



EHESP



Ingénieur du Génie Sanitaire

Promotion : **2008 - 2009**

Date du Jury : **Septembre 2009**

**Elaboration d'une méthodologie
définissant un indicateur représentatif
du risque sanitaire induit par les
nuisances sonores en milieu urbain
-L'exemple du Grand Lyon-**

Delphine BOURGOIS

Lieu de stage : CSTB, Grenoble

Référent professionnel : Marine BAULAC

Référent pédagogique : Christophe GOEURY

Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire :

- ❖ Mlle Marine Baulac, ingénieur de recherche au CSTB, pour sa disponibilité, sa patience, ses conseils et son soutien ;
- ❖ Mr Christophe Goeury, enseignant à l'EHESP, pour son encadrement et sa disponibilité ;
- ❖ Mr Jérôme Defrance, ingénieur de recherche au CSTB, pour son accueil au sein du département Acoustique et Eclairage ;
- ❖ Mr Marc Esmenjaud (DDASS 38), Mr Jacques Lambert (INRETS), Mr Alain Muzet (FORENAP), Mr Georges Dellisse (Bruxelles Environnement - IBGE), Mr Bruno Vincent (ACOUCITE) et Mme Catherine Lavandier (Université Cergy Pontoise) pour avoir pris le temps de répondre à mes questions et m'avoir apporté leur point de vue de professionnel ;
- ❖ Le personnel du CSTB Grenoble ainsi que Mlle Amandine DESSUGE pour leur accueil ;
- ❖ Mlle Magalie Lamberlin, pour avoir été « ma copine de bruit » tout au long de ce mémoire.

Sommaire

Introduction	1
1 Contexte du mémoire	3
1.1 Directive européenne 2002/49/CE	3
1.2 Elaboration des cartographies du bruit.....	3
1.3 Projet Equit'Area.....	4
2 Etat des connaissances sur la thématique bruit.....	7
2.1 Caractérisation du bruit par des indicateurs acoustiques	7
2.2 Effets du bruit sur la santé.....	9
2.2.1 Les effets biologiques auditifs.....	9
2.2.2 Les effets biologiques extra-auditifs.....	10
2.2.3 Les effets subjectifs	11
2.3 Informations disponibles sur les effets sanitaires	13
2.3.1 Valeurs guides OMS	14
2.3.2 Relations exposition-réponse.....	16
3 Mise en place d'un indicateur : méthodologie	21
3.1 Rappel des données disponibles	21
3.2 Description de la méthodologie	22
3.2.1 Aspect sanitaire	23
3.2.2 Effets liés au contexte urbain.....	26
4 Limites de l'étude.....	37
4.1 Données de la cartographie et modèle acoustique	37
4.2 Données de population et exposition	38
4.3 Données sanitaires	38
4.4 Données urbaines.....	41
4.5 Méthodologie dans sa globalité	42
5 Résultats.....	43
5.1 Application des relations exposition-réponse pour la gêne.....	44
5.2 Application des relations exposition-réponse pour le sommeil	46

5.3	Application du malus pour les maladies cardio-vasculaires	47
5.4	Application du malus pour les bâtiments sensibles	48
5.5	Application du bonus pour les zones vertes	49
5.6	Bilan.....	50
6	Perspectives en terme de santé publique.....	51
	Conclusion	53
	Bibliographie.....	55
	Liste des annexes.....	I
	Abstract.....	III

Figures

Figure 1 : Descriptif du projet Equit'Area pour la partie modélisation des nuisances sonores.....	5
Figure 2 : Procédure de mise en place de l'indicateur pour le projet de recherche	6
Figure 3 : Niveau continu équivalent LAeq sur quatre périodes A, B, C et D	8
Figure 4 : Relations entre les instances constitutives de la gêne	13
Figure 5 : Pourcentage de personnes très gênées en fonction de l'exposition au bruit	17
Figure 6 : Pourcentage de personnes très perturbées pendant leur sommeil en fonction de l'exposition au bruit	18
Figure 7 : Description de la méthodologie	22
Figure 8 : Méthodologie pour les critères gêne et perturbation du sommeil.....	25
Figure 9 : Méthodologie pour le critère maladies cardio-vasculaires	26
Figure 10 : Méthodologie pour le critère bâtiment sensible.....	28
Figure 11 : Représentation de la méthode utilisée pour les zones vertes	29
Figure 12 : Méthodologie pour le critère zone verte	30
Figure 13 : Représentation de la méthode utilisée pour le modèle de multi-exposition.....	32
Figure 14 : Carte avec application du critère pour la gêne (route + fer).....	44
Figure 15 : Carte avec application du critère pour la gêne en situation de multi-exposition	45

Figure 16 : Carte de différence entre modèle gêne et modèle gêne avec multi-exposition.....	45
Figure 17 : Carte avec application du critère pour la gêne et le sommeil (route + fer)	46
Figure 18 : Carte avec application du critère pour la gêne, le sommeil et les maladies cardio-vasculaires.....	47
Figure 19 : Carte avec application du critère pour la gêne, le sommeil, les maladies cardio-vasculaires et les bâtiments sensibles.....	48
Figure 20 : Carte avec application du critère pour la gêne, le sommeil, les maladies cardio-vasculaires, les bâtiments sensibles et les zones vertes.....	49

Tableaux

Tableau 1 : Relations entre niveaux sonores de nuit et effets sur la santé	15
Tableau 2 : Répartition de l'indicateur sur l'échelle de 0 à 13.....	50

Liste des sigles utilisés

CSTB	Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
EC	European Commission
ICBEN	International Commission on the Biological Effects of Noise
IFEN	Institut Français de l'Environnement
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
INSERM	Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale
IRIS	Ilots Regroupés pour l'Information Statistique
ISO	International Standard Organization
MCV	Maladies Cardio-Vasculaires
OMS	Organisation Mondiale de la Santé
OR	Odds Ratio
SIG	Système d'Information Géographique
UE	Union Européenne

Introduction

Le bruit constitue un problème environnemental majeur en partie lié au développement toujours croissant des infrastructures de transport. Or, l'exposition au bruit apparaît comme un sujet de préoccupation important pour la population. D'après une étude INSEE de 2002, dans les agglomérations de plus de 50 000 habitants, le bruit est placé devant l'insécurité et la pollution quand il s'agit de hiérarchiser les problèmes locaux. En outre, plus du tiers des ménages urbains habitant près d'une rue où le trafic est dense, d'une voie de chemin de fer ou d'un aéroport déclarent être souvent gênés par le bruit.

Le bruit est donc perçu comme une nuisance importante renforçant les inégalités sociales et pouvant conduire jusqu'à la dépréciation immobilière de certains biens, situés près de sources à l'origine de nuisances sonores. La maîtrise de la qualité de l'ambiance sonore représente un enjeu environnemental majeur en tant qu'élément objectif influant sur la qualité de vie et la santé de chaque individu. Enfin, l'ampleur des phénomènes associés aux nuisances sonores (effets auditifs, extra-auditifs et subjectifs) justifie d'appréhender le bruit comme un véritable enjeu de santé publique qui affecte aussi bien la santé des personnes que la cohésion sociale.

Ce mémoire s'inscrit dans ce contexte, avec pour objectif de mieux caractériser l'impact sanitaire induit par les nuisances sonores en milieu urbain. Cette étude se base sur les niveaux de bruit de la cartographie de la communauté urbaine de Lyon (Grand Lyon) et se propose de répondre à la question : « Quels seraient les éléments pertinents à associer pour créer un indicateur qui permette de donner une information sanitaire à une échelle territoriale fine : l'IRIS (Ilots Regroupés pour l'Information Statistique) ? »

Ce mémoire constitue une première réflexion sur le sujet et souhaite apporter une proposition de méthodologie transposable à d'autres zones urbaines. La première partie du mémoire expose le cadre de l'étude qui vient préciser l'objectif du travail de mémoire. Puis, dans un second temps, un bilan au niveau de l'état des connaissances sur la thématique bruit et santé sera présenté avant d'aborder la méthodologie définissant l'indicateur et les résultats obtenus. Cependant, de par sa signification sanitaire et donc du caractère potentiellement sensible des données obtenues, aucune carte du Grand Lyon relative à l'indicateur ne sera présentée et diffusée publiquement. C'est pourquoi, les résultats seront illustrés à partir d'IRIS fictifs retravaillés sur un modèle de cartographie qui sera explicité dans le paragraphe correspondant.

1 Contexte du mémoire

1.1 Directive européenne 2002/49/CE

L'augmentation du bruit des transports devient un problème environnemental croissant notamment dans les secteurs urbanisés. Des experts estiment à 80 millions le nombre de personnes dans l'Union Européenne (UE), soit approximativement 20 % de la population, exposées la journée à des niveaux de bruit supérieurs à 65 dB(A) et que plus d'un européen sur douze vit dans des zones appelées « points noirs bruit » où les niveaux de bruit dépassent par exemple 70 dB(A) pour la route [46]. Ainsi, même avec un effet relativement faible du bruit sur la santé, le grand nombre de personnes exposées implique un impact sanitaire potentiellement important.

Toutefois, les données disponibles sur l'exposition des populations au bruit sont peu nombreuses, en comparaison de celles qui ont été recueillies pour d'autres problèmes environnementaux et, lorsqu'elles existent, sont souvent difficiles à comparer en raison des différences de méthodologie et d'évaluation. Dans ce contexte, une proposition de directive s'est mise en place prévoyant l'harmonisation des méthodes d'évaluation de l'exposition au bruit, ainsi que des recommandations pour la réalisation des cartographies du bruit et sur la communication des informations au public.

Le Parlement européen et le Conseil de l'Union Européenne ont adopté le 25 juin 2002, la directive 2002/49/CE [48] relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement dont l'objectif est de traiter le problème du bruit dans l'UE. Ainsi, elle a pour vocation de définir à l'échelle de l'UE, une approche commune basée sur une cartographie de l'exposition au bruit et sur la mise en œuvre de plans de prévention dans les grandes agglomérations (plus de 100 000 habitants) et les principaux axes de transport. Elle vise également à accroître l'information du public en matière de bruit dans l'environnement et ses effets.

Les cartographies du bruit doivent tenir compte du bruit émis par le trafic routier, ferroviaire et aérien et par d'autres sources ponctuelles de bruit (activités industrielles).

1.2 Elaboration des cartographies du bruit

Ces cartes de bruit se construisent à partir de modèles. Dans un premier temps, il faut regrouper dans un Système d'Information Géographique (SIG) des données topographiques (relief du terrain, positionnement des voies de communication et des ouvrages de protections phoniques...), des données relatives au bâtiment et à l'occupation du sol, des données climatologiques et démographiques. Un SIG est un logiciel qui associe en deux ou trois dimensions de façon dynamique, une carte

informatique avec une base de données dont les objets et les informations sont géo-référencés. Un SIG peut donc produire des cartes, rendre des scénarii sous forme visuelle et proposer des réponses en fonction des hypothèses qui lui seront soumises.

Ensuite, il faut paramétrer les données concernant les sources sonores (route, rail, avion, industries). Puis, il faut envoyer toutes ces données au moteur de calcul de propagation acoustique, qui tient compte des caractéristiques acoustiques de l'air dans lequel le son se propage (vent, température, texture du sol...) et des éléments tels que le relief et les infrastructures urbaines qui forment des obstacles et peuvent alors modifier la propagation du son. Enfin, les informations calculées sont superposées aux données SIG pour obtenir des cartes de niveau de bruit. Eventuellement, des mesures peuvent être effectuées afin de recalibrer le modèle. Sur ces cartes doivent apparaître par source et par classe de 5 dB(A) :

- les surfaces exposées,
- le dénombrement des habitations, des établissements scolaires et des hôpitaux,
- le dénombrement des populations exposées.

Le mémoire se base sur les données de la cartographie de bruit de la communauté urbaine de Lyon qui a été réalisée avec un outil informatique appelé GIpSynoise®. Celui-ci correspond à une interface développée en logiciel libre entre deux produits commerciaux : ArcView® en matière de SIG, qui gère la cartographie et la base de données et CadnaA® pour les calculs acoustiques, afin de générer les niveaux de bruit [51]. La cartographie des niveaux de bruit du trafic routier sur 24h du Grand Lyon est présentée en **Annexe 1**.

1.3 Projet Equit'Area

En parallèle du contexte de la directive européenne, le sujet du mémoire rentre dans le cadre d'un projet de recherche piloté par l'école et pour lequel le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB) est partenaire, en charge de la partie modélisation des nuisances sonores. L'objectif de ce projet de recherche « Equit'Area » est d'évaluer la contribution des expositions environnementales aux inégalités sociales sur le territoire national. Plus précisément, il s'agit d'explorer le cumul d'exposition à un ensemble de nuisances environnementales telles que la proximité à des industries polluantes, la pollution atmosphérique urbaine et industrielle et les nuisances sonores environnementales dans l'espace socio-territorial.

Le mémoire ici présenté s'intéresse à la modélisation de l'exposition aux nuisances sonores et à l'impact du bruit sur la santé, à l'échelle de l'IRIS. L'IRIS, mis en œuvre par

l'INSEE (Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques), correspond au découpage de la commune en quartier dont la population se situe entre 1800 et 5000 habitants. Il constitue la plus petite unité géographique française pour laquelle l'intégrité des données démographiques et socio-économiques du recensement est disponible. Travailler à une résolution géographique aussi fine et homogène peut permettre une minimisation des biais écologiques.

Le schéma de la figure 1 résume la méthodologie appliquée pour la modélisation des nuisances sonores dans la globalité du projet. Le niveau où ce mémoire interviendra est représenté entre les deux symboles { }.

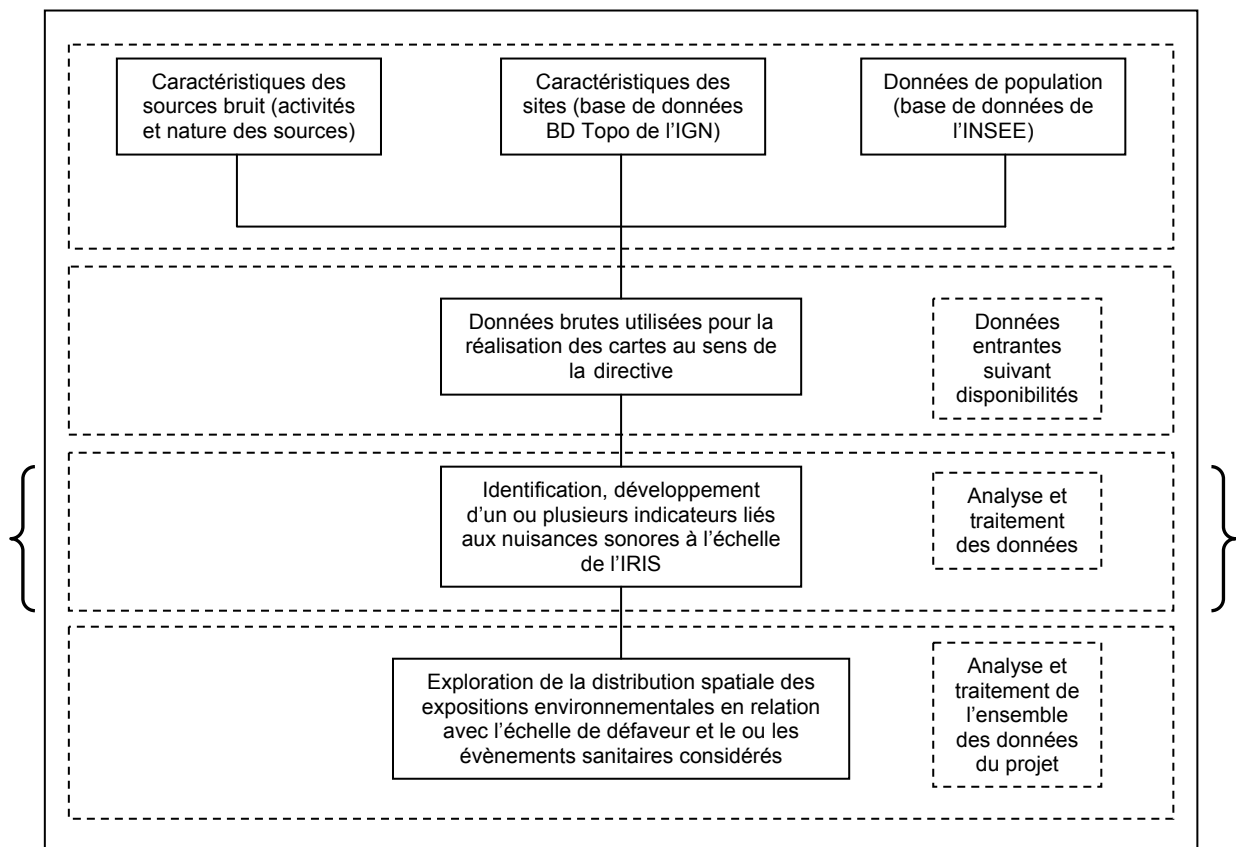


Figure 1 : Descriptif du projet Equit'Area pour la partie modélisation des nuisances sonores

L'estimation du niveau de bruit par unité géographique repose sur les données fournies par les cartographies du bruit issues de la directive. Pour des questions de disponibilité des données, l'étude pilote se focalise sur les bruits routiers et ferroviaires de l'agglomération de Lyon. A partir des données brutes des niveaux de bruit géo-référencés, certains paramètres les plus pertinents seront à considérer par rapport à l'indicateur acoustique de base pour avoir une image plus réaliste de l'impact des nuisances sonores sur les populations concernées.

A la base de l'étude, la communauté urbaine de Lyon fournit un certain nombre de données en termes de niveaux de bruit, d'urbanisme et d'habitat. Quant aux éléments démographiques, ils sont issus des bases de données de l'INSEE.

Au niveau de la modélisation des données, elle s'effectue avec un logiciel SIG dénommé Cadcorp SIS. Celui-ci propose des fonctionnalités supplémentaires par rapport à un SIG classique, telles que la gestion de transparents contenant des jeux de données, la connexion à des bases de données externes, la création de requêtes avancées. Il permet aussi de créer intégralement des jeux de données ou de modifier des jeux de données existants et de modéliser des données en 3D. Cet outil, en superposant différentes informations recueillies aux données acoustiques, permet d'analyser différents indicateurs et rend possible le travail à l'échelle de l'IRIS via les fonctionnalités du SIG. La modélisation permet en outre de réaliser une analyse de sensibilité du choix de l'indicateur relatif aux nuisances sonores dans la mise en évidence des inégalités.

Le schéma de la figure 2 synthétise la procédure dans la mise en place de l'indicateur pour le projet de recherche.

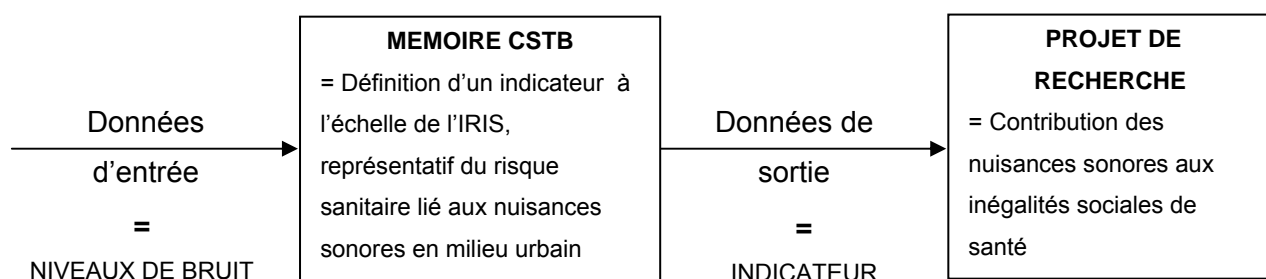


Figure 2 : Procédure de mise en place de l'indicateur pour le projet de recherche

Les résultats de cette étude pourront éventuellement être utilisables pour d'autres agglomérations françaises et ainsi obtenir à l'échelle nationale des données harmonisées portant sur des indicateurs communs.

2 Etat des connaissances sur la thématique bruit

Avant de réfléchir à une méthodologie pour la mise en place d'un indicateur ayant une signification sanitaire, il est important de réaliser un bilan sur l'état des connaissances des effets du bruit sur la santé et sur les indicateurs existants en matière d'exposition au bruit. En outre, en agglomération, les sources de bruit sont multiples et notre exposition est en partie dépendante des configurations de l'espace urbain. La seconde partie du mémoire se penchera sur ces thématiques avec l'objectif d'identifier les éléments pertinents à intégrer pour la mise en place de l'indicateur.

2.1 Caractérisation du bruit par des indicateurs acoustiques

Le bruit est un phénomène physique caractérisé par plusieurs paramètres physico-acoustiques comme la fréquence, l'intensité, la durée... Le bruit peut alors se définir à partir d'indicateurs descriptifs, résultant d'une expression mathématique, qui représentent une mesure physique variant dans le temps et l'espace. Ces indicateurs modélisent une situation acoustique et permettent de faire des comparaisons de l'exposition au bruit en différents lieux et moments.

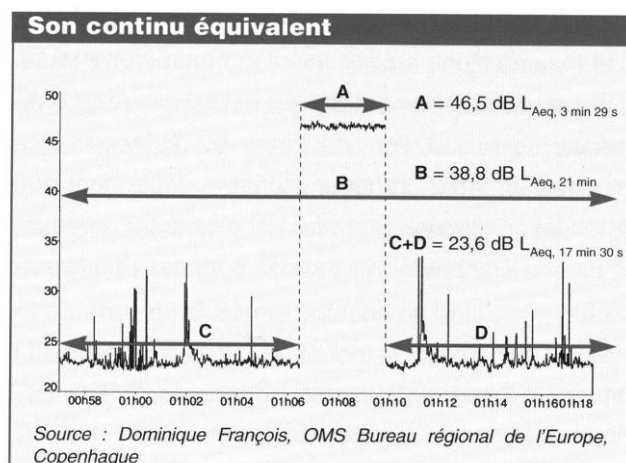
Le descripteur le plus utilisé pour mesurer la pression acoustique reste le décibel, auquel est souvent appliquée une pondération de fréquence de type A, ceci afin de mieux restituer la réaction de l'oreille humaine aux différentes fréquences. En effet, l'oreille humaine n'est pas sensible aux différentes fréquences de la même manière pour un même niveau sonore. De plus, le décibel s'exprime sur une échelle logarithmique. Ainsi, si l'on additionne deux bruits de niveau équivalent, on obtient une augmentation de 3 dB, qui représente pourtant un doublement de l'intensité sonore [49] [50].

Exemple : $60 \text{ dB} \oplus 60 \text{ dB} = 63 \text{ dB}$

A partir d'un niveau sonore en dB(A), il est possible d'utiliser d'autres indicateurs du fait des caractéristiques des sources de bruit et de leurs périodes d'émission. On en distingue deux groupes principaux : les descripteurs énergétiques et les descripteurs évènementiels.

Les descripteurs énergétiques prennent en compte le cumul des bruits sur une période donnée. L'élément de base pour décrire le bruit dans l'environnement est le niveau de pression acoustique continu équivalent, LAeq. Cet indicateur intègre l'ensemble des énergies acoustiques des évènements sur une période donnée en un niveau de pression acoustique équivalent. Le LAeq, basé sur une moyenne énergétique des niveaux

sonores, représente le niveau d'un bruit stable, de même énergie pondérée A que le bruit fluctuant considéré (cf. figure 3).



**Figure 3 : Niveau continu équivalent LAeq sur quatre périodes A, B, C et D
(Source : [50])**

A partir de cet indicateur acoustique, il est possible de dériver le LAeq en LAeq jour (Lday, 6h-18h), en LAeq soirée (Levening, 18h-22h) et en LAeq nuit (Lnight, 22h-6h), ces indicateurs sont définis sur une année. L'indicateur Lden, quant à lui, correspond à une durée de 24h. Il combine le Lday, Levening et Lnight avec une correction de +5 dB(A) pour la soirée et de +10 dB(A) pour la nuit pour tenter de représenter l'augmentation de la gêne le soir et la nuit. Le Lden s'exprime par la formule suivante :

$$L_{den} = 10 \log \left[\frac{12 \times 10^{L_{day}/10} + 4 \times 10^{(L_{evening} + 5)/10} + 8 \times 10^{(L_{night} + 10)/10}}{24} \right] \quad (1)$$

Le Lden est utilisé pour mesurer la gêne sonore selon les recommandations de la directive européenne 2002/49/CE [2]. En pratique, on observe une certaine corrélation entre LAeq et sensation de gêne auditive. Cependant, la communauté scientifique s'interroge aujourd'hui sur les limites du LAeq. En intégrant les variations dans le temps du niveau de pression acoustique pour obtenir un niveau moyen, le LAeq « gomme » les événements sonores isolés de forte amplitude et de courte durée très gênants. De plus, il devient impossible de différencier deux bruits ayant le même LAeq mais des spectres différents, associés à des sensations de gêne différentes. Le LAeq paraît donc insuffisant pour évaluer les notions de gêne.

Les indicateurs précédents, LAeq et ses dérivés, caractérisent des bruits variant peu dans le temps comme le bruit du trafic routier. Pour rendre compte de la gêne due à de larges

fluctuations du bruit dans le temps, on utilise des descripteurs évènementiels comme par exemple le LA_{max} (niveau maximal de bruit exprimé en dB pondérés A). Le LA_{max} est souvent évalué sur 1 seconde et diffère donc du bruit de crête pour lequel la période d'acquisition maximale est de 100 millisecondes [2]. Le LA_{max} est particulièrement adapté pour mesurer des évènements sonores de courte durée comme le passage d'un train. Il peut également servir à caractériser le bruit du trafic routier dans le cas de passages de véhicules isolés. Il est en revanche insuffisant pour décrire à lui seul la gêne sonore sur une longue période car il ne fournit aucune indication sur la durée et le nombre de fois où cette valeur maximale LA_{max} est atteinte.

2.2 Effets du bruit sur la santé

Le bruit des transports est une des principales sources de bruit dans l'environnement. Etant donné l'ampleur des expositions et les effets négatifs potentiels sur la santé, les nuisances sonores doivent être considérées comme un enjeu de santé publique. Les principaux risques pour la santé identifiés par l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) sont regroupés sous trois dénominations : les effets auditifs, biologiques extra-auditifs ou subjectifs.

2.2.1 Les effets biologiques auditifs

Les effets sur l'audition comprennent la douleur et la fatigue auditive allant jusqu'à la surdité temporaire voire définitive.

Lorsqu'un son est émis trop fort, il peut se produire une diminution des capacités auditives, en lien avec une altération plus ou moins grave de l'oreille moyenne et/ou interne. Si le phénomène est réversible, on parlera de fatigue auditive, qui se traduit par une diminution de la sensibilité auditive pendant un temps limité, dans le cas contraire, de perte auditive. S'ajoutent à ces effets, entre autre, les acouphènes qui sont produits par l'oreille interne elle-même et interprétés de façon erronée comme un bruit par le cerveau [1] [19].

L'effet direct de l'énergie sonore sur l'audition humaine est à ce jour bien établi et accepté. L'exposition à des bruits continus de 85-90 dB(A) peut conduire progressivement à des pertes auditives et des changements des seuils de sensibilité de l'oreille. Des dommages similaires peuvent être causés par l'exposition à un faible nombre d'expositions sonores de grande intensité (> 135 dB LCpk¹). Ces effets sont souvent retrouvés dans certains métiers industriels, d'où la nécessité d'une législation exigeant le port de protections auditives individuelles dès 85 dB(A). Ces effets sont aussi observés

¹ L'unité LCpk correspond à un niveau de pression acoustique de crête.

chez les jeunes, liés à la multiplication d'expositions à des niveaux sonores très élevés avec l'écoute de la musique amplifiée (concert, discothèque) ou l'écoute prolongée de baladeurs musicaux, tel que les lecteurs MP3 [21].

Ces effets sont les conséquences d'expositions sonores à des niveaux élevés rencontrés essentiellement dans le cadre du travail ou lors des loisirs. Ils ne correspondent généralement pas à des expositions environnementales provenant des bruits des transports terrestres, étudiés dans ce mémoire. Les effets auditifs ne seront donc pas pris en considération dans la suite des réflexions.

2.2.2 Les effets biologiques extra-auditifs

Les effets biologiques non-auditifs du bruit, quant à eux, ne sont pas le résultat direct de l'énergie sonore. Ils sont le résultat final du stress généré par le bruit sur l'organisme et incluent les troubles du sommeil, les effets sur les fonctions physiologiques (système digestif, respiratoire et cardio-vasculaire) et immunitaires et les troubles psychiques. Ces effets, dont l'importance est certainement sous-estimée, sont moins bien établis et acceptés que les effets auditifs.

Concernant les troubles du sommeil, les effets physiologiques incluent des changements de la fréquence cardiaque, des changements dans la répartition des stades de sommeil avec notamment la réduction de la proportion de sommeil paradoxal et l'augmentation du nombre d'éveils nocturnes. Ces perturbations peuvent souvent échapper à la conscience du dormeur. Des effets subjectifs ont aussi été identifiés, comme une difficulté à l'endormissement, une mauvaise perception de la qualité du sommeil et des effets ultérieurs dans la journée comme fatigue et maux de tête [17]. Vis-à-vis de ces effets, il existe une habitude subjective au bruit qui n'implique pas une habitude physiologique (continuité des réponses biologiques). En effet, l'organisme assure une permanence biologique et continue à produire des réponses cardiaques suite aux perturbations sonores sur des durées d'exposition très longues [36].

Le bruit a aussi des effets sur le système endocrinien en modifiant la sécrétion des hormones de stress (adrénaline, noradrénaline), notamment lors des expositions au bruit au cours du sommeil. Une stimulation sonore excessive et répétée génère des modifications du système endocrinien et peut atteindre le système immunitaire par une réduction des capacités de défenses de l'organisme. Les effets sur la sphère végétative se traduisent par une accélération du rythme respiratoire, une diminution de la fonction salivaire et gastrique et, pour ce qui concerne le système cardio-vasculaire, une accélération de la fréquence cardiaque et une vasoconstriction (diminution du calibre des vaisseaux sanguins) en réaction à des effets instantanés. L'exposition chronique à des

niveaux de bruit élevés peut entraîner des désordres cardio-vasculaires de type hypertension artérielle et troubles cardiaques ischémiques (diminution de l'apport sanguin artériel au cœur) [3].

Au niveau de l'effet sur la santé mentale, le bruit est considéré comme une nuisance majeure chez les personnes dépressives. Le bruit n'a pas une incidence directe sur les maladies mais peut représenter un facteur aggravant, qui peut accélérer et intensifier le développement de troubles mentaux latents [3].

Ces effets sanitaires sont non spécifiques, c'est-à-dire qu'ils peuvent être imputables à d'autres facteurs de stress. D'où la difficulté de relier ces effets à une exposition au bruit.

2.2.3 Les effets subjectifs

L'OMS définit la santé comme « *un état de complet bien-être physique, mental et social et ne consiste pas seulement en une absence de maladies ou d'infirmité* » (OMS, 1946). Cette définition tend donc à considérer les effets subjectifs comme des événements de santé à part entière. Les effets subjectifs comprennent les interférences avec le comportement social et la communication, la baisse de performance au travail et à l'école et finalement l'effet le plus documenté : la gêne.

Le bruit a des effets sur le comportement social. Ainsi, les comportements d'entraide sont diminués par des bruits excédant 80 dB(A) et le bruit augmente les comportements agressifs chez les personnes prédisposées à l'agressivité [5]. Cependant, ces effets sont encore mal connus et demandent de plus amples recherches.

La compréhension de la parole peut être rendue difficile par un niveau de fond sonore trop élevé. Or, l'incapacité à comprendre la parole peut induire un grand nombre de handicaps personnels et de changements comportementaux. Les personnes les plus vulnérables vis-à-vis de cet effet, sont les personnes souffrant d'un déficit auditif, les personnes âgées et les enfants en cours d'apprentissage du langage et de la lecture. De même, le bruit peut compromettre l'exécution de tâches cognitives² que ce soit au travail ou à l'école et donc influencer sur la performance en perturbant la concentration et le traitement d'informations [5].

² Les principales fonctions cognitives sont la mémoire, l'attention, le langage, le raisonnement, la vision et l'imagerie mentale visuelle.

La gêne sonore psychologique est une notion assez floue définie comme une sensation perceptive et affective négative exprimée par des personnes soumises au bruit [1]. L'OMS en propose la définition suivante : « *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* » (OMS, 1980).

Le bruit est source de gêne car il masque les autres sons, rend difficile les activités intellectuelles, perturbe l'attention et la concentration et conduit au déclenchement de réactions affectives et émotionnelles « négatives » [35]. La gêne peut ainsi se définir comme le résultat de l'interférence du bruit sur des activités quotidiennes et sur le bien-être psychologique.

La capacité d'un bruit à induire de la gêne dépend entre autre de ses caractéristiques physiques, incluant son niveau de pression acoustique et ses caractéristiques spectrales, ainsi que les variations de ces propriétés au cours du temps. Par conséquent, même un niveau sonore très faible peut être source de gêne. Cependant, le bruit a un caractère éminemment subjectif et la gêne n'est expliquée que très partiellement par des facteurs acoustiques (entre 30 et 40%) [3].

Ainsi, des facteurs non acoustiques interviennent dans la construction de la gêne. Ils peuvent se classer en trois catégories [22] [24] [26] [32] :

- les facteurs individuels qui comprennent les facteurs socio-démographiques tels que l'âge, le sexe, le niveau de formation, le statut d'occupation du logement, la dépendance par rapport à la source de bruit ou l'usage de la source et les facteurs d'attitude tels que la sensibilité au bruit³, la peur de la source, la capacité à faire face au bruit ;
- les facteurs de situation qui viennent moduler l'exposition individuelle au bruit comme le niveau d'isolation du logement (double vitrage), l'orientation des chambres vers la rue, la présence d'une façade au calme. Le niveau de maîtrise de l'environnement sonore explique aussi en partie le processus de gêne qui peut conduire jusqu'à une situation de stress si la personne ne peut avoir aucun contrôle sur son environnement ;
- les facteurs sociaux qui interviennent dans la perception du bruit tels que l'évaluation de la source de bruit, la confiance dans les pouvoirs publics, l'historique de l'exposition au bruit ou l'attente des résidents vis-à-vis du développement du bruit.

³ La sensibilité au bruit est un indice d'attitudes qui est relié à la gêne provoquée par le bruit environnemental.

Il faut cependant faire attention car les considérations « hors acoustiques » ne sont pas forcément linéaires et restent complexes. A titre d'exemple, les résultats d'une étude menée sur la variation de la gêne exprimée en fonction de l'âge révèlent une courbe en U, où le plus grand nombre de personnes gênées se trouve au niveau d'un pic aux alentours de 45 ans tandis que le nombre le plus faible a été retrouvé pour les personnes les plus jeunes et les plus âgées [41].

En résumé, la gêne exprimée est « *la résultante d'une interaction entre les diverses représentations que la personne élabore à partir de son environnement réel et perçu* » [45]. Le schéma de la figure 4 représente les différents éléments constitutifs de la gêne.

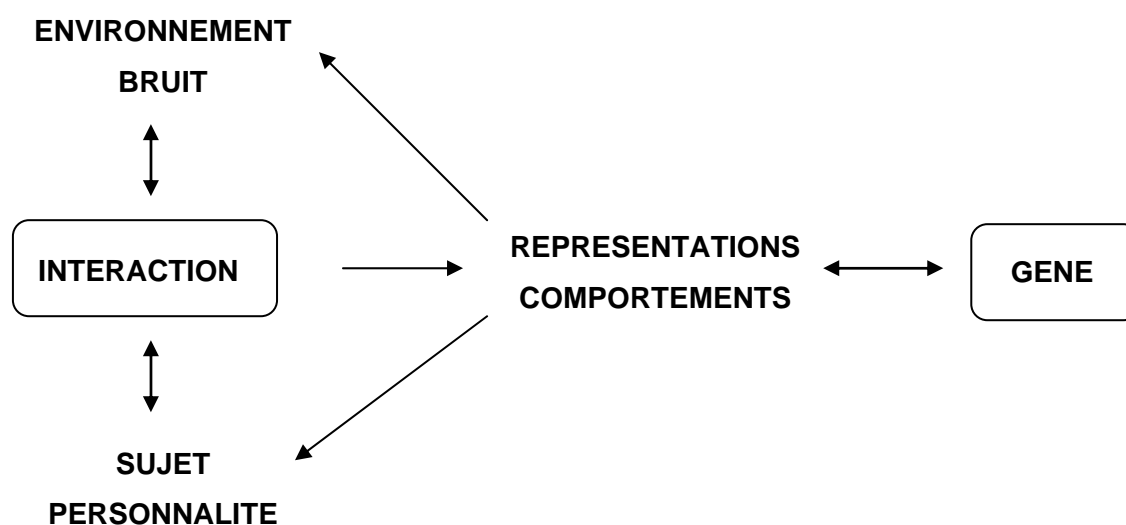


Figure 4 : Relations entre les instances constitutives de la gêne
(Source : [45])

Les effets du bruit sur la santé sont rarement mortels, et ne sont souvent que transitoires, cependant des effets néfastes peuvent être cumulés avec des expositions répétées à des niveaux sonores élevés. La perturbation du sommeil, le masquage de la parole, l'interférence avec les loisirs altèrent la qualité de vie. En outre, le bruit perturbe le processus d'apprentissage au cours des enseignements ainsi que l'exécution de certaines tâches, et accroît l'incidence des comportements antisociaux. Le bruit nuit donc à la santé humaine et au bien-être de la même manière que le stress chronique [39].

2.3 Informations disponibles sur les effets sanitaires

Malgré l'ampleur des effets négatifs, les informations quantifiables disponibles, relatives aux effets sanitaires sont peu nombreuses. Elles correspondent principalement aux valeurs guides émises par l'OMS et aux relations exposition-réponse.

2.3.1 Valeurs guides OMS

Les valeurs guides correspondent à des valeurs acoustiques associées à un temps d'exposition en dessous desquelles aucun effet néfaste sur la santé ou aucune nuisance n'est en principe attendu pour la population générale. Les valeurs guides disponibles sont établies pour les effets suivants : les troubles de l'audition, les troubles du sommeil, la gêne et l'intelligibilité du discours (communication), car il s'agit des effets les mieux documentés à ce jour. Etant donné que le mémoire ne prend en considération que les effets issus d'exposition environnementale, seuls les valeurs guides des trois derniers effets seront explicitées par la suite. Un tableau en **Annexe 2** synthétise les valeurs guides existantes par effet critique sur la santé. L'OMS a mis en place ces valeurs (niveaux intérieurs et extérieurs) pour les bâtiments d'habitation, les hôpitaux et les écoles où les niveaux de bruit peuvent affecter l'apprentissage des enfants.

A) Interférence avec la communication

Un discours est intelligible à 100% avec un fond sonore de 35 dB. L'OMS a donc défini un seuil de 35 dB (LAeq) en intérieur d'une habitation en journée et en soirée ainsi que dans les écoles au cours des séances d'enseignement [5].

B) Troubles du sommeil

Les effets à long terme sont mieux corrélés avec des indicateurs résumant la situation acoustique sur une longue période comme les niveaux de bruit moyens annuels la nuit en façade des bâtiments (Lnight). En revanche, les effets à court terme sont mieux représentés par le niveau maximum par évènement sonore (LAmix).

Les effets mesurables sur le sommeil commencent à un fond sonore de 30 dB LAeq. Quand les bruits sont continus, l'équivalent acoustique ne devrait donc pas excéder 30 dB à l'intérieur de l'habitation. Si le bruit n'est pas continu, le LAmix est utilisé pour indiquer la probabilité de réveils induits par le bruit. Ces effets ont été observés à des expositions de 45 dB ou moins. En conséquence, il est important de limiter le nombre d'évènements sonores avec un LAmix dépassant 45 dB. Les niveaux sonores à l'extérieur des façades ne doivent donc pas excéder 45 dB LAeq et 60 dB LAmix. Ces valeurs ont été obtenues en supposant que la réduction de bruit via l'isolation du bâti est de 15 dB.

Au niveau des personnes sensibles, les valeurs intérieures dans les hôpitaux doivent être de 30 dB LAeq, avec 40 dB LAmix pendant la nuit. Dans les crèches durant les heures de sieste, les valeurs indicatives sont les mêmes que celles utilisées pour les chambres dans les logements [5].

Après avoir établi ces valeurs guides, de nouvelles études ont permis d'approfondir les effets de l'exposition au bruit la nuit [13] [17]. Les seuils de nombreux effets sont désormais mieux connus et sont plus faibles que ceux préconisés par l'OMS en 1999. Le tableau 1 résume les effets sur la santé en fonction de l'exposition au bruit.

Niveaux de bruit	Effets sur la santé
L _{night} extérieur < 30 dB	Bien que les sensibilités individuelles et les situations diffèrent, aucun effet biologique n'est observé jusqu'à ce niveau.
30 dB < L _{night} extérieur < 40 dB	Un certain nombre d'effets sont en augmentation : mouvements du corps, éveils, troubles du sommeil, réveils. L'intensité des effets dépend de la nature de la source et du nombre d'évènements sonores même si les effets restent modestes. Attention aux groupes sensibles (enfants, malades chroniques, personnes âgées) qui sont affectés à des degrés différents.
40 dB < L _{night} extérieur < 55 dB	Il y a une forte augmentation des effets indésirables sur la santé et une nombreuse partie de la population exposée est désormais touchée et doit adapter sa vie pour faire face au bruit. Les groupes sensibles sont sévèrement affectés.
L _{night} extérieur > 55 dB	La situation est considérée de plus en plus préoccupante pour la santé publique. Les effets néfastes pour la santé se produisent fréquemment et un pourcentage élevé de la population se sent très perturbé pendant leur sommeil.

**Tableau 1 : Relations entre niveaux sonores de nuit et effets sur la santé
(Source : [14])**

Afin de protéger la santé des populations, le choix du seuil se porte sur la plus faible valeur à partir de laquelle se produisent des effets négatifs. En conséquence, l'OMS recommande dans son dernier rapport de 2007 que la population ne soit pas exposée la nuit à des niveaux de bruit de plus de 30 dB en extérieur [14]. Néanmoins, cette dernière valeur est discutée par les experts de la communauté scientifique. De plus, ce seuil semble impossible à respecter notamment en zone urbaine.

C) Gêne

En journée, peu de personnes sont fortement gênées dans leurs activités avec un LAeq inférieur à 55 dB (ou moyennement gênées avec un LAeq inférieur à 50 dB). Afin de

protéger la majorité de la population vis-à-vis de la gêne, l'OMS fixe un niveau de pression acoustique sur les balcons, les terrasses et les espaces de vie en plein air qui ne doit pas dépasser 55 dB LAeq pour une gêne forte et 50 dB LAeq pour une gêne moyenne en bruit continu.

De même que pour les habitations, le niveau de pression acoustique du bruit provenant de sources externes pour les terrains de jeux dans les écoles, ne doit pas dépasser 55 dB LAeq. Dans les hôpitaux, étant donné que les patients ont moins la capacité à faire face au stress, le niveau de pression acoustique en intérieur ne doit pas dépasser 30 dB LAeq au cours de la journée et le soir [5].

2.3.2 Relations exposition-réponse

Hormis les valeurs guides OMS, il existe des relations exposition-réponse qui traduisent une relation entre exposition à des niveaux de bruit et effet sanitaire. Elles sont établies pour la gêne et la perturbation du sommeil par rapport au bruit des transports routiers, ferroviaires et aériens. Il s'agit d'effets pour lesquels des preuves suffisantes de relation avec l'exposition au bruit existent. Des relations entre les maladies cardiovasculaires et l'exposition au bruit routier ont aussi été élaborées [4] mais elles restent à ce jour encore au stade de l'étude. Ces relations exposition-réponse ont pour principal objectif d'estimer le nombre probable de personnes affectées par le bruit.

A) Gêne

Les relations exposition-réponse pour la gêne sont fondées sur des enquêtes socio-acoustiques menées en population depuis près de 60 ans en Europe, en Amérique du Nord et en Australie [31]. L'évaluation de la gêne sonore a été réalisée au travers de questionnaires. Cependant, comme les différentes études n'ont pas forcément utilisé le même nombre de catégories de réponse, celles-ci ont été converties sur une échelle de 0 à 100 afin d'obtenir des mesures comparables. Puis, le choix d'un point de coupure sur cette échelle a permis d'exprimer le pourcentage de réponses supérieures à ce point. Si le point de coupure est à 72 ou à 50 alors le résultat s'exprime respectivement par le pourcentage de personnes très gênées ou moyennement gênées. Les pourcentages, en comparaison des scores initiaux, garantissent une meilleure compréhension par le public.

A partir d'un ensemble de données, les travaux de Miedema ont permis de modéliser la distribution de la gêne en fonction d'un niveau de bruit [11]. Le modèle a été élaboré à partir des données d'études pour le trafic routier, aérien et ferroviaire. Les résultats obtenus ont été approximés par des formules polynomiales. Les courbes s'expriment en fonction d'un niveau de bruit en Lden (cf. figure 5).

Bruit routier :

$$\% \text{ G\^en\^e} = 1,795 \cdot 10^{-4} (\text{Lden} - 37)^3 + 2,110 \cdot 10^{-2} (\text{Lden} - 37)^2 + 0,5353 (\text{Lden} - 37) \quad (2)$$

$$\% \text{ Tr\^es G\^en\^e} = 9,868 \cdot 10^{-4} (\text{Lden} - 42)^3 - 1,436 \cdot 10^{-2} (\text{Lden} - 42)^2 + 0,5118 (\text{Lden} - 42) \quad (3)$$

Bruit ferroviaire :

$$\% \text{ G\^en\^e} = 4,538 \cdot 10^{-4} (\text{Lden} - 37)^3 + 9,482 \cdot 10^{-3} (\text{Lden} - 37)^2 + 0,2129 (\text{Lden} - 37) \quad (4)$$

$$\% \text{ Tr\^es G\^en\^e} = 7,239 \cdot 10^{-4} (\text{Lden} - 42)^3 - 7,851 \cdot 10^{-3} (\text{Lden} - 42)^2 + 0,1695 (\text{Lden} - 42) \quad (5)$$

Bruit a\^erien :

$$\% \text{ G\^en\^e} = 8,588 \cdot 10^{-6} (\text{Lden} - 37)^3 + 1,777 \cdot 10^{-2} (\text{Lden} - 37)^2 + 1,221 (\text{Lden} - 37) \quad (6)$$

$$\% \text{ Tr\^es G\^en\^e} = 9,199 \cdot 10^{-5} (\text{Lden} - 42)^3 + 3,932 \cdot 10^{-2} (\text{Lden} - 42)^2 + 0,2939 (\text{Lden} - 42) \quad (7)$$

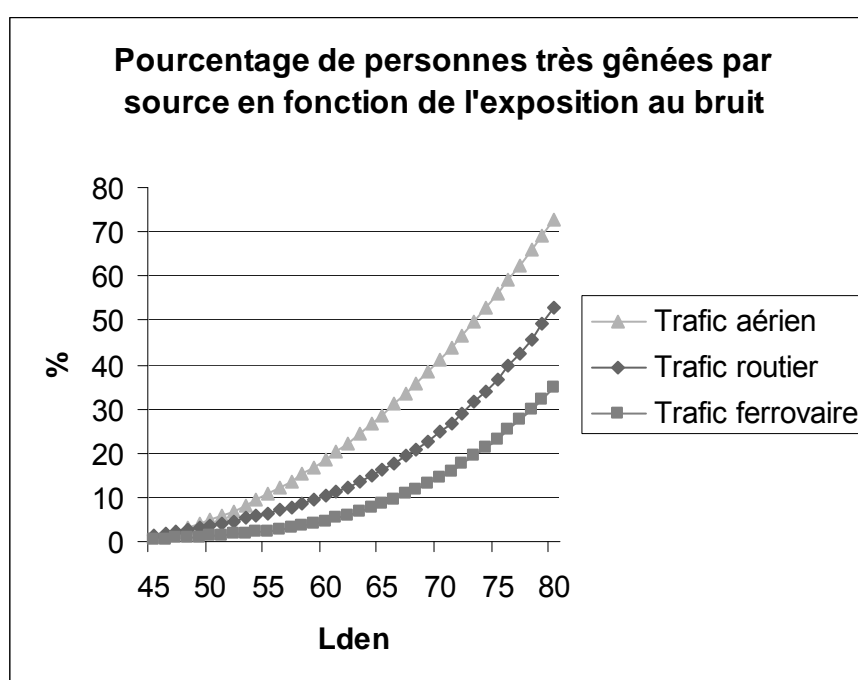


Figure 5 : Pourcentage de personnes tr\^es g\^en\^ees en fonction de l'exposition au bruit
(Source : [9])

A m\^eme niveau sonore, le bruit d'avion est une source de g\^ene plus importante que le bruit routier, lui-m\^eme plus g\^enant que le bruit ferroviaire. En terme d'application, la Commission Europ\^eenne recommande l'utilisation de ces relations pour estimer la g\^ene sonore en se basant sur l'exposition des habitations au bruit [9].

B) Perturbation du sommeil

Comme pour la g\^ene, les troubles du sommeil sont investigu\^es par des enqu\^etes \`a partir de questionnaires. Les relations exposition-r\^eponse qui en r\^esultent sont bas\^ees sur des analyses de quinze jeux de donn\^ees avec plus de 12000 observations individuelles \`a

partir de douze études sur le terrain. Les courbes s'expriment à partir de données en Lnight (à l'extérieur sur la façade la plus exposée) allant de 45 à 65 dBA.

Les fonctions polynomiales sont proches des approximations des courbes obtenues dans cette gamme et permettent des extrapolations à faible (40-45 dBA) et forte (65-70 dBA) exposition [10] [12] (cf. figure 6).

Bruit routier :

$$\% \text{ Perturbé} = 13,8 - 0,85 \text{ Lnight} + 0,01670 (\text{Lnight})^2 \quad (8)$$

$$\% \text{ Très perturbé} = 20,8 - 1,05 \text{ Lnight} + 0,01486 (\text{Lnight})^2 \quad (9)$$

Bruit ferroviaire :

$$\% \text{ Perturbé} = 12,5 - 0,66 \text{ Lnight} + 0,01121 (\text{Lnight})^2 \quad (10)$$

$$\% \text{ Très perturbé} = 11,3 - 0,55 \text{ Lnight} + 0,00759 (\text{Lnight})^2 \quad (11)$$

Bruit aérien :

$$\% \text{ Perturbé} = 13,714 - 0,807 \text{ Lnight} + 0,01555 (\text{Lnight})^2 \quad (12)$$

$$\% \text{ Très perturbé} = 18,147 - 0,956 \text{ Lnight} + 0,01482 (\text{Lnight})^2 \quad (13)$$

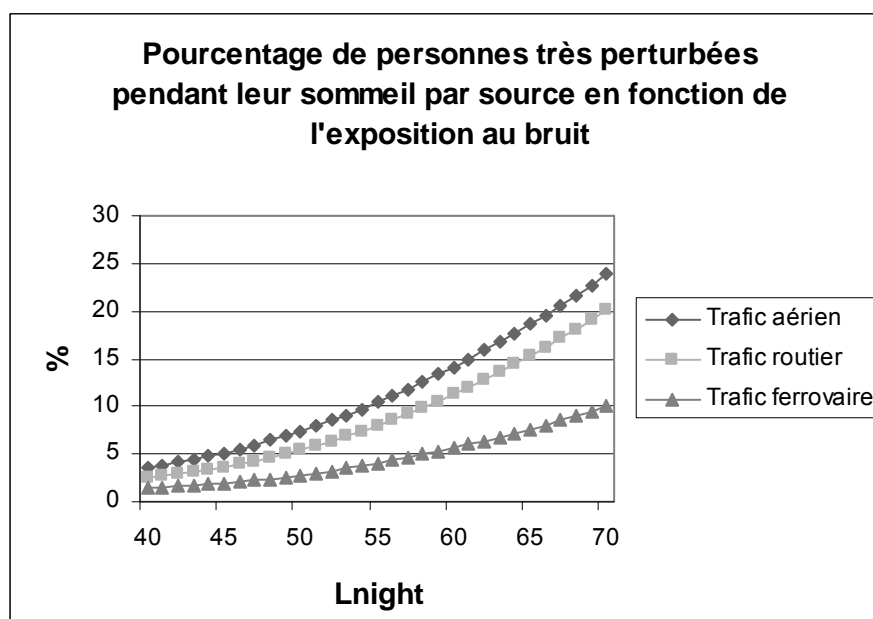


Figure 6 : Pourcentage de personnes très perturbées pendant leur sommeil en fonction de l'exposition au bruit (Source : [10])

La courbe présente de nouveau un « bonus » ferroviaire et un « malus » pour le transport aérien en référence au bruit routier.

Il n'existe pas encore aujourd'hui de relations exposition-réponse qui s'appuient sur des données objectives sauf pour le bruit des avions qui considèrent notamment le nombre de réveils en fonction d'un niveau de bruit en Lnight [28].

Que ce soit pour la gêne ou les perturbations du sommeil, les relations se réfèrent à une situation d'équilibre à long terme. Par conséquent, ces résultats ne peuvent pas être utilisés localement pour prédire les effets à court terme d'une modification de l'environnement sonore. Par ailleurs, ces informations s'appliquent à une population moyenne excluant les populations sensibles, les expériences ayant été réalisées sur des personnes d'âge moyen et en bonne santé.

C) Maladies cardio-vasculaires (MCV)

Le système auditif analyse en continu des informations sonores qui sont filtrées et interprétées par le cerveau. L'exposition chronique à des bruits élevés peut conduire à une situation de stress qui peut alors provoquer des changements dans le métabolisme de l'organisme. Des études épidémiologiques menées au cours des 35 dernières années, suggèrent un risque plus élevé de développer des maladies cardiovasculaires : hypertension et infarctus du myocarde (nécrose d'une partie du muscle cardiaque) chez des sujets exposés de façon chronique à des niveaux élevés de bruit routier et aérien [28].

Une méta-analyse⁴ [4] a été réalisée à partir de 61 études épidémiologiques en utilisant des critères d'inclusion et d'exclusion. Au final, sept études ont été retenues et ont permis de construire une courbe exposition-réponse démontrant une association entre bruit du trafic routier et infarctus du myocarde. Les résultats ont montré que l'exposition au trafic routier à des niveaux de bruit en journée (Lday, 6h-22h) supérieurs à 60 dB(A) engendre une augmentation du risque de développer un infarctus du myocarde. Le risque augmenterait de façon continue avec des odds ratios⁵ allant de 1,1 à 1,5 (en référence à une exposition inférieure à 60 dBA). La fonction exposition-réponse est définie pour des niveaux de bruit routier allant de 60 dB(A) jusqu'à approximativement 80 dB(A) :

$$OR = 1,629657 - 0,000613 (Lday)^2 + 0,000007357 (Lday)^3 \quad (13)$$

En utilisant les données statistiques nationales de santé et une estimation des expositions au trafic routier, la fraction du risque attribuable au bruit a été calculée pour l'Allemagne,

⁴ Une méta-analyse est une démarche statistique combinant les résultats d'une série d'études indépendantes sur un problème donné. Elle permet une analyse plus précise des données par l'augmentation du nombre de cas étudiés et de tirer une conclusion globale.

⁵ L'odds ratio (OR) représente le rapport entre la probabilité que l'effet sur la santé se produise chez les personnes exposées au bruit versus les personnes non exposées. Si OR=1, les probabilités des deux groupes sont égales. Si OR>1, la probabilité de l'effet sur la santé sera plus importante chez le groupe exposé.

estimant à 3% la part des infarctus du myocarde attribuables aux nuisances sonores du trafic routier.

Une autre étude récente [40] montre que l'exposition à des niveaux de bruit du trafic routier supérieurs à 50 dBA (LAeq, 24h) tend à augmenter le risque d'infarctus du myocarde. Les résultats ont été ajustés sur plusieurs facteurs dont l'exposition au bruit en milieu professionnel et la pollution atmosphérique. L'odds ratios ajusté, après exclusion des personnes souffrant de déficit auditif ou exposées à d'autres sources de bruit est de 1,38 (1,11-1,71). Ces deux études semblent donc indiquer des résultats semblables.

Cependant, déterminer la part attribuable du bruit est très difficile à cause des nombreux facteurs de confusion (facteurs individuels et socio-démographiques). Le sujet est donc loin de faire l'objet d'un consensus dans la communauté scientifique. De plus, le lien de causalité ne peut jamais être prouvé par l'épidémiologie.

On peut tout de même considérer que l'ampleur de l'effet, la présence d'une relation dose-effet, la cohérence des études réalisées sur différentes populations et avec différentes méthodologies et la plausibilité biologique tendent à suggérer une relation causale entre bruit et maladies cardio-vasculaires même si le risque reste faible [4].

3 Mise en place d'un indicateur : méthodologie

Ce bilan en matière d'indicateur du contexte sonore en milieu urbain indique que, mis à part le Lden qui intègre la gêne par une pondération aux périodes les plus sensibles que sont la soirée et la nuit, les indicateurs utilisés ne rendent compte ni de l'impact sanitaire, ni du contexte de multi-exposition, ni de la spécificité du milieu urbain. Par conséquent, il paraît judicieux de chercher à établir, à l'échelle de l'IRIS dans notre contexte, des indicateurs adaptés et pertinents afin de traduire un risque sanitaire lié aux nuisances sonores.

L'indicateur est établi à partir des données disponibles c'est à dire principalement les données issues de la cartographie du Grand Lyon. Puis, à partir de la bibliographie, certains éléments sont agrégés pour créer un indicateur représentatif des nuisances sonores en milieu urbain. Mais avant de produire un indicateur final, une phase de réflexion est indispensable pour identifier, d'une part comment rassembler ces données en une seule information et d'autre part comment les appliquer à un modèle SIG avec des méthodes automatiques. Tout cela dans l'objectif de créer une méthodologie « standardisée » qui puisse être applicable sur d'autres villes. Cette troisième partie s'attache à expliquer la méthodologie pour la mise en place de l'indicateur.

3.1 Rappel des données disponibles

La méthodologie retenue pour mettre en place un indicateur à l'échelle de l'IRIS dépend des données acoustiques, des données sanitaires et des données d'urbanisme disponibles. Un certain nombre d'informations acoustiques à l'origine de la cartographie du Grand Lyon nous ont été fournies comme les niveaux de bruit en Lden, Lnight et Lday. Plus précisément, le Grand Lyon nous a mis à disposition un maillage de points du niveau de bruit en extérieur tous les 10 mètres et un maillage de points du niveau de bruit sur les bâtiments. En terme de données d'urbanisme, nous disposons des polygones des bâtiments avec leur altitude et leur nature. Celle-ci est classée suivant six catégories :

- Habitation
- Ecole
- Hôpital
- Industrie
- Commerce / bureau
- Autres

En ce qui concerne les données démographiques, elles correspondent aux données de l'INSEE soit un nombre de personnes à l'échelle de l'IRIS.

L'étude se focalise sur les transports terrestres soit le bruit des transports routiers et ferroviaires, ce qui permet d'aborder dans la méthodologie l'aspect multi-exposition. Les bruits des transports aériens sont écartés d'une part car d'un point de vue acoustique, ils ne se traitent pas de la même manière et d'autre part car le seul aéroport existant (aéroport de Saint-Exupéry) n'impacte que très légèrement et sur une toute petite zone le territoire du Grand Lyon.

Au niveau des effets sanitaires, seuls les effets pour lesquels il existe suffisamment de données « quantifiables » sont pris en considération. En conséquence, l'indicateur intégrera des informations relatives à la gêne, aux perturbations du sommeil ainsi qu'aux maladies cardio-vasculaires et plus particulièrement les infarctus du myocarde.

L'ensemble de la méthodologie sera appliqué à un logiciel SIG dénommé SIS qui permet de gérer des bases de données géographiques et a la capacité d'intégrer et de modifier des jeux de données existantes. Cet outil permet d'associer différents paramètres après recours à des formules spécifiques au modèle. La modélisation permet ensuite de tester les différentes données et d'effectuer une analyse de sensibilité du choix de l'indicateur.

3.2 Description de la méthodologie

Le premier axe de travail est d'agréger des données sanitaires à l'échelle du bâtiment étant donné que nous disposons des niveaux de bruit en Lden, Ln et Lday pour les bâtiments d'habitation. Puis dans un second temps, la réflexion se portera à l'échelle de l'IRIS en considérant les données d'urbanisme pouvant interférer sur la perception du bruit. L'objectif final est de définir un indicateur à l'échelle de l'IRIS en lien avec l'impact sanitaire du bruit. La méthodologie peut se résumer par le schéma de la figure 7.

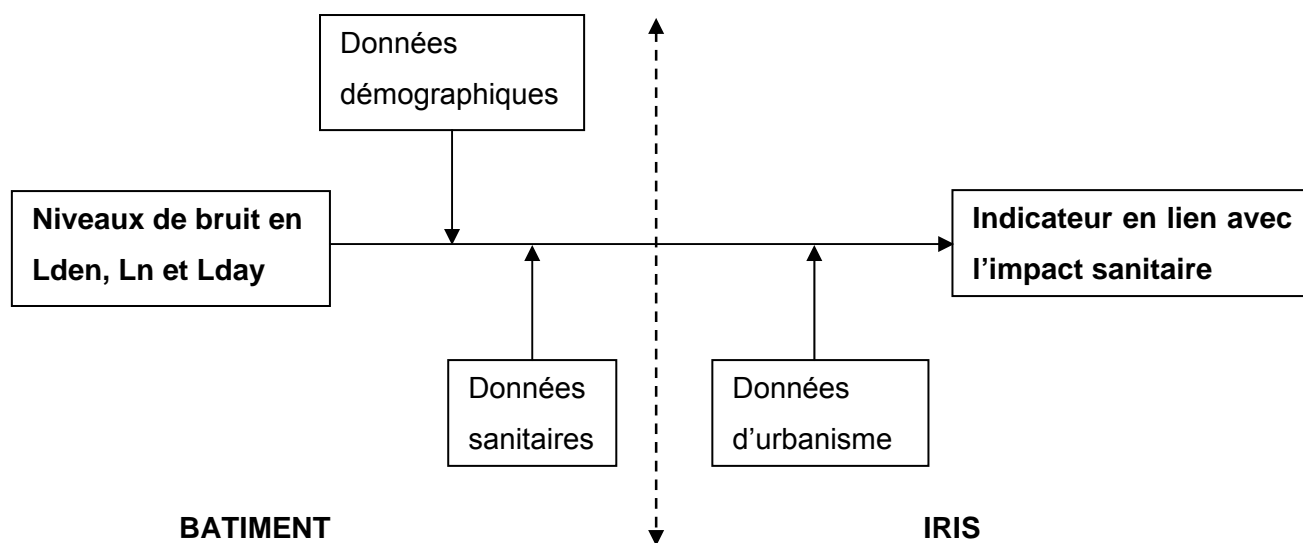


Figure 7 : Description de la méthodologie

Dans un premier temps, nous aborderons l'aspect santé avec la prise en compte de données sanitaires puis dans un second temps, l'aspect contexte urbain. Pour chacun des deux aspects, certains critères seront pris en considération. En outre, afin de mettre en place une méthodologie « standardisée », nous avons choisi d'établir pour chaque critère un score. L'indicateur final correspondra à l'addition des scores des différents critères. La méthodologie et les critères utilisés sont détaillés successivement pour l'aspect sanitaire puis pour l'aspect contexte urbain.

3.2.1 Aspect sanitaire

A) Méthodologie générale

D'après les données disponibles, l'indicateur pourra se baser sur les relations exposition-réponse, qui apportent une information plus riche en terme sanitaire que les valeurs guides OMS. Les relations exposition-réponse utilisées seront celles établies pour la gêne et la perturbation du sommeil. En ce qui concerne les maladies cardio-vasculaires, il n'y a pas encore de réel consensus. Cependant, afin de traduire un risque cardio-vasculaire, l'indicateur prendra en considération le nombre de personnes exposées à un seuil pouvant induire un risque de maladies cardio-vasculaires.

▪ Gêne

Au niveau de la gêne, nous nous intéressons au pourcentage de personnes susceptibles d'être gênées en fonction de l'exposition au bruit routier et ferroviaire, exprimée en Lden, suivant les relations (2) et (4) décrites au paragraphe 2.3.2.

▪ Perturbation du sommeil

Au niveau de la perturbation du sommeil, nous nous intéressons au pourcentage de personnes susceptibles d'être perturbées dans leur sommeil en fonction de l'exposition au bruit routier et ferroviaire, exprimée en Lnight, suivant les relations (8) et (10) décrites au paragraphe 2.3.2.

▪ Maladies cardio-vasculaires

En ce qui concerne les maladies cardio-vasculaires, nous nous intéressons à l'incidence d'infarctus du myocarde en fonction de l'exposition au bruit du trafic routier, exprimée en Lday, 6h-22h. Les travaux de Babisch [4] ont mis en évidence un risque de maladies cardio-vasculaires pour des niveaux d'exposition long terme supérieurs à 60 dB(A). Le pourcentage de personnes exposées en journée et en soirée à des niveaux de bruit supérieurs à 60 dB(A) sera donc pris en compte dans la méthodologie vis-à-vis du risque d'infarctus du myocarde.

Une autre approche aurait pu être testée au niveau des maladies cardio-vasculaires si nous avions disposé des données d'incidence d'infarctus du myocarde pour le Grand Lyon. Ainsi, il aurait été possible de calculer pour chaque IRIS, le nombre d'infarctus du myocarde attribuable au bruit en connaissant le nombre de personnes exposées à des niveaux supérieurs à 60 dB(A) et le nombre d'infarctus du myocarde déclaré par IRIS.

Cette information n'est pas disponible pour l'agglomération de Lyon, à noter cependant que des registres de cardiopathies ischémiques existent pour le département du Bas-Rhin, de la Haute-Garonne et la communauté urbaine de Lille. Ces registres enregistrent en continu tous les infarctus du myocarde et les décès coronaires, qui surviennent au sein de la population domiciliée dans une de ces trois zones géographiques. Comme les infarctus du myocarde sont recensés avec l'adresse postale du sujet, il est possible de géocoder chaque évènement sanitaire à l'aide d'un SIG et donc de disposer d'une information à l'échelle de l'IRIS [44].

B) Méthodologie détaillée

La première étape consiste à estimer le nombre de personnes par bâtiment à partir des données INSEE. Disposant du nombre d'habitants par IRIS et du volume des bâtiments (calculé à partir de la surface et de la hauteur), nous avons choisi de répartir la population dans les bâtiments.

Ensuite, pour obtenir un pourcentage de personnes susceptibles d'être gênées et un pourcentage de personnes susceptibles d'être perturbées pendant leur sommeil, nous appliquons les relations exposition-réponse par bâtiment à partir des niveaux de bruit en L_{den} ou en L_{night} . Cependant, ces relations ne sont valables que pour des niveaux de bruit supérieurs à 37 dB(A) pour la gêne et 30 dB(A) pour les perturbations du sommeil. Avant d'appliquer les relations exposition-réponse, il est donc nécessaire de supprimer toutes les valeurs inférieures à ces seuils pour ne pas fausser les relations.

Pour chacun des deux effets, nous avons donc le pourcentage de personnes concernées et le nombre de personnes par bâtiment, ce qui nous permet d'obtenir le nombre probable de personnes concernées. Puis, pour chaque IRIS, connaissant les bâtiments qui les composent, nous additionnons le nombre de personnes concernées pour avoir une valeur globale. Enfin, comme nous connaissons le nombre de personnes dans l'IRIS, il sera possible d'établir un pourcentage de personnes susceptibles d'être gênées et un pourcentage de personnes susceptibles d'être perturbées dans leur sommeil au niveau de l'IRIS, en divisant la valeur globale représentant le nombre de personnes concernées par l'effet sanitaire par le nombre de personnes présentes dans l'IRIS (cf. schéma de la

figure 8). Les résultats, en pourcentage, sont ramenés à un score sur 10 avant d'être additionnés les uns aux autres et ce afin d'avoir un indicateur final exprimé sur une échelle plus facilement appréhendable.

Au final, un premier indicateur I_1 à l'échelle de l'IRIS prenant en compte des données sanitaires, est obtenu en additionnant les résultats des deux premiers effets. Comme nous prenons en considération le bruit routier et ferroviaire pour la gêne et la perturbation du sommeil, nous obtenons une note sur quatre paramètres.

$$I_1 = \%_{\text{IRIS, GENE, Route}}/10 + \%_{\text{IRIS, GENE, Fer}}/10 + \%_{\text{IRIS, SOMMEIL, Route}}/10 + \%_{\text{IRIS, SOMMEIL, Fer}}/10$$

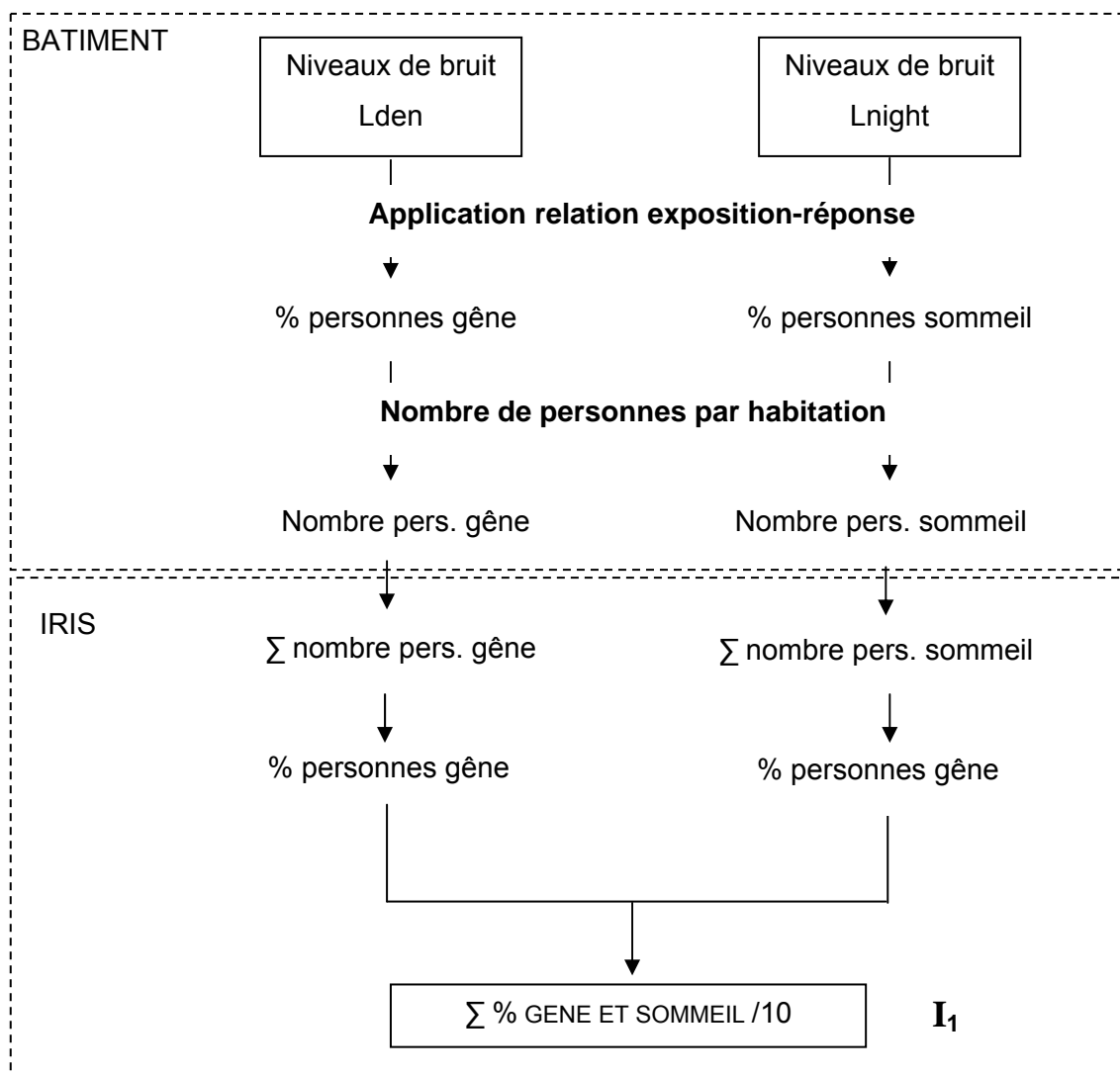


Figure 8 : Méthodologie pour les critères gêne et perturbation du sommeil

Quant aux maladies cardio-vasculaires, l'exposition au bruit du trafic routier à des niveaux supérieurs à 60 dB(A) reflète un risque de développer un infarctus du myocarde soit une probabilité. Il ne serait donc pas légitime d'additionner des pourcentages issus de risque absolu (gêne et perturbation du sommeil) avec des pourcentages issus de risque relatif

(infarctus du myocarde). L'information sanitaire vis-à-vis des maladies cardio-vasculaires se fera sous la forme de « malus » en considérant le pourcentage de personnes exposées à un niveau de bruit supérieur à 60 dB(A) en journée au niveau de l'IRIS en passant par une première étape à l'échelle du bâtiment (cf. schéma de la figure 9).

On considère un malus de + 0,5 à appliquer à l'indicateur I_1 pour des pourcentages compris entre 0 et 50%, de + 1 entre 50 et 70% et + 1,5 entre 70 et 100%. Ces malus correspondent à des scores de même ordre de grandeur que les scores précédents (compris entre 0 et 10) et ont été établis après des tests préliminaires dans le modèle SIG. Nous obtenons un indicateur I_2

$$I_2 = I_1 + \text{Malus}_{\text{MCV}}$$

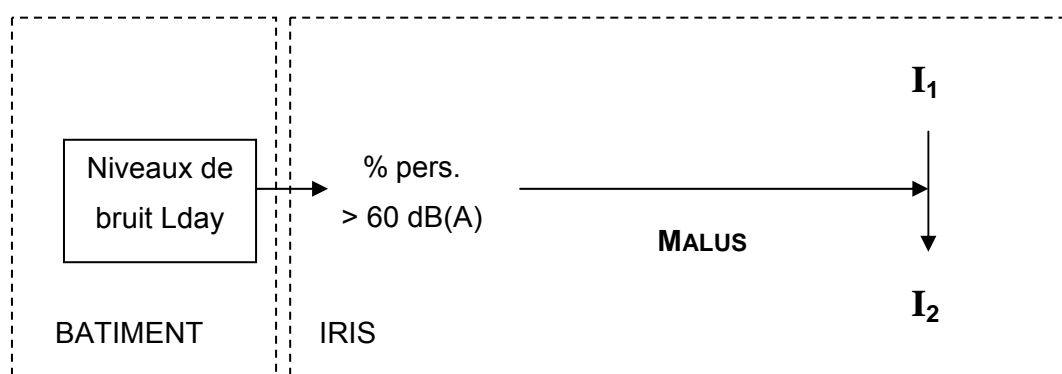


Figure 9 : Méthodologie pour le critère maladies cardio-vasculaires

3.2.2 Effets liés au contexte urbain

La configuration de l'espace urbain joue un rôle dans l'exposition des populations au bruit et sur la perception du bruit. Il paraît donc intéressant d'agréger à l'indicateur des effets liés au contexte urbain. Plusieurs critères ont été retenus :

- la présence de bâtiment sensible
- l'accès à une zone verte
- le caractère de multi-exposition

La signification sanitaire de ces critères à l'échelle de l'IRIS, sera transposée sous la forme de « bonus » ou « malus » suivant que le critère ait un effet positif ou négatif.

Une justification des critères et des méthodologies utilisées sera explicitée pour chacun des trois aspects.

A) Présence de bâtiment sensible dans l'IRIS

Dans un premier temps, il semble important de considérer si l'IRIS comprend des bâtiments sensibles. Dans notre méthodologie, les bâtiments sensibles correspondent aux écoles et aux hôpitaux, qui sont identifiés sur la cartographie du Grand Lyon. En effet, le choix de ce critère s'explique vis à vis des conséquences du bruit sur l'apprentissage et

la performance en milieu scolaire et sur l'hypothèse que les personnes hospitalisées sont plus fragiles et donc plus sensibles au bruit. De plus, il faut considérer que pour les périodes en journée, la population est réellement présente dans ces bâtiments à l'inverse des bâtiments d'habitation souvent inoccupés pendant les heures de travail. Ceci justifie de tenir compte de la présence de bâtiment sensible dans l'IRIS.

Au niveau de la méthodologie, la première étape sera de déterminer la présence ou non de bâtiment sensible dans l'IRIS avec une condition restrictive. On appliquera un malus de + 3 pour chaque IRIS présentant au moins un bâtiment sensible (cf. schéma de la figure 10).

La justification de ce malus se base sur les considérations suivantes :

- les valeurs réglementaires applicables à toute infrastructure routière ou ferroviaire nouvelle doivent être de 55 dB(A) la nuit et de 60 dB(A) en journée et en soirée en façade des bâtiments [47] ;
- les valeurs guides OMS en extérieur qui, elles, s'intéressent aux effets sanitaires et notamment vis-à-vis des populations dites sensibles, sont les suivantes : 45 dB(A) la nuit et 55 dB(A) en journée et en soirée.

L'intérêt est de comparer les résultats obtenus en utilisant les relations exposition-réponse pour la gêne et la perturbation du sommeil pour ces deux types de valeur (les valeurs guides prenant en considération le caractère sensible des populations à contrario des valeurs réglementaires).

Remarque : Les relations exposition-réponse pour la gêne sont basées sur un niveau de bruit exprimé en Lden, il faut donc convertir les différents indicateurs acoustiques suivant la formule (1) présentée au paragraphe 2.1.

❖ Valeurs réglementaires : Lday = 60 dB, Levening = 60 dB et Lnight = 55 dB

La formule (1), nous donne un Lden d'environ 63 dB. Puis, en appliquant les relations exposition-réponse, nous obtenons les résultats suivants :

- % personnes gênées route = 31,3
- % personnes gênées fer = 19,9
- % personnes perturbées dans leur sommeil route = 17,6
- % de personnes perturbées dans leur sommeil fer = 10,1

⇒ Calcul du score : $(31,3 + 19,9 + 17,6 + 10,1)/10 = 7,9$

❖ Valeurs guides : $L_{day} = 55$ dB, $L_{evening} = 55$ dB et $L_{night} = 45$ dB

La formule (1), nous donne un L_{den} d'environ 56 dB. Puis, en appliquant les relations exposition-réponse, nous obtenons les résultats suivants :

- % personnes gênées route = 19
- % personnes gênées fer = 10,6
- % personnes perturbées dans leur sommeil route = 9,4
- % de personnes perturbées dans leur sommeil fer = 5,5

⇒ Calcul du score : $(19 + 10,6 + 9,4 + 5,5)/10 = 4,5$

La différence entre les deux systèmes de référence est d'environ 3. Nous choisissons donc d'appliquer à l'IRIS un malus de + 3 en présence d'un bâtiment sensible qui vient s'ajouter à la note obtenue pour les critères sanitaires. Nous obtenons un indicateur I_3 .

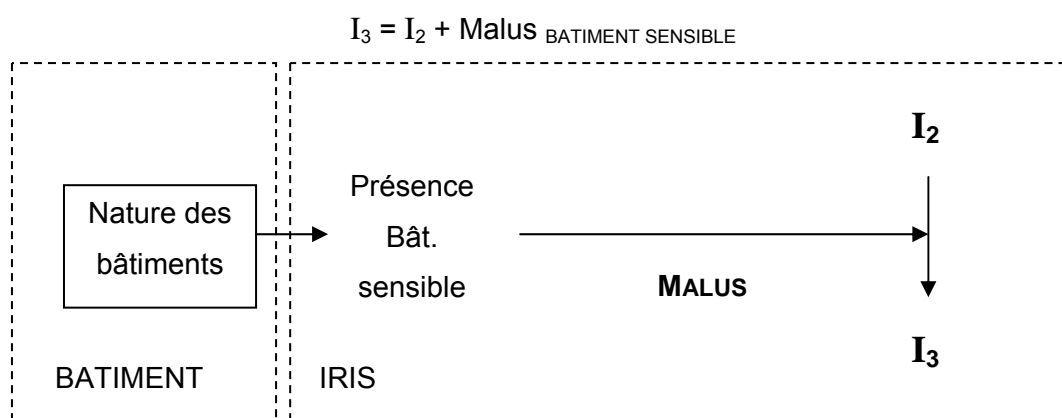


Figure 10 : Méthodologie pour le critère bâtiment sensible

B) Présence d'espaces verts ou aquatiques dans l'IRIS : accès à une « zone verte »

Ce deuxième critère correspond à un bonus. En effet, l'accès à une zone verte est considéré comme un bénéfice car il permet à la population de se ressourcer dans un cadre où les niveaux sonores seront plausiblement plus faibles et où il sera possible de se détendre. Quelques études indiquent que la présence d'éléments naturels dans des sites exposés au bruit aurait un effet modérateur sur le ressenti de la population vis à vis du bruit. En d'autres termes, la présence de parcs et d'espaces verts diminue significativement l'insatisfaction vis à vis du bruit de circulation. Une étude, réalisée dans des quartiers résidentiels suédois, montre que l'accessibilité aux espaces verts est importante pour le bien-être et le comportement quotidien en réduisant la gêne suite à une exposition chronique au bruit et la prévalence de symptômes psychologiques liés au stress [23]. L'accessibilité aux espaces verts peut potentiellement être un facteur protecteur qui modère les effets d'une exposition chronique au bruit de circulation sur la santé et le bien-être de la population.

Dans notre méthodologie, la définition de zone verte est plus large que les espaces verts et comprend les espaces aquatiques. Les zones vertes font donc référence à des surfaces comprenant des espaces verts et/ou aquatiques. Pour la localisation géographique des espaces verts, nous avons eu recours à la base de données géographiques CORINE Land Cover téléchargeable sur le site de l'IFEN (Institut Français de l'Environnement) d'où l'on pourra tirer des informations géo-localisées. Cette base de données fournit des informations sur le type d'occupation au sol en France. Nous retiendrons pour les zones vertes les éléments présentant la nomenclature suivante [52] :

- espaces verts urbains,
- équipements sportifs et de loisir (comprenant des parcs aménagés non inclus dans le tissu urbain),
- forêts,
- cours et voies d'eau,
- plans d'eau.

A partir de ces données, nous définissons un périmètre autour de ces zones qui caractérise l'accessibilité à ces zones. A ce niveau, un facteur important à prendre en compte est la distance entre la zone verte et les habitations. Nous considérons qu'une bonne accessibilité aux espaces est garantie lorsqu'il faut moins de 5 minutes pour accéder à la zone verte, soit approximativement un parcours à pied de 300 mètres (vitesse moyenne d'environ 4 km/h). La distance entre la limite de la zone et le périmètre tracé est donc définie à 300 mètres. Une fois le périmètre établi, les bâtiments présents dans cette zone seront identifiés pour en déduire le nombre d'habitants soit le nombre de personnes proches de zones vertes. Ceci permettra d'établir un pourcentage de personnes proches de zones vertes dans l'IRIS en divisant le nombre de personnes concernées par le nombre de personnes présentes dans l'IRIS (cf. illustration de la figure 11).

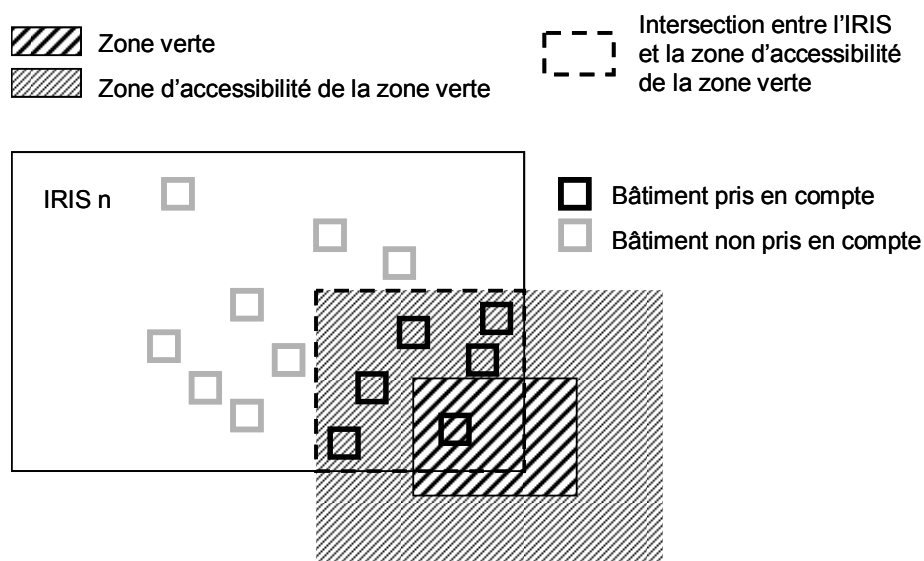


Figure 11 : Représentation de la méthode utilisée pour les zones vertes

En fonction du pourcentage, nous appliquons un « bonus » qui vient s'ajouter à l'indicateur I_3 . On considère un bonus de - 0,2 pour des pourcentages compris entre 0 et 30%, de - 0,4 entre 30 et 60% et - 0,8 entre 60 et 100%. De même que pour les maladies cardio-vasculaires, ces bonus ont été établis après des tests préliminaires dans le modèle SIG. Nous obtenons un indicateur I_4 qui correspond à l'indicateur final (cf. figure 12).

$$I_4 = I_3 + \text{Bonus}_{\text{ZONE VERTE}}$$

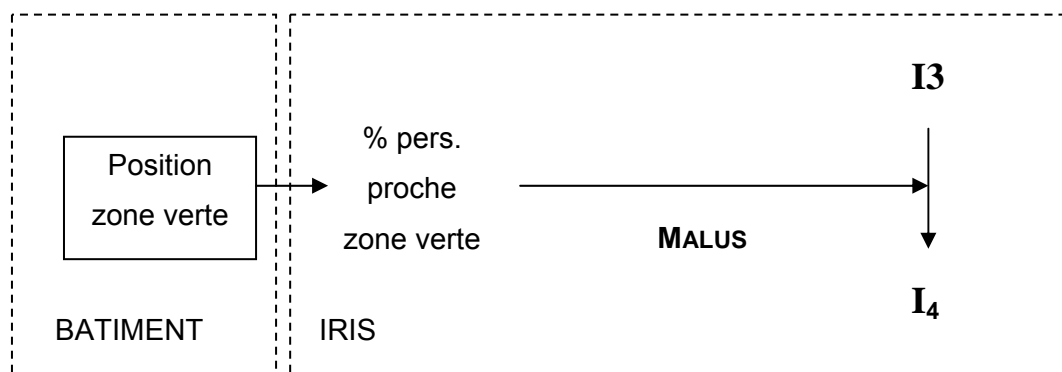


Figure 12 : Méthodologie pour le critère zone verte

Remarque : En utilisant cette méthodologie aucune différenciation ne pourra être effectuée entre une grande zone verte et plusieurs petites zones vertes au niveau des scores finaux.

C) Multi-exposition aux sources de bruit ferroviaire et routière

Dans la plupart des cas, les personnes ne sont pas exposées à une seule source de bruit mais à une combinaison d'expositions sonores. Cependant, les connaissances des effets sur la santé liés à l'exposition à des sources multiples de bruit sont limitées.

En outre, les travaux sur la multi-exposition se focalisent sur la gêne liée à l'exposition cumulée au bruit ferroviaire et routier. Ainsi, seul cet effet sera pris en compte dans ce dernier critère.

La caractérisation de la gêne en situation de multi-exposition 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. En effet, il existe des interactions entre les sources de bruit qui peuvent conduire à des phénomènes d'inhibition (diminution de la gêne due à une source en présence d'une autre source) ou des phénomènes de facilitation (augmentation de la gêne due à une source en présence d'une autre source).

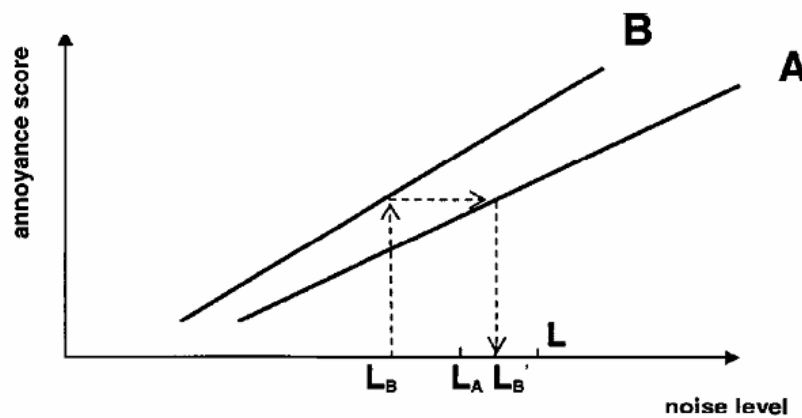
Une étude réalisée en Suède [38] montre qu'à des niveaux sonores élevés, la gêne due à l'exposition au trafic routier est amplifiée par le bruit du trafic ferroviaire et vice versa. Elle s'intéresse aussi à la gêne totale liée à cette multi-exposition. Son objectif est alors de

comparer d'une part, la gêne liée à une source sonore et d'autre part, la gêne totale liée à des sources combinées telles que le trafic routier et ferroviaire, à niveau sonore équivalent. Les résultats montrent que l'exposition combinée au trafic routier et ferroviaire induit une gêne plus importante que l'exposition à une seule source pour un même niveau sonore. Ceci pourrait s'expliquer par le fait que la combinaison entre un bruit de fond relativement constant (bruit routier) et un bruit plus intermittent (bruit ferroviaire) à des niveaux sonores relativement élevés serait plus gênante qu'un bruit constant ou intermittent seul à même niveau sonore. En outre, la gêne totale est plus élevée lorsque les deux sources sont à des niveaux sonores semblables que lorsqu'une source est en dominance par rapport à une autre soit une différence de 2 dB entre les deux sources.

Cependant, les résultats diffèrent d'une étude à l'autre et il n'existe pas à l'heure actuelle de méthodes de référence pour calculer la multi-exposition, d'où l'absence de consensus sur le sujet. Plusieurs modèles ont été proposés. Quatre d'entre eux sont détaillés ci-dessous.

Modèle 1 : Tout d'abord, le modèle de sommation énergétique ou cumul énergétique dont le principe est d'additionner directement les niveaux acoustiques produits par les différentes sources de bruit quelque soit leur nature. Cependant, ce modèle ne décrit pas les données empiriques avec suffisamment de précision car il ne prend pas en considération les différences entre les sources de bruit et leur potentiel à causer de la gêne.

Modèle 2 : Une autre méthode dérivée de la première se base sur le principe de « gêne équivalente » produite par différentes sources de bruit. Ainsi, au lieu d'additionner les énergies sonores des différentes sources individuelles directement, il est proposé de convertir les niveaux de bruit produits par chaque source en un niveau équivalent par rapport à une source de référence. Les niveaux obtenus peuvent être ensuite additionnés de façon énergétique. Cette méthode permet de tenir compte des différences de perception pour chaque source. La figure 13 illustre la méthode pour deux sources différentes L_A et L_B .



**Figure 13 : Représentation de la méthode utilisée pour le modèle de multi-exposition
(Source : [33])**

A partir de relations linéaires entre niveau de gêne (annoyance score) et niveau d'exposition (noise level), on détermine pour une source donnée (B) le niveau équivalent produisant la même gêne que la source de référence choisie (A) : L_B est transformé en niveau équivalent de la source A, L_B' . Puis L_A et L_B' sont additionnés pour donner L. La gêne correspondant aux sources combinées est trouvée en utilisant la relation exposition-réponse de la source A avec l'exposition au niveau L [6] [34].

Le principal désavantage de ce modèle est qu'il considère comme hypothèse de départ que les sources de bruit sont indépendantes alors qu'au contraire des études montrent des interactions entre sources combinées [38].

Modèle 3 : Finalement, on pourra considérer le modèle de la source dominante dans lequel la gêne totale due à deux sources de bruit est égale à la gêne de la source de bruit la plus gênante. Ce modèle gêne-gêne (modèle psycho-perceptif) présente une bonne corrélation entre le niveau de gêne totale et le niveau de gêne due aux différentes sources, mais comme il n'intègre pas les niveaux d'exposition au bruit, il reste difficilement applicable. De plus, ce modèle de dominance implique que la gêne totale soit toujours égale à la gêne produite par la source dominante (celle produisant le plus de gêne). La gêne totale est donc constante même quand les niveaux des sources non dominantes fluctuent. Ainsi ce modèle est insensible aux variations des sources qui restent non dominantes.

Modèle 4 : Une autre étude réalisée en France s'est penchée sur le phénomène de dominance acoustique sous la forme d'un modèle type gêne-bruit qui correspond à un modèle psycho-physique. Les résultats montrent que « si l'on s'intéresse à l'influence de la situation d'exposition pour la gêne totale, on trouve qu'en situation de dominance soit une différence de niveau sonore de 5 dB(A) entre les deux sources, les courbes de gêne totale en fonction du niveau sonore global, et de gêne totale en fonction du niveau sonore

de la source correspondante sont très proches. Par conséquent, en situation de dominance, le niveau sonore de la source est donc aussi explicatif de la gêne totale que le niveau sonore total » [7]. Cependant, en situation de non-dominance, la gêne totale évolue de façon complexe et peut difficilement être corrélée à un niveau de bruit.

Au final, en ce qui concerne notre méthodologie, le choix s'est porté sur un couplage entre deux méthodes soit les modèles 2 et 4. Lorsqu'une source est en dominance par rapport à l'autre, nous appliquons le modèle 4. A contrario, en situation de non dominance, on pose l'hypothèse que la population focalise sur un bruit de fond soit un niveau sonore global plutôt que sur une source sonore en particulier et nous appliquons le modèle 2. En pratique, il faut dans un premier temps repérer pour chaque bâtiment si une source (bruit routier ou bruit ferroviaire) est dominante par rapport à l'autre. Si nous sommes en situation de dominance (différence de 5 dB), la relation exposition-réponse est appliquée pour la source considérée. En situation de non dominance, nous intégrons les niveaux de bruit de façon énergétique via la relation exposition-réponse d'une source de référence (route).

D) Autre critère en lien avec la configuration urbaine

a) *L'influence de la visibilité*

L'homme perçoit et interagit avec son environnement de manière multi-sensorielle d'où l'intérêt de prendre en considération des informations visuelles qui peuvent interagir sur la perception sonore. Des études ont établi un lien entre gêne sonore et paramètres visuels. Cependant, elles semblent se contredire. La conclusion d'une étude chinoise montre que pour un même environnement acoustique, la probabilité de la gêne due au bruit est significativement plus élevée quand la source de bruit peut être vue [16]. A contrario, dans une étude sur les effets de la végétation sur la perception du trafic routier, les personnes sont plus sensibles au bruit lorsque la source est visuellement masquée [43].

Les effets de la visibilité de la source ne sont donc pas clairs. Une étude expérimentale compare la perception du bruit à travers des écrans de différentes natures. Le bruit est ainsi jugé plus faible quand l'écran masque partiellement la source sonore que quand il n'y a pas d'écran mais est jugé plus fort quand la source sonore est complètement masquée [15]. Une autre expérience menée dans un laboratoire de simulation environnementale s'est intéressée à la perception visuelle et sonore d'infrastructures routières. Les résultats indiquent que l'intrusion visuelle de la route a une influence sur la gêne sonore seulement pour des niveaux de bruit faibles [20]. Il n'existe donc pas à l'heure actuelle de relations robustes entre visibilité de la source et gêne sonore.

Un autre facteur peut aussi jouer sur la gêne sonore : l'appréciation visuelle de l'environnement. Ainsi, une réduction de la gêne sonore a été observée en lien avec une évaluation positive de l'aspect visuel du lieu. Des sujets d'une expérience seraient moins gênés par le trafic routier si un écran visuellement attractif leur est présenté en comparaison à une vue de rue peu attrayante. De la même manière, des sujets exposés à des sons urbains et des environnements visuels présentant un certain degré d'urbanisation jugent le bruit du trafic routier de façon plus négative lorsque l'environnement visuel est très urbanisé [42].

Ce dernier paramètre aurait pu être pris en compte dans la méthodologie. Ainsi, il aurait été possible de considérer la densité du bâti par le pourcentage de surface bâtie dans l'IRIS. Cependant cette approche présente trop de limites. En effet, la perception de la densité urbaine est une notion beaucoup plus relative qu'un simple coefficient d'occupation du sol pour calculer la surface bâtie. Cette perception dépend de la répartition du bâti sur le terrain, de la présence de végétation et d'espace public, de l'historique associé au bâti et des attentes sociales en matière d'habitat. Ainsi « *malgré les préjugés, le quartier de grands ensembles, souvent synonyme d'espace concentrationnaire présente une densité bâtie bien inférieure aux quartiers haussmanniens parisiens et généralement aux quartiers pavillonnaires qui laissent peu de place aux espaces publics* » [8].

Enfin, rentre en jeu un autre paramètre, celui de la perception du bruit, différente en centre urbain et en zone moins urbanisée. En effet, dans la plupart des situations, il est observé que la gêne sonore est plus importante dans un environnement sonore où l'on ne s'attend pas à percevoir le bruit, même pour des bruits relativement faibles.

b) La distance à la source de bruit

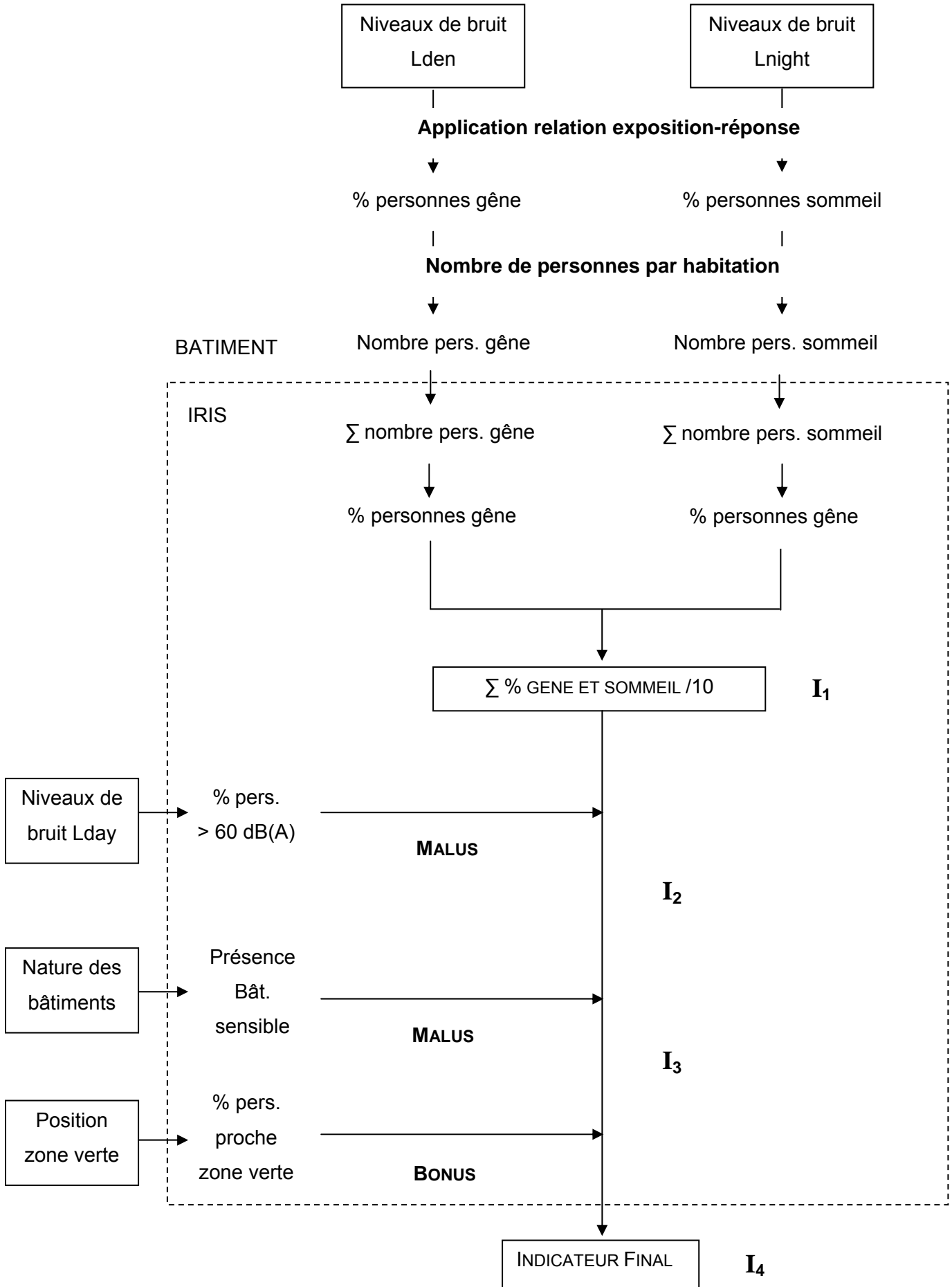
Un autre paramètre qui aurait pu être pris en considération est la distance par rapport à la source. Des études réalisées sur le bruit ferroviaire et le bruit routier montrent une diminution de la gêne avec la distance [18] [38] Cependant les résultats ne semblent pas si linéaires car cette tendance s'inverse lorsque le bruit ferroviaire n'est plus en dominance par rapport au bruit routier.

Une hypothèse peut être formulée vis-à-vis de cet effet. Il est plausible de considérer que lorsqu'une personne est proche de la source de bruit, elle perçoit le signal sonore de forte intensité sur une courte période. Lorsque cette personne est plus éloignée de la source (effet observé pour une distance de 100 mètres par rapport à la source), elle perçoit le bruit sur une période plus longue et donc de moindre intensité pour un niveau sonore

équivalent. La distance en lien avec un effet temporel crée un effet masquant. Ainsi, les personnes proches des sources sonores se focalisent sur des évènements sonores alors que les personnes plus éloignées sur un fond sonore.

A l'heure actuelle, il reste difficile de dire si un fond sonore élevé est plus ou moins gênant que des évènements sonores présentant une certaine fréquence, mais ce contexte justifie d'évaluer la gêne à partir de modèles cognitifs, en s'intéressant sur quels éléments les personnes focalisent plutôt que sur un niveau sonore.

E) Synthèse de la méthodologie



4 Limites de l'étude

Cette étude présente un certain nombre de limites aussi bien au niveau des données initiales qu'au niveau de la méthodologie. Cette partie aura alors pour objectif d'expliquer l'ensemble des limites rencontrées par thématique, afin de prendre cette analyse à sa juste mesure. Les limites seront présentées par ordre d'utilisation soit les données issues de la cartographie et des données en population puis les limites associées aux informations successives appliquées à la méthodologie.

4.1 Données de la cartographie et modèle acoustique

Un aspect important à considérer pour la réalisation des cartes de bruit concerne les recommandations de la directive européenne, qui, en souhaitant une approche commune pose quelques problèmes. Ainsi, l'évaluation des niveaux de bruit ne tient pas compte de la dernière réflexion des ondes sonores sur le bâti, ce qui induit une sous-estimation de l'ordre de 3 dB(A) par rapport à un niveau acoustique obtenu par la mesure. Les méthodes imposées par la directive ne prennent pas non plus en considération le « dynamisme » du bruit soit les phénomènes d'accélération, décélération ou freinage, qui pourtant ont une influence considérable sur la perception acoustique. En effet, l'utilisation d'un modèle acoustique simplifié ne permet pas de prendre en compte l'évolution temporelle du bruit. De même, le choix d'un indicateur moyenné, le Lden, masque des informations comme le niveau sonore maximal, le nombre d'évènements qui pourtant ont leur importance dans la description des effets sur la santé.

De plus, certains éléments ne sont pas considérés comme le bruit des deux roues ou sont approximés comme par exemple le choix de la vitesse réglementaire à défaut des valeurs de vitesse réelle.

A ces limites s'ajoutent celles du modèle acoustique utilisé pour la cartographie du Grand Lyon. Ainsi, on pourra faire référence à plusieurs éléments comme l'attribution d'une hauteur de 4 mètres par défaut à tous les bâtiments présentant une hauteur inférieure à 4 mètres, le moyennage des données d'émission (trafic...) sur une année ou le croisement de données recensées sur différentes périodes : répartition spatiale des toits (2003), données INSEE (1999), données trafic (2007)....

A l'heure actuelle, il n'est pas possible de quantifier les marges d'erreur des modèles mais plusieurs groupes d'experts travaillent au niveau national et international sur les incertitudes (modèles numériques et expérimentation) et la façon de les minorer.

4.2 Données de population et exposition

Au niveau des populations, un biais important concerne l'ancienneté des données issues du recensement de 1999. En effet, si l'on observe l'évolution démographique en Rhône-Alpes entre 1999 et 2006, il apparaît une augmentation d'environ 7% soit 1% par an. Les nombres quantifiant la population exposée sont donc sous-estimés. De plus, le nombre d'habitants est approximé en considérant le volume des habitations mais pas le type de bâti (individuel, collectif...). Or, celui-ci joue sur le nombre de personnes par bâtiment.

Quant à l'exposition des populations, elle est déduite en retenant le niveau sonore maximal calculé sur l'ensemble des façades du bâtiment et peut donc être légèrement sur-estimée.

D'autres incohérences peuvent apparaître car l'évaluation du nombre de personnes exposées, demandée par la directive, nécessite d'estimer la population dans les bâtiments à usage d'habitation qu'elle soit principale, secondaire ou vacante et repose sur le Lden qui correspond à un niveau sur 24h, or une grande partie de la population est rarement présente la journée à son domicile.

De plus, face à l'indisponibilité de données, certaines informations vis-à-vis de l'exposition au bruit ne pourront être traitées comme le nombre de personnes exposées dans des habitations isolées contre le bruit ou le nombre de personnes exposées dans des habitations ayant une façade au calme, phénomène reconnu comme diminuant la gêne et améliorant le sommeil [37].

4.3 Données sanitaires

Les premiers éléments à aborder dans cette partie sur les données sanitaires sont les relations exposition-réponse vis-à-vis de la gêne et du sommeil. En effet, ces relations ne font pas consensus dans l'ensemble de la communauté scientifique car elles présentent un certain nombre de limites.

La gêne sonore étant un paramètre éminemment subjectif, elle est difficilement quantifiable et ne s'explique selon certains auteurs qu'à hauteur de 30% par les caractéristiques physiques du bruit. Ainsi l'ensemble des facteurs non acoustiques tels que les variabilités individuelles ne sont pas négligeables et viennent biaiser les relations établies. Il faut aussi prendre en compte les incertitudes liées aux facteurs méthodologiques comme l'attribution des niveaux de bruit (modèle ou mesure) et les biais liés aux enquêtes : biais d'information. A ce sujet, l'ISO (International Standard

Organization) à partir des travaux de l'ICBEN (International Commission on the Biological Effects of Noise) a proposé en 1993 une norme⁶ relative à l'évaluation de la gêne due au bruit et qui reprend des questions et des échelles de gêne standardisées. Néanmoins, comme les relations exposition-réponse reposent sur une compilation de 30 années d'enquête (1965-1998) antérieures à la parution de la norme, on peut discuter des incertitudes statistiques pour chaque étude et au final pour les relations établies.

Cependant, on peut aussi considérer la qualité et la validité des relations établies. La qualité des courbes peut être jugée par rapport à l'établissement des courbes d'autres polluants de l'environnement [33]. La validité des courbes et des seuils dépendent largement de la validité des données sur lesquelles elles sont fondées. Les courbes sont basées sur des données obtenues à partir d'un vaste ensemble d'études de terrain dans lesquelles les données sur l'exposition au bruit et la gêne sonore ont été collectées.

Pour la plupart des polluants de l'environnement, il n'existe pas ou peu d'études épidémiologiques sur des sujets exposés dans leur milieu de vie aux niveaux que l'on veut étudier. Et souvent, seules les données provenant d'études animales sont disponibles, celles-ci doivent être donc adaptées aux effets chez les hommes. Des extrapolations requièrent de nombreuses hypothèses pour transposer les résultats de l'animal à l'homme et des expositions fortes de courte durée à des expositions faibles de longue durée. Le calcul de la relation entre l'exposition au bruit et la gêne ne nécessite pas de définir les hypothèses mentionnées car le bruit a été largement étudié directement sur l'homme dans des situations d'exposition réelles. Sur la base de ces observations, la validité des courbes de gêne peut être considérée comme élevée.

La validité des relations signifie aussi qu'il y a peu d'erreurs systématiques dans les estimations. Un autre point d'inquiétude est l'incertitude due à des erreurs aléatoires. L'incertitude quant à l'approximation des courbes causée par des erreurs aléatoires peut être décrite par des intervalles de confiance. Les courbes entre le bruit et la gêne ont plutôt des intervalles de confiance étroits [33] ce qui signifie que l'emplacement de ces courbes est caractérisé avec une certaine précision. Si les courbes sont bien établies, l'intervalle de confiance tient compte de la variation entre les individus ainsi qu'entre les études.

Néanmoins, d'importants écarts par rapport à la distribution prévue peuvent apparaître pour des groupes limités à des sites particuliers à cause des facteurs individuels

⁶ Norme ISO/TS 15666 : 2003 Acoustique – Evaluation de la gêne causée par le bruit au moyen d'enquêtes sociales et d'enquêtes socio-acoustiques

aléatoires et des circonstances locales qui viennent affecter les caractéristiques de l'étude. Enfin, les courbes ont été obtenues pour les adultes d'âge moyen, elles ne sont donc pas représentatives de l'ensemble de la population. De plus, il semble nécessaire de quantifier pour la perception de la gêne, l'influence d'une façade calme au niveau de l'habitation (dépendant de la configuration et de l'orientation par rapport à la source de bruit), d'une isolation du logement et les éventuelles différences entre les états membres du Nord et du Sud de l'UE [9] [33].

De nouvelles études comparent les réactions en fonction de l'exposition au bruit, obtenues lors d'études sur le terrain, avec celles de Miedema et montrent tout de même que les relations sont plus élevées dans les études récentes [26] [25] [29]. Ceci peut s'expliquer notamment par des méthodes d'enquêtes plus rationalisées et/ou par l'accroissement de la sensibilité de l'individu face au bruit.

Cependant, même si les relations exposition-réponse ne sont pas scientifiquement admises comme un postulat, elles représentent des probabilités soit des tendances dans un contexte général. De plus, elles ont été validées par des groupes de travail européens, ce qui leur confère une certaine reconnaissance institutionnelle. Elles représentent à ce jour la meilleure connaissance scientifique disponible et semblent plutôt robustes. Ces données sont donc utilisables et opérationnelles si tant est que l'on ait conscience de leurs limites. Par ailleurs, ces relations ont déjà été utilisées pour évaluer les conséquences du bruit sur la santé dans de nombreuses études et projets européens [25] [30] [51].

Au niveau des perturbations du sommeil, on pourra considérer comme une limite le fait de considérer un niveau en extérieur. Il n'a pas été défini comme un niveau à l'intérieur parce que la qualité de l'isolation et l'état des fenêtres diffèrent considérablement entre les habitations et les différents pays européens. De plus, une partie de la population dort les fenêtres ouvertes, en particulier à certaines saisons. Un autre problème qui se pose concerne les niveaux sonores qui sont déterminés par calcul sur la façade la plus exposée. Or, les architectes essaient de placer les chambres à coucher sur le côté le moins exposé, même si cette pratique est à l'heure actuelle peu employée. Enfin, le L_{night} est défini pour un temps moyen de 8 heures. Les études montrent que le temps passé dans un lit est d'environ 7,5 heures. En raison de facteurs personnels (ex : âge), il existe de fortes variations dans la durée de sommeil. Pour ces raisons, 8 heures a été choisi comme référence ce qui permet d'assurer un minimum de protection la nuit même si ce temps peut être sur-estimé [10].

Au niveau des maladies cardio-vasculaires, les principales limites se concentrent vers le peu d'études fournissant des relations exposition-réponse valides entre maladies cardio-vasculaires et niveaux de bruit. Fonder une partie de la méthodologie sur les résultats obtenus par Babisch se justifie par le nombre important d'études qu'il a réalisé et analysé. En effet, de même que pour la gêne, les relations établies proviennent d'une méta-analyse. On pourrait néanmoins reprocher à ces relations de se baser sur le Lday alors que les risques cardio-vasculaires peuvent aussi dépendre des expositions nocturnes. Les études de Babisch ont tout de même un certain poids car elles sont reprises dans les travaux de l'OMS pour la mise en place d'indicateurs environnement-santé pour le bruit.

4.4 Données urbaines

Dans un premier temps, les limites vis-à-vis des données urbaines peuvent faire référence aux IRIS, qui correspondent à un découpage INSEE pour cartographier des données de population au niveau infra-communal. Ce découpage présente un certain intérêt pour regrouper à une échelle fine des données socio-démographiques mais l'IRIS ne correspond pas forcément à une définition de « quartier » et peut ainsi présenter des hétérogénéités notamment en terme de type d'habitat.

Au niveau des malus, celui appliqué en présence de bâtiment sensible dans l'IRIS est pertinent car il permet de prendre en considération des lieux sensibles hors habitation. Cependant, lorsque l'IRIS ne contient que des bâtiments sensibles (ex : centre hospitalier), l'information est biaisée car le score final correspondra à la note attribuée au malus étant donné qu'il n'y a pas d'habitations donc pas de nombre de personnes à calculer.

Il aurait aussi été intéressant de différencier les écoles des hôpitaux si l'on avait considéré un indicateur sur les deux périodes : journée et nuit.

Quant au bonus appliqué pour les zones vertes, il peut constituer un biais important qui s'explique par une différence de perception de la gêne dans ces lieux spécifiques. En effet, la gêne peut se révéler être beaucoup plus importante même à des niveaux faibles, si le sujet est exposé à un bruit, qui, selon lui ne devrait pas faire partie de son environnement sonore.

Finalement pour la multi-exposition, il n'existe pas à l'heure actuelle de modèle de référence pour évaluer la gêne due à des bruits cumulés. *« De plus, les modèles s'appuient peu sur la connaissance des processus psychologiques (perceptuel et cognitif) participant à la formation de la gêne, mais sont plutôt des constructions mathématiques de la gêne totale. Ils ne tiennent pas compte non plus des combinaisons temporelles des*

différentes sources de bruit si bien qu'ils ne sont pas en accord avec les réactions subjectives mesurées dans des environnements sonores multi-sources » [7].

L'hypothèse de considérer les deux modèles de dominance et de cumul énergétique peut donc présenter des incertitudes qui aujourd'hui ne peuvent être quantifiées. Enfin, les études se sont focalisées sur la gêne en situation de multi-exposition. Des études complémentaires seraient nécessaires pour caractériser les phénomènes mis en jeu la nuit et leurs impacts sur la perturbation du sommeil. Ce critère permet néanmoins d'illustrer le phénomène de multi-exposition pour la gêne. Le modèle SIG permettra de comparer les résultats obtenus en condition de mono-exposition et multi-exposition.

4.5 Méthodologie dans sa globalité

La méthodologie appliquée pour la mise en place de l'indicateur repose sur des choix qui eux-mêmes peuvent présenter des limites et des incertitudes.

La première étape consistant à additionner les pourcentages de gêne et de perturbation du sommeil pour la route et le fer peut être remise en question. En effet, nous avons choisi pour la méthodologie un scénario majorant qui considère que potentiellement sur 100 personnes il y aura :

- des personnes gênées par le bruit routier en journée,
- des personnes perturbées par le bruit routier la nuit,
- des personnes gênées par le bruit ferroviaire en journée
- et des personnes perturbées par le bruit ferroviaire la nuit,

sachant que les personnes présentes dans ces quatre catégories sont toutes différentes. Or, il est fortement plausible que des personnes se retrouvent dans plusieurs catégories voire dans les quatre à la fois. Les résultats sont donc biaisés. Toutefois, comme l'indicateur souhaite révéler un impact en terme de santé publique, il est préférable de réaliser une sur-estimation plutôt qu'une sous-estimation du nombre de cas.

Les bonus/malus ajoutés par la suite se rattachent à des principes ou à des phénomènes en lien avec des effets sanitaires particuliers. L'application de valeurs différentes pour chaque bonus/malus permet d'accentuer certains éléments par rapport à d'autres, mais le fait d'introduire ces bonus/malus dans une note globale peut masquer des informations nécessaires à la comparaison entre IRIS. Il reste donc important de considérer la note globale de l'IRIS sans omettre les sources à l'origine de l'indicateur.

5 Résultats

Cette dernière partie aura pour finalité de présenter les résultats obtenus sous forme visuelle par des cartographies. Potentiellement, la valeur théorique maximale de l'indicateur est de 44,5⁷. Les scores obtenus se répartissent sur des notes de 0 à 16. Néanmoins, les scores à partir de 13 ne constituent qu'une faible partie des IRIS (6 %). Nous avons donc choisi de représenter les résultats via une échelle colorimétrique allant de 0 à 13 où 0 correspond à la note minimale soit une signification sanitaire nulle et supérieur à 13 à la note maximale soit une signification sanitaire importante.

Comme les différents critères ont été ajoutés successivement au modèle, les cartes obtenues seront présentées avec l'ajout des critères l'un après l'autre.

Pour des raisons de restriction de diffusion des résultats, les IRIS réels (de taille différente et de forme irrégulière) ne sont pas représentés et ont été remplacés par des IRIS fictifs de taille géographique régulière. Ce choix permet de visualiser des résultats potentiellement obtenus avec la méthodologie mise en place sans rapport direct avec le territoire du Grand Lyon.

⁷ Ce score maximal correspond à une situation où l'on aurait :
100% de personnes gênées et perturbées pendant leur sommeil pour les bruits routiers et ferroviaires ;
+ un pourcentage supérieur à 70 % de personnes dans l'IRIS exposées à des niveaux de bruit supérieurs à 60 dB(A) ;
+ la présence d'au moins un bâtiment sensible dans l'IRIS.

5.1 Application des relations exposition-réponse pour la gêne

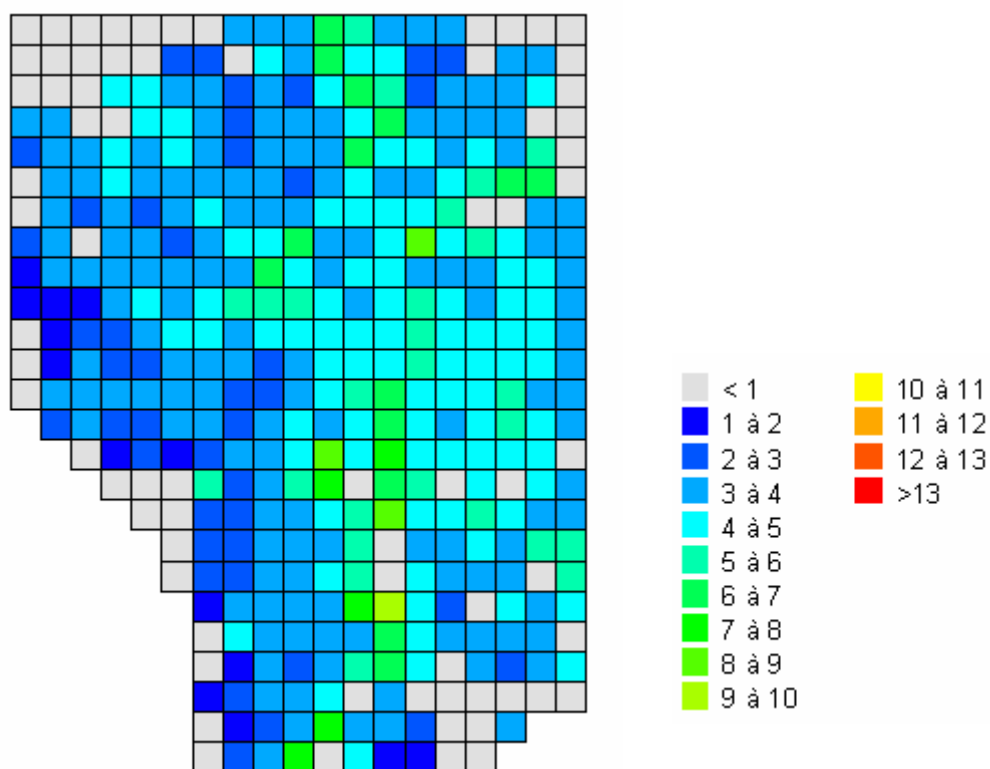


Figure 14 : Carte avec application du critère pour la gêne (route + fer)

Remarque : Il faut noter que les IRIS représentés en gris clair ayant une note inférieure à 1 ne contiennent pas d'habitations. Ce sont des lieux où sont regroupés des industries ou des structures de santé ou des bâtiments appartenant à la catégorie « autres ». Aucun calcul n'a pu être effectué à partir de ces IRIS étant donné que la méthodologie est basée sur le nombre d'habitants dans les IRIS. Ces IRIS resteront donc de cette couleur pour l'ensemble des cartes. Il est alors important d'avoir conscience de cet aspect pour l'interprétation des cartes suivantes. En outre, la représentation par des IRIS fictifs a eu pour effet d'augmenter les IRIS ayant une note inférieure à 1. En réalité seuls 12 IRIS sur 509 présentent ce résultat.

Au niveau de la gêne, il est possible de présenter des résultats pour des bruits combinés. La carte de la figure 15 illustre l'indicateur en considérant la multi-exposition.

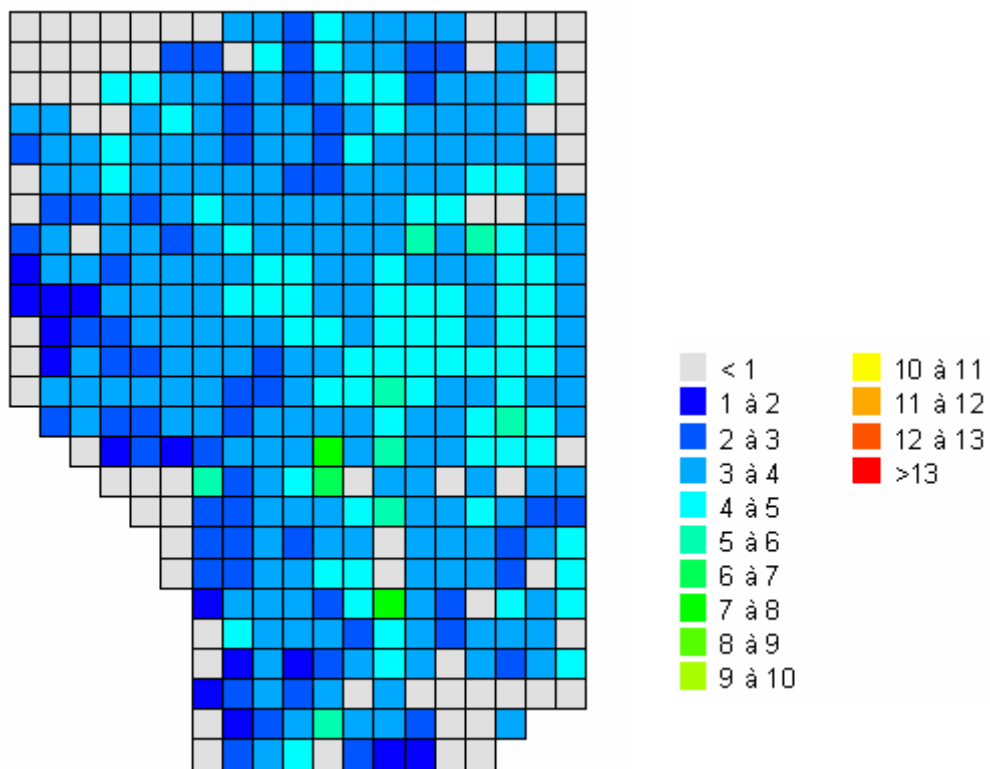


Figure 15 : Carte avec application du critère pour la gène en situation de multi-exposition

Pour une meilleure lisibilité de l'information, il est intéressant de réaliser une carte (cf. figure 16) représentant la différence entre le premier modèle de gène sans multi-exposition et le second modèle avec prise en compte de la multi-exposition.

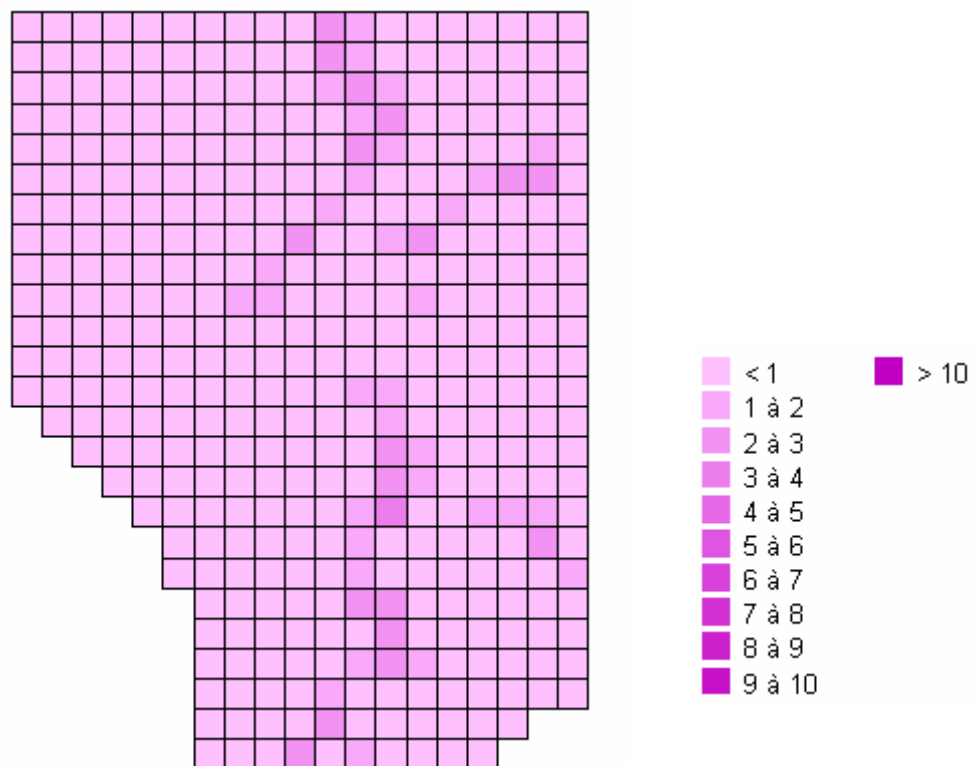


Figure 16 : Carte de différence entre modèle gène et modèle gène avec multi-exposition

Les chiffres montrent que les différences sont faibles : plus de 80% des données sont dans la catégorie inférieure à 1, ce qui signifie qu'il y a peu de différence entre la carte gêne sans la multi-exposition et gêne avec la multi-exposition. De plus, étant donné qu'aucun modèle fiable n'a été encore élaboré pour évaluer la gêne totale, il semble plus pertinent de ne pas considérer l'aspect multi-exposition pour la suite de la méthodologie. Les cartes suivantes présenteront donc des scores sans considérer l'aspect multi-exposition.

5.2 Application des relations exposition-réponse pour le sommeil

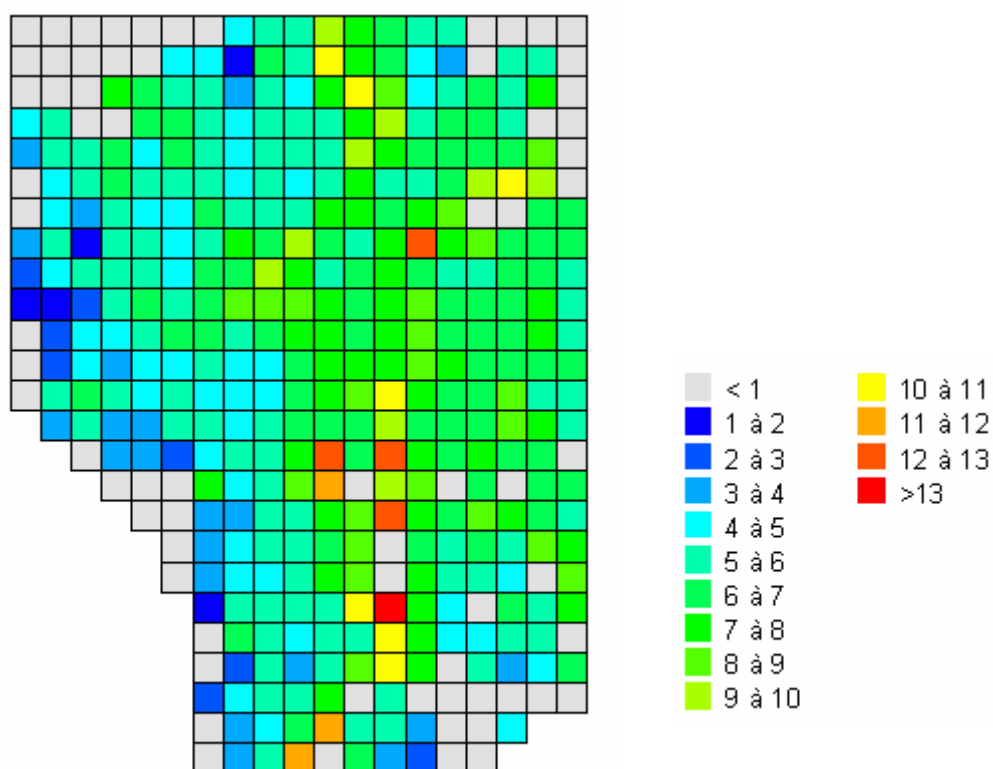


Figure 17 : Carte avec application du critère pour la gêne et le sommeil (route + fer)

Le principe même d'ajouter les pourcentages pour la gêne et le sommeil conduit à des scores élevés voire même supérieurs à 13 pour certains IRIS. L'ajout de malus/bonus par la suite permettra de moduler ces résultats en accentuant ou en atténuant la note suivant les effets considérés.

5.3 Application du malus pour les maladies cardio-vasculaires

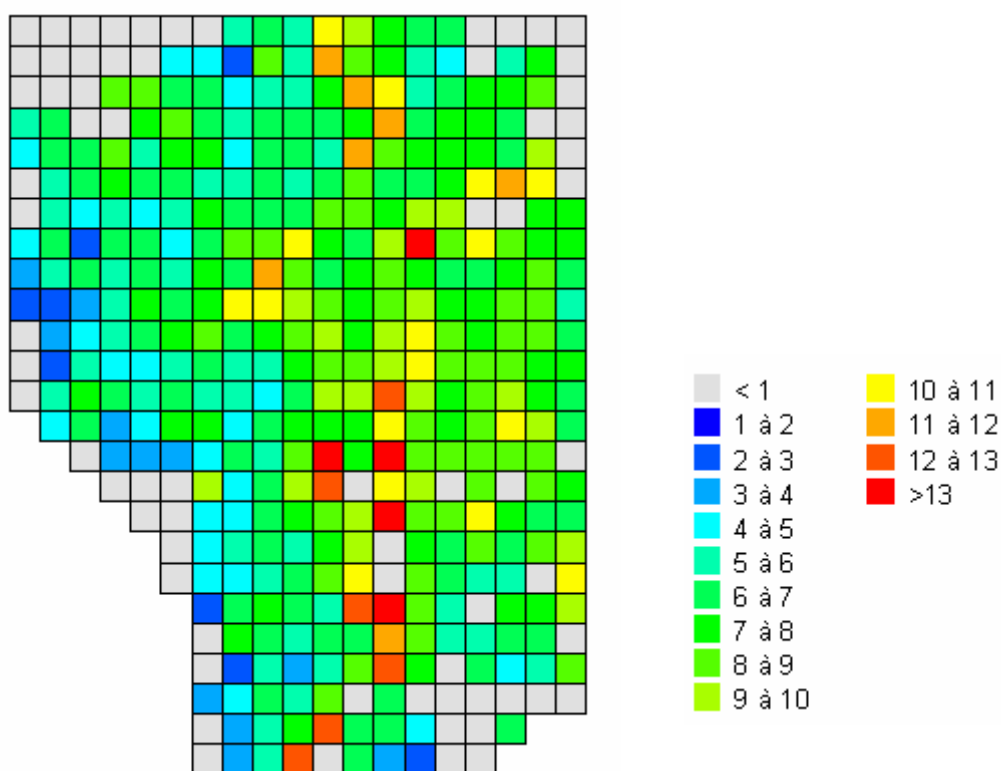


Figure 18 : Carte avec application du critère pour la gêne, le sommeil et les maladies cardio-vasculaires

Les scores appliqués pour les risques d'incidence d'infarctus du myocarde sont établis en fonction du pourcentage de personnes dans l'IRIS exposées à des niveaux de bruit supérieurs à 60 dB(A). Ainsi pour un pourcentage inférieur à 50%, on appliquera un malus de + 0,5, pour un pourcentage entre 50% et 70%, on appliquera un malus de + 1 et pour un pourcentage supérieur à 70%, on appliquera un malus de + 1,5. Le choix de ces malus se base sur des valeurs en cohérence avec le malus appliqué pour les bâtiments sensibles et sur des essais préliminaires sur le modèle SIG. En effet, une cartographie pertinente correspond à une cartographie où l'indicateur se répartit dans toutes les catégories de l'échelle.

5.4 Application du malus pour les bâtiments sensibles

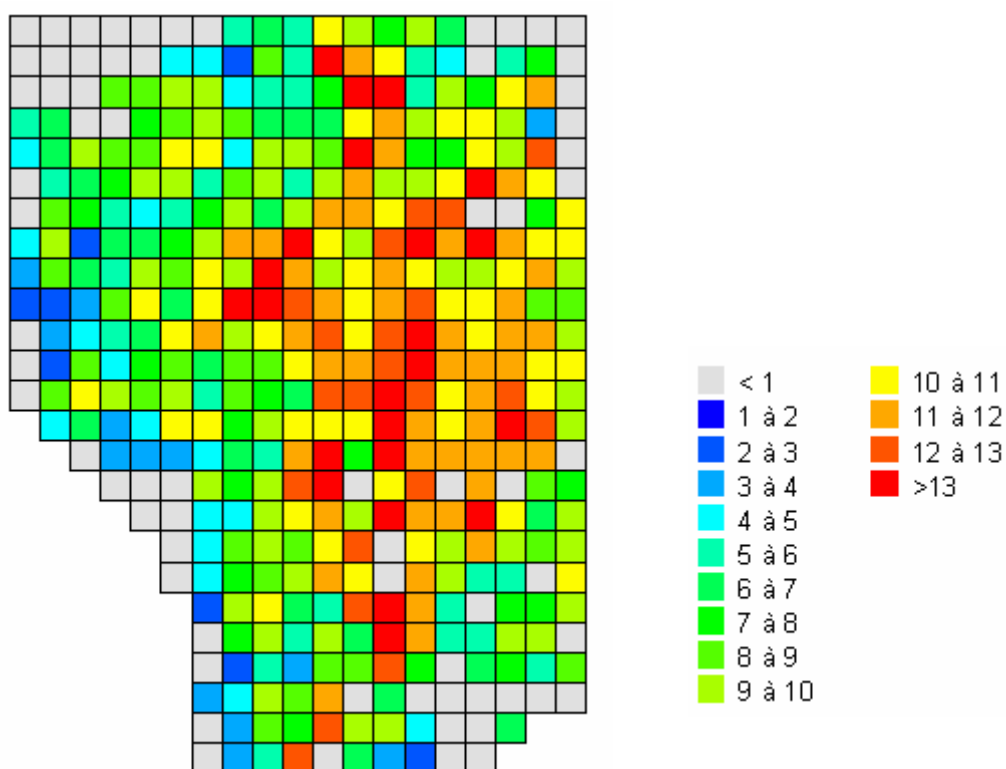


Figure 19 : Carte avec application du critère pour la gêne, le sommeil, les maladies cardiovasculaires et les bâtiments sensibles

Le score appliqué au bâtiment sensible est celui décrit précédemment dans la méthodologie soit un malus de + 3 pour tous les IRIS contenant au moins un bâtiment type école ou hôpital.

5.5 Application du bonus pour les zones vertes

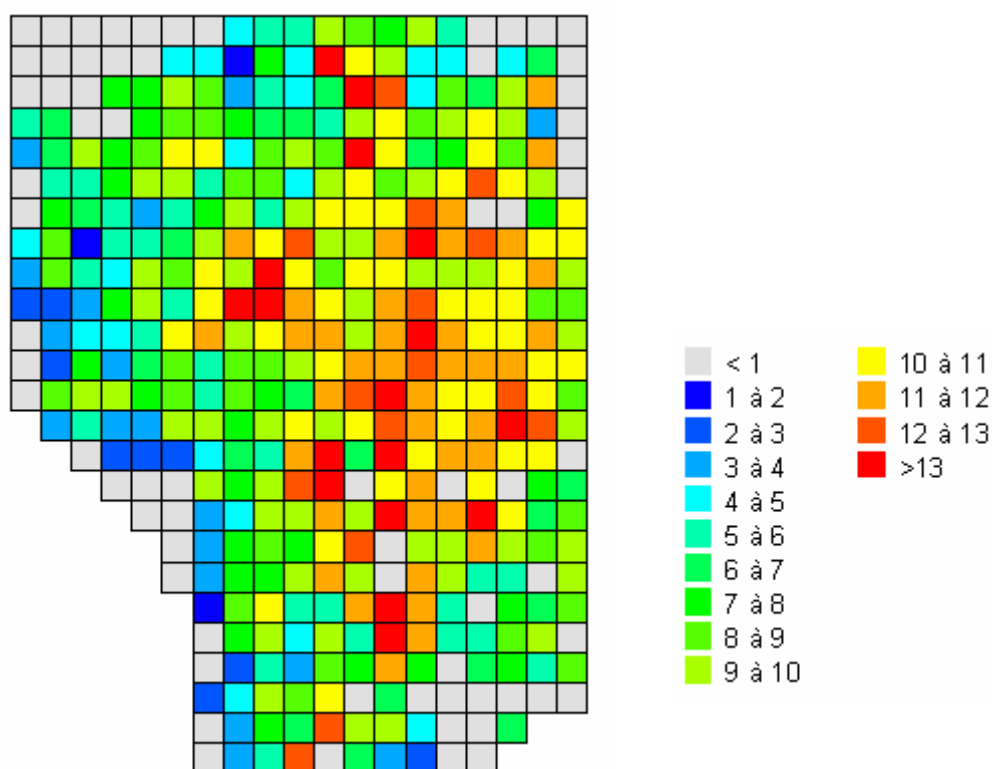


Figure 20 : Carte avec application du critère pour la gêne, le sommeil, les maladies cardio-vasculaires, les bâtiments sensibles et les zones vertes

Les scores appliqués pour les zones vertes sont établis en fonction du pourcentage de personnes proches de zones vertes dans l'IRIS. Ainsi, pour un pourcentage inférieur à 30%, on appliquera un bonus de - 0,2, pour un pourcentage entre 30% et 60%, on appliquera un bonus de - 0,4 et pour un pourcentage supérieur à 60%, on appliquera un malus de - 0,8. De même que pour les maladies cardio-vasculaires, le choix de ces malus se base sur des valeurs en cohérence avec les malus appliqués pour les bâtiments sensibles et les maladies cardio-vasculaires ainsi que sur des essais préliminaires sur le modèle SIG, ce qui permet d'estimer que la répartition sur l'échelle des scores n'est pas incohérente. Ils sont toutefois moins élevés en valeur absolue car comme le critère considéré représente un effet moins important, nous avons choisi de mettre moins de « poids » pour ce dernier élément.

5.6 Bilan

Les différentes cartes montrent une évolution avec l'application des différents critères. Elles semblent assez pertinentes dans le sens où l'ajout des critères a un réel impact sur les cartes et montrent une bonne répartition de l'indicateur pour chaque IRIS sur l'échelle de 0 à 13.

Pour la carte finale, prenant en compte l'ensemble des critères, toutes les catégories sont représentées avec le pourcentage le plus élevé pour la catégorie 9 à 10. La répartition de l'indicateur est présentée par le tableau 2.

Catégorie	Nombre d'IRIS	% d'IRIS
< 1	12	2,36
1 à 2	0	0,00
2 à 3	3	0,59
3 à 4	3	0,59
4 à 5	8	1,57
5 à 6	11	2,16
6 à 7	28	5,50
7 à 8	53	10,41
8 à 9	77	15,13
9 à 10	94	18,47
10 à 11	81	15,91
11 à 12	76	14,93
12 à 13	32	6,29
> 13	31	6,09

Tableau 2 : Répartition de l'indicateur sur l'échelle de 0 à 13

La carte finale retranscrit une signification sanitaire à l'échelle de l'IRIS sous la forme d'un indicateur agrégeant plusieurs critères en lien avec un impact sanitaire. Elle semble assez pertinente car les IRIS présentant l'effet sanitaire le plus important sont situés dans le cœur urbain de l'agglomération de Lyon ou sur les grands axes routiers et ferroviaires en lien avec des niveaux de bruit élevés. De plus, les scores des IRIS sont bien répartis dans l'échelle de cotation. Ainsi, les cartes révèlent des IRIS présentant une signification sanitaire faible, des IRIS présentant une signification sanitaire moyenne et des IRIS présentant une signification sanitaire importante. Les comparaisons sont donc possibles entre IRIS au sein de l'agglomération. Ayant conscience des éléments et des limites auxquels l'indicateur final se rapporte, les résultats obtenus lors de ces travaux doivent pouvoir contribuer à une meilleure évaluation de l'impact sanitaire du bruit.

6 Perspectives en terme de santé publique

L'ensemble de la méthodologie se base à partir des données disponibles et présente un certain nombre de limites. Il faudrait donc enrichir ce premier travail pour obtenir des informations plus pertinentes. Cependant, l'indicateur mis en place dans ce mémoire fournit une information sanitaire supplémentaire par rapport aux cartographies de bruit qui retranscrivent insuffisamment la notion de gêne via l'indicateur acoustique Lden. De ce fait, l'indicateur présente un certain intérêt pour les pouvoirs publics puisqu'il donne une image globale de l'état de santé des populations. En effet, cet indicateur permet de mieux prendre en compte les effets du bruit sur la santé des populations en considérant d'une part plusieurs effets sanitaires et d'autre part plusieurs critères liés à la configuration de l'espace urbain. Ainsi l'indicateur modélise un « impact sanitaire » à partir de niveaux de bruit. Il peut donc être utilisé comme un outil de diagnostic pour les collectivités en repérant les zones où l'indicateur a la plus forte signification sanitaire et comme un outil d'aide à la décision pour prioriser les actions. De plus, il est possible d'avoir recours à cet indicateur pour évaluer l'efficacité des actions entreprises en comparant les résultats obtenus avant et après la mise en place d'un plan d'action.

En outre, étant donné que cet indicateur est assez « modulable », le décideur n'est pas obligé de prendre en compte tous les critères mais peut choisir d'orienter l'indicateur sur certaines informations comme par exemple seulement les effets du bruit sur le sommeil ou peut renforcer certains critères en modifiant les malus/bonus. Cet indicateur permet également de repérer les IRIS présentant un contexte favorable ou défavorable (présence d'hôpitaux et d'écoles, présence de multiples sources de bruit, présence d'une zone verte à proximité). Enfin, apporter cette information sur une échelle territoriale fine permet de mieux localiser les « zones à risque » et donc de pouvoir entreprendre des actions plus ciblées.

Un inconvénient de l'utilisation de cette méthodologie pour la gestion des risques est qu'elle ne peut s'appliquer que pour des agglomérations ayant déjà élaboré leur cartographie du bruit et disposant d'un logiciel SIG suffisamment puissant pour créer des données à partir d'un jeu de données existants. Néanmoins, de part l'application de la directive en France, toutes les agglomérations de plus de 100 000 habitants seront amenées à établir leur cartographie. L'indicateur peut alors permettre de comparer et d'interpréter les résultats obtenus pour les différentes agglomérations.

Conclusion

Ce mémoire présente la proposition d'une méthodologie pour la mise en place d'un indicateur représentatif du risque sanitaire induit par les nuisances sonores en milieu urbain ; celle-ci a ensuite été appliquée à un cas pratique, la communauté urbaine de Lyon. Il s'agit d'une étude pilote qui a pour vocation à réfléchir à la possibilité d'intégrer à l'échelle de l'IRIS des données ayant une signification sanitaire.

Cette méthodologie comporte des limites et des incertitudes mais a l'avantage d'apporter une information sanitaire à partir de données acoustiques. De plus, la méthodologie mise en place peut être appliquée à d'autres agglomérations françaises, ce qui permettrait d'obtenir à l'échelle nationale des données harmonisées portant sur des indicateurs communs avec possibilité de comparaison. De même, on peut aussi concevoir que les politiques pourraient utiliser ces informations comme outil d'aide à la décision pour la gestion des risques sanitaires et comme outil d'analyse des politiques d'aménagement du territoire.

Afin d'améliorer l'indicateur, il serait intéressant de poursuivre les recherches et les études sur les effets sanitaires notamment en situation de multi-exposition, ce qui correspond à une exposition plus juste que la mono-exposition. Ceci suggère de réaliser des enquêtes de terrain et des simulations en laboratoire pour déterminer les processus et les capacités d'un individu à agréger les différentes sources de bruit.

De plus, il faut continuer de développer des modèles psycho-acoustiques qui visent à établir des relations statistiques et causales entre certaines propriétés physiques du son et les réponses humaines. Corréler une mesure acoustique avec des phénomènes subjectifs garantit une certaine opérationnalité pour quantifier un « impact sanitaire » et finalement pour aider les pouvoirs publics dans leur prise de décision.

Enfin, il semble nécessaire de privilégier des enquêtes relatives à des états de santé reportés par l'individu (« self-reported ») car il existe une dissociation forte entre perception de l'individu et mesures biologiques, d'où l'importance des travaux qui se concentrent sur l'évaluation de l'état de santé reporté plutôt que sur des mesures objectives sur l'organisme. Il ne faut cependant pas exclure pour autant les aspects physiologiques dont l'importance est certainement sous-estimée et qui nécessitent de plus amples recherches.

Finalement, si l'on s'intéresse à l'exposition « réelle » au bruit qui correspond à la dose de bruit reçue sur une période de 24 heures, il faudrait prendre en considération les niveaux sonores et leur perception lors des déplacements, lors du travail, à la maison et pendant les loisirs.

Bibliographie

Ouvrages

- [1] MOURET J., VALLET M., 1995, *Les effets du bruit sur la santé*, Paris : Ministère des affaires sociales de la santé et de la ville, 131 p.
- [2] SCHRIVER-MAZZUOLI L., 2007, *Nuisances sonores - Prévention, protection, réglementation*, Paris : Dunod, 190 p.

Rapports

- [3] AFSSE, 2004, *Impacts sanitaires des nuisances sonores – Etats des lieux, indicateurs bruit-santé Etats des lieux*, 304 p.
- [4] BABISCH W., 2006, *Transportation noise and cardiovascular risk – Review and synthesis of epidemiological studies – Dose-effect curve and risk estimation*, Berlin: Federal Environmental Agency, 113 p.
- [5] BERGLUND B., LINDVALL T., SCHWELLA D., 1999, *Guidelines for community noise*, Genève: World Health Organization, 159 p.
- [6] CERTU, 2008, *Cartes de bruit – Comment prendre en compte la multi-exposition sonore?*, fiche n°6, 10 p.
- [7] CREMEZI C., CHAMPELOVIER P., LAMBERT J., 2003, *Evaluation de la gêne due à l'exposition combinée aux bruits routier et ferroviaire*, Rapport n°242, Arcueil : INRETS, 150 p.
- [8] DIRECTION DEPARTEMENTALE DE L'EQUIPEMENT, 2007, *Densité urbaine dans la Somme*, 4 p.
- [9] EUROPEAN COMMISSION 2002, *Position paper on dose response relationships between transportation noise and annoyance*, Luxembourg: Office of Official Publications of the European Communities, 23p.
- [10] EUROPEAN COMMISSION, 2004, *Position paper on dose effect relationships for night time noise*, Luxembourg: Office of Official Publications of the European Communities, 30p.
- [11] MIEDEMA H., OUDSHOORN C., 2000, *Elements for a position paper on relationships between transportation noise and annoyance*, Leiden: TNO.
- [12] MIEDEMA H., PASSCHIER-VERMEER W, VOS H, 2003, *Elements for a position paper on night-time transportation noise and sleep disturbance*, Leiden : TNO, 62 p.
- [13] PASSCHIER-VERMEER W, VOS H, STEENBEKKERS JHM., VAN DER PLOEG FD., GROOTHUIS-OUDSHOORN K., 2002, *Sleep disturbance and aircraft noise exposure – Exposure effect relationships*, Leiden: TNO, 245 p.

[14] WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2007, *Night noise guidelines (NNGL) for Europe*, Bonn, 319 p.

Publications

[15] AYLOR D., 1976, « Perception of noise transmitted through barriers », *Acoustical Society of America*, vol. 59, n°2, pp. 397-400.

[16] BANGJUN Z., LILI S., GUOQING D., 2003, « The influence of the visibility of the source on the subjective annoyance due to its noise », *Applied Acoustics*, vol. 64, pp. 1205-1215.

[17] BASNER M., SAMEL A., 2004, « Nocturnal aircraft noise effects », *Noise and Health*, vol. 6, n°22, pp. 83-93.

[18] BOTTELDOOREN D., DEKONINCK L., DE GREVE B., DE COENSEL B., LERCHER P., 2007, « Annoyance by combined exposure to noise from road traffic and rail traffic discussed in the framework of the noticed model », *International Congress on Acoustics*, 4p.

[19] CAMARD J-P., LEFRANC A., GREMY I., FERRY R., 2004, « Effets du bruit sur la santé : données épidémiologiques récentes », *Environnement, Risques et Santé*, vol. 3, n°4, pp. 253-242.

[20] CHAMPELOVIER P., LAMBERT J., HUGOT M., MAILLARD J., MARTIN J., 2005, « Interactions between sound perception and visual perception of road infrastructure », *INTERNOISE 2005*, 6 p.

[21] CLARK C., STANSFELD S., 2007, « The effect of transportation noise on health and cognitive development: A review of recent evidence », *International Journal of Comparative Psychology*, vol. 20, pp. 145-158.

[22] FYHRI A., KLABOE R., 2008, « Road traffic noise, sensitivity, annoyance and self-reported health – A structural equation model exercise », *Environment International*, 7 p.

[23] GIDLOF-GUNNARSSON A., OHRSTROM E., 2007, « Noise and well-being in urban residential environments: The potential role of perceived availability to nearby green areas », *Landscape and Urban Planning*, vol. 83, pp. 115-126.

[24] GUSKI R., 1999, « Personal and social variables as co-determinants of noise annoyance », *Noise and Health*, vol. 1, n°3, pp. 45-56.

[25] FRANSSSEN E., STAATSEN B., LEBRET E., 2002, « Assessing health consequences an environmental impact assessment – The case of Amsterdam Airport Schiphol », *Environmental Impact Assessment Review*, vol. 22, pp. 633-653.

[26] JAKOVLJEVIC B., PAUNOVIC K., BELOJEVIC G., 2008, « Road-traffic noise and factors influencing noise annoyance in an urban population », *Environment International*, 5 p.

- [27] LAMBERT J., 2002, « La gêne due au bruit des transports terrestres », *Acoustique et Techniques* n°28, pp. 20-25.
- [28] LAMBERT J., 2006, « Synthesis of knowledge concerning the dose-effects relationships related to transport noise », 5 p.
- [29] LIM C., KIM J., HONG J., LEE S., 2006, « The relationship between railway noise and community annoyance in Korea », *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 120, n°4, pp. 2037-2042.
- [30] MARTIN M., TARRERO A., GONZALEZ J., MACHIMBARRENA M., 2006, « Exposure-effect relationships between road noise annoyance and noise cost valuations in Valladolid, Spain », *Applied Acoustics*, vol.67, pp. 945-958.
- [31] MIEDEMA H., 1998, « Exposure-response relationships for transportation noise », *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 104, n°6, pp. 3432-3445.
- [32] MIEDEMA H., 1999, « Demographic and attitudinal factors that modify annoyance from transportation noise », *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 105, n°6, pp. 3336-3344.
- [33] MIEDEMA H., 2001, « Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals », *Environmental Health Perspectives*, vol. 109, n°4, pp. 409-416.
- [34] MIEDEMA H., 2004, « Relationship between exposure to multiple noise sources and noise annoyance », *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 116, n°2, pp. 949-957.
- [35] MIEDEMA H., 2007, « Annoyance caused by environmental noise elements for evidence based noise policies », *Journal of Social Issues*, vol. 63, n°1, pp. 41-57.
- [36] MUZET A., 2007, « Environmental noise, sleep and health », *Sleep Medicine Reviews*, vol. 11, pp. 135-142.
- [37] OHRSTROM E., SKANBERG A., SVENSSON H., GIDLOF-GUNNARSSON A, 2006, « Effects of road traffic noise and the benefit of access to quietness », *Journal of Sound Vibration*, vol. 295, pp. 40-59.
- [38] OHRSTROM E., BARREGARD L., ANDERSSON E., SKANBERG A., 2007, « Annoyance due to single and combined sound exposure from railway and road traffic, lifespan », *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 122, n°5, pp. 2642-2652.
- [39] PASSCHIER-VERMEER W., PASSCHIER W., 2000, « Noise exposure and public health », *Environmental Health Perspectives*, vol. 108, pp. 123-131.
- [40] SELANGER J., NILSSON M., BLUHM G., ROSENLUND M., LINDQVIST M., NISE G., PERSHAGEN G., 2009, « Long term exposure to road traffic noise and myocardial infarction », *Epidemiology*, vol. 20, n°2, pp 272-279
- [41] VAN GERVEN P., VOS H., VAN BOXTEL M., JANSSEN S., MIEDEMA H., 2009, « Annoyance from environmental noise across the lifespan », *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 126, n°1, pp. 187-194.

[42] VIOLLON S., LAVANDIER C., DRAKE C., 2002, « Influence of visual setting on sounds ratings in an urban environment », *Applied Acoustics*, vol.63, pp. 493-511.

[43] WATTS G., CHINN L., GODFREY N., 1999, « The effects of vegetation on the perception of traffic noise », *Applied Acoustics*, vol. 56, pp. 39-56.

Thèses

[44] HAVARD S., 2008, *Contribution de la pollution atmosphérique aux inégalités socio-spatiales de santé – Analyse écologique du risque d'infarctus du myocarde dans l'agglomération de Strasbourg*, Thèse pour le doctorat en biologie et sciences de la santé : Université Rennes 1, 280 p.

[45] VINCENT B., 1994, *Contexte acoustique et environnemental dans l'évaluation des variations de la gêne due au bruit autoroutier : essai de modélisation*, Thèse pour le doctorat en psychologie : Université Lumière Lyon 2, 417 p.

Textes législatifs

[46] EUROPEAN COMMISSION. Green Paper on Future Noise Policy COM [(96)540], 1996.

[47] MINISTERE D'ETAT, DE L'INTERIEUR ET DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE, DE L'EQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU TOURISME, DE L'ENVIRONNEMENT, DU LOGEMENT. Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières. Journal officiel de la République française du 10 mai 1995.

[48] PARLEMENT EUROPEEN ET CONSEIL DE L'UNION EUROPEENNE, Directive du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement, Journal officiel des Communautés européennes du 18 juillet 2002.

Brochures

[49] ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE, 2000, *Bruit et santé*, n°36, 28 p.

[50] ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTE, 2000, *La mesure acoustique*, n°37, 24 p.

Site internet

[51] GIpSynoise. Présentation du projet, [consulté le 10.07.2009], disponible sur internet : <http://www.gipsynoise.org>

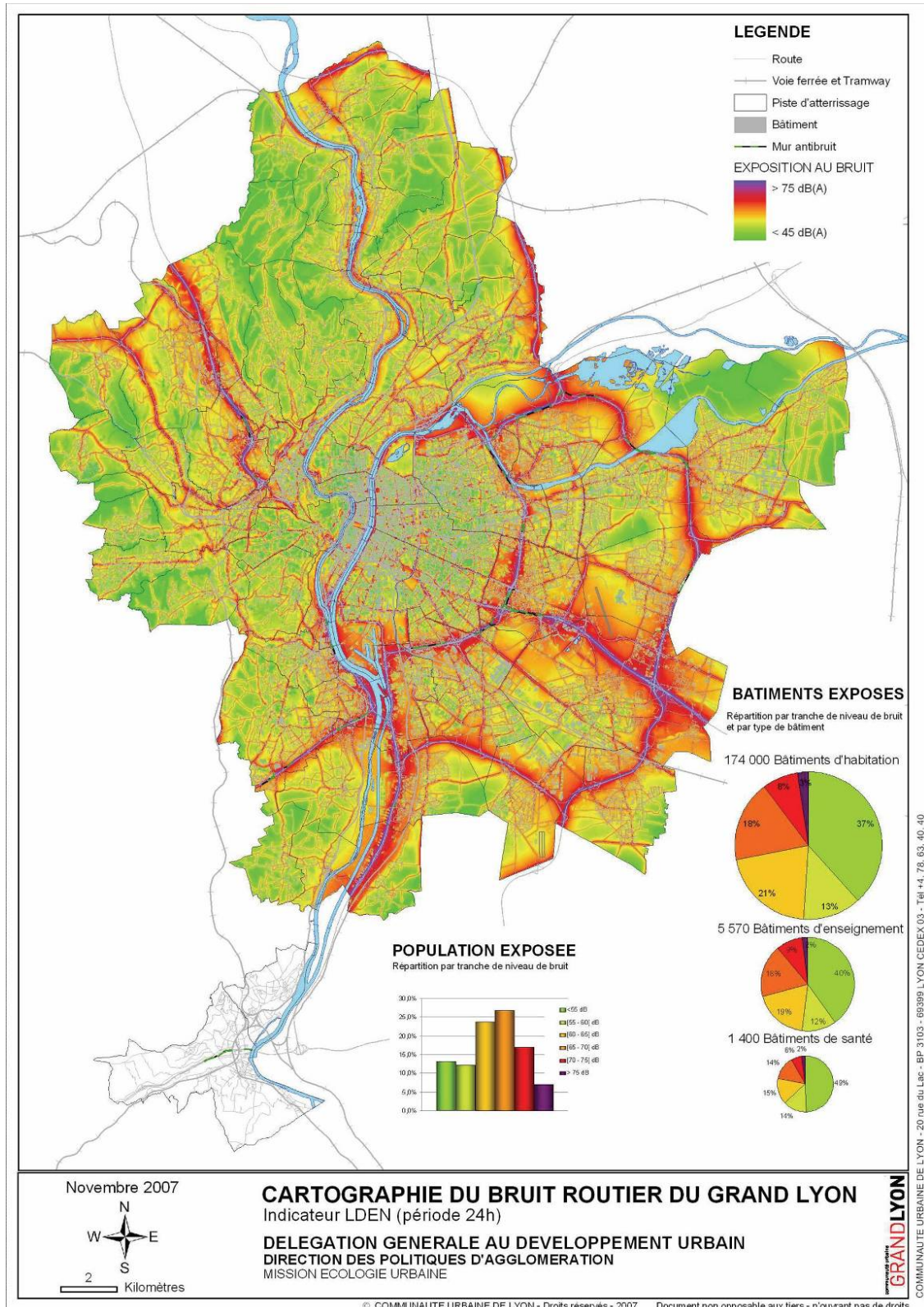
[52] IFEN. Nomenclature, [consulté le 10.07.2009], disponible sur internet : <http://www.ifen.fr/bases-de-donnees/occupation-des-sols-corine-land-cover/nomenclature.html>

Liste des annexes

Annexe 1 : Cartographie des niveaux de bruit du Grand Lyon sur 24hI

Annexe 2 : Valeurs guides OMS pour le bruit ambiantII

Annexe 1 : Cartographie des niveaux de bruit du Grand Lyon sur 24h



Annexe 2 : Valeurs guides OMS pour le bruit ambiant

Environnement	Emplacement	Effet critique sur la santé	L _{Aeq} en DB(A)	Base de temps (heure)	L _{Amax} en dB
Chambre à coucher	Intérieur	Troubles du sommeil (Nuit)	30	8	45
Chambre à coucher	Extérieur	Troubles du sommeil (Nuit)	45	8	60
Chambre dans une garderie	Intérieur	Troubles du sommeil	30	Temps de sommeil	-
Hôpital, salle commune	Intérieur	Troubles du sommeil (Nuit)	30	8	40
Chambre à coucher	Intérieur	Troubles du sommeil (Jour + Soirée)	30	16	-
Habitation	Extérieur	Gêne sérieuse (Jour + soirée)	55	16	-
Habitation	Extérieur	Gêne moyenne (Jour + soirée)	50	16	-
Ecole, terrain de jeu	Extérieur	Gêne	55	Pendant les jeux	
Habitation	Intérieur	Intelligibilité d'un discours (Jour + soirée)	35	16	-
Salles de classe école + garderie	Intérieur	Intelligibilité d'un discours, perception et communication de l'information perturbées	35	Pendant les cours	-

Abstract

Elaboration of a methodology for the definition of an indicator of health risk induced by noise in urban areas - The example of Grand Lyon -

The development of transport infrastructures lead to increase the exposure of population to high noise levels. Within this framework, the European Community published a directive called "Environmental Noise Directive", which aim is to define a common approach based on exposure noise maps and on the implementation of prevention plans in the greatest agglomerations and along the main axes of transport. The cartography of Grand Lyon from this directive is used as a support for our work.

In parallel, this memory is related to a research project which aims at evaluating the contribution of the environmental exposures to the social inequalities on the national territory on a French local scale named IRIS. In this context, the objective of this memory is to define an indicator representative of the health risk induced by noise pollutions in urban environment and adapted to the geographical resolution of IRIS. Thus on top of the noise levels, other relevant parameters are to be considered.

Methodology for the definition of the indicator considers in a first part the health aspect with the health data for the following effects: annoyance, sleep disturbance and cardiovascular diseases. Then, in a second part, methodology considers the effects related to the urban context since the configuration of urban space can change the exposure of population to noise and the perception of noise. The criteria selected are the presence of sensitive building, the access to a green zone and the exposure to multiple noise sources.

The whole of methodology is applied to a GIS software which can superpose various information collected on acoustic data and makes possible work on the scale of IRIS via the functionalities of GIS systems. The indicator seems to be relevant and interesting as it brings a health information and can to be adapted to other agglomerations.

Key words:

NOISE – EXPOSURE – HEALTH IMPACT – INDICATOR – ANNOYANCE – SLEEP
DISTURBANCE – CARDIOVASCULAR DISEASES – URBAN CONTEXT – CARTOGRAPHY –
GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM