sensible les personnes aux autres bruits parmi lesquels les bruits de voisinage. Une autre étude montre que les personnes sont souvent plus gênées par les bruits intérieurs de basse fréquence tels que la ventilation ou la climatisation que par les bruits des transports provenant de l'extérieur [18].

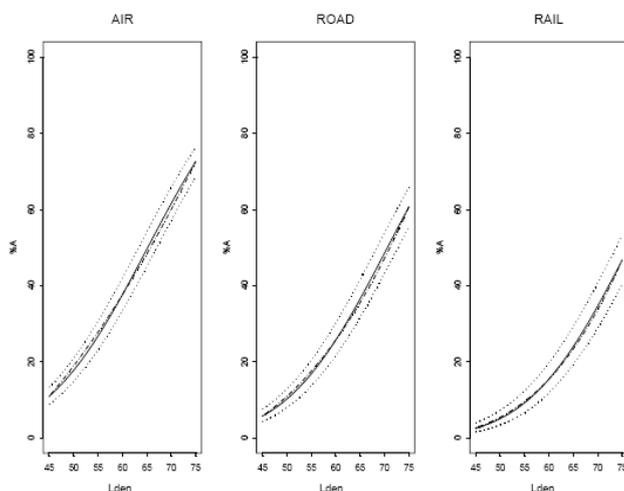
2.2.4. Les relations dose-réponse

Le Working Group 2 'Dose/Effect' a été créé en 1998 par la Commission Européenne dans le but d'aider celle-ci dans le développement de relations dose-effet dans le cadre de la directive de 2002 sur l'évaluation et le management du bruit environnemental. Il s'est basé sur les travaux de Miedema H. du TNO (Pays-bas) pour recommander des descripteurs de l'exposition au bruit et de gêne ainsi que des relations dose-effet [19].

Ces relations dose-effet ont été construites à partir d'une large palette d'études de terrain conduites en Europe, Amérique du Nord et Australie entre 1965 et 1998. Elles sont exprimées en pourcentages de personnes gênées et extrêmement gênées pour le bruit des trois types de transports : bruit routier, ferroviaire et aérien (Figure 2). Les niveaux de bruit ont été mesurés en Lden. Les questions de gêne utilisées dans les différentes études n'utilisent pas le même nombre de catégories de réponse. Dans le but d'obtenir des mesures comparables de gêne, toutes les catégories de réponse ont été traduites dans une échelle de 0 à 100. Les scores dépassant 72 sur 100

sont classés dans la catégorie 'extrêmement gêné' (EG) et les scores compris entre 50 et 72 sont considérés comme 'gênés' (G). Les formules sont décrites en **Annexe 4**.

Figure 2 : Relation dose réponse du pourcentage de personnes gênées en fonction du niveau de bruit aérien, routier et ferroviaire en Lden, avec les intervalles de confiance à 95 %



Le % de personnes gênées est plus facilement compréhensible par le public que la gêne moyenne utilisant des index de gêne. Cependant, l'avantage du % de personnes extrêmement gênées par rapport au % de personnes gênées est que ce dernier traite de l'évaluation de très bas niveau de bruit (jusqu'à 37 dBA) alors que le % de personnes extrêmement gênées ne requiert pas d'information sur des niveaux < 42 dBA. Le groupe retient néanmoins, comme indicateur de gêne, le % de personnes gênées.

2.3. Les effets sur le sommeil

2.3.1. Le sommeil et ses troubles

Le sommeil permet à l'organisme de se restaurer, de se réguler et impacte ainsi directement la qualité de vie somatique, psychique et sociale. L'exploration du sommeil et de ses troubles s'est progressivement développée durant les trente dernières années. Les troubles du sommeil par le bruit des transports sont des effets exprimés avec insistance par les riverains des grands axes routiers, des aéroports et d'autres lieux bruyants [20].

Les troubles du sommeil font l'objet d'une classification internationale (International Classification of Sleep Disease-ICSD) établie par l'American Academy of Sleep Medicine (**Annexe 5**) et sont classés selon leur forme, leur durée ou leurs causes. Les effets du bruit sur le sommeil font partie des effets biologiques extra auditifs du bruit. Les

perturbations du sommeil sont souvent présentées comme une des atteintes majeures en lien avec le bruit. Ils ont été décrits dans un travail de revue de l'AFSSET [1]. On distingue les éveils nocturnes, les changements dans la structure du sommeil dont les différents stades du sommeil sont détaillés en **Annexe 6**, la durée du sommeil, les réponses du système autonome tels que les changements du rythme cardiaque. Les impacts sur le long terme des effets cités plus haut ne sont pas encore établis clairement [20]. Les effets à court terme de la perturbation du sommeil surviennent dès le lendemain : somnolence au travail, au volant, sensation de fatigue, difficultés de concentration, perturbation de l'humeur avec tendance à l'irritabilité à la frustration [1].

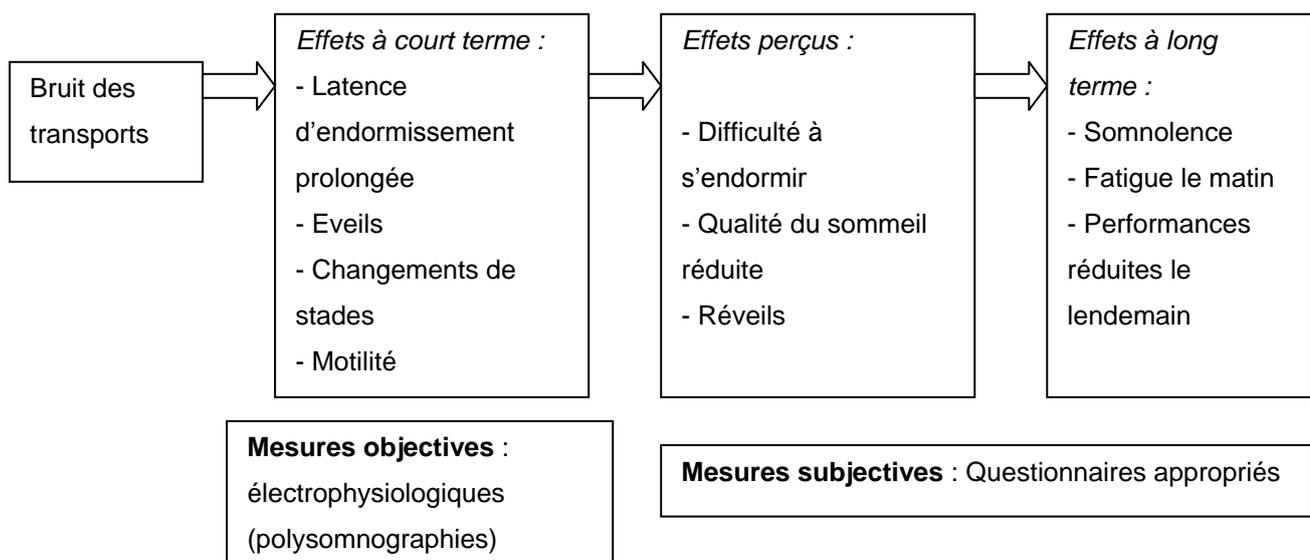
L'insomnie est une plainte subjective qui désigne à la fois une durée insuffisante du sommeil et un sommeil non réparateur. Elle se caractérise selon les cas par des difficultés d'endormissement, des éveils au cours de la nuit, un réveil matinal précoce ou encore une impression d'absence totale de sommeil.

2.3.2. L'évaluation de la qualité du sommeil

La qualité du sommeil peut être appréciée par des mesures directes, soit objectives (polysomnographies), soit subjectives (questionnaires) pour les paramètres détaillés dans la

Figure 3 :

Figure 3 : Modèle conceptuel pour les effets du bruit des transports sur le sommeil [46]



La méthode objective traite le plus souvent des perturbations instantanées ou de court terme du sommeil et utilise généralement comme indice acoustique le LAmax, alors que

la méthode subjective traite des perturbations ressenties à long terme et utilise alors des indices d'exposition comme le LAeq nuit (22h-6h).

A l'inverse de la gêne, il n'existe pas de questionnaire standardisé pour évaluer la perturbation du sommeil liée au bruit. Dans le cadre de l'étude SURVOL, il a été recensé une vingtaine d'échelles et 4 ont été retenues par l'équipe, susceptibles d'être utilisées dans le système de surveillance [21].

La qualité du sommeil peut également être évaluée par des mesures indirectes i.e. l'appréciation de l'impact sur le sommeil par la consommation de médicaments.

Les études qui ont évalué le lien entre bruit et effets sur le sommeil sont nombreuses. Les plus récentes sont résumées en **Annexe 7**.

2.3.3. Les principaux facteurs de confusion

➤ Le sexe

De manière générale, l'ensemble des études soulignent des troubles du sommeil plus fréquent chez les femmes que chez les hommes, lorsque ceux-ci sont renseignés par questionnaire ; cette différence ne se retrouve pas dans les effets physiologiques imputables au bruit [1].

➤ Les différences interindividuelles et la sensibilité au bruit

Les personnes âgées se plaignent davantage des bruits nocturnes ; il est admis que les personnes âgées ont une structure de sommeil différente (moins de sommeil profond) ce qui explique qu'elles se réveillent plus facilement/fréquemment au cours de la nuit et qu'elles attribuent au bruit la cause de leur éveil [1].

En utilisant les stimulations sonores on constate l'existence d'une nette hypo-réactivité électroencéphalographique de l'enfant et les seuils d'éveil sont chez lui de 10 dB(A) plus élevés en moyenne que chez les adultes. 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 électroencéphalographique et au niveau subjectif contraste toutefois avec une réactivité cardio-vasculaire qui est identique à celle que l'on peut observer chez l'adulte. Dans l'étude européenne récente appelée RANCH, il est suggéré que la perturbation du sommeil de l'enfant se réalise pour des niveaux d'exposition au bruit supérieurs à ceux qui perturbent le sommeil chez l'adulte. Toutefois, rien ne permet de dire à l'heure actuelle quel est l'effet à long terme sur la

santé de l'enfant exposé aux bruits nocturnes, car dans ce domaine, beaucoup reste à faire [1].

Une étude récente montre que la sensibilité au bruit joue un rôle important dans l'évaluation subjective du sommeil. Les difficultés pour s'endormir, les réveils ainsi que la qualité du sommeil sont plus marqués pour des personnes sensibles au bruit [22]. L'AFSSET conclut néanmoins qu'il n'y a pas, suite à une évaluation subjective du sommeil, de différence entre les personnes qui s'estiment « très sensibles » et les personnes s'estimant « moins sensibles ».

➤ **L'habitation au bruit**

Un certain degré d'habitation aux conditions sonores nocturnes existe. En effet, certaines études montrent que les plaintes subjectives de mauvaise qualité de sommeil disparaissent progressivement après plusieurs jours ou semaines d'exposition au bruit. Cependant, l'habitation 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 sonores. Cette non habitation 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 [1].

➤ **La perception du risque**

Tout comme pour la gêne, la peur de vivre à proximité d'un aéroport et sous les trajectoires des avions peut être une des raisons de se plaindre du bruit des aéroports. Ceci contribue à la difficulté d'établir une relation entre les plaintes pour troubles du sommeil et les expositions mesurées au bruit [21].

➤ **Les autres pathologies**

Certaines pathologies, telles que l'apnée du sommeil, le syndrome des jambes sans repos ou encore l'asthme, peuvent être à l'origine de troubles du sommeil qu'il convient de distinguer des troubles dus au bruit.

2.3.4. Les relations dose-réponse

Un groupe de travail de la Commission Européenne a récemment mis à jour les relations dose-réponse concernant le bruit nocturne pour le trafic routier, ferroviaire et aérien [23]. Le document publié est basé sur une étude faite aux Pays-Bas [24] qui analyse les relations dose-réponse existantes pour le bruit nocturne. La Commission Européenne

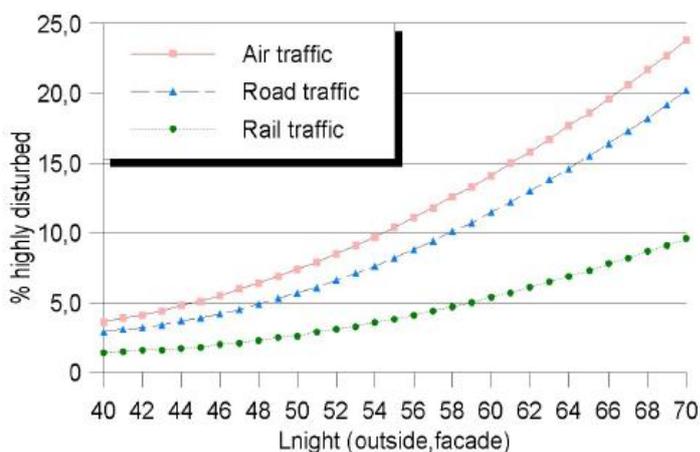
rappelle que l'élaboration de relation dose-réponse pour le bruit n'est pas une tâche facile. Cela requiert des ressources techniques et un savoir faire considérables. Les relations dose-réponse proposées sont d'ordre général au niveau de l'Union Européenne et d'autres acteurs peuvent utiliser leurs propres versions locales si des preuves suffisantes sont disponibles.

Les effets pour lesquels il existe une relation dose-réponse sont les suivants :

- La motilité instantanée
- Les réveils
- Les perturbations du sommeil auto-rapportées
- L'augmentation chronique de la motilité
- Le risque augmenté d'hypertension

Seule sera détaillée la relation entre bruit et perturbation du sommeil auto-rapportée, pour laquelle existe des relations dose-réponse pour les 3 types de transports. Les courbes ont été construites à partir de plus de 12 000 observations individuelles provenant de 12 études de terrain. Elles sont basées sur des données exprimées en L_{night} extérieur pour la façade la plus exposée. Les fonctions polynomiales sont des approximations des courbes dans une tranche de bruit de 45-65 dBA et extrapolées aux petites expositions (40-45 dBA). Les courbes dose-réponse de la perturbation du sommeil sont représenté sur la Figure 4. Les formules sont décrites en **Annexe 8**.

Figure 4 : Relations dose-réponse de la perturbation du sommeil en fonction du L_{night}



2.4. Les maladies cardiovasculaires

2.4.1. Les pathologies associées

Les pathologies associées au système CV qui sont susceptibles d'être en lien avec l'exposition au bruit sont listées ci-dessous. Les maladies CV étant complexes et pouvant

regrouper de nombreux troubles, il est nécessaire de bien définir les termes afin de pouvoir faire des comparaisons entre les différentes études.

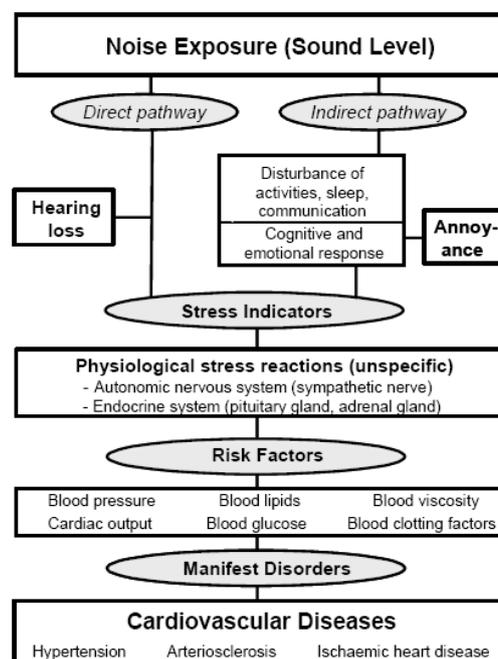
- L'hypertension artérielle (HTA) : Elévation permanente des chiffres de la pression artérielle (dite tension artérielle ou TA) au dessus de 16/9,5.
- Les cardiopathies ischémiques ou coronariennes : Groupe de pathologies cardiaques engendrées par un déséquilibre entre les besoins du cœur en oxygène et l'apport issu de la circulation sanguine coronarienne. Elles regroupent principalement l'angine de la poitrine et l'infarctus du myocarde.

Ces maladies sont regroupées dans la Classification Internationale des Maladies (CIM8 – 8^{ème} révision de 1968 à 1978, CIM9 – 9^{ème} révision de 1979 à 1999 et CM10 depuis 2000) publiée par l'OMS pour l'enregistrement des causes de morbidité et mortalité touchant les êtres humains à travers le monde. Plus précisément, le code I00-I99 réfère aux maladies de l'appareil circulatoire dont les maladies hypertensives et les cardiopathies ischémiques (**Annexe 9**).

Si l'effet de l'exposition au bruit urbains sur le système CV est fortement plausible, on ne sait pas si cette relation est une relation directe - l'exposition durable au bruit influençant la pression artérielle –, ou une relation indirecte, par le biais du stress généré par le bruit, lequel se traduit par une augmentation de la sécrétion d'hormones [1]. La

Figure 5 présente un model conceptuel qui a été élaboré par Babisch [25] :

Figure 5: Model conceptuel des effets du bruit sur le système CV



2.4.2. Les principaux facteurs de confusion

La Professeur Pierre Ducimetière, chercheur de l'INSERM, indique que les facteurs de risque, ou les facteurs de sensibilité, pour les cardiopathies ischémiques sont : l'âge, le sexe (les hommes sont plus touchés), le cholestérol, le tabagisme, l'hypertension artérielle (également source de maladie elle-même) et le diabète. Un autre facteur de confusion est la pollution de l'air qui peut elle aussi entraîner des troubles CV.

2.4.3. Etudes chez les adultes

La plupart des études chez les adultes se sont intéressées au bruit aérien et routier. Très peu ont étudié le lien entre le bruit ferroviaire et maladie CV. Les études sur le bruit des transports et le risque d'hypertension artérielle sont encore rares et sont contradictoires [26]. Il existe deux grandes méta-analyses réalisées sur les maladies CV : La première de Van Kempeen et al. en 2002 [27] et la seconde de Babisch en 2006 [25]. Van Kempeen conclut que le bruit aérien est positivement associé à la consultation de médecins, l'utilisation de médicaments contre les troubles CV et l'angine de la poitrine. Quant à Babisch, il propose une relation dose-réponse entre le bruit routier diurne et les infarctus du myocarde et calcule le nombre de cas attribuable au bruit routier diurne d'infarctus du myocarde pour l'Allemagne. Les détails de ces études sont présentés en **Annexe 10**.

Après 2006, quelques études européennes ont évaluées l'association entre l'exposition au bruit des transports et les maladies CV, essentiellement entre le bruit aérien et routier et l'infarctus du myocarde et l'hypertension. Les résultats montrent des liens faibles mais statistiquement significatifs. Ils sont pourtant parfois contradictoires, notamment pour l'hypertension et pour le risque chez les femmes et les hommes. Ces études sont détaillés en **Annexe 11**.

Si les preuves d'une augmentation du risque d'IM liée au bruit diurne sont suffisantes au regard des études récentes, le lien avec le bruit nocturne est considéré comme limité [6]. En effet, le Lnight est un indicateur relativement nouveau et peu d'études se sont intéressées au lien entre bruit nocturne et pathologies CV. Cependant, des études supportent l'hypothèse que l'exposition au bruit nocturne pourrait être plus fortement associée aux effets CV que l'exposition au bruit diurne, soulignant ainsi la nécessité d'études épidémiologiques complémentaires sur le sujet.

2.4.4. Etudes chez les enfants

Très peu d'études se sont intéressées aux effets du bruit sur le système CV chez l'enfant et les résultats sont souvent contradictoires. Belojevic G. a étudié l'association entre bruit du trafic routier et pression sanguine à travers une étude transversale chez 391 enfants âgés de 7 à 11 ans qui ont été recrutés dans 6 écoles primaires de Belgrade [28]. Les niveaux de bruit à l'école (L_{day}) et à la maison (L_{night}) ont été mesurés afin d'évaluer l'effet combiné de l'exposition à l'école et à la maison. Les parents ont rempli un questionnaire comprenant des informations générales sociodémographiques ainsi que sur les antécédents familiaux de maladies CV et la pression sanguine des enfants a été mesurée. Belojevic constate que les enfants allant dans des écoles bruyantes ($L_{day} > 65\text{dB}$) et vivant dans des zones calmes ($L_{night} < 45\text{dB}$) ou dans des zones bruyantes avaient une pression sanguine significativement plus élevée que les enfants des écoles calmes résidant également en zone calme.

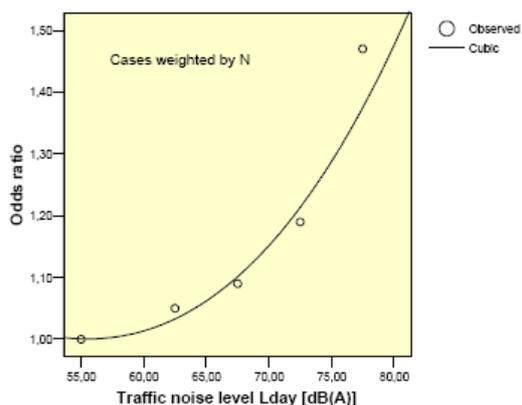
➤ Conclusion des études internationales et recommandations futures

Davies H. a résumé les publications qui ont étudié le lien entre le bruit environnemental et les maladies CV entre 2003 et 2007. Ces études montrent une tendance à la sophistication des protocoles et des méthodes d'analyse ainsi qu'une augmentation du nombre des recherches sur les relations dose-réponse et sur les effets combinés de la pollution de l'air et de bruit [29]. Alors que ces études ont largement défendu l'hypothèse que le bruit et les facteurs de médiation comme la sensibilité au bruit sont associés de façon causale aux maladies CV, il reste plusieurs questions qu'il convient d'étudier plus en détail. La première est l'effet combiné de la pollution de l'air et du bruit sur les maladies CV. Plusieurs études ont commencé à examiner ce point. On peut citer l'étude HYENA [66] qui évalue les relations entre bruit routier ou aérien et hypertension et dont les premiers résultats sont parus récemment. C'est la première large étude multi-centre à investiguer les effets modificateurs de la pollution de l'air sur les effets du bruit aérien et routier autour de 6 aéroports européens majeurs. Les autres problématiques qui subsistent sont les effets du bruit pour les populations sensibles, les résultats incohérents des études du bruit sur l'hypertension parmi les enfants et les effets de genres - différences entre les hommes et les femmes - (voir tableau ci-dessus). Il n'existe par ailleurs aucune donnée sur les relations entre bruit et troubles CV qui intègrent l'exposition diurne et l'exposition nocturne [20].

2.4.5. Les relations dose-réponse

La plupart des études épidémiologiques aboutissent à des propositions de relations dose-réponse entre niveau de bruit et Risque Relatif (RR) ou Odds Ratio (OR)². La méta-analyse de Babisch propose une relation dose-réponse pour l'augmentation du risque d'infarctus du myocarde lié au bruit routier diurne [25]. La courbe ainsi que la formule sont présentées en Figure 6 :

Figure 6 : Courbe de l'association entre le bruit routier diurne et l'incidence de l'IM



$$OR = 1.629657 - 0.000613 \times L_{day}^2 + 0.000007356734623455 \times L_{day}$$

2.5. Un mode d'évaluation commun : La consommation de médicaments

L'évaluation de la consommation de médicaments en relation avec le niveau d'exposition au bruit est depuis longtemps considérée comme une méthode intéressante pour démontrer les effets du bruit de façon quantifiable et aussi parce que les résultats peuvent se prêter à une analyse économique financière [30]. Depuis une vingtaine d'années, plusieurs études françaises et internationales se sont penchées sur le lien entre exposition au bruit et consommation de médicaments. Une grande enquête transversale, par questionnaire, réalisée autour de l'aéroport d'Amsterdam a évalué le lien entre des indicateurs de santé comme l'utilisation de médicaments contre les troubles du sommeil, médicaments contre les troubles CV et étudier leur relation avec l'exposition au bruit aérien [31]. 11 812 personnes ont répondu. Le questionnaire comprenait des questions sur la gêne, la perturbation du sommeil, l'état général de santé, les plaintes respiratoires, l'utilisation de médicaments et la satisfaction résidentielle. L'association entre exposition et indicateurs de santé a été évalué à l'aide d'un modèle de régression logistique contrôlant les facteurs tels que l'âge, le sexe, le niveau d'éducation, le pays d'origine, le

² Le RR mesure le risque de survenue d'une maladie et n'est calculable que pour des études de cohorte. L'OR est une estimation du RR et peut se calculer à la fois dans les enquêtes de cohorte et les enquêtes cas-témoins.

comportement fumeur et le degré d'urbanisation. Les résultats suggèrent des associations entre l'exposition au bruit aérien et les indicateurs sanitaires de l'état général de santé, l'utilisation de médicaments contre les troubles du sommeil et CV. Les associations étaient faibles mais statistiquement significatives pour tous les indicateurs, excepté pour l'utilisation de médicaments prescrits contre les troubles du sommeil. Une petite fraction de la prévalence de la médication contre les troubles CV ou l'hypertension (0.08) et médication contre les troubles du sommeil (0.22) peuvent être attribuées au bruit aérien.

En France, on peut citer une ancienne étude de Vallet et al. sur la consommation de médicaments destinés aux troubles CV et de somnifères autour des aéroports et des grandes routes [30]. Ils ont choisi deux méthodes : L'interrogation directe des personnes sur leur consommation de médicaments et l'évaluation indirecte à partir des bordereaux de prescription de la sécurité sociale. Les résultats montrent que les personnes exposées au bruit estiment leur état de santé moins bon et consomment plus de médicaments de toute nature. Les auteurs soulignent que cette méthode présente un inconvénient qui réside dans l'impossibilité de connaître avec exactitude les médicaments consommés. L'image donnée de cette consommation est, chez certaines personnes, différente de la réalité, soit consciemment soit inconsciemment. L'enquête sur les prescriptions relevées par les caisses de sécurité sociale, qui ne concerne pas l'automédication, a été menée sur 235 personnes. Les résultats montrent une nette tendance, mais statistiquement non significative, chez les personnes exposés à un bruit > 68 dB (LAeq jour), à surconsommer des médicaments pour les maladies du système nerveux et une légère surconsommation des médicaments pour les troubles CV, alors que les autres types de médicaments (maladies infectieuses par exemple), ne sont pas consommés davantage.

Une étude plus récente sur l'influence du bruit sur la santé des riverains des aéroports s'est intéressée à la comparaison de la consommation médicamenteuse et des consultations médicales entre les zones riveraines des aéroports de Roissy, Orly et des zones témoins [32]. Pour ce faire, l'équipe a obtenu un accord avec la CNAMTS et le travail s'est porté sur l'année 1998. Les résultats montrent une consommation significativement plus élevée dans les zones riveraines des aéroports pour le nombre moyen de consultations de généralistes, le nombre de sujets ayant reçu des prescriptions d'antalgiques et d'anti-inflammatoires, le nombre moyen, par sujet, de prescriptions médicamenteuses et le nombre total, par sujet, de médicaments prescrits en cardiologie. Cependant, les auteurs précisent que l'étude ne porte que sur l'année 1998 qui, pour Roissy, représente une année de travaux importants ayant entraînée pour certaines zones survolées une nuisance accrue.

2.6. Les études prenant en compte la multi exposition

Dans la littérature scientifique internationale, la multiexposition au bruit est abordée avec un vocabulaire assez large. On parle de sources combinées, mixtes, simultanées voire même de bruit multi-sources. La multiexposition se réfère à l'ensemble des expositions aux bruits, simultanées ou non, instantanées ou cumulatives correspondant ou résultant de l'exposition à des sources différentes de bruit [33]. Il existe quelques études internationales, prenant en compte pour la plupart deux ou trois sources de bruit différents et traitant majoritairement de la gêne liée au bruit des transports. Elles sont plutôt rares en France et on ne connaît donc pas précisément le nombre de Français exposés simultanément à plusieurs sources de bruit, en particulier à leur domicile [1]. Il est important aussi de se préoccuper du cumul des effets dû à l'exposition à plusieurs sources (transports, bruit de voisinage, bruit intérieur...) qui représente un enjeu de santé publique : gêne le jour, interférences avec la communication en soirée et perturbations du sommeil la nuit, par exemple. Une combinaison d'effets pourrait être associée à une exposition à des bruits combinés, dont on ignore actuellement toutes les conséquences à long terme sur la santé. La caractérisation de la gêne en situation de multiexposition est très complexe car il est difficile d'évaluer la contribution de chacune des sources au niveau de l'exposition en particulier du fait des phénomènes de masquage d'une source par une autre.

En France, on peut citer une étude de 2007 sur les effets sur la santé de la multi exposition à plusieurs sources (route, rail, air) dans le cadre de l'élaboration des cartes de bruit demandées par la Directive de 2002 et menée par la société ACOUPLUS, piloté et financée par la mission bruit du Ministère de l'Ecologie, du Développement et de l'Aménagement Durables [34]. Les résultats de cette étude montrent que la gêne globale semble être caractérisée par le modèle de la source dominante, en l'occurrence le bruit aérien. Cependant, les auteurs ne concluent pas quant aux effets sur la santé de la multexposition, compte tenu du trop faible échantillon et de la disparité des réponses. Ils recommandent de poursuivre l'étude sur une population plus conséquente pour fournir des réponses solides aux affirmations sur la source dominante et l'indice représentatif Lden.

Le programme d'études actuellement mené pour la commune de Champlan s'intéresse à la multi exposition. En effet, Champlan, communément appelé par les médias « commune la plus polluée d'Ile-de-France », est un village de 2500 habitants situés dans l'axe des pistes d'Orly, entouré par plusieurs axes routiers et autoroutiers à fort trafic, une ligne ferroviaire régionale, traversé également par plusieurs lignes électriques à très haute

tension, et à proximité d'un incinérateur [35]. La relation entre l'exposition au bruit et les effets sur la santé des Champlanais n'a pas été abordée dans cette étude. L'auteur souligne qu'il serait intéressant d'étudier la gêne des Champlanais en situation de multiexposition, bien que la taille de l'échantillon reste un frein à la généralisation des résultats.

Au regard des travaux sur le sujet, il ne semble pas encore y avoir de consensus sur un modèle permettant d'évaluer la gêne totale due à la combinaison de plusieurs sources de bruit [8]. Selon certains auteurs, les modèles proposés ne s'appuient pas ou de façon insuffisante sur la connaissance des processus psychologique participant à la formation de la gêne, mais sont plutôt des constructions mathématiques de la gêne totale. De plus, ils ne tiennent pas en compte les combinaisons temporelles telles que le nombre d'événements sonores. L'auteur recommande que des travaux de recherche soit menés, que ce soit dans le cadre d'enquêtes socioacoustiques in situ ou dans le cadre de recherches nouvelles en laboratoire, en particulier en recourant à la restitution sonore virtuelle, qui reste en effet toujours utile pour la compréhension et l'évaluation des situations sonores complexes.

3. Elaboration d'indicateurs sanitaires du bruit

3.1. Notion d'indicateur

3.1.2. Définition et objectif d'un indicateur sanitaire

Un indicateur est une variable ayant pour rôle de mesurer ou d'apprécier l'état ou l'évolution d'un système ou d'un phénomène généralement complexe et qui ne peut être facilement ou complètement décrit. Un ou plusieurs indicateurs permettent donc d'obtenir une simplification dans la description et l'évaluation d'une situation ou d'un phénomène.

Les indicateurs sont également des outils de communication qui servent à simplifier l'information souvent sous forme quantifiée pour la rendre plus lisible et signifiante auprès de l'auditoire cible.

Ils peuvent être utilisés avec un objectif précis :

- de suivi d'un phénomène ou d'une action,
- d'évaluation d'un programme,
- de prévision,
- d'aide à la décision.

Les indicateurs sanitaires développés ici pourront servir dans :

- les volets sanitaires d'études d'impact ; la méthodologie retenue à ce jour ne prend pas en compte les aspects sanitaires et se contente, la plupart du temps, de se conformer aux exigences acoustiques réglementaires exprimées en énergie acoustique équivalente (LAeq) [1]
- les études notamment études épidémiologiques
- une surveillance sanitaire, point qui sera développé dans le chapitre 4 où il sera question de la pertinence d'une surveillance sanitaire du bruit en France.

3.1.3. Critères de choix d'un indicateur

Pour être opérants, les indicateurs doivent satisfaire à un certains nombre de critères. On peut distinguer [36]:

- **La faisabilité 'technique'**

- non biaisé et représentatif
- crédible scientifiquement, fiable : Un indicateur est fiable si la répétition de mesures au moyen de cet indice produit systématiquement les mêmes résultats.
- valide : Un indicateur qu'il est valide lorsqu'il mesure effectivement le phénomène qu'il est censé mesurer. En d'autres termes, la validité d'un indicateur renvoie à la conformité entre un phénomène ou un élément observé, et ce qui le représente.
- sensible : Par sensibilité de l'indicateur, on entend la propriété de ce dernier à détecter ou signifier les variations d'un phénomène, aussi faibles soient-elles. Si le phénomène auquel il est associé évolue dans le temps ou dans l'espace, l'indicateur doit être susceptible de signaler ces changements, même s'ils sont infimes.
- fondé sur des données de qualité
- reproductible et comparable dans le temps et dans l'espace

- **La faisabilité 'politique'**

- utiles aux besoins des politiques et du management
- fondés sur des données faciles à obtenir et à un coût raisonnable
- facilement compréhensible et appliqué par les utilisateurs potentiels

3.1.4. Limites d'un indicateur

Une limite à l'utilisation des indicateurs peut être la perte d'information et l'altération des résultats dues à la formulation d'un indicateur. D'autre part, bien que les indicateurs soient une simplification de la réalité, il faut s'assurer que leur interprétation ne soit pas une

simplification excessive du phénomène étudié. En particulier dans le domaine du bruit, il faudra être prudent dans l'interprétation des indicateurs sanitaires et tenir compte des nombreux facteurs de confusion qui viennent interférer dans la relation bruit effets sanitaires, tels que la satisfaction résidentielle pour la gêne par exemple. En effet, comme expliqué plus haut, le bruit n'explique que 30 à 40 % de la gêne exprimée et il existe bon nombre de facteurs non acoustiques qui entrent en jeu.

3.2. Les indicateurs sanitaires du bruit

3.2.1. Les indicateurs utilisés dans les études

Il n'existe pas actuellement d'indicateurs sanitaires du bruit validés par la communauté scientifique. Cependant, les études épidémiologiques, qui pour but d'évaluer la relation entre bruit et effet sanitaire, utilisent des indicateurs d'exposition et des indicateurs sanitaires. Certains organismes français et européens en ont également proposés. L'AFSSET, dans son rapport de 2004, propose de mettre en place un dispositif de surveillance des impacts sanitaires du bruit qui permettrait le suivi de «marqueurs» ciblés, directs ou indirects, assez aisément disponibles, et choisis pour leur sensibilité. Dans le cadre du projet ECOEHIS (« Development of Environment and Health Indicators for the EU countries ») menée par le Bureau Régional de l'Europe de l'OMS et financé par la Commission Européenne, des indicateurs bruit-santé sont en cours d'élaboration [37]. Un protocole pour tester la faisabilité et la validité de ces indicateurs a été établi. Certains pays européens les ont déjà testés (Allemagne, Italie, Pologne, Portugal, les Pays Bas, la Suisse et le Royaume Uni). Les fiches méthodologiques de ces deux indicateurs se trouvent en **Annexe 12 et Annexe 13**. Un bilan des indicateurs sanitaires est détaillé dans le Tableau 1 :

Tableau 1 : Indicateurs sanitaires utilisés ou proposés

| Effets sanitaires | Indicateurs sanitaires u | Sources de données | Origines (Etudes, organismes) |
|-------------------------|--|---|---|
| Gêne | Pourcentage de personnes se déclarant gênés par le bruit | Questionnaires (standardisés ICBEN depuis 2002) – Enquêtes téléphoniques ou par voies postales répétées | [16] ; [26] ; [37] ; [38] ; [39] ; [17] ; [40] ; [41] |
| | Nombre de plaintes dues au bruit | ADP, ACNUSA, Mairies, services de l'Etat | [42] ; [43] [26] |
| Perturbation du sommeil | Pourcentage de personnes souffrant de perturbation du sommeil due au bruit | Questionnaires auto-déclaratifs Recueil objectif par enregistrements lors du sommeil | [21]; [22]; [24] ; [26] [44]; [45]; [46] ; [47] ; [48] [22]; [24]; [26] ; [37] ; [38], [49] ; [45]; [46] |
| | Consommation de médicaments contre les troubles du sommeil | Questionnaires auto-déclaratifs Données de l'assurance maladie | [1] ; [31] [41] ; [48] [21] ; [26] ; [37] ; [38], |
| Maladies CV | Pourcentage de personnes ayant des maladies CV | - Questionnaires auto-déclaratifs - Recueil objectif par enregistrements | [26] ; [37] ; [38]; [50] [26] ; [37] ; [38], |
| | Fraction attribuable au bruit des maladies CV | Données statistiques ; relation dose-réponse de la méta analyse Babisch | [7] ; [37] |
| | Consommation de médicaments contre les maladies CV | - Questionnaires auto-déclaratifs - Données de l'assurance maladie | [31], [68], [28] ; [41] [26] ; [37] ; [38] |

3.2.2. Autre indicateur possible

Outre les indicateurs cités dans les études, on pourrait définir un indicateur basé sur le nombre de consultations des centres du sommeil. Aucune étude ne semble s'être encore intéressée au lien entre la consultation de centres du sommeil et l'exposition chronique au bruit dans l'habitat.

Les centres du sommeil sont présents dans toutes les régions françaises et, regroupant des spécialistes dans plusieurs disciplines, permettent de réaliser des diagnostics précis pour les personnes souffrant de troubles du sommeil. Il existe actuellement en France entre 40 et 50 centres du sommeil agréés par la Société Française de Recherche et Médecine du Sommeil. Mais le nombre et les caractéristiques des centres spécialisés restent imprécis en dehors de ces structures. Le Programme d'Actions sur le Sommeil prévoit l'élaboration d'une cartographie des structures de prise en charge des troubles du sommeil et un recensement de l'ensemble des équipes traitant les troubles du sommeil [51]. L'objectif est d'avoir au moins un centre du sommeil par région. Les demandes de consultation les plus fréquentes sont l'insomnie et également les ronflements qui sont souvent associés à un syndrome d'apnée du sommeil et, de façon plus rare, la narcolepsie et l'hypersomnie rare. D'après le Professeur Damien Léger, médecin du centre du sommeil de Paris, les personnes consultant les centres du sommeil souffrent généralement de troubles chroniques d'insomnie et s'interrogent sur les causes. La perturbation du sommeil due au bruit n'apparaît pas comme une source de consultation dans les centres du sommeil puisque, dans le cas de troubles du sommeil dus au bruit, les personnes connaissent la cause. Dans ce cas, les personnes préfèrent consulter un médecin généraliste, plus facilement accessible, ou acheter directement des somnifères en pharmacie.

Pour ces raisons, le nombre de consultations de centres du sommeil semble donc limité et peu pertinent en tant qu'indicateur sanitaire de la perturbation du sommeil due au bruit.

3.3. Discussion sur les données nécessaires et leur accessibilité pour la France

Les études « bruit-santé » françaises sont plutôt rares en comparaison à nos voisins européens, notamment les pays nordiques dont les publications sont nombreuses. Elles sont présentées en **Annexe 14**.

3.3.1. La gêne

La gêne peut être évaluée de différentes manières : Par questionnaires standardisés, à travers les relations dose-réponse, le suivi de la consommation médicamenteuse ou par le registres des plaintes. Ces deux derniers aspects seront traités en 3.3.4. Chaque méthode a été discutée en fonction de l'accessibilité des données et de l'applicabilité.

➤ Questionnaires

Un groupe de travail de l'ICBEN (team 6) a formulé en 2000 recommandations concernant la conception des enquêtes sur la gêne due au bruit et plus particulièrement sur le choix des échelles de gêne ainsi que sur la formulation et la structure des questions à poser aux personnes enquêtées [1]. Le groupe recommande l'utilisation de deux questions (une échelle d'évaluation verbale en 5 points et une échelle d'évaluation numérique en 11 points) :

Question 1 (évaluation verbale) : *si vous pensez aux derniers (12 mois environ), quand vous êtes chez vous, le bruit de (la source) vous gêne-t-il ?*

- pas du tout / légèrement / moyennement / beaucoup / extrêmement

Question 2 (évaluation numérique, avec introduction) :

Introduction : Voici une échelle d'opinion graduée de 0 à 10. Vous devez noter sur cette échelle la façon dont le bruit de (la source) vous gêne, lorsque vous êtes ici, chez vous. Notez 0 si le bruit ne vous gêne pas du tout et notez 10 si le bruit vous gêne extrêmement. Si vous êtes entre ces deux situations, choisissez une note intermédiaire entre 0 et 10.

Vous pensez aux derniers (12 mois environ), quelle note comprise entre 0 et 10 exprime le mieux la façon dont le bruit de (la source) vous gêne ?

Cette méthode a été standardisée et fait l'objet d'une norme ISO /TS 15666 (Acoustique – Evaluation de la gêne causée par le bruit au moyen d'enquêtes sociales et socio-acoustiques, 2003 [11]). Le but de cette norme est de fournir des spécifications pour l'évaluation de la gêne due au bruit dans les enquêtes sociales et socio-acoustiques. La conformité à ces spécifications contribue à élargir les possibilités statistiquement pertinentes de comparer et d'exploiter en commun les résultats des enquêtes et mettant ainsi de meilleures informations à la disposition des décideurs en matière de politique de l'environnement.

La norme ne précise pas le mode d'enquête (téléphone, face à face...) ni de méthodes d'analyse des données recueillies au moyen des questions posées. De plus, le domaine d'application se limite aux enquêtes menées en vue d'obtenir des informations concernant la gêne due au bruit au domicile. La norme décrit des spécifications permettant de mener ces enquêtes ainsi que le mode de formulation des questions et des instructions pour les enquêteurs. Pour ce dernier point, les enquêteurs doivent avoir des consignes écrites comme par exemple pour réagir à la réponse « je ne comprends pas » par des méthodes leur évitant de paraphraser la question ou encore pour s'en tenir strictement aux questions écrites et ne pas les paraphraser ou les expliquer. Une attention particulière au choix des mots devrait être accordée dans chaque question et il est nécessaire que toute

personne interrogée entend exactement ces mêmes mots et non certains termes supplémentaires qu'un enquêteur peut ajouter.

Une limite à ce questionnaire est qu'il ne prend pas en compte les facteurs co-déterminants ni les facteurs de confusions de la gêne décrits en 2.3.3. et 2.3.4. Il ne considère donc pas l'environnement dans lequel se trouve la personne, qui est pourtant un élément essentiel. Une autre limite est l'utilisation d'échelle graduée. En effet, rendre visible aux personnes la graduation pourrait impacter sur l'évaluation et influencer la perception de la personne ce qui ferait perdre de sa subjectivité à ce type de questionnaire. Une solution pourrait être de cacher la valeur numérique du résultat de la mesure pour ne pas influencer la perception de la personne sur la mesure. Enfin, il faut préciser que ce questionnaire standardisé n'a d'intérêt que s'il est largement utilisé pour pouvoir comparer les résultats des études. En tenant compte de toutes ses limites, il serait intéressant de travailler sur l'élaboration et la mise en place d'autres questionnaires qui évalueraient mieux la gêne.

➤ **Relations dose-réponse**

Comme décrit précédemment (voir **2.4.3.**), la Commission Européenne propose des relations dose réponse pour la gêne et pour le bruit aérien, ferroviaire et routier. Il est nécessaire de voir si ces relations sont applicables à la France et si oui, dans quelle mesure.

Validité

La validité de ces relations dose-effet est considérée comme relativement très haute par l'auteur Miedema [12]. La validité de ces relations dépend grandement de la validité des données sur lesquelles elles se basent, à savoir une large palette d'étude de terrain dans lesquelles les données d'exposition au bruit et de gêne ont été collectées. L'auteur conclut qu'il n'y a donc pas d'erreur systématique. En ce qui concerne les erreurs dues au hasard, elles sont décrites dans les intervalles de confiance à 95 %.

Application

La Commission Européenne précise que ces équations sont à utiliser seulement pour le bruit aérien, routier et ferroviaire et dans le cas d'évaluation de situations stable à long-terme. Elles peuvent être utilisées pour fixer des objectifs, traduire les cartes de bruit en vue d'ensemble du nombre de personnes gênées (ou extrêmement gênées), dans les analyses coût-bénéfice ainsi que pour les évaluations d'impact de la santé environnementale. Dans ce cas, les courbes donnent un aperçu de la situation attendue sur le long-terme.

De plus, elles ne sont pas applicables pour les situations locales et des situations de types plaintes ou encore pour l'évaluation des effets à court-terme d'un changement de l'environnement sonore. Enfin, il faut noter que ces courbes ont été créées uniquement pour des adultes. Elles ne sont pas recommandées pour des sources spécifiques telles que les hélicoptères, les avions militaires, le bruit d'aiguillage de train, de bateaux ou encore d'avion au sol.

Pour le % de personnes gênées, les équations ne s'appliquent que pour un intervalle de niveaux de bruit donné ($37 \text{ dB} < L_{den} < \text{environ } 80 \text{ dB}$). La directive européenne 2002/49/CE préconise l'usage de l'indicateur L_{den} pour les cartographies de bruit. Elle exige des Etats membres que les cartes soient établies selon des plages de 5dB, allant de 55 dB L_{den} à 75 dB L_{den} . D'après la cartographie du bruit routier de Paris faite en 2007, 28,11 % des parisiens sont exposés à un niveau de bruit routier $L_{den} < 50 \text{ dB}$ et 0.11 % sont exposés à un niveau $L_{den} > 80 \text{ dB}$. Pour pouvoir utiliser les relations dose réponse, il faudrait donc connaître l'exposition des personnes de façon plus précise, notamment connaître la proportion de personnes exposées à des niveaux compris entre 37 et 50 dB.

Limites et recommandations

- Autres sources de bruit et multiexposition

Ces relations dose-effet sont présentées pour les bruits aériens, ferroviaires et routiers, qui sont les sources les plus importantes du bruit environnemental en Europe. Cependant, localement, l'environnement sonore peut être dominé par d'autres sources de bruit tel que le bruit industriel, et par plusieurs sources de bruit simultanées. Il est donc nécessaire d'élaborer des procédures qui pourront être utilisées pour estimer la gêne causée par ces autres types de sources et la gêne causée par l'exposition à plusieurs sources combinées.

- Evolution des technologies

De plus, il a été admis que certaines études incluses dans les analyses ont été conduites à une époque où la technologie n'était pas aussi avancée et où, par exemple, différents types d'avions étaient utilisés (relations construites à partir d'études conduites entre 1965 et 1998). Des travaux devraient être entrepris pour ajouter les études les plus récentes à la base de données et aussi pour conduire de nouvelles enquêtes.

- Indicateurs d'exposition

L'OMS, qui propose les mêmes courbes que la Commission Européenne, recommande d'élaborer un modèle d'exposition-réponse en incorporant des facteurs supplémentaires

comme indices, tels que l'insonorisation d'un logement et la présence d'une façade relativement calme [52]. Le but serait d'établir un modèle de réactions de gêne dans la population en fonction du Lden, de l'insonorisation du logement et le niveau de bruit à la façade la plus calme.

Le dernier aspect non pris en compte et particulièrement important est le choix de l'indicateur d'exposition. La Directive de 2002 préconise le Lden pour mesurer les niveaux de bruit mais celui-ci est une moyenne sur la journée et ne prend pas en compte les « pics » sonores, tels que le passage d'un avion. En effet, l'oreille se souvient plus d'un pic de bruit que d'un niveau de bruit moyenné sur une période. Il serait intéressant de conduire des études qui permettraient d'élaborer d'évaluer le lien entre le nombre et l'intensité de ces pics de bruit avec la gêne occasionnée.

3.3.2. Les effets sur le sommeil

La perturbation du sommeil peut être évaluée de manière objective par enregistrement effectué pendant le sommeil (mesures électrophysiologiques) pour les effets immédiats, de manière subjective par questionnaires appropriés pour les effets reportés, à travers les relations dose-réponse, par le suivi de la consommation médicamenteuse spécifique ou encore par le nombre de plaintes. Ces deux derniers aspects seront traités en 3.3.4. Chaque méthode a été discutée en fonction de l'accessibilité des données et de l'applicabilité.

➤ Enregistrements physiologiques

Bien souvent les études utilisent ces enregistrements physiologiques du sommeil en complément de l'appréciation de la qualité du sommeil par questionnaires car l'habitation au bruit n'est que partielle et le corps réagit toujours à celui-ci même si la personne ne se déclare plus gênée.

➤ Questionnaires

A la différence de la gêne, il n'existe pas de questionnaire standardisé pour évaluer la perturbation du sommeil. Une vingtaine d'échelles s'intéressant aux troubles du sommeil a été recensée dans la littérature [21]. Pour le projet SURVOL, 4 échelles susceptibles d'être utilisées dans le système de surveillance ont été retenues : Mos-sleep, Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI), l'échelle de somnolence de Stanford et celle de Epworth.

Les critères de choix de ces questionnaires sont des critères classiques : pertinence de l'échelle, validation de la formulation des questions en français, correspondance au sujet, critères statistiques ; tests pour évaluer la compréhension des questions (pour éviter les

contre sens), sur plusieurs échantillons, questionnaire posé deux fois à la même personne à un intervalle de temps donné, validé sur plusieurs types de population (le questionnaire doit être reproductible au plus grand nombre).

Ces quatre échelles ont été soumises au comité scientifique de SURVOL qui doit les valider. Il en faudrait au moins deux pour couvrir tous les aspects des troubles du sommeil car les questionnaires se focalisent en général sur un seul aspect des troubles du sommeil (insomnie, somnolence...). Les 4 questionnaires sont présentés en **Annexe 15**.

➤ **Relations dose réponse**

Comme décrit précédemment (voir 2.4.4), le WG2 « dose-effect » de la Commission Européenne, s'appuyant sur les travaux de Miedema, propose des relations dose réponse pour les effets du bruit, objectifs et subjectifs, lors du sommeil pour le bruit aérien, ferroviaire et routier [23]. Il est nécessaire de voir si ces relations sont applicables à la France et si oui, dans quelles mesures. En ce qui concerne les courbes DR pour le sommeil, les mêmes remarques que pour la gêne pourraient être émises pour les domaines d'application de ces courbes.

Limites et recommandations

Les auteurs indiquent que la variabilité des réponses est grande et, comme pour la gêne, invitent à la prudence en mentionnant que cette relation ne peut être utilisée qu'à titre indicatif pour les raisons suivantes :

- Les questionnaires pour évaluer la perturbation du sommeil diffèrent. Il serait nécessaire d'établir un questionnaire standardisé, comme celui de l'ICBEN pour la gêne, afin de construire une relation dose réponse qui s'appuie sur les mêmes critères d'évaluation
- Les études les plus récentes montrent des niveaux de perturbation plus élevés pour un même L_{night} , ce qui dénote une évolution dans le temps et la nécessité de standardiser la méthode d'évaluation du sommeil afin de construire des relations dose réponse qui reflètent au mieux la gêne des riverains
- Les courbes obtenues ne sont pas ajustées sur des paramètres de type isolation de la maison, orientation de la chambre qui est bien souvent une façade peu exposée, ou encore le comportement d'ouverture des fenêtres, pouvant intervenir dans la qualité du sommeil. Des études sont nécessaires pour mettre en relation ces facteurs avec le niveau de bruit
- Les courbes sont exprimées en fonction du L_{den} , qui moyenne le niveau de bruit sur 24h, et ne reflètent donc pas les pics de bruit tels que le passage d'un avion ou d'une voiture, auxquels l'oreille humaine est plus sensible que le niveau équivalent. Par

exemple pour le bruit aérien, le profil d'exposition nocturne est différent selon les aéroports (couvre feu ou non) et les riverains ne sont pas gênés de la même façon. Des études sont nécessaires pour évaluer le lien entre le nombre d'événements sonores et la perturbation du sommeil comme par exemple la probabilité de réveil en fonction du nombre de survol.

Un groupe d'experts de l'OMS [6] a récemment dressé la liste des effets sur le sommeil liés au bruit nocturne en fonction du niveau de preuve (**Annexe 1 et Annexe 2**). Un Lnight de 42 dB(A) extérieur et un Lmax 32 dB(A) intérieur correspondent aux seuils en deçà duquel aucun effet adverse n'est observé.

3.3.3. Les maladies cardiovasculaires

La part attribuable au bruit des maladies CV est très difficile à évaluer à cause des nombreux facteurs de confusions (voir 2.5.4). Pour calculer le nombre de maladies CV attribuable au bruit, il est nécessaire de connaître la population exposée au bruit, la fraction attribuable ainsi que l'incidence de ces maladies.

➤ Mortalité

En France, il existe des données statistiques sur les causes de décès publiés par le CepiDc, Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès, un des laboratoires de l'INSERM. Ses missions sont la production annuelle des statistiques des causes de décès en France en collaboration avec l'INSEE, la diffusion des données et les études et recherches sur les causes médicales de décès. Les causes médicales de décès sont recueillies à partir de deux documents : Le certificat et le bulletin de décès. Le CepiDc gère une base de données comportant actuellement près de 18 millions d'enregistrements (décès depuis 1968). Elle renseigne les effectifs et les taux de décès par zone géographiques (France, région, département ou grande ville) selon l'année, la cause de décès, le sexe et les tranches d'âge décennales.

La fiabilité de ces statistiques repose en premier lieu sur la qualité et la complétude de la certification médicale des médecins au moment de chaque décès [53]. La circulation et la manipulation de ces documents entraînent des problèmes de délai, de fiabilité, de réactivité et de confidentialité. En particulier, le délai de mise à disposition des données, actuellement de plusieurs mois, a une influence sur la qualité puisqu'il est difficile de contacter le médecin certificateur pour obtenir des informations complémentaires lorsque cela est nécessaire. Compte tenu des évolutions technologiques, le mode de certification électronique des causes médicales de décès permettrait d'améliorer le circuit actuel du

certificat de décès. Cependant, à l'heure actuelle, peu de médecins remplissent les certificats de décès en ligne.

Un autre problème pour l'analyse des liens entre une pathologie CV et l'environnement réside dans le décalage temporel entre la survenue de l'événement de santé que l'on étudie et le décès. Compter et analyser les décès survenant souvent des dizaines d'années après une exposition au bruit supposée, qui a souvent disparu, peut entraîner de nombreux biais : le patient est-il décédé dans le même lieu que celui de son exposition éventuelle, quelle a été sa mobilité géographique ? Comment connaître ses autres facteurs de risque, nombreux dans le cas des maladies CV, ou ses facteurs de protection alors qu'il est décédé ?

Il n'en reste pas moins que, très souvent, les données de mortalité sont les seules disponibles immédiatement, et il faut en tirer le meilleur parti en essayant de s'affranchir au maximum des biais d'interprétation potentiels.

➤ **Morbidité**

A l'inverse de l'Allemagne [7], il n'existe pas en France de données statistiques de morbidité liée aux maladies CV à l'échelle nationale. Le Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information (PMSI) pourra à terme donner des informations exploitables mais son utilisation à des fins de surveillance épidémiologique présente de nombreuses difficultés à l'heure actuelle. Une fois cette base de données opérationnelle et de bonne qualité, les données de morbidité de maladies CV seront facilement accessibles et utilisables.

En France, trois registres recueillent et analysent les données de mortalité et de morbidité coronaires depuis 1985, dans les départements du Bas-Rhin et de la Haute-Garonne, et la Communauté Urbaine de Lille. Ils ont réalisé parallèlement des enquêtes transversales sur des échantillons représentatifs de la population. Ces registres font partie du programme international planifié MONICA (Monitoring of Trends and Determinants in Cardiovascular Diseases) coordonné par l'OMS ayant pour objectif de mesurer les tendances et les déterminants de la mortalité et de la morbidité par maladies cardiovasculaires et d'étudier les facteurs de risque de ces mêmes maladies. Chacun des trois échantillons comprend environ 1200 hommes et femmes âgés de 35 à 64 ans, également répartis en trois tranches d'âge de 10 ans. Pierre Ducimetière de l'INSERM explique que la recherche de cas s'effectue par des équipes universitaires qui surveillent diverses sources de signalement susceptibles de recevoir des maladies CV : services hospitaliers, publics et privés, médecins de ville, centres de radiologie, systèmes de secours d'urgences, médecine légale... Les cas ainsi recueillis sont ensuite soigneusement

validés. L'une des plus grandes difficultés est le fait de devoir valider les diagnostics, ce qui n'est pas évident pour les décès car l'autopsie n'est plus systématique et la plus grande partie des décès ne se produisent pas à l'hôpital. En particulier, Pierre Ducimetière précise qu'il est nécessaire de prendre en compte la classification R96.1/10, « décès rapide avec cause inconnue », qui peut être due à un trouble CV, en interrogeant la famille par exemple. Babisch, dans sa méta analyse de 2006, ne tient pas compte de ce type de décès.

3.3.4. Les modes d'évaluation globaux

3.3.4.1. La consommation de médicaments

De nombreuses données sur la consommation médicamenteuse sont recueillies chaque jour en France, mais elles ont un seul objectif : le suivi économique [54]. Ce sont les données des différents régimes d'assurance maladie et les données de consommation pharmaceutique. Leur utilisation à des fins de surveillance épidémiologique présente des difficultés auxquelles s'ajoute un problème d'accessibilité, qu'elle soit institutionnelle (procédures souvent lourdes et délais longs, notamment à cause du secret médical), ou technique (systèmes incompatibles et hétérogènes, données incomplètes ou redondantes...). L'une des difficultés majeures réside dans la localisation des personnes. En effet, les caisses d'affiliation peuvent être très éloignées du lieu réel de résidence, les cas étant alors difficiles à renseigner. De plus, dans les bases de données existantes, comme par exemple la base ERASME, uniquement le code postal est renseigné et non l'adresse exacte de la personne. Cela est d'autant plus problématique que le code postal français peut regrouper plusieurs communes. L'idéal serait un dispositif automatisé avec un numéro d'identifiant unique de la naissance à la mort, à l'image des québécois par exemple. Le Dossier Médical Personnel se trouve être une grande opportunité pour accéder à la consommation médicamenteuse ainsi qu'à l'adresse des patients mais il n'est pas au point à l'heure actuelle et il n'est pas certain qu'il pourra être utilisé à des fins d'études.

3.3.4.2. Les plaintes liées au bruit

Une revue publiée en 2005 évalue l'utilité des registres de plaintes comme index de la gêne due au bruit et recense les différentes méthodologies appliqués dans de nombreux pays pour tenir compte de cet aspect important dans l'expression de la gêne ressentie par les populations habitant aux abords d'un aéroport [43]. En effet, beaucoup de plates-

formes recueillent les plaintes de riverains, observent leurs variations mensuelles et annuelles. Mais il s'agit la plupart du temps d'un indicateur purement descriptif.

Certains auteurs ont mis en lien les données concernant les vols (niveau de bruit, couloirs, mouvements) et les plaintes. L'équipe du RIVM a même développé un système d'informations géographiques afin de localiser les plaignants par rapport à l'aéroport de Schiphol aux Pays-Bas [42]. Cette expérience montre qu'il pourrait être intéressant de s'intéresser aux plaintes sachant par ailleurs que tous les sujets gênés ne se manifestent pas et que d'après la littérature les plaignants ont des caractéristiques socio-démographiques particulières (niveau d'études plus élevé, catégorie socio professionnelle plus élevée) et déclarent généralement plus de gêne, de troubles du sommeil que les sujets non-plaignants. De plus, avec Internet, le nombre de plaintes a connu une progression conséquente, avec un pic en 2006 [55]. Il faut noter également que 6% des plaignants représentent 92% des plaintes. Le nombre de plaintes est donc difficilement interprétable en termes de gêne effectivement occasionnée par le bruit des avions.

En France, il n'existe pas de centralisation des plaintes concernant le bruit et elles peuvent être donc adressées à différents organismes : Préfecture, DDASS, DRIRE, gendarmerie, DDEA, mairie...

Du fait des problèmes de représentativité des plaignants, soulignés par l'expertise de l'AFSSET, cet indicateur ne peut être considéré comme un descripteur de la gêne mais comme un indicateur complémentaire et pertinent de la gêne [1].

3.3.4.3. Les questionnaires d'évaluation des effets du bruit

L'analyse bibliographique montre que les enquêtes utilisant des questionnaires sont un bon moyen d'évaluer les effets du bruit sur la population et permettent de récolter pratiquement tous les types de données nécessaires à la construction d'indicateurs : la consommation de médicaments contre les troubles du sommeil et troubles CV, le nombre de personnes gênée ou souffrant de perturbation du sommeil à cause du bruit. Cependant, les comparaisons directes entre les différentes enquêtes internationales sont difficiles à cause de la grande diversité de formulations et d'échelles dans les questions, des différentes estimations du risque ou encore des mesures d'exposition. Sans une réelle standardisation des recherches, les comparaisons entre les études resteront difficiles. Il n'existe aujourd'hui qu'une seule méthode standardisée pour l'évaluation de la gêne due au bruit [11].

Afin d'améliorer la comparaison des enquêtes sur les effets du bruit dans le futur, l'ICBEN du bruit souhaite développer à long terme un guide d'utilisation des questionnaires pour l'évaluation des effets du bruit dans les enquêtes sociales notamment concernant le choix des échelles ainsi que la formulation et la structure des questions à poser aux personnes enquêtées. Dans ce cadre, une université allemande [56] a commencé en 2000 à développer une base de données de questionnaires sur les effets du bruit pour fournir aux chercheurs un moyen de comparer les effets sur la santé ou encore les facteurs de confusion. Cette base de données est un bon départ pour la standardisation des questionnaires d'évaluation des effets du bruit sur la santé mais elle est en cours d'élaboration et la dernière mise à jour date de 2003 (189 références actuellement).

3.4. Bilan

Il faut à présent définir quels indicateurs sont pertinents pour quels objectifs. Pour répondre à cette question, un score a été donné à chaque indicateur suivant la conformité aux critères définis dans le chapitre 3, de 1 à 3, en ordre croissant de conformité. Pour chacun des 4 objectifs possibles d'utilisation de ces indicateurs, certains critères doivent impérativement être respectés (score 2 ou 3), ce qui servira de bases aux recommandations. Le Tableau 2 fait le bilan des indicateurs sanitaires du bruit évoqués jusqu'ici et attribue les scores pour chaque critère.

- En ce qui concerne les VSEI, seuls les indicateurs obtenus à partir des relations dose réponse sont pertinents. En effet, l'analyse des relations dose réponse est une partie intégrante de l'évaluation des risques sanitaires. Il faut néanmoins souligner que les relations DR actuellement disponibles ont leurs limites, précisées les parties 3.3.1 et 3.3.2, et qu'il est nécessaire d'en élaborer de nouvelles au vue des évolutions techniques des moyens de transports et des changements des habitudes des personnes. Les indicateurs pertinents pour les VSEI sont représentés en bleu dans le Tableau 2.

- En ce qui concerne les études épidémiologiques, les critères impératifs que doivent remplir les indicateurs sanitaires sont : représentativité, validité, qualité des données. Les indicateurs pertinents pour les études épidémiologiques sont représentés en rouge dans le Tableau 2.

- Pour la surveillance sanitaire, les critères impératifs que doivent remplir les indicateurs sanitaires sont les mêmes que pour les études épidémiologiques (représentativité, validité, qualité des données, reproductibilité) avec en plus la facilité d'accessibilité des données. En effet, une surveillance s'inscrit dans le long terme donc les données se

doivent d'être facilement accessibles afin d'éviter toute perte de temps et d'argent. Les indicateurs pertinents pour la surveillance sanitaire sont représentés en vert dans le Tableau 2.

Légende :  Indicateurs pertinents pour les VSEI

Etudes  Indicateurs pertinents pour les études épidémiologiques

 Indicateurs pertinents pour une surveillance sanitaire du bruit

Tableau 2 : Bilan des indicateurs sanitaires du bruit, leurs sources de données et leur pertinence suivant les critères de choix

| Effets | Indicateurs Unité | Source de données – Acteurs | Représentatif | Fiable | Valide | Sensible | Qualité | Reproductible | Utile | Facile | Compréhensible |
|---|--|---|---------------|--------|--------|----------|---------|---------------|-------|--------|----------------|
| | | | | | | | | | | | |
| Gêne | Pourcentage de personnes se déclarant gênées par le bruit % | Questionnaires validés auto-déclaratifs (cf. IC BEN) | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| | | Relations DR | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 |
| | Plaintes - Nb | Suivant le type de transport incriminé (DGAC, DDASS...) | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Sommeil | Pourcentage de personnes ayant le sommeil perturbé par le bruit % | Enregistrements physiologiques | 3 | 3 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 2 |
| | | Questionnaires validés auto-déclaratifs | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| | | Relations DR | 2 | 3 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 | 3 | 3 |
| | Consommation de médicaments à visée hypnotique Nb | Assurance maladie : CNAMTS, ERASME (Médicaments prescrits) | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| | | Questionnaires validés auto-déclaratifs (Automédication) | 2 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 |
| | Plaintes Nb | Suivant le type de transport incriminé (DGAC ACNUSA, police...) + mairies, DDASS | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Consultation des centres du sommeil -Nb | Centres du sommeil | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | |
| Maladies CV | Nombre de cas de maladies CV attribuable à l'exposition au bruit Nb | -Cartographies de bruit - Relation exposition-effet (méta-analyse Babisch) - Incidence des MCV : CepiDC/Registres | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| | | Assurance maladie : CNAMTS, ERASME (Médicaments prescrits) | 1 | 2 | 2 | 2 | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 |
| | Consommation de médicaments contre les troubles CV - Nb | Questionnaires validés auto-déclaratifs (Automédication) | 1 | 1 | 2 | 1 | 2 | 3 | 2 | 2 | 3 |

4. Pertinence d'une surveillance autour du bruit

4.1. Généralités sur la surveillance en santé environnement

4.1.1. Définition

Dans son dernier Bulletin épidémiologique hebdomadaire [54], l'INVS définit la surveillance en santé environnement. Celle-ci est un processus systématique s'inscrivant dans le temps :

- de collecte des données pertinentes relatives aux expositions environnementales (dont les effets sanitaires sont suspectés ou reconnus) et/ou aux manifestations pathologiques (reconnues ou suspectées) d'origine environnementale et/ou aux caractéristiques des populations à risque et/ou aux interventions (cette collecte pouvant être soutenue si besoin par des enquêtes ou études ponctuelles) ;
- de fabrication d'indicateurs à partir de ces données ;
- puis à partir des relations entre ces indicateurs, dans le cas où ces relations existent et sont établies, d'analyse et d'interprétation de ces indicateurs, de diffusion des résultats des analyses et de leur interprétation en temps opportun à ceux qui en ont besoin.

Il convient de distinguer la surveillance de l'observation, la vigilance, la veille et le suivi [54]:

- Observation : Recueil d'informations utiles à la gestion du système de santé sans nécessité d'action immédiate, comme, par exemple, la proportion de fumeurs dans une classe d'âge donnée. Les statistiques de santé (donc l'observation) peuvent être la base d'un système de surveillance dès lors qu'elles sont suivies de manière systématique et continue dans une perspective de préparation, prévention ou d'alerte.
- Vigilance : Un système de vigilance (pharmacovigilance, toxicovigilance, etc.) est une surveillance épidémiologique dont les deux spécificités sont de s'intéresser aux conséquences sur la santé de l'usage des produits, substances, matériaux, services et d'inclure obligatoirement parmi ses objectifs l'identification d'effets non prévus, voire inconnus.
- Veille (sanitaire) : La veille est une activité qui vise à assurer l'alerte précoce sur toute menace pour la santé. Elle vise à :
 - Repérer des phénomènes sanitaires ou des facteurs de risque connus (modification de tendance dans le temps et dans l'espace)
 - Identifier des phénomènes encore inconnus en termes d'effets ou de déterminants

→ Signaler, enfin, ces phénomènes s'ils représentent un danger pour la santé publique (ceci implique que les signaux soient analysés dans une perspective d'alerte et de gestion)

Elle se construit sur un triptyque : Surveillance, alerte et veille scientifique et/ou médiatique.

- Suivi : Surveillance médicale de sujets exposés en vue de détecter précocement la survenue d'effets inconnus ou connus (lorsqu'il s'agit de population entière, le suivi s'apparente à une vigilance).

4.1.2. Objectifs

Les finalités de toute surveillance en santé environnement sont :

- l'information
- la détection ou l'anticipation de risques
- une action de contrôle ou de prévention des expositions ou des maladies
- l'évaluation de ces actions

4.1.3. Démarche

Les étapes classiques de la surveillance sont déduites logiquement de la phase préliminaire de définition des objectifs de santé publique poursuivis [54] :

- 1- Définition des indicateurs (populationnels, sanitaires, environnementaux, d'intervention, d'association) et identifier les données brutes nécessaires à leur construction
- 2- Collecte des données brutes pertinentes
- 3- Attribution d'une valeur aux différents indicateurs (concentration, mesure physique, effectif de la population, valeur du taux d'incidence...) et construction d'un tableau de données à analyser
- 4- Analyse des indicateurs, qui se décline en analyse descriptive (estimateurs moyens, variabilité), analyse de tendance spatiotemporelle des indicateurs, projection éventuelle dans le temps et l'espace, estimation des risques et de leurs variations
- 5- Interprétation des résultats de l'analyse, traduction en termes de Santé Publique (évaluation d'impact sanitaire, scénarios...)
- 6- Diffusion des résultats et de leur interprétation à la population, aux décideurs, aux professionnels de santé

4.2. Surveillance autour du bruit

4.2.1. Périmètre et objectifs

Il existe plusieurs types de réseau de surveillance, qui ont différentes fonctions: Surveillance autour des lieux de loisirs, autour des chantiers ou encore des sites industriels [57]. Le périmètre du mémoire se limitant au bruit des transports, nous nous intéressons ici uniquement au bruit de l'environnement urbain. Inspiré des recommandations des groupes d'experts de l'INVS et de la DRASS IdF pour une surveillance épidémiologique autour des zones aéroportuaires, un tel système de surveillance devrait répondre aux questions suivantes [26] :

- Quelles sont les populations exposées aux nuisances sonores et leurs caractéristiques ?
- Quelle est l'exposition réelle de ces populations au bruit dans les communes concernées et comment cette exposition évolue-t-elle dans le temps et dans l'espace ?
- Quelle est l'évolution de l'état sanitaire de ces populations ou de la perception qu'elles en ont, au cours du temps et dans l'espace ?
- Comment les indicateurs sanitaires évoluent-ils en comparaison avec les indicateurs d'exposition ou les actions de réduction des expositions ?

Le système de surveillance ainsi constitué permettra d'une part aux riverains d'être informés sur leurs expositions au bruit et sur la variation des troubles de santé associés, et d'autre part aux élus et aux décideurs de disposer d'informations qui les aideront à orienter leurs politiques de lutte contre le bruit.

4.2.2. Les indicateurs à suivre

Un système de surveillance du bruit intégrerait une surveillance sanitaire mais aussi une surveillance environnementale de l'exposition. En effet, une surveillance sanitaire seule n'apporterait pas d'informations pertinentes ; il est nécessaire de comparer les données d'exposition aux données sanitaires afin de comprendre comment ils évoluent et à quel degré ils sont liés pour pouvoir agir en conséquence par la suite.

Ainsi, en parallèle d'une surveillance environnementale, il faudrait mesurer le degré de gêne et de perturbation du sommeil pour voir leurs évolutions en comparaison avec les indicateurs d'exposition. S'ils n'évoluent pas dans le même sens, il faudra alors se poser des questions en particulier sur le choix et la pertinence des indicateurs d'exposition et des indicateurs sanitaires, sur les facteurs extérieurs qui pourraient entrer en compte

(environnementaux, individuels...) et également au niveau de l'information dispensée ou le comportement des personnes.

Suite à l'analyse des indicateurs réalisée dans le chapitre 3, les indicateurs pertinents pour une surveillance sanitaire du bruit sont l'évaluation de la gêne et du sommeil par questionnaires ou par suivi de la consommation de médicaments. Pour mesurer la gêne et les troubles du sommeil, on pourrait soit mettre en place des enquêtes transversales répétées, avec une fréquence à définir, soit suivre la consommation médicamenteuse après avoir choisi des médicaments traceurs, ou encore opter pour une combinaison des deux systèmes. Les enquêtes pourraient se faire par questionnaires avec l'échelle standardisée de l'ICBEN pour la gêne. Pour le sommeil, on peut envisager un, voir deux des quatre questionnaires retenus pour l'étude SURVOL pour couvrir tous les aspects des troubles du sommeil. L'idéal serait de greffer un ou deux indicateurs physiologiques, comme un prélèvement d'urine pour détecter l'hormone du stress (méthode moins invasive qu'une prise de sang par exemple) afin de savoir si l'on dispose d'un repère physiologique associé aux réponses du questionnaire.

Il ne serait pas pertinent d'introduire un indicateur pour les maladies CV car il existe trop de facteurs de confusion et les connaissances du lien entre bruit et maladies CV restent lacunaires (voir 2.5).

En résumé il faudrait un système de surveillance mixte : Mesure de l'exposition, évaluation des données sanitaires - mesure du degré de gêne, de la perturbation du sommeil et d'indicateurs physiologiques -.

Les indicateurs utilisés pour les surveillances existantes sont spécifiques de la maladie étudiée : La surveillance du saturnisme infantile utilise la plombémie comme indicateur d'exposition, la surveillance canicule et santé surveille et analyse les indicateurs sanitaires permettant d'évaluer l'impact de la chaleur (mortalité) à travers l'activité des SAMU et des services d'urgences hospitaliers. La difficulté dans le cas du bruit est qu'il n'existe aucun indicateur réellement spécifique à celui-ci, ce qui rend la surveillance complexe à mettre en place.

4.2.3. Les lieux à surveiller

La surveillance, en tant qu'outil d'aide à la décision, notamment pour des projets d'aménagement du territoire comme des infrastructures de transports par exemple, se focaliserait sur les points noirs de bruit tels que les zones aéroportuaires, le long des grands axes routiers ou encore des axes ferroviaires. On pourrait ainsi envisager d'étendre l'étude SURVOL au territoire national à proximité de ces points noirs.

4.2.4. Organisation

➤ Surveillance environnementale

La surveillance environnementale pourrait se faire par les observatoires du bruit par l'intermédiaire de réseaux de surveillance permanents du bruit. Outil d'aide à la décision, il permet de comprendre, d'évaluer et de stocker des informations sur les différentes typologies d'exposition au bruit. Plusieurs objectifs peuvent être identifiés pour un réseau de surveillance du bruit :

- objectiver et suivre les évolutions environnementales et sonores sur le moyen et long terme et les mettre en relation avec l'évolution des attentes des populations, des technologies et des modes de déplacements ;
- contribuer à une meilleure connaissance des phénomènes sonores liés au contexte (vitesse du trafic, météo, tissu urbain...) et auxquels les habitants sont particulièrement sensibles ;
- répondre à une des principales préoccupations environnementales des habitants concernant la qualité de leur cadre de vie ;
- apporter aux populations une information et une quantification de leur exposition au bruit plus précises et plus ciblées que ce qu'apportera la cartographie calculée ;
- connaître l'impact de mesures prises de façon prolongée ou ponctuelle (cet objectif est affiché dans le Plan de Déplacement Urbain ; opération d'urbanisme...) et évaluer l'efficacité de ces actions ;
- favoriser la prise en compte de cette dimension dans toutes les démarches d'urbanisme (habitat et espaces publics) au-delà des exigences réglementaires ;
- anticiper les moyens à mettre en œuvre afin de répondre aux exigences de la Directive Européenne ;
- centraliser les informations et les données actuellement disséminées auprès de différents organismes (trafic, météo...);
- constituer un patrimoine sonore de l'identité des villes et des quartiers ;

- proposer un cadre à des études épidémiologiques sur les effets du bruit à long terme sur la santé à partir de niveaux mesurés fiables, représentatifs du lieu et de la durée, sur une aire réduite

Les défis des réseaux de surveillance sont multiples :

- Où et sur quelle durée mesurer ? Il faut définir une stratégie de surveillance, en collaboration avec les collectivités territoriales.
- Comment ? Il est nécessaire de se doter des capacités technologiques, informatiques, météorologiques et humaines pour déployer et exploiter le réseau de surveillance. L'objectif à long terme est d'avoir une modélisation dynamique en temps réel.
- Pour quoi faire ? Traiter les données, les valider et produire des indicateurs pertinents.
- Comment communiquer ? Il faut traduire les informations de manière pédagogiques et les diffuser en toute transparence.

Il existe actuellement très peu de réseaux opérationnels permanents de mesure du bruit urbains en France. Les principaux sont détaillés ci-dessous

- Réseau RUMEUR de l'observatoire du bruit d'Ile-de-France (BruitParif)

L'observatoire du bruit d'IdF, BruitParif, qui a été créé en 2004 à l'initiative de la Région IdF, a 3 missions principales : Mesurer le bruit, sensibiliser les différents publics et accompagner les collectivités locales et les infrastructures de transports dans la mise en place de politiques de lutte contre le bruit. BruitParif est en train de mettre en place un observatoire permanent de l'environnement sonore en IdF, appelé réseau RUMEUR (Réseau Urbain de Mesure de l'Environnement sonore d'Utilité Régional), entré en phase opérationnel en 2008 [58]. Le déploiement s'effectue au rythme d'une dizaine de stations permanentes de mesure par an, auxquelles viennent s'ajouter le véhicule laboratoire qui permet de réaliser de nombreuses mesures. Les données ainsi récoltées sont transférées via le réseau de téléphonie mobile en temps réel sur un serveur central, puis traitées. Des indicateurs seront ensuite élaborés pour rendre accessibles et compréhensibles les données au public et qui permettront un suivi des politiques publiques. Concernant la communication, une plateforme d'information est en cours d'élaboration par BruitParif. Plusieurs représentations graphiques ont été proposées tels que la répartition des niveaux sonores énergétiques hebdomadaires ou journaliers, ou encore la répartition des niveaux sonores événementiels (LAmax) en fonction des heures de la journée. L'utilisateur pourra alors accéder aux données de la station, du jour et de l'heure de son choix.

- Surveillance acoustique de Lille Métropole Communauté Urbaine (LMCU)

LMCU a mis en place depuis 2005 un observatoire du bruit sur le territoire communautaire : 50 balises installées le long d'axes routiers dans des zones urbaines denses mesurent l'intensité du bruit. En 2007, 129 mesures de bruit ont été réalisées. A terme, une centaine de balises devrait donc permettre d'effectuer des relevés annuels dans les principaux sites bruyants du territoire. Entre 2006 et 2007, le bruit a augmenté au niveau de 55% des balises. Il a diminué au niveau de 40% d'entre elles et est resté stable pour les 5% restants [59].

- Réseau de surveillance du bruit de l'observatoire du bruit du Grand Lyon (Acoucity)

L'observatoire du Grand Lyon, Acoucity, a déjà mis en place depuis 2006 un réseau de mesures permanentes des bruits urbains. Ce réseau mesure l'état sonore de lieux emblématiques tels que les espaces touristiques, les sites avant et après de grands projets d'urbanisme ou encore les lieux calmes. Environ 6 stations de mesure sont déployées par an et on en comptait 17 en janvier 2009, pour arriver à un réseau d'environ 25 stations début 2010. L'interface du site internet fournit des cartes du Grand Lyon avec un choix d'indicateurs : Lden, Lday, Levening ou Lnight en émergence ou bruit de fond. Cependant, les graphiques donnés sont encore sommaires puisqu'ils ne donnent qu'une valeur mensuelle et non la répartition sur la semaine ou la journée. Acoucity a également élaboré un guide opérationnel pour le développement d'un réseau permanent de mesure des bruits de l'environnement à l'échelle des agglomérations [60].

- Institut Bruxellois pour la Gestion de l'Environnement (IBGE), Bruxelles

L'IBGE a été créée en 1989 et a la charge, entre autre, de la problématique du bruit en région de Bruxelles-capitale. Depuis 1995, 16 stations permanentes de mesures du bruit urbain ont été installées, réparties sur l'ensemble du territoire de la région de Bruxelles-Capitale. Une est dédiée au bruit urbain, trois spécifiquement au bruit du trafic routier et huit au bruit du trafic aérien, qui évalue l'ambiance sonore à l'aide d'indicateurs acoustiques énergétiques comme le Lden mais aussi événementiels tels que le LAmax en particulier pour le bruit aérien [57]. L'interface graphique est élaborée puisque l'utilisateur peut cliquer sur n'importe quelle station de mesure et obtenir soit un tableau soit un graphique de la répartition des LAmax de jour (7h-23h) ou de nuit (23h-7h) sur un mois. Un exemple de graphique des LAmax de jour sur le période du 19/07/2009 au 16/08/2009 est présenté en **Annexe 16**.

- Réseau permanent de mesure du bruit de la ville de Madrid

Madrid est la ville européenne qui bénéficie de l'expérience la plus longue en terme de réseau de surveillance de bruit avec la gestion d'un parc de trente stations fixes

permanentes implantées dans la partie centrale de l'agglomération et de trois véhicules laboratoires qui sillonnent le réseau routier de la ville afin d'actualiser la carte de bruit routier de Madrid [57]. Ce réseau est entièrement développé avec celui de la qualité de l'air. De nombreux graphiques sont disponibles pour différents indicateurs et périodes.

Le Grenelle de l'Environnement suggère la mise en place d'un observatoire du bruit dans les grandes agglomérations ou au niveau des régions. Le Grenelle précise qu'au-delà de la simple fonction d'observation, la valeur ajoutée d'un observatoire du bruit résiderait dans le rassemblement des acteurs dans un lieu d'échange et de débats, où pourraient se construire les politiques de prévention du bruit, en particulier autour de la réalisation des cartographies de bruit et des plans de prévention.

Il faut préciser que les observatoires ne mesure à l'heure actuelle que le bruit de l'environnement urbain et ne concerne en rien les autres bruits tels que les bruits de voisinage, ce qui constitue une limite à la surveillance du bruit uniquement par ce biais.

➤ **Surveillance sanitaire**

Deux structures ont les compétences pour mener une surveillance des impacts sanitaires du bruit : Les Cellules Interrégionales d'Epidémiologie (CIRE) et les Observatoires Régional de Santé (ORS). Si la CIRE étudie les situations spécifiques et localisées des problématiques santé environnement, l'ORS en dresse le cadre général, l'importance dans la région en proposant des situations de référence et leur évolution à plus long terme. Leurs compétences étant complémentaires, il est envisageable qu'elles travaillent en collaboration.

Dans le cas de la généralisation des observatoires du bruit à toutes les régions et d'un élargissement de leurs fonctions, il est envisageable qu'ils récoltent également des données sanitaires du bruit, à travers des questionnaires pour évaluer la gêne et les troubles du sommeil. Il est alors nécessaire de s'interroger sur la fréquence de telles enquêtes. Par exemple, l'étude SURVOL envisageait une enquête par questionnaire renouvelée tous les cinq ans. En tous les cas, une collaboration entre les ORS/CIRE et les observatoires du bruit est nécessaire afin de récolter les indicateurs d'exposition et les indicateurs sanitaires et surtout traiter ces informations suivant les objectifs définis plus haut.

4.2.5. Les limites

- Faisabilité

La surveillance environnementale comme la surveillance sanitaire présente des difficultés. La première se heurte à la mesure de l'exposition au bruit qui, au-delà d'une simple mesure du bruit, doit prendre en compte la multiexposition, le nombre d'événements sonores ou encore les différences de fréquences qui jouent sur la perception du bruit et qui ne sont pas pris en compte avec les indicateurs actuels.

Une des principales difficultés de la surveillance sanitaire du bruit vient de l'accessibilité des données, notamment pour le volet sanitaire (voir 3.3). En particulier, le suivi de la consommation médicamenteuse ne pourra fournir des données exhaustives, quelle que soit la méthode utilisée – questionnaires ou assurance maladie -, mais serait une bonne estimation de la gêne et de la perturbation du sommeil. La méthode du suivi par l'assurance maladie fournit la consommation des médicaments prescrits uniquement et nécessite un accord avec la CNAM. Quant à elle, la méthode par questionnaire nécessite d'avoir une base d'adresses postales ou une base de numéros de téléphone, parfois difficile à générer avec les difficultés telles que les numéros sur liste rouge ou les téléphones portables.

- Pertinence

La surveillance sanitaire est complexe en raison du nombre important de facteurs (individuels, culturels, environnementaux...) pouvant interférer dans l'apparition des problèmes de santé des personnes étudiées (voir 2.3.4 et 2.4.3). C'est pour ces raisons que le volet sanitaire de l'étude SURVOL a provisoirement été gelé. En effet, il a été estimé que quelque soient les indicateurs sanitaires suivis dans le temps (consommation de médicaments, perturbation du sommeil auto-rapportée...), il serait difficile de faire des comparaisons dans le temps à cause des nombreux facteurs de confusions qui sont difficilement contrôlables (sensibilité au bruit, satisfaction résidentielle...). Le risque est donc de voir l'indicateur sanitaire s'aggraver ou rester au même niveau, plus particulièrement pour la gêne, alors que l'indicateur d'exposition s'améliore. Les mécanismes de la gêne étant très complexes, il serait difficile de conclure dans ce cas.

Une surveillance uniquement basée sur les bruits urbains présente des limites. En effet, nous avons pu voir au cours du mémoire que la gêne et les perturbations du sommeil au domicile ne proviennent pas uniquement des bruits des transports de l'extérieur. Les bruits intérieurs – bruit de voisinage, bruit à basse fréquence tels que les ventilations - sont tout aussi important dans leur apparition. La surveillance des bruits urbains est un

bon départ mais à terme, il serait pertinent de prendre en compte la multiexposition et d'avoir une surveillance des bruits extérieurs et intérieurs au domicile, qui soulèvera évidemment de nombreuses questions sur la faisabilité et la méthode.

4.2.6. Perspectives européennes

Les informations sanitaires et environnementales sont souvent collectées de manière non standardisée à travers l'Europe, voire au sein même d'un pays. Suite à la Conférence ministérielle de l'OMS sur l'environnement et la santé en 2004, plusieurs projets européens tels qu'ENHIS et ENHIS 2 (« European Environment and Health Information System ») ont vu le jour. Ils visent à proposer des systèmes d'information globaux en santé-environnement permettant de mieux hiérarchiser les risques et d'améliorer la comparabilité des indicateurs décrivant les politiques environnementales et leurs conséquences sanitaires à travers l'Europe [54]. Les projets ENHIS et ENHIS 2 ont été une contribution concrète à la mise en œuvre d'EHIS (le système d'information en santé-environnement) qui est défini dans la déclaration ministérielle comme un des outils de soutien aux politiques publiques. La batterie d'indicateurs proposée permet de comparer les progrès des différents pays en matière de santé-environnement. Les études de cas sur la faisabilité de l'évaluation d'impact sanitaire pour différents indicateurs environnementaux a conduit à préciser dans quels domaines cette évaluation pouvait être réalisée compte tenu des données disponibles. Une étude pilote est prévu pour 2010, la France pourrait en être le site d'accueil.

D'autre part, le projet Intarese (Integrated Assessment of Health Risks of Environmental Stressors in Europe) propose une nouvelle méthodologie permettant d'intégrer toutes les dimensions nécessaire pour éclairer le processus de décisions en santé-environnement : Impacts sanitaires, environnementaux, économiques et sociaux. Il réunit 33 partenaires de 24 pays européens et est coordonné par l'Imperial College de Londres. Cependant, il faut préciser que le modèle n'a pas encore été testé et son applicabilité n'est donc pas encore prouvée. Un exemple d'approche intégrée pour le trafic routier est donné en **Annexe 17** .

En considérant les obstacles et en prenant en compte les limites, une surveillance du bruit serait faisable, basée sur une surveillance mixte environnementale et sanitaire menées en collaboration entre les observatoires du bruit et les ORS, les CIRE. La surveillance sanitaire évaluerait le degré de gêne et de perturbation du sommeil à travers des enquêtes par questionnaires répétées au cours du temps et/ou à travers le suivi de la consommation médicamenteuse. En ce qui concerne les maladies CV, il est nécessaire d'avoir des résultats fiables et concordants avant d'envisager la surveillance de ces effets.

Conclusion

L'objectif de ce mémoire était de proposer des indicateurs sanitaires du bruit avec leurs utilisations possibles. Des pistes de réflexion ont notamment été émises pour l'utilisation de ces indicateurs dans une surveillance sanitaire du bruit. Seul le bruit des transports (aérien, ferroviaire et routier) dans les habitations, qui est l'un des domaines le plus documenté, a été étudié.

Cette étude a permis tout d'abord, au vu des études scientifiques récentes, de synthétiser les connaissances sur les effets sanitaires du bruit des transports qui peuvent apparaître aux niveaux sonores tels qu'on les trouve dans les habitations, à savoir les effets subjectifs – la gêne - et les effets biologiques extra-auditifs – la perturbation du sommeil et les maladies cardiovasculaires-. Les études s'accordent à dire que les facteurs de confusion sont nombreux et il est nécessaire de les recenser et de les définir pour chacun des effets sanitaires afin de mieux les prendre en compte. Ce travail a pu mettre en évidence certaines des études complémentaires à mener sur le sujet, notamment en ce qui concerne les indicateurs d'exposition utilisés dans les relations dose-réponse, la multiexposition et le lien entre bruit et maladies cardiovasculaire. Pour chaque effet, des indicateurs ont été proposés et les données nécessaires à leur construction proposée ont été discutées selon leur accessibilité pour la France.

Les indicateurs sanitaires pourraient aussi être utilisés dans une surveillance sanitaire autour des points noirs du bruit menée au niveau régional par les ORS et les CIRE qui, en complément d'une surveillance environnementale de l'exposition, aurait pour but d'informer les riverains sur leur exposition mais également d'orienter et d'évaluer les politiques publiques. Des enquêtes transversales par questionnaires pourraient être mise en place à une fréquence à déterminer afin d'évaluer la gêne et la perturbation du sommeil, en tenant compte des facteurs de confusion pour ces deux effets, qui constituent la principale difficulté de la surveillance sanitaire. La surveillance des maladies CV ne serait pas pertinente à ce jour car les études ne sont encore pas toutes concordantes et le lien entre bruit et effet n'est pas encore avéré. La surveillance de l'exposition pourrait se faire par les observatoires du bruit, qui sont en train de développer leur réseau de surveillance du bruit et qui, par recommandations du Grenelle, pourraient s'étendre à chaque région. Les limites d'une surveillance environnementales sont à considérer notamment la difficulté de la mesure de l'exposition réelle au bruit en tenant compte de la multiexposition ou encore du nombre d'événements sonores.

Bibliographie

- [1] AFSSET, Impacts sanitaires du bruit – Etat des lieux, Indicateurs bruit-santé“, novembre 2004.
- [2] MINISTERE DE L'ECOLOGIE. Grenelle de l'environnement. Disponible sur internet : <http://www.legrenelle-environnement.fr/spip.php?rubrique11>
- [3] MINISTERE DE LA SANTE. Plan National Santé-Environnement 2. Disponible sur internet : <http://www.sante-sports.gouv.fr/>
- [4] UNION EUROPEENNE. Directive n° 2002/49/EC du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et la gestion du bruit environnemental. Disponible sur internet : <http://eur-lex.europa.eu/>
- [5] WHO Regional Office for Europe, “WHO technical meeting on aircraft noise and health”, Bonn Germany, 2001. Disponible sur internet : <http://www.euro.who.int/Noise>
- [6] WHO Regional Office for Europe. “Night Noise Guidelines (NNGL) for Europe“, Bonn Office, 2007. Disponible sur internet: <http://www.euro.who.int/Noise>
- [7] BABISCH W., “Transportation Noise and Cardiovascular Risk, Review and Synthesis of Epidemiological Studies, Dose-effect Curve and Risk Estimation“, Federal Environmental Agency, Umweltbundesamt, 2006. Disponible sur internet: <http://www.umweltbundesamt.de/>
- [8] LAMBERT J., “La gêne due au bruit des transports terrestres“, *Acoustique et Techniques*, n°28, 2002.
- [9] OMS, “Le bruit, critère d'hygiène de l'environnement“, Genève, n°12, 1980.
- [10] FIELDS J.M., “An updated catalog of 521 social surveys of residents' reactions to environmental noise (1943-2000)“, NASA/CR-2001-211257, 2001.
- [11] ISO, Spécification Technique ISO/TS 15666, “Acoustique – Evaluation de la gêne causée par le bruit au moyen d'enquêtes sociales et d'enquêtes socio-acoustiques“, ISO, 2003.
- [12] MIEDEMA H.M.E., et al., “Elements for a position paper on relationships between transportation noise and annoyance“, TNO-INRO, Delft, 2000.
- [13] VALLET M., “La gêne due au bruit autour des aéroports“, *Acoustique et techniques*, n°28, 2002.
- [14] SCHUTTE M. et al., “The development of the noise sensitivity questionnaire“, *Noise and Health*, Volume 9, 2007. Disponible sur internet : <http://www.noiseandhealth.org>
- [15] SANDROCK S. et al., “The reliability of the noise sensitivity questionnaire in a cross-national analysis“, *Noise and Health*, Volume 9, 2007. Disponible sur internet: <http://www.noiseandhealth.org>
- [16] ESTAQUIO C., CAAMANO D., “La gêne – Utilisation de l'indicateur pour l'étude SURVOL“, Document de travail DRASS CIRE IdF pour l'étude SURVOL, 2008.

- [17] ZANNIN P. et al., "A survey of urban noise annoyance in a large Brazilian city: the importance of a subjective analysis in conjunction with an objective analysis", *Environmental Impact Assessment Review*, Volume 23, p 245-255, 2003.
- [18] WAYE P. K., et al., "A descriptive cross-sectional study of annoyance from low frequency noise installations in an urban environment"
- [19] EUROPEAN COMMISSION, "Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance", Working Group 2 Dose-Effect, 2002. Disponible sur internet : http://ec.europa.eu/index_fr.htm
- [20] MOURET J, VALLET M., "Les effets du bruit sur la santé", Ministère des affaires sociales de la santé et de la ville, 1995.
- [21] ESTAQUIO C., CAAMANO D., "La perturbation du sommeil – Utilisation de l'indicateur pour l'étude SURVOL", Document de travail DRASS CIRE IdF pour l'étude SURVOL, 2008.
- [22] MARKS A., GRIEFAHN B., "Associations between noise sensitivity and sleep, subjectively evaluated sleep quality, annoyance, and performance after exposure to nocturnal traffic noise", *Noise and Health*, Volume 9, 2007. Disponible sur internet: <http://www.noiseandhealth.org>
- [23] EUROPEAN COMMISSION, "Position paper on dose-effect relationships for night time noise", Working Group on Health and socio-economic Aspects, November 2004. Disponible sur internet: http://ec.europa.eu/index_fr.htm
- [24] MIEDEMA H.M.E., et al., "Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance", TNO-INRO, Delft, 2003.
- [25] BABISCH W., "Transportation Noise and Cardiovascular Risk, Review and Synthesis of Epidemiological Studies, Dose-effect Curve and Risk Estimation", Federal Environmental Agency, Umweltbundesamt, 2006. Disponible sur internet: <http://www.umweltdaten.de>
- [26] CIRE IdF, DRASS IdF, "Impact sanitaire du bruit et de la pollution atmosphérique autour des zones aéroportuaires – Etat des connaissances – Propositions d'indicateurs pour la mise en place d'une surveillance épidémiologique", Rapport des groupes d'experts, 2007.
- [27] Van KEMPEEN E.M.M et al., "The Association between Noise Exposure and Blood Pressure and Ischemic Heart Disease: A Meta-Analysis", *Environmental Health Perspectives*, Volume 110, number 3, 2002. Disponible sur internet : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>
- [28] BELOJEVIC G. et al., "Urban road-traffic noise and blood pressure in school children", *Proceedings of the 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem*, July 21st-25th 2008, Foxwoods, CT, USA, 9 287-292. Disponible sur internet: www.icben.org

- [29] DAVIES H., et al., "Environmental noise and cardiovascular disease: Five years review and future directions", *Proceedings of the 9th International Congress on Noise as a Public Health Problem*, July 21st-25th 2008, Foxwoods, CT, USA, 9 287-292. Disponible sur www.icben.org
- [30] VALLET M. et al., "La consommation de médicaments destinés aux troubles cardiovasculaires et de somnifères par les riverains de grandes routes et d'aéroports. Etude méthodologique et enquête pilote.", *Recherche Environnement* n°28, 1985.
- [31] FRANSSSEN E.A.M., et al., "Aircraft noise around a large international airport and its impact on general health and medication use", *Occupational and Environmental Medicine*, Volume 61, p 405-413, 2004. Disponible sur internet: <http://oem.bmj.com/>
- [32] LABORATOIRE D'ANTHROPOLOGIE APPLIQUEE DE L'UNIVERSITE PARIS V-RENE DESCARTES "Influence du bruit des avions sur la santé des riverains d'aéroports. Synthèse des résultats", Paris : DOC AA 408 bis/00, 2000.
- [33] SALL K.M., " Etude de la multiexposition au bruit auprès des résidents de la ville d'Angers ", mémoire CNAM, 2005.
- [34] NADEAU P. et al., "Etude sur les effets sur la santé subjectifs et physiologiques, relatifs à la multi exposition à plusieurs sources de bruit", rapport final ppt, ACOUPLUS, 2007.
- [35] MOISAN F., "Champlan, un programme d'études scientifiques, une démarche participative avec les Champlonais", *Environnement, Risques et Santé*, Volume 8, n°3, 2009.
- [36] VON SCHIMDING Y., "Health in sustainable development planning: The role of indicators, Chapter 4: Construction of Indicators", WHO, 2002. Disponible sur internet: <http://www.who.int/wssd/resources/indicators/en/>
- [37] WHO Regional Office for Europe, "WHO technical meeting on noise and health indicators, Second meeting – Results of the testing and piloting in Member States", Bonn Germany, 2003. Disponible sur internet: <http://www.euro.who.int/Noise>
- [38] EVRARD A.S., et al., "Etude DEBATS, Protocole, rev. 1", INRETS, mars 2009.
- [39] ORS IdF, "Les perceptions du bruit en Ile-de-France", Exploitation régionale du Baromètre Santé-Environnement 2007, 2009. Disponible sur internet : <http://www.ors-idf.org>
- [40] JAKOVLJEVIC B, et al., "Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population", *Environment International*, Volume 35, p 552-556, 2009.
- [41] OPENROME, "Etude bruit et santé en Ile-de-France", Région d'Ile-de-France, Rapport final, juin 2007.
- [42] VAN WIENCHEN C., "Aircraft Noise Exposure from Schipol Airport: A Relation with Complainants", *Noise and Health*, Volume 5, Issue 17, p 23-34, 2002. Disponible sur internet: <http://www.noiseandhealth.org>

- [43] MAZIUL M. et al., "Complaint data as an index of Annoyance – Theoretical and Methodological Issues", *Noise and Health* Volume 7, p 17-27, 2005. Disponible sur internet: www.noiseandhealth.org
- [44] AASVANG GM. et al, "Self-reported sleep disturbances due to railway noise: exposure-response relationships for nighttime equivalent and maximum noise levels", *Journal of the Acoustical Society of America*, n° 124, p 257-268, 2008.
- [45] MICHAUD DS. et al, "Review of field studies of aircraft noise-induced sleep disturbance", *Journal of the Acoustical Society of America*, 121(1), p 32-41, Janvier 2007.
- [46] OHRSTROM E. et al., "Effects of road traffic noise on sleep: studies on children and adults ", *Journal of Environmental Psychology* 26, p. 116-126, 2006.
- [47] JAKOLVJEVIC B. et al., "Road Traffic Noise and Sleep Disturbances in an Urban Population: Cross-sectional Study", *Croatian Medical Journal*, 47(1):125-33, Février 2006. Disponible sur internet : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>
- [48] NEROME S., et al., "INSOMNIA : Impact des Nuisances SONores (Maladies et INsomnie) à proximité des Aéroports". Hôpital Européen Georges Pompidou, Paris. Résultats, mai 2004.
- [49] GRIEFAHN B., SPRENG M., "Disturbed Sleep Patterns and Limitation of Noise", *Noise and Health*, Volume 6, Issue 22, p. 27-33, 2004. Disponible sur internet: www.noiseandhealth.org
- [50] SELANDER J., et al., "Long-Term Exposure to Road Traffic Noise and Myocardial Infarction", *Epidemiology*, Volume 20, N° 2, 2009.
- [51] GIORDANELLA J.P., "Rapport sur le thème du sommeil", Rapport à Monsieur Xavier Bertrand, Ministère de la Santé et des Solidarités, Décembre 2006.
- [52] WHO Regional Office for Europe, "Technical meeting on exposure-response relationships of noise on health", Bonn Germany, Meeting Report, 19-21 September 2002. Disponible sur internet: <http://www.euro.who.int/Noise>
- [53] PAVILLON G., LAURENT F., "Certification et codification des causes médicales de décès", CepiDc-INSERM, BEH n°30-31/2003.
- [54] INVS, "Surveillance en santé environnementale: Mieux comprendre", BEH n°27-28, juin 2009. Disponible sur internet : <http://www.invs.sante.fr>
- [55] ACNUSA, "Rapport d'activité 2008". Disponible sur internet : www.acnusa.fr
- [56] RUHR UNIVERSITY BOCHUM, Germany, Noise Questionnaire Database, <http://eco.psy.ruhr-uni-bochum.de/nqd/> , dernière mis à jour le 18-02-2003
- [57] CIDB, "Colloque : Les réseaux de surveillance acoustique, prémices des Observatoires du bruit", Maison de la RATP, Paris, 4 juin 2008. Disponible sur internet : http://www.bruit.fr/diaporamas/paris_2008_surveillance.htm
- [58] MIETLICKI F., "Le réseau de surveillance RUMEUR", *Colloque Le bruit en Ile-de-France*, Paris, 2009.

- [59] LILLE METROPOLE COMMUNAUTE URBAINE, Réseau de surveillance acoustique. Disponible sur internet : http://www.lillemetropole.fr/index.php?p=1281&art_id=
- [60] VINCENT B., et al., "Guide méthodologique pour le développement d'un observatoire métrologique permanent du bruit des transports terrestres en milieu urbain", Acoucité, 2006. Disponible sur internet : <http://www.acoucite.org/>
- [61] BASNER M., et al., "Aircraft noise effects on sleep: application of the results of a large polysomnographic field study", *Journal of the Acoustical Society of America*, 119(5), p. 2772-2784, 2006.
- [62] BASNER M., et al., "Aircraft noise: effects on macro- and microstructure of sleep ", *Sleep Medicine*, Volume 9, Issue 4, p. 382-387, 2008.
- [63] OHRSTROM E., "Sleep disturbances caused by road traffic noise – Studies in laboratory and field", *Noise and Health*, Volume 8, p. 71-78, 2000. Disponible sur internet: www.noiseandhealth.org
- [64] JAKOVLJEVIC B. et al., "Road Traffic Noise and Sleep Disturbances in an Urban Population: Cross-sectional Study", *Croatian Medical Journal*, 47(1):125-33, Février 2006. Disponible sur internet : <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/>
- [65] WIKIPEDIA, "CIM-10 Chapitre 09 : Maladies de l'appareil circulatoire" [visité le 5 Août 2009]. Disponible sur internet : <http://fr.wikipedia.org/wiki/Accueil>
- [66] JARUP L. et al., "Hypertension and Exposure to Noise near Airports – the HYENA study", *Environmental Health Perspectives*, 2008. Disponible sur internet: <http://www.medscape.com/viewarticle/571458>
- [67] WILLICH S.N. et al., "Noise burden and the risk of myocardial infarction", *European Heart Journal*, n° 27, p 276-282, 2006. Disponible sur internet: <http://eurheartj.oxfordjournals.org>
- [68] BARRGEGARD L. et al., "Risk of hypertension from exposure to road traffic noise in a population-based sample", *Occupational and Environmental Medicine*, Volume 66, p 410-415, 2009.
- [69] LEON BLUHM G. et al., "Road traffic noise and hypertension", *Occupational and Environmental Medicine*, Volume 64, p 122-126, 2007.
- [70] DE KLUIZENAAR Y. et al., "Hypertension and Road Traffic Noise Exposure", TNO, 2007.
- [71] INSTITUT BRUXELLOIS POUR LA GESTION DE L'ENVIRONNEMENT, Réseau de mesure du bruit. Disponible sur internet : <http://www.ibgebim.be/Templates/Particuliers/informer.aspx?id=1700&detail=tab1>

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure 1 : Principaux effets de la gêne due au bruit | 8 |
| Figure 2 : Relation dose réponse du pourcentage de personnes gênées en fonction du niveau de bruit aérien, routier et ferroviaire en Lden, avec les intervalles de confiance à 95 %..... | 11 |
| Figure 3 : Modèle conceptuel pour les effets du bruit des transports sur le sommeil | 12 |
| Figure 4 : Relations dose-réponse de la perturbation du sommeil en fonction du Lnight.. | 15 |
| Figure 5: Model conceptuel des effets du bruit sur le système CV..... | 16 |
| Figure 6 : Courbe de l'association entre le bruit routier diurne et l'incidence de l'IM..... | 19 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Indicateurs sanitaires utilisés ou proposés | 25 |
| Tableau 2 : Bilan des indicateurs sanitaires du bruit, leurs sources de données et leur pertinence suivant les critères de choix..... | 39 |

Liste des annexes

| | |
|--|----|
| Annexe 1 : Tableaux des effets et des seuils pour les effets dont le niveau de preuve est suffisant | 63 |
| Annexe 2 : Tableaux des effets et des seuils pour les effets dont le niveau de preuve est limité | 64 |
| Annexe 3 : Les différentes études épidémiologiques | 65 |
| Annexe 4 : Formules des relations dose-réponse pour la gêne due au bruit | 67 |
| Annexe 5 : Classification Internationale des Troubles du Sommeil | 68 |
| Annexe 6 : Caractéristiques objectives du sommeil | 72 |
| Annexe 7 Synthèse des études récentes des effets du bruit sur le sommeil | 74 |
| Annexe 8 : Formules des relations dose-réponse pour la perturbation du sommeil due au bruit..... | 75 |
| Annexe 9 : Classification Internationale des Maladies CIM-10 pour les Cardiopathies Ischémiques (I20-I25) | 76 |
| Annexe 10 : Synthèse des méta-analyses de Van Kempen et Babisch..... | 78 |
| Annexe 11 : Synthèse des études épidémiologiques post 2006 analysées – bruit et maladies CV | 79 |
| Annexe 12 : Fiche méthodologique de l'indicateur de gêne et de perturbation du sommeil en cours d'élaboration du Bureau Régional de l'Europe de l'OMS | 80 |
| Annexe 13 : Fiche méthodologique de l'indicateur en cours d'élaboration du Bureau Régional de l'Europe de l'OMS | 82 |
| Annexe 14 : Synthèse des études épidémiologiques françaises..... | 83 |
| Annexe 15 : Questionnaires d'évaluation de la qualité du sommeil | 84 |
| Annexe 16 : Graphique de répartition des LAmax de jour (7h-23h) mesurés sur la période du 17/07/09 au 16/08/09 par une des stations de l'observatoire du bruit de Bruxelles | 88 |
| Annexe 17 Intarese – Approche intégrée appliquée au cas du trafic routier | 89 |

Annexe 1 : Tableaux des effets et des seuils pour les effets dont le niveau de preuve est suffisant [6]

| | Effect | Indicator | Threshold, dB |
|--------------------|---|---------------------|---------------|
| Biological effects | Change in cardiovascular activity | * | * |
| | EEG awakening | $L_{Amax,inside}$ | 35 |
| | Motility, onset of motility | $L_{Amax,inside}$ | 32 |
| | Changes in duration of various stages of sleep, in sleep structure and fragmentation of sleep | $L_{Amax,inside}$ | 35 |
| Sleep quality | Waking up in the night and/or too early in the morning | $L_{Amax,inside}$ | 42 |
| | Prolongation of the sleep inception period, difficulty getting to sleep | * | * |
| | Sleep fragmentation, reduced sleeping time | * | * |
| | Increased average motility when sleeping | $L_{night,outside}$ | 42 |
| Well-being | Self-reported sleep disturbance | $L_{night,outside}$ | 42 |
| | Use of somnifacient drugs and sedatives | $L_{night,outside}$ | 40 |
| Medical conditions | Environmental insomnia ¹ | $L_{night,outside}$ | 42 |

Annexe 2 : Tableaux des effets et des seuils pour les effets dont le niveau de preuve est limité [6]

| | Effect | Indicator | Estimated threshold, dB |
|--------------------|--|---|-------------------------|
| Biological effects | Changes in (stress) hormone levels | * | * |
| Well-being | Drowsiness/tiredness during the day and evening | * | * |
| | Increased daytime irritability | * | * |
| | Impaired social contacts | * | * |
| | Complaints | $L_{night, outside}$ | 35 |
| | Impaired cognitive performance | * | * |
| Medical conditions | Insomnia | * | * |
| | Hypertension | $L_{night, outside}$ (probably depending on daytime exposure as well) | 50 |
| | Obesity | * | * |
| | Depression (in women) | * | * |
| | Myocardial infarction | $L_{night, outside}$ (probably depending on daytime exposure as well) | 50 |
| | Reduction in life expectancy (premature mortality) | * | * |
| | Psychic disorders | $L_{night, outside}$ | 60 |
| | (Occupational) accidents | * | * |

Annexe 3 : Les différentes études épidémiologiques

➤ **Les études descriptives**

✓ **Etudes de prévalence**

Ces sont des **études transversales** qui estiment le nombre de cas présents dans une population à un instant donné. C'est une description de la fréquence d'une maladie, de ses facteurs de risque ou de ses autres caractéristiques dans une population donnée pendant une période de temps déterminée. Une comparaison est faite entre les données obtenues en fin d'étude à celles du début de l'étude: étude d'une association (et non pas d'une relation causale) entre une intervention donnée et l'issue clinique.

✓ **Etudes d'incidence**

Ce sont des **études longitudinales** qui estiment le nombre de nouveaux cas de maladie dans une population pendant une période donnée. Elle consiste à suivre une ou plusieurs cohortes à l'aide d'examens périodiques répétés pendant une période assez longue.

➤ **Les études analytiques**

✓ **Etude de cohorte**

C'est une étude d'observation, le plus souvent prospective, dans laquelle un groupe de sujets exposés (à des facteurs de risque d'une maladie ou à un traitement particulier) est suivi pendant une période déterminée et comparé à un groupe contrôle non exposé. La cohorte est suivie jusqu'à l'apparition de l'issue recherchée. Elle permet d'estimer le risque relatif de la maladie.

Une étude cas-témoin ou une étude de cohorte de faible qualité viendrait d'une mauvaise définition des groupes à comparer, d'une évaluation non identique de l'exposition et de l'issue dans le groupe exposé et non exposé, de l'absence d'identification et de contrôle approprié des facteurs de confusion connus ou encore, dans le cas de la cohorte, d'une absence d'un suivi suffisamment long et complet des patients.

✓ **Etude de cas-témoin**

C'est une étude d'observation rétrospective dans laquelle dans laquelle les caractéristiques des malades (les cas) sont comparées à celles de sujets indemnes de la maladie (les témoins). Elle est particulièrement adaptée pour les maladies rares ou celles qui présentent une longue période entre l'exposition et l'issue et pour l'étude d'hypothèses préliminaires

En général, moins de sujets nécessaires sont que dans les études transversales. Le risque relatif de la maladie ne peut être estimé dans une étude cas-témoin. Cependant, un odds ratio peut être calculé, qui est une bonne estimation du risque relatif

➤ **Méta-analyse**

La méta-analyse consiste à rassembler les données issues d'études comparables et à les réanalyser au moyen d'outils statistiques adéquats. Elle regroupe les études pertinentes qui essaient de répondre à une question précise de manière critique et quantitative.

L'avantage de la méta-analyse permise est de réunir un nombre important de patients et d'événements et d'arriver à des conclusions plus solides que ne le permettraient les études individuelles. On tient compte dans une méta-analyse des résultats de l'analyse combinée, mais aussi de l'hétérogénéité des résultats des études individuelles. Evidemment, la méta-analyse a plus de poids si les essais individuels sont cohérents.

La méta-analyse n'est applicable que si différentes études utilisent des stratégies identiques et fournissent des données quantitatives semblables, ce qui est rarement le cas puisque deux essais ne sont jamais comparables en tous points, même lorsqu'ils répondent à la même question de départ. La variabilité entre les études se situe aussi bien au niveau de leur qualité et de la théorie qui supporte les hypothèses formulées que de la conception des expériences et des méthodes statistiques qui permettent d'interpréter les résultats.

Les études peuvent être classées selon leur niveau de preuve. Les études analytiques apportent un niveau de preuve plus important que les études descriptives. La méta-analyse apporte le meilleur niveau de preuve.

➤ **Relation de cause à effet**

La causalité ne peut jamais être prouvée en épidémiologie (Babisch, 2006) mais il existe des arguments en faveur d'une relation causale, appelés critères de Hill (Hill B., 1965) :

- Arguments expérimentaux
- L'exposition au facteur doit précéder l'apparition de l'événement
- La relation facteur-événement doit être constante et reproductible (différentes populations, différentes conditions)
- Force de l'association : Risque relatif ou odds ratio élevé
- Existence de relation dose-effet
- Cohérence avec les connaissances actuelles
- Plausibilité biologique de l'association
- Spécificité de l'association maladie-exposition

Annexe 4 : Formules des relations dose-réponse pour la gêne due au bruit [19]

Les formules permettant d'obtenir les % de personnes gênées (G) et extrêmement gênées (EG) sont décrites ci-dessous :

Bruit aérien: $\%G = 8.588 \times 10^{-6}(\text{Lden}-37)^3 + 1.777 \times 10^{-2}(\text{Lden}-37)^2 + 1.221(\text{Lden}-37)$

Bruit routier: $\%G = 1.795 \times 10^{-4}(\text{Lden}-37)^3 + 2.110 \times 10^{-2}(\text{Lden}-37)^2 + 0.5353(\text{Lden}-37)$

Bruit ferroviaire: $\%G = 4.538 \times 10^{-4}(\text{Lden}-37)^3 + 9.482 \times 10^{-3}(\text{Lden}-37)^2 + 0.2129(\text{Lden}-37)$

Bruit aérien: $\%EG = -9.199 \times 10^{-5}(\text{Lden}-42)^3 + 3.932 \times 10^{-2}(\text{Lden}-42)^2 + 0.2939(\text{Lden}-42)$

Bruit routier: $\%EG = 9.868 \times 10^{-4}(\text{Lden}-42)^3 - 1.436 \times 10^{-2}(\text{Lden}-42)^2 + 0.5118(\text{Lden}-42)$

Bruit ferroviaire: $\%EG = 7.239 \times 10^{-4}(\text{Lden}-42)^3 - 7.821 \times 10^{-3}(\text{Lden}-42)^2 + 0.1695(\text{Lden}-42)$

Annexe 5 : Classification Internationale des Troubles du Sommeil

D'après ICSD seconde édition, 2005. American Academy of Sleep Medicine [21]

INSOMNIE

Insomnie aiguë
Insomnie psychophysiologique
Mauvaise perception du sommeil
Insomnie idiopathique
Insomnie en relation avec un trouble mental
Mauvaise hygiène de sommeil
Insomnie comportementale de l'enfant
Insomnie due à une drogue ou à une substance
Insomnie en relation avec un trouble médical
Insomnie non spécifiée

TOUBLES DU SOMMEIL EN RELATION AVEC LA RESPIRATION

Syndromes d'apnées centrales du sommeil

Syndrome d'apnée centrale essentiel
Syndrome d'apnée centrale de type Cheyne-Stokes
Syndrome d'apnée centrale en relation avec une respiration périodique de l'altitude
Syndrome d'apnée centrale en relation avec un problème médical autre qu'un Cheyne Stokes
Syndrome d'apnée centrale dû à une drogue ou à une substance
Syndrome d'apnée centrale essentiel de l'enfant

Syndromes d'apnées obstructives du sommeil

Syndrome d'apnée obstructive du sommeil de l'adulte
Syndrome d'apnée obstructive du sommeil de l'enfant (pédiatrie)

Syndromes d'hypoventilation / hypoxie du sommeil

Hypoventilation alvéolaire du sommeil non obstructive, idiopathique
Syndrome d'hypoventilation alvéolaire central congénital
Syndromes d'hypoventilation / hypoxie du sommeil en relation avec une pathologie
Syndromes d'hypoventilation / hypoxie du sommeil causée par une pathologie pulmonaire ou vasculaire
Syndromes d'hypoventilation / hypoxie du sommeil causée par une obstruction respiratoire basse

Syndromes d'hypoventilation / hypoxie du sommeil causée par une pathologie neuromusculaire ou thoracique

Autres troubles respiratoires en relation avec la respiration

HYPERSOMNIES D'ORIGINE CENTRALE NON RELIEE A UN TROUBLE DU RYTHME CIRCADIEN, RESPIRATOIRE OU UNE AUTRE CAUSE DE TROUBLE DU SOMMEIL NOCTURNE

Narcolepsie avec cataplexie

Narcolepsie sans cataplexie

Narcolepsie en relation avec un trouble médical

Hypersomnie récurrente

- Syndrome de Kleine-Levin
- Hypersomnie en relation avec les règles

Hypersomnie idiopathique avec un sommeil de longue durée

Hypersomnie idiopathique sans un sommeil de longue durée

Syndrome d'insuffisance de sommeil comportemental

Hypersomnie en relation avec un trouble médical

Hypersomnie par une substance ou une drogue

Hypersomnie non organique

Hypersomnie non spécifique

TROUBLES DU RYTHME CIRCADIEN DU SOMMEIL

Syndrome de retard de phase

Syndrome d'avance de phase

Rythme veille-sommeil irrégulier

Libre-cours

Franchissement de fuseaux horaires (jet lag)

Travail posté

En relation avec un trouble médical

Autre non spécifié

Par drogue ou substance

PARASOMNIE

De l'éveil (sommeil lent)

- Eveils confusionnels
- Somnambulisme
- Terreurs nocturnes

Parasomnies habituellement associées au sommeil paradoxal

Trouble du comportement du sommeil paradoxal

- Paralyse du sommeil isolée récurrente
- Cauchemar

Autres parasomnies

Etats dissociés du sommeil

Enurésie nocturne ...

MOUVEMENTS EN RELATION AVEC LE SOMMEIL

Syndrome des jambes sans repos

Syndrome des mouvements périodiques du sommeil

Crampes musculaires en relation avec le sommeil

Bruxisme du sommeil

Mouvements rythmiques du sommeil

Non spécifiés

En relation avec une drogue ou une substance

En relation avec une pathologie

SYMPTOMES ISOLES, APPAREMMENT NORMAUX OU NON EXPLIQUES

Long dormeur

Court dormeur

Ronflement

Somniloquie

Clonies d'endormissement

Myclonies bénignes de l'enfant

AUTRES TROUBLES DU SOMMEIL

Troubles du sommeil physiologique (organique)

Autre trouble du sommeil non dû à une substance ou un état physiologique

Trouble du sommeil environnemental

APPENDICE A : TROUBLE DU SOMMEIL ASSOCIE A DES PAHTOLOGIES CLASSES AILLEURS

Insomnie fatale familiale

Fibromyalgie

Epilepsie du sommeil

Céphalées du sommeil

Reflux gastro-oesophagien du sommeil

Ischémie coronarienne du sommeil

Transpiration, laryngospasme, choc en relation avec le sommeil

APPENDICE B : autres troubles comportementaux et psychiques fréquemment rencontrés dans le diagnostic différentiel des troubles du sommeil

Troubles de l'humeur

Troubles anxieux

Troubles somatiques

Schizophrénie et autres psychoses

Troubles de la personnalité diagnostiquée d'abord dans l'enfance ou l'adolescence

Annexe 6 : Caractéristiques objectives du sommeil [20]

De manière à pouvoir comparer les enregistrements de sommeil, une classification internationale des "stades" de sommeil (classification de Rechtschaffen et Kales) a été établie. Elle est basée sur l'enregistrement simultané (enregistrement "polygraphique") de divers paramètres : électroencéphalographies (EEG), mouvements oculaires (EOG) et activité des muscles de la houppe du menton (EMG).

a) L'éveil (niveau 0)

Les yeux sont ouverts, l'activité EEG est rapide, microvoltée. L'EOG montre la présence de mouvements oculaires rapides, fonction de l'environnement et de l'activité. L'activité musculaire (EMG) est retrouvée dans l'ensemble des groupes musculaires, elle est la base de la réactivité motrice.

b) Le stade 1 du sommeil

C'est un stade de transition entre l'éveil et le "vrai" sommeil. L'EEG est constitué d'un rythme moins continu et d'amplitude plus faible. L'EOG est caractéristique car, outre la disparition des mouvements oculaires rapides, il montre la présence de mouvements oculaires lents, des mouvements de balancement des globes oculaires d'un côté et de l'autre de l'orbite, sans saccades. L'activité musculaire des groupes de la houppe du menton persiste.

c) Le stade 2

Des éléments caractéristiques apparaissant sur l'EEG permettent de le définir. Il s'agit d'une part, d'ondes biphasiques, de grande amplitude, et d'autre part, de fuseaux rapides peu amples. L'EOG ne traduit aucune activité oculomotrice. L'activité musculaire est en général présente, mais moins importante que pendant les phases précédentes.

d) Les stades de sommeil lent profond : stades 3 et 4

Ils sont ainsi appelés car le tracé de l'EEG est fait d'ondes lentes, de grande amplitude qui, pour le stade 3, représentent moins de 50% du temps et, pour le stade 4, plus de 50% du temps. Les deux stades sont souvent regroupés en sommeil lent profond. L'activité musculaire est le plus souvent absente ou très peu intense, tandis qu'il n'y a pas de mouvements oculaires.

e) Le sommeil avec mouvements oculaires rapides (sommeil paradoxal ou SP)

L'EEG redevient comparable, avec quelques différences, à celui du stade 1 de sommeil. C'est un tracé peu volté, fait d'ondes rapides. L'EOG révèle la présence, bien que des périodes de quiescence oculaire existent, de nombreux mouvements soit isolés, comparables à ceux enregistrés à l'éveil, soit groupés en bouffées.

L'activité musculaire est absente. Cette atonie (perte du tonus musculaire), qui est la règle, est en contraste avec l'EEG et la présence de mouvements oculaires.

Ces cinq points représentent donc les critères polygraphiques minima pour définir les stades de sommeil. Il est bien évident que les transitions entre ces stades ne sont que rarement brutales ; c'est progressivement que vont disparaître les critères d'un stade et apparaître ceux d'un autre.

Les figures ci-dessous présentent l'évolution des stades de sommeil au cours d'une nuit perturbée et d'une autre modérément perturbée par le bruit.

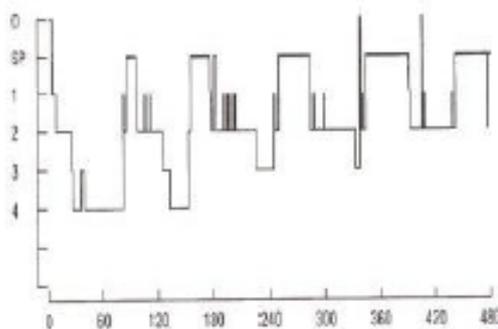


Figure A

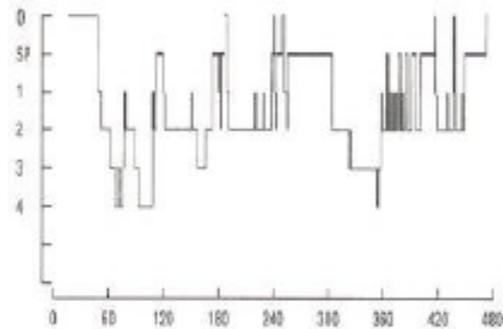


Figure B

A : Hypnogramme d'une nuit de huit heures de sommeil (soit 480 minutes) non perturbée : succession des différents stades de sommeil en fonction de l'avancement de la nuit.

B : Hypnogramme d'une nuit modérément perturbée par le bruit : succession des stades de sommeil durant une nuit de 480 minutes.

L'endormissement est sensiblement plus long dans le cas de la nuit perturbée. Le sommeil à ondes lentes est fragmenté en début de nuit et une séquence importante de ce sommeil survient lors de la deuxième moitié de la nuit. Les phases de sommeil paradoxal sont irrégulières et souvent interrompues par des éveils ou des retours en stades 1 et 2, contribuant ainsi à une forte instabilité du sommeil.

Annexe 7 Synthèse des études récentes des effets du bruit sur le sommeil

| Type de transports | Auteurs Année | Type d'étude – Nombre de sujets | Méthode – Paramètres étudiés | Résultats : Niveaux sonores /Relations dose réponse/OR |
|--------------------|----------------------------------|---|---|---|
| Aérien | Basner 2006 [61] | Etudes de terrain et en laboratoire de 1999 à 2004 | Polysomnographies – Réveils, changements de stade | Premier réveil : SPL extérieur = 33dB |
| | Basner 2007 [62] | Etude en laboratoire – 10 patients | Polysomnographies – Réveils, changements de stade | 64 événements sonores de 45 ou 65 dBA (SPL) |
| | Michaud et al. – 2007 [45] | Revue de 5 études de terrain | Polysomnographies, questionnaires – Réveils, motilité | Relations dose réponse |
| | Maschke et al. – 2004 | Analyse statistique | Statistique - Réveils | Réveil : LAmix intérieur = 48 dBA |
| Routier | Ohrström 2000 [63] | Comparaison d'études de terrain et en laboratoire | Polysomnographie, questionnaires – Réveils, difficultés à s'endormir, qualité du sommeil perçue | Relations dose réponse (LAmix et nombre d'événements sonores) |
| | Jakovljevic 2006 [64] | Etude transversale – 310 sujets dont 192 résidant en environnement bruyant et 118 en environnement calme | Questionnaires – Qualité du sommeil perçue, réveils, difficultés à s'endormir, caractéristiques personnelles, sensibilité au bruit | Difficultés à s'endormir : OR=2.71 [1.27 ; 5.80] Réveils : OR=2.60 [1.49 ; 4.52] |
| | Ohrström 2006 [46] | Etude socio- acoustique – 160 enfants et 160 enfants (9-12 ans) | Actigraphie et questionnaires - Réveils, motilité, difficultés à s'endormir, qualité du sommeil perçue, habitude de laisser les fenêtres ouvertes | Relations dose réponse pour adultes et enfants – Les enfants ont une meilleure perception de la qualité de leur sommeil |
| Ferroviaire | Aasvang et al. – 2008 [44] | Enquête transversale – 1349 patients | Questionnaires – Qualité du sommeil perçue, réveils, caractéristiques personnelles, sensibilité au bruit, propriétés de l'habitat | Relations dose réponse (LAmix, Lnight intérieur et extérieur) |

Annexe 8 : Formules des relations dose-réponse pour la perturbation du sommeil due au bruit [23]

Les formules permettant d'obtenir les % de personnes ayant le sommeil perturbé (P) et extrêmement perturbé (EP) sont décrites ci-dessous :

Bruit aérien: $\%P = 13.714 - 0.807L_{\text{night}} + 0.01555(L_{\text{night}})^2$

Bruit routier: $\%P = 13.8 - 0.85L_{\text{night}} + 0.01670(L_{\text{night}})^2$

Bruit ferroviaire: $\%P = 12.5 - 0.66L_{\text{night}} + 0.01121(L_{\text{night}})^2$

Bruit aérien: $\%EP = 18.147 - 0.956L_{\text{night}} + 0.01482(L_{\text{night}})^2$

Bruit routier: $\%EP = 20.8 - 1.05L_{\text{night}} + 0.01486(L_{\text{night}})^2$

Bruit ferroviaire: $\%EP = 11.3 - 0.55L_{\text{night}} + 0.00759(L_{\text{night}})^2$

Annexe 9 : Classification Internationale des Maladies CIM-10 pour les Cardiopathies Ischémiques (I20-I25) [65]

- (I20) Angine de poitrine
 - (I20.0) Angine de poitrine instable
 - (I20.1) Angine de poitrine avec spasme coronaire vérifié
 - (I20.8) Autres formes d'angine de poitrine
 - (I20.9) Angine de poitrine, sans précision
- (I21) Infarctus aigu du myocarde
 - (I21.0) Infarctus transmural aigu du myocarde, de la paroi antérieure
 - (I21.1) Infarctus transmural aigu du myocarde, de la paroi inférieure
 - (I21.2) Infarctus transmural aigu du myocarde d'autres localisations
 - (I21.3) Infarctus transmural aigu du myocarde, de localisation non précisée
 - (I21.4) Infarctus sous-endocardique aigu du myocarde
 - (I21.9) Infarctus aigu du myocarde, sans précision
- (I22) Infarctus du myocarde à répétition
 - (I22.0) Infarctus du myocarde à répétition, de la paroi antérieure
 - (I22.1) Infarctus du myocarde à répétition, de la paroi inférieure
 - (I22.8) Infarctus du myocarde à répétition d'autres localisations
 - (I22.9) Infarctus du myocarde à répétition, de localisation non précisée
- (I23) Certaines complications récentes d'un infarctus aigu du myocarde
 - (I23.0) Hémopéricarde comme complication récente d'un infarctus aigu du myocarde
 - (I23.1) Communication interauriculaire comme complication récente d'un infarctus aigu du myocarde
 - (I23.2) Communication interventriculaire comme complication récente d'un infarctus aigu du myocarde
 - (I23.3) Rupture de la paroi cardiaque sans hémopéricarde comme complication récente d'un infarctus aigu du myocarde
 - (I23.4) Rupture des cordages tendineux comme complication récente d'un infarctus aigu du myocarde
 - (I23.5) Rupture du muscle papillaire comme complication récente d'un infarctus aigu du myocarde
 - (I23.6) Thrombose de l'oreillette, de l'auricule et du ventricule comme complication récente d'un infarctus aigu du myocarde
 - (I23.8) Autres complications récentes d'un infarctus aigu du myocarde
- (I24) Autres cardiopathies ischémiques aiguës
 - (I24.0) Thrombose coronaire n'entraînant pas un infarctus du myocarde
 - (I24.1) Syndrome de Dressler

- (I24.8) Autres formes de cardiopathies ischémiques aiguës
- (I24.9) Cardiopathie ischémique aiguë, sans précision
- (I25) Cardiopathie ischémique chronique
- (I25.0) Athérosclérose cardiovasculaire, décrite ainsi
- (I25.1) Cardiopathie artérioscléreuse
- (I25.2) Infarctus du myocarde, ancien
- (I25.3) Anévrisme du coeur
- (I25.4) Anévrisme d'une artère coronaire
- (I25.5) Myocardiopathie ischémique
- (I25.6) Ischémie myocardique asymptomatique
- (I25.8) Autres formes de cardiopathie ischémique chronique
- (I25.9) Cardiopathie ischémique chronique, sans précision

Annexe 10 : Synthèse des méta-analyses de Van Kempeen et Babisch

| Méta-analyses | Troubles CV étudiés | Méthodes | Résultats |
|------------------|--|---|---|
| Van Kempeen 2002 | - Pression sanguine - Cardiopathies ischémiques | Analyse de 43 études épidémiologiques publiées entre 1970 et 1999 – bruit aérien et routier | - Bruit aérien et hypertension : OR = 1.26 [1.14 ; 1.39] par 5 dBA d'augmentation du bruit - Bruit aérien positivement associé à la consultation de médecins, l'utilisation de médicaments contre les troubles CV et l'angine de la poitrine |
| Babisch 2006 | - Risques CV - Infarctus du myocarde | - Analyse de 61 études épidémiologiques publiées entre 1968 et 2004 – bruit des transports | - Relation dose-réponse entre le bruit routier diurne et les infarctus du myocarde - Nombre de cas attribuable au bruit routier diurne d'infarctus du myocarde → 4000 cas en Allemagne pour l'année 1999 |

Remarque : Les OR sont présentés avec leur intervalle de confiance à 95% entre crochets

Annexe 11 : Synthèse des études épidémiologiques post 2006 analysées – bruit et maladies CV

| Etudes Années | Objectifs | Méthodes | Résultats significatifs |
|--|---|--|--|
| Bruit des transports | | | |
| Jarup et al. 2007 Etude HYENA [66] | Evaluer les relations entre exposition au bruit nocturne et journalier, aérien ou routier et le risque d'HT | - Questionnaires à 4861 personnes entre 45 et 70 ans ayant vécu au moins 5 ans près d'un de 6 aéroports européens majeurs - Ajustement sur la pollution de l'air | - Bruit nocturne aérien : OR = 1.14 [1.01 ; 1.29] pour une augmentation de 10 dBA (Lnight) - Bruit routier 24h : OR = 1.10 [1.00 ; 1.20] pour une augmentation de 10 dBA (LAeq, 24h) |
| Willich et al. 2006 [67] | Evaluer le lien entre bruit et incidence de l'IM | - Etude cas-témoin avec 4115 patients diagnostiqué avec un IM à Berlin - Interviews standardisées - Cartes de bruit | - Niveau de bruit associé à une augmentation d'IM chez les hommes : OR = 1.46 [1.02 ; 2.09] et plus prononcé chez les femmes : OR = 3.36 [1.40 ; 8.06] |
| Barregard et al. 2009 [68] | Evaluer l'association entre HT et bruits routier et ferroviaire | - Enquête transversale par questionnaires postaux remplis par 1953 habitant d'une ville de Suède affectée par le bruit ferroviaire et routier - LAeq 24h modélisé | - LAeq 24h de 56-70 dBA associé à l'HT : OR = 1.9 [1.1 ; 3.5] et chez les hommes : OR = 3.8 [1.6 ; 9.0] - Pas d'association claire chez les femmes ou pour le bruit ferroviaire |
| Bruit routier | | | |
| Bluhm et al. 2007 [69] | Evaluer l'association entre bruit routier et HT dans une municipalité urbaine | Enquête transversale par questionnaires remplis par 667 sujets âgés de 19 à 80 ans | - OR ajusté = 1.38 [1.06 ; 1.80] pour une augmentation de 5 dBA et chez les femmes : OR = 1.71 [1.17 ; 2.50] |
| De Kluizenaar et al. 2007 [70] | Evaluer la relation entre exposition au bruit routier au domicile et prévalence d'HT | - Enquête transversale par questionnaires postaux chez 40856 habitants des Pays-Bas - Ajustement sur la pollution atmosphérique | - Association entre utilisation de médicaments anti-hypertensifs auto-rapportée et bruit routier : OR avant ajustement = 1.31 [1.25 ; 1.37] - Chez les 45-55 ans : OR ajusté = 1.19 [1.02 ; 1.40] |

Annexe 12 : Fiche méthodologique de l'indicateur de gêne et de perturbation du sommeil en cours d'élaboration du Bureau Régional de l'Europe de l'OMS [37]

| Self reported noise annoyance and sleep disturbance | | DPSEEA |
|---|---|--------|
| <i>Issue</i> | Noise | |
| <i>Definition of indicator</i> | <p>The easiest effects of noise to assess are annoyance and self-reported sleep disturbance, because these effects are measured by standardised questions in a population survey. They are not the most serious and health end points but they give a good picture of the existing situation and alert for more serious problems.</p> <p>Percentage of the population reporting annoyance by certain sources of environmental noise Percentage of the population with self-reported sleep disturbance by environmental noise</p> | |
| <i>Underlying definitions and concepts</i> | <p>The indicator is based on the assumption that exposure to high levels of noise originated from different sources, e.g. traffic (road, railway and air), industry, entertainment facilities, induce general annoyance and sleep disturbance. Underlying definitions are:</p> <p>Annoyance: "a feeling of displeasure associated with any agent or condition, known or believed by an individual or group to adversely affect them" (cf. Guidelines for Community Noise: B. Berglund, T. Lindvall, D. Schwela Ed, WHO, Geneva, 1999). It can be assessed by standardised questionnaires.</p> <p>Sleep disturbance: self-reported noise-induced sleep disturbance and increase of noise-induced awakenings during the habitual sleeping time. Sleep disturbance is seen as a health effect on its own, but may cause also after effects like mood changes, fatigue (and there with related accidents) and other impaired functions.</p> <p>Population: total population surveyed</p> | |
| <i>Specification of data needed</i> | <p>Self-assessment of the extent of annoyance and self-reported sleep disturbance on a standardised questionnaire by source.</p> <p>The subdivision of the source type can be the following:</p> <p>Road traffic:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ highway ▪ urban road ▪ vans ▪ heavy trucks ▪ motor bikes ▪ mopeds/ scooters <p>Air traffic:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ civil aviation ▪ military flight ▪ general aviation <p>Railway traffic:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ passenger trains ▪ freight trains ▪ metro <p>Industry:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ factories and manufacturers ▪ building equipment ▪ load/ unload facilities <p>Neighbourhood noise</p> <p>Total population of the sample surveyed</p> | |
| <i>Data sources, availability and quality</i> | <p>Data are collected by surveillance of a representative sample of the population, preferably by trained interviewers, although in some circumstances a telephone survey is a viable alternative. Postal surveys are not recommended. Preferably only persons living longer than one year on the address should be selected.</p> <p>Follow ICBCN's standardized annoyance and self-reported sleep disturbance questionnaires and scales. More information in http://www.xs4all.nl/~rigolet/ENGELS/quest/questionnaire.htm.</p> | |
| <i>Computation</i> | <p>Annoyance: the indicator can be computed for each source of noise as:</p> $100 * (N_a / N_t)$ <p>where N_a is the number of annoyed people and N_t is the total number of surveyed population</p> <p>Two numerical scales can be used</p> <p>A 10 number scale</p> <p>The number of annoyed people is counted by adding the subjects scoring 6, 7, 8, 9 and 10.</p> | |

| | |
|----------------------------------|---|
| | <p>The number of highly annoyed people is counted by adding the subjects scoring 8, 9 and 10.</p> <p>or a 5 point verbal scale.</p> <p>The number of annoyed people is counted by adding the subjects scoring 3, 4, 5</p> <p>The number of highly annoyed people is counted by adding the subjects scoring 4 and 5.</p> <p>Information on annoyance should be supplied with description on grouping of the noise sources</p> <p>Sleep: the indicator can be computed for each source of noise as: $100 * (N_{sd} / N_i)$ where N_{sd} is the number of sleep disturbed people and N_i is the total number of surveyed population</p> <p>The number of sleep-disturbed people is counted by adding the subjects scoring 6, 7, 8, 9 and 10.</p> <p>The number of highly sleep-disturbed people is counted by adding the subjects scoring 8, 9 and 10.</p> <p>Information on sleep disturbance should be supplied with description on grouping of the noise sources</p> |
| <i>Units of measurement</i> | Percentage |
| <i>Scale of application</i> | National as well as local – residential settings |
| <i>Interpretation</i> | The indicator provides a measure of health effects related to exposure to high levels of environmental noise by some sources when the survey is carefully designed and the above methodology is used. |
| <i>Related web sites</i> | <p>Noise DG environment policy : http://europa.eu.int/comm/environment/noise/</p> <p>Position paper on dose/effect relationships http://europa.eu.int/comm/environment/noise/noise_expert_network.pdf</p> <p>WHO noise and health Unit : www.euro.who.int/noise</p> <p>Guidelines for Community Noise (B. Berglund, T. Lindvall, D. Schwela Ed), WHO, Geneva, 1999 http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf</p> <p>ISO/TS 15666:2003 Acoustics -- Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys: http://www.iso.ch/iso/en/CatalogueDetailPage.CatalogueDetail?CSNUMBER=28630</p> |
| <i>Policy/regulatory context</i> | European directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 |
| <i>Reporting obligations</i> | <p>Practical compliance: MS report on the implementation of limit values of L_{den} and L_{night} for some sources of noise</p> <p>Environmental data: noise maps to assess the number of people annoyed and sleep disturbed throughout Europe. MS apply L_{den} and L_{night}</p> <p>Description of policy measures: strategic noise maps showing the situation for all agglomerations with more than 250,000 inhabitants, all major roads, railways and airports</p> <p>MS adopts measures to ensure regular strategic noise maps for all agglomerations in particular to the most important areas as established by the strategic noise mapping</p> <p>MS ensure action plans by the competent authorities to address priorities on exceeding limit values or other criteria for the agglomerations, major roads and railways.</p> <p>Policy effects and effectiveness: EC reports to EU Parliament and Council on the measures relating to noise sources</p> |

Annexe 13 : Fiche méthodologique de l'indicateur en cours d'élaboration du Bureau Régional de l'Europe de l'OMS [37]

| Attributable fraction of risk of cardiovascular morbidity and/or mortality to noise exposure | | DPSEEA |
|--|--|--------|
| Issue | Noise | |
| Definition of indicator | Number of cases of cardiovascular problems attributable to noise exposure Number of deaths attributable to noise exposure. | |
| Underlying definitions and concepts | <p>This indicator is based on the evidence of experimental noise effects research carried out in the laboratory that noise acts as a stressor on the human organism. Epidemiological data exists for road traffic noise and cardiovascular endpoints, including high blood pressure and Ischaemic heart diseases. This template is based on 2 examples of calculation presented in the annex and it is a simplified model was used because it applies to very high noise levels. For a more detailed calculation for the different calculation please use the Dutch methodology described in the annex 1.</p> <p>Concepts:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) The biological plausibility of an increase in cardiovascular risk due to noise exposure has been shown in numerous noise-stress experiments. 2) There is qualitative evidence from many epidemiological noise studies that persistent noise exposure increases the risk for cardiovascular diseases. 3) Quantitative estimates of the relative risk for highly exposed subjects can be taken from a few reasonably good studies (current status). 4) The development of a continuous risk function is a dynamic process that incorporates new results of present and future studies (future status). 5) Calculation of the attributable fraction (AR%) and the population attributable risk percentage (PAR%). | |
| Specification of data needed | <p>For relative numbers: Estimation of the number of people exposed to $L_{\text{den}} > 65$ dB(A) for traffic noise (road and rail)</p> <p>For absolute numbers: Estimation of the number of people exposed to $L_{\text{den}} > 65$ dB(A) traffic noise (road and rail) Prevalence/incidence of cardiovascular diseases (international classification of diseases, ICD codes)</p> | |
| Data sources, availability and quality (examples for Germany and Netherlands) | <p>In Germany the distribution of noise exposure during day and night is regularly estimated on the basis of a computer model ("Lärmbelastungsmodell"). Annual statistics about the occurrence of diseases are available.</p> <p>In the Netherlands the distribution of noise exposure during day and night is estimated on the basis of a computer model (EMPARA) (Dassen et al, 2001). Annual statistics about the occurrence of diseases are available from the Continuous Morbidity Registration (CMR) and the Registration network of General practitioners (RNH). Demographic data from the Central Bureau of Statistics. Relative risks per 5 dB(A) (see table 1) (van Kempen et al., 2002).</p> | |
| Computation | <p>Empirical data suggest a relative risk of $RR = 1.2$ for ischaemic heart diseases when the sound level exceeds 65 dB(A).</p> $AR\% = (RR-1) / RR * 100$ $PAR\% = P_e/100 * (RR-1) / (P_e/100 * (RR-1) + 1) * 100$ <p>(AR%) - the attributable fraction P_e - Population exposed PAR% - population attributable risk in percentage</p> | |
| | <p>Absolute cases per year due to road traffic noise: $PAR = PAR\% * P_e$</p> <p>Disease occurrence (P_e): Lethal cases from Ischaemic heart diseases (ICD 9, 410-414) Lethal cases from acute myocardial infarction (ICD 9, 410)</p> | |
| Units of measurement | Number of cases | |
| Scale of application | National as well as local | |
| Interpretation | The indicator provides a measure of the population percentage with increased cardiovascular risk due to traffic noise exposure. | |
| Related web sites | Noise DG environment policy : http://europa.eu.int/comm/environment/noise/ WHO noise and health Unit : www.euro.who.int/noise Guidelines for Community Noise (B. Berglund, T. Lindvall, D. Schwela Ed), WHO, Geneva, 1999 http://whqlibdoc.who.int/hq/1999/a68672.pdf | |
| Policy/regulatory context | None | |
| Reporting obligations | None | |

Annexe 14 : Synthèse des études épidémiologiques françaises

| Etude Organisme Année | Objectifs | Méthode | Résultats : Liens significatifs entre exposition au bruit et... | Discussion |
|--|---|--|--|--|
| INSOMNIA Cemka-Eval 2004 [48] | Comparer les problèmes de santé en rapport avec des troubles du sommeil et leurs répercussions (anxiété et dépression) liés au bruit aéroportuaires de Roissy | - Etude épidémiologique de type exposés/non exposés - 1000 individus interrogés par téléphone : 500 en zone exposée et 500 en non exposée | - difficultés pour dormir <u>Liens non significatifs</u> <u>entre</u> : - consommation de somnifères - suivi d'un médecin pour troubles du sommeil - problème d'anxiété | Nécessité de faire d'autres études en utilisant des méthodologies différentes |
| Etude « Bruit et Santé en IdF » OpenRome 2007 [41] | Détecter l'existence de liens statistiques entre bruit (tout type), gêne sonore et santé des franciliens | - Etude exposés/non exposés rétrospective - 78 médecins généralistes tirés au sort ont questionné 4.391 patients | - HTA - consommation de médicaments - états anxiodépressifs - arrêts de travail - hospitalisations - pertes d'appétit | - Evaluation en fonction de la hauteur des survols, pas du nombre ni du niveau sonore - Pas d'évaluation du ressenti des personnes |
| « Les perceptions du bruit en IdF » ORS IdF 2009 [39] | Mieux comprendre les perceptions des Franciliens à l'égard du bruit | - Données du Baromètre Santé-Environnement - Questionnaire par téléphone - 1898 Franciliens, 5263 hors IdF | <u>Gêne liée au(x):</u> - degré d'urbanisme - niveau des revenus - conditions et satisfaction de logement | - La perception du bruit est une problématique complexe - La gêne due au bruit est très présente en IdF |
| DEBATS DGS/ ACNUSA En cours [38] | Mieux connaître et mieux quantifier les effets du bruit des avions sur la santé | - cohorte prospective sur 5 ans - effets étudiés par évaluation subjectives et objectives : troubles du sommeil, pathologies CV, mortalité, santé mentale, gêne, qualité de vie, naissances prématurées | | - biais dans la constitution de la cohorte (médecins) - suivi de la cohorte : grand turn-over autour des aéroports |
| SURVOL CIRE IdF En cours [16] ; [21] | Elaborer une surveillance environnementale et sanitaire de la population riveraine des 3 aéroports de Paris (PA et bruit) | - Etude renouvelée tous les 5 ans par questionnaire auprès d'un échantillon de la population - Etude renouvelée chaque année sur les consommations médicamenteuses d'un échantillon d'assurés sociaux | | Volet sanitaire gelé car complexe, de nombreux facteurs de confusions qui rendraient difficile la comparaison dans le temps des indicateurs sanitaires |

Annexe 15 : Questionnaires d'évaluation de la qualité du sommeil [21]

1. MOS Sleep

1. Au cours des **4 dernières semaines**, combien de temps avez-vous mis en général pour vous **endormir** ?

1 0-15 minutes 2 16-30 minutes 3 31-45 minutes
4 46-60 minutes 5 Plus de 60 minutes

2. Au cours des **4 dernières semaines**, combien d'heures en moyenne avez-vous dormi **chaque nuit** ? Indiquez le nombre d'heures par nuit : /___/___/

| Au cours des 4 dernières semaines , avec quelle fréquence...(Entourez un seul chiffre pour chaque question) | En permanence | Très Souvent | Souvent | Quelquefois | Rarement | Jamais |
|--|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 3. avez-vous eu l'impression de ne pas avoir un sommeil paisible (être agité, être tendu, parler, etc. pendant le sommeil) ? | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 |
| 4. avez-vous dormi suffisamment pour vous sentir reposé(e) au réveil, le matin ? | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 |
| 5. vous êtes-vous réveillé(e) à court de souffle ou avec des maux de tête ? | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 |
| 6. vous êtes-vous senti(e) somnolent(e) ou avez-vous eu envie de dormir au cours de la journée ? | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 |
| 7. avez-vous eu du mal à vous endormir ? | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 |
| 8. vous êtes-vous réveillé(e) durant votre sommeil et avez-vous eu du mal à vous rendormir ? | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 |
| 9. avez-vous eu du mal à rester éveillé(e) pendant la journée ? | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 |
| 10. avez-vous ronflé pendant votre sommeil ? | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 |
| 11. avez-vous fait des petits sommes (de 5 minutes ou plus) pendant la journée ? | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 |
| 12. avez-vous dormi autant que vous en aviez besoin ? | <input type="checkbox"/> 1 | <input type="checkbox"/> 2 | <input type="checkbox"/> 3 | <input type="checkbox"/> 4 | <input type="checkbox"/> 5 | <input type="checkbox"/> 6 |

2. PSQI

Les questions suivantes sont en rapport avec vos habitudes de sommeil, uniquement au cours du mois passé. Vos réponses doivent indiquer les réponses les plus précises pour la majorité des jours et des nuits du mois écoulé.

Veillez répondre à toutes les questions.

1. Pendant le mois passé, à quelle heure avez-vous été vous coucher pour la nuit ?
Heure habituelle du coucher _____
2. Pendant le mois passé, de combien de temps avez-vous eu besoin pour vous endormir
Nombre de minutes _____
3. Pendant le mois passé, à quelle heure vous êtes-vous levé le matin ?
Heure habituelle du lever _____
4. Pendant le mois passé, pendant combien d'heures par nuit avez-vous dormi ?
(ce peut être différent du nombre d'heures passées au lit)
Nombre d'heures de sommeil par nuit _____

Pour chacune des questions restantes, cochez la meilleure réponse. Veillez répondre à toutes les questions.

5. Pendant le mois passé, à quelle fréquence avez-vous eu le sommeil perturbé, à cause de...

| | | | | |
|---|--|---|---|--|
| a | Impossible de trouver le sommeil en 30 minutes | | | |
| | Rien pendant ce mois <input type="checkbox"/> | Moins de 1 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 1 ou 2 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 3 fois ou plus / semaine <input type="checkbox"/> |
| b | Réveil en milieu de nuit ou tôt le matin | | | |
| | Rien pendant ce mois <input type="checkbox"/> | Moins de 1 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 1 ou 2 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 3 fois ou plus / semaine <input type="checkbox"/> |
| c | Avoir été à la salle de bains | | | |
| | Rien pendant ce mois <input type="checkbox"/> | Moins de 1 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 1 ou 2 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 3 fois ou plus / semaine <input type="checkbox"/> |
| d | Difficulté à respirer normalement | | | |
| | Rien pendant ce mois <input type="checkbox"/> | Moins de 1 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 1 ou 2 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 3 fois ou plus / semaine <input type="checkbox"/> |
| e | Tousser ou ronfler bruyamment | | | |
| | Rien pendant ce mois <input type="checkbox"/> | Moins de 1 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 1 ou 2 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 3 fois ou plus / semaine <input type="checkbox"/> |
| f | Avoir eu trop froid | | | |
| | Rien pendant ce mois <input type="checkbox"/> | Moins de 1 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 1 ou 2 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 3 fois ou plus / semaine <input type="checkbox"/> |

| | | | | |
|---|---|--|--|---|
| g | Avoir eu trop chaud | | | |
| | Rien pendant ce mois <input type="checkbox"/> | Moins de 1 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 1 ou 2 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 3 fois ou plus / semaine <input type="checkbox"/> |
| h | Avoir fait de mauvais rêves | | | |
| | Rien pendant ce mois <input type="checkbox"/> | Moins de 1 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 1 ou 2 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 3 fois ou plus / semaine <input type="checkbox"/> |
| i | Avoir eu des douleurs | | | |
| | Rien pendant ce mois <input type="checkbox"/> | Moins de 1 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 1 ou 2 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 3 fois ou plus / semaine <input type="checkbox"/> |
| j | Autres raisons (précisez) | | | |
| | Rien pendant ce mois <input type="checkbox"/> | Moins de 1 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 1 ou 2 fois / semaine <input type="checkbox"/> | 3 fois ou plus / semaine <input type="checkbox"/> |

6. Pendant le mois passé, à quel niveau estimez-vous la qualité globale de votre sommeil ?
 Très bon Plutôt bon Plutôt mauvais Très mauvais

7. Pendant le mois passé, combien de fois avez-vous pris un médicament (prescrit ou non) pour faciliter votre sommeil ?

Rien pendant ce mois Moins de 1 fois / semaine
 1 ou 2 fois / semaine 3 fois ou plus / semaine

8. Pendant le mois passé, combien de fois avez-vous ressenti un trouble en étant éveillé, en conduisant, en mangeant ou en pratiquant une activité ?

Rien pendant ce mois Moins de 1 fois / semaine
 1 ou 2 fois / semaine 3 fois ou plus / semaine

9. Pendant le mois passé, combien de fois avez-vous eu un problème pour arriver à faire quelque chose ?

Pas de problème du tout Seulement un léger problème
 Un réel problème Un très gros problème

10. Avez-vous un partenaire de lit ou de chambre ?

Aucun Quelqu'un dans une autre chambre
 Quelqu'un dans la même chambre Quelqu'un dans le même lit

Si vous avez un tel partenaire, demandez-lui combien de fois, pendant le mois passé, vous avez, pendant votre sommeil...

Ronflé bruyamment

Rien pendant ce mois Moins de 1 fois / semaine
 1 ou 2 fois / semaine 3 fois ou plus / semaine

Fait des pauses entre les respirations

Rien pendant ce mois Moins de 1 fois / semaine
 1 ou 2 fois / semaine 3 fois ou plus / semaine

- Eu des mouvements de jambes brusques ou saccadés
- Rien pendant ce mois Moins de 1 fois / semaine
- 1 ou 2 fois / semaine 3 fois ou plus / semaine
- Eu des épisodes de désorientation ou de confusion
- Rien pendant ce mois Moins de 1 fois / semaine
- 1 ou 2 fois / semaine 3 fois ou plus / semaine
- Manifesté une autre agitation (précisez)
- Rien pendant ce mois Moins de 1 fois / semaine
- 1 ou 2 fois / semaine 3 fois ou plus / semaine

3. Stanford Sleepiness Scale (SSS)

| Degrés de somnolence | Score |
|--|-------|
| Sensation d'être actif, vif, alerte, pleinement éveillé | 1 |
| Fonctionne à haut niveau mais pas au maximum, capable de concentration | 2 |
| Éveillé, détendu, attentif, mais pas complètement alerte | 3 |
| Un peu fatigué, démotivé | 4 |
| Fatigué, perte d'intérêt, ralenti | 5 |
| Endormi, somnolent, luttant contre le sommeil, préférerait se coucher | 6 |
| Ne lutte plus contre le sommeil, endormissement proche, rêve | 7 |
| Endormi (si vous avez dormi à un quelconque moment de la période, cotez x) | X |

4. Echelle de somnolence d'Epworth

Dans les circonstances suivantes, avez-vous des chances de somnoler ou de vous endormir ?

- Assis en lisant
- En train de regarder la télévision
- Assis, inactif dans un lieu public (cinéma, réunion)
- Comme passager d'une voiture roulant depuis une heure
- Allongé après le déjeuner, pour se reposer lorsque les circonstances le permettent
- Assis en parlant avec quelqu'un
- Assis calmement après un déjeuner sans alcool
- Dans une voiture, immobilisée depuis quelques minutes dans un encombrement

La probabilité de s'endormir est cotée de 0 à 3 selon le risque d'assoupissement :

- 0 = aucune chance,
- 1 = faible chance,
- 2 = chance moyenne,
- 3 = forte chance.

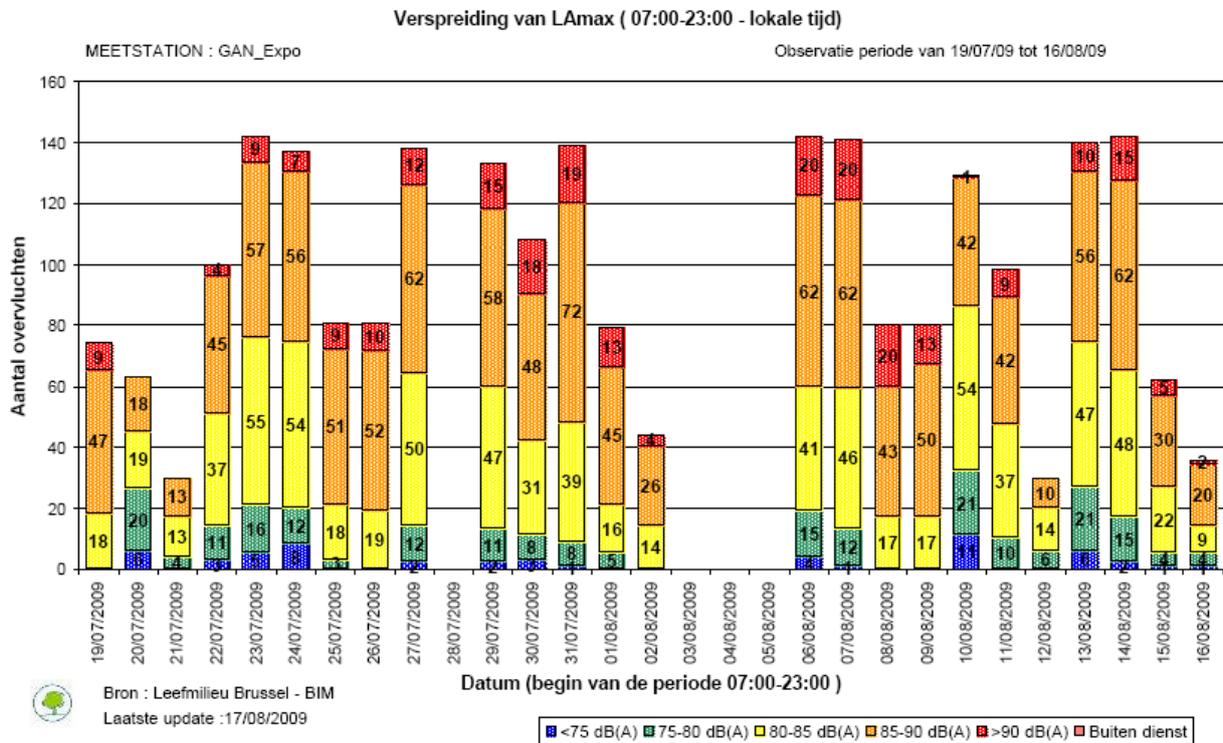
On additionne les points obtenus ce qui permet de classer le sujet

Pour un score compris entre 0 et 10 : dans la limite du normale

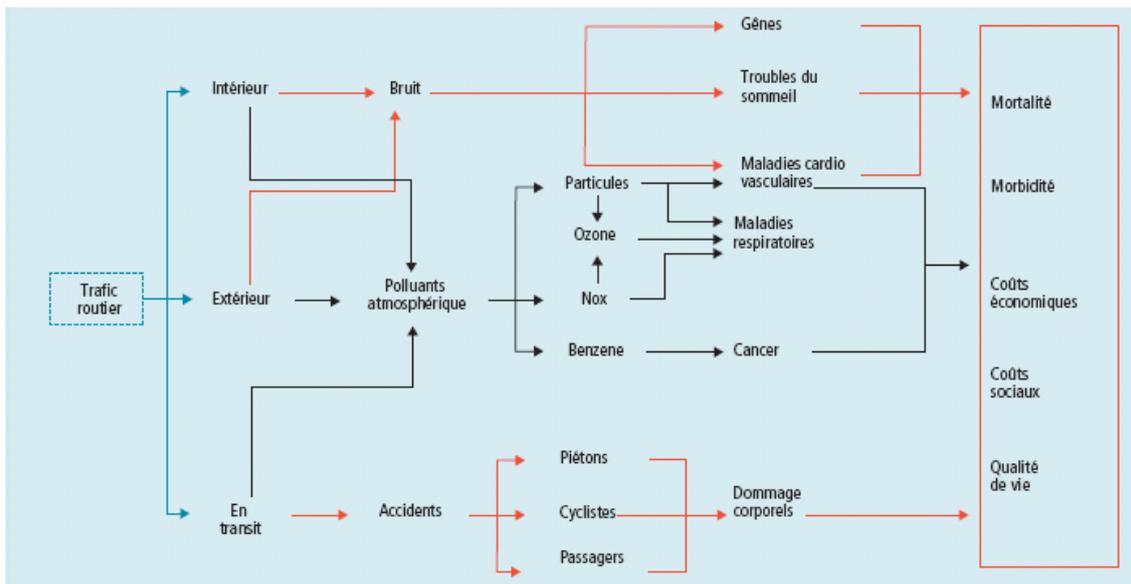
Pour un score compris entre 11 et 16 : somnolence avérée

Pour un score compris entre 17 et 24 : somnolence sévère

Annexe 16 : Graphique de répartition des LMax de jour (7h-23h) mesurés sur la période du 17/07/09 au 16/08/09 par une des stations de l'observatoire du bruit de Bruxelles [71]



Annexe 17 Intarese – Approche intégrée appliquée au cas du trafic routier [54]



Abstract

The aim of this work is to suggest indicators of health effects for transportation noise within dwellings with possible uses in order to better quantify the health impact of noise in general population. A literature review has been carried out to identify the different health impacts of noise and to select those which show sufficient level of evidence – annoyance and sleep disturbance – and those with a growing interest – cardiovascular diseases. Many epidemiologic studies assessed the link between noise and health and all of them noticed that confusing factors are numerous and important. The results for cardiovascular outcomes are often incomplete and conflicting.

Health indicators used in studies and developed by agencies such as the WHO have been listed. Data availability has been discussed for each indicator, which enabled to define the most relevant use for each one: studies, noise and health surveillance and health parts of environmental impact assessments.

Lastly, the relevance of a noise and health surveillance for urban noise has been discussed. The aim would be to inform the population and to enable to adjust the public policies. In addition to an environmental surveillance with the noise observatories, it would assess the annoyance and sleep disturbance within the population through cross-sectional studies by questionnaires and/or by the medicines consumption.

Key words: Transportation noise, health impacts, health surveillance, annoyance, sleep disturbance, cardiovascular diseases