

Modélisation de l'exposition au bruit en milieu urbain et études épidémiologiques : quelles sources sonores ?

Sophie Pujol^{1,2}, Hélène Houot³, Marc Berthillier⁴, Jérôme Defrance⁵, Joseph Lardies⁴, Séverine Bongain², Jean-Pierre Levain⁶, Cyril Masselot³, Rémy Petit⁷, Frédéric Mauny^{1,2}

¹ UMR 6249 Chrono-Environnement, CNRS/Université de Franche-Comté
16 route de Gray – 25030 Besançon, France

² Centre Hospitalier Universitaire de Besançon
2, Place Saint-Jacques – 25030 Besançon, France

³ UMR 6049 ThéMA, CNRS/Université de Franche-Comté
32, rue Mégevand – 25030 Besançon, France

⁴ UMR 6174 FEMTO-ST, CNRS/Université de Franche-Comté
32 avenue de l'observatoire – 25044 Besançon, France

⁵ Centre scientifique et technique du bâtiment, département acoustique et éclairage, Grenoble
24, rue Joseph Fourier – 38400 Saint-Martin-d'Hères

⁶ EA 3188 Laboratoire de Psychologie, Université de Franche-Comté
32, rue Mégevand –, 25030 Besançon, France

⁷ Inspection académique du Doubs
26 avenue de l'observatoire – 25030 Besançon, France

frederic.mauny@univ-fcomte.fr

MOTS - CLÉS

Modélisation
acoustique
Sources sonores
urbaines
Exposition
individuelle
Épidémiologie

RÉSUMÉ

La plupart des recherches épidémiologiques étudiant le bruit en milieu urbain s'appuient sur des modèles n'intégrant que les sources sonores liées aux transports ou aux industries. Or, des sources additionnelles sont susceptibles d'influencer le niveau sonore. L'objectif de ce travail est d'identifier, parmi les sources sonores environnementales urbaines, celles susceptibles d'améliorer les modèles de prévisions et d'estimer leur contribution respective. Une campagne de mesures acoustiques a été réalisée en façade de 44 logements situés à Besançon (France). Les valeurs mesurées ont été confrontées aux valeurs modélisées à partir de différentes cartes de bruit dans lesquelles les sources sonores ont été introduites progressivement. Quatre sources additionnelles ont été retenues et implémentées dans le modèle de prédiction : les voies piétonnes, les fontaines à vasques, les cours d'écoles et les arrêts de bus. La contribution temporelle (périodes nyctémérales) et spatiale (distributions géographiques des nouvelles sources et des logements équipés) de chaque source a été analysée. De nombreuses sources sonores urbaines associent puissance acoustique limitée et impact local. Certaines peuvent apporter une contribution non négligeable à la qualité de l'estimation de l'exposition sonore en milieu urbain. Leur prise en compte devrait permettre d'améliorer l'approche épidémiologique de la relation entre pollution sonore et santé.

Noise modelling
Urban sound sources
Individual exposition
Epidemiology

Modelling the noise exposure in urban areas and epidemiologic studies: what noise sources?

Epidemiological studies on noise in urban areas are mostly based on a modelling approach which only focuses on noise sources related to transportation and industries. Additional sources are likely to influence the ambient noise level, but the spatio-temporal influence they could have is rarely studied. The objective of this study is to identify urban noise sources that could improve environmental noise prediction and to quantify their respective contributions. An acoustic measurement campaign was conducted in frontage of 44 dwellings located on the city of Besancon (France). Measurements were compared to noise levels predictions produced from different noise maps in which sources were progressively introduced. Among the additional noise sources identified, four sources were selected and implemented in the prediction model: walkways, fountains pools, schoolyards and bus stops. The contribution of each source was analysed taking into account temporal aspects (diurnal period) and spatial aspects (geographic distributions of new sources and homes equipped). Many urban noise sources have a limited acoustic power and a local impact. However, some of them may bring a significant contribution to the quality of the estimate of environmental noise exposure in urban areas. Their inclusion may improve the epidemiological approach of the relationship between acoustic pollution and health.

1. Introduction

Depuis une trentaine d'années, les préoccupations d'éventuels effets sur la santé liés à l'exposition sonore environnementale n'ont cessé de croître. De nombreuses études épidémiologiques ont pu établir un lien entre exposition sonore et différentes pathologies (cardio-vasculaires, obstétricales, psychiatriques...) ou perturbations (gêne, troubles du sommeil, diminution des capacités cognitives...) (Anonymous, 1997 ; Babisch, 2005 ; Babisch, 2006 ; Clark, 2006 ; Stanfeld, 2000 ; Passchier-Vermeer, 2000). Ces études ont en commun la nécessité d'évaluer le niveau d'exposition d'un nombre important de sujets afin d'assurer la puissance statistique nécessaire à la mise en évidence d'un effet.

Il est assez difficile de quantifier précisément le niveau sonore auquel les individus sont exposés. En effet, ce niveau est modulé par un nombre important de paramètres, dont l'activité, le lieu, les caractéristiques acoustiques du lieu, sa propre attitude vis à vis du bruit. L'exposition au bruit peut varier de façon très importante, notamment en milieu urbain, à l'intérieur d'un même logement, au sein du même quartier, entre un logement muni d'une isolation phonique et un autre n'en possédant pas (Camard, 2004). Déterminer le niveau d'exposition au bruit nécessite donc de réaliser un ensemble de mesures ou d'évaluer l'exposition de façon indirecte au moyen de questionnements individuels ou de modélisation des niveaux sonores (Vincent, 2006).

La réalisation de mesures acoustiques individuelles est la solution de loin la plus satisfaisante, mais pose des problèmes d'échantillonnage, de représentativité dans l'espace et dans le temps, mais également

de logistique (appareillage, distribution et traitement des données).

Une solution possible consiste à utiliser un outil de cartographie sonore permettant d'obtenir, au niveau de l'adresse postale, une estimation de l'exposition sonore chronique. Le principe consiste à produire, par modélisation à partir des différentes sources sonores et des lois de propagation du son dans l'espace, un indice synthétique de bruit cumulé reçu en façade des habitations. Cet outil, d'ailleurs inscrit dans le contexte européen par la directive 2002/49/CE, permet de produire les données d'exposition individuelle nécessaires aux études épidémiologiques en estimant, en tout point d'une ville (une adresse précise incluant l'étage ou un trajet piéton par exemple) le niveau d'exposition sonore par période journalière. Des publications récentes proposent les résultats de cartographies sonores réalisées à Dublin (Murphy, 2008), Taiwan (Tsai, 2009) ou Séoul (Lee, 2008).

Cependant, une telle modélisation pose une double contrainte :

- une contrainte d'échelle, puisqu'il peut être nécessaire de modéliser l'exposition au bruit de l'ensemble de la population d'une agglomération urbaine,
- une contrainte relative au niveau d'analyse puisque la valeur d'exposition doit être connue pour chaque logement et avec une précision élevée.

Il existe plusieurs logiciels et plusieurs méthodes de calcul réalisant ces cartes sonores. En théorie, les modèles disponibles permettent de travailler à différentes échelles. Ce sont les contraintes d'information et de calcul qui déterminent des niveaux de maillage différents, et donc des qualités de modélisation différentes. Le maillage spatial peut être très fin, dans le cas d'études d'impact

notamment. Pour une cartographie à l'échelle d'une agglomération, les paramètres intégrés au modèle sont généralement limités en nombre (sources routières, aériennes, ferroviaires et industrielles en général) et la modélisation est de ce fait moins précise.

Il s'agit donc de trouver un compromis entre ces deux types de modélisation, en proposant un modèle permettant de disposer d'un grand nombre de points de réception (lié à l'échelle spatiale à laquelle on souhaite obtenir de l'information) et de valeurs de bruit modélisées suffisamment précises. Au delà des sources de transport et des industries que les guides préconisent, quelles sont les sources sonores pertinentes à prendre en compte dans une démarche d'évaluation du niveau global d'exposition au bruit d'une population ? L'objectif du travail est d'estimer la contribution d'autres sources sonores environnementales.

2. Données et méthodes

La problématique a été appliquée à une étude épidémiologique menée dans l'agglomération de Besançon en 2007, nécessitant l'évaluation du niveau d'exposition sonore au domicile de 725 élèves scolarisés en CE2, répartis sur l'ensemble de la commune. La mesure individuelle étant difficilement envisageable, une modélisation du niveau sonore à l'échelle de toute la ville a été construite. En parallèle, une campagne de mesure a été menée au domicile d'un échantillon de 50 de ces élèves. Les niveaux mesurés et prédits ont été comparés pour identifier les discordances et mettre en œuvre des solutions permettant d'améliorer la prédiction du niveau sonore par le modèle.

2.1 Campagne de mesure

La campagne de mesure s'est déroulée de décembre 2006 à juillet 2007, sur l'ensemble de la commune de Besançon¹. Les logements de 50 enfants ont été tirés au sort, parmi les élèves bisontins scolarisés en CE2 dans les écoles publiques (figure 1). Le niveau sonore a été mesuré à l'extérieur de l'habitation, devant la fenêtre de la chambre de l'enfant, pendant 8 jours consécutifs. Une perche télescopique fixée sur les rebords de la fenêtre a permis le positionnement du microphone à 2 mètres de la façade, conformément à la norme NF 31-010. Des enregistrements audiophoniques à déclenchement automatique par dépassement de seuil ont été effectués. Le signal sonore obtenu a ensuite été exploité avec le logiciel dBTrait[®] pour éliminer les conditions expérimentales inadéquates (pluie, vent, accidents sonores). La valeur calculée est le niveau sonore équivalent pondéré A² (LAeq, exprimé en dB(A)), estimé pour l'ensemble de la mesure pour 3 plages horaires : le jour (6h-18h), le soir (18h-22h) et la nuit (de 22h à 6h).

Après traitement du signal sonore, 44 logements présentent des données exploitables, cumulant 271 jours de mesure. La durée de l'enregistrement varie de 2 à 7 jours par logement.

¹ La commune de Besançon couvre l'essentiel d'une agglomération quasi mono-communale

² Le niveau sonore équivalent est le niveau de pression acoustique d'un bruit stable qui donnerait la même énergie acoustique qu'un bruit à caractère fluctuant, pendant une durée T donnée. L'utilisation de la pondération A permet de prendre en compte la perception sonore de l'oreille humaine (sensibilité différente en fonction des fréquences).

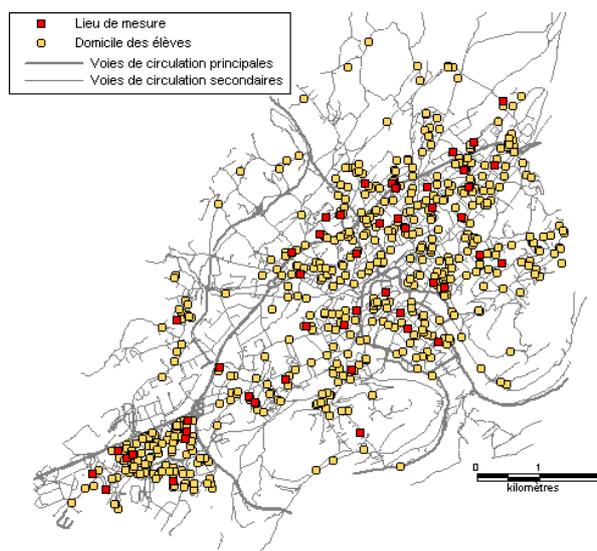


Figure 1. Localisation des logements de 725 élèves scolarisés à Besançon en CE2 en 2006-2007, et parmi ceux-ci les 50 points de mesure acoustique.

2.2 Modélisation de l'exposition au bruit

Les niveaux sonores de l'ensemble de la ville de Besançon ont été modélisés selon les recommandations de plusieurs guides destinés à la production des cartes sonores conformément à la directive 2002/49/CE (WG-AEN, 2006 ; CERTU, 2006 ; CERTU, 1998).

Logiciel utilisé

Le logiciel MITHRA®, développé par le Centre scientifique et technique du bâtiment a été utilisé. Il fait appel à un algorithme de recherche de trajets acoustiques possibles entre un récepteur et une source sonore par tir de rayons et prend en compte les phénomènes d'atténuation sonore suivants : absorption, diffraction, multi-réflexion et effets météorologiques.

Données d'entrée

- Description du site

La BD TOPO® mise à disposition par l'agence d'urbanisme de l'agglomération bisontine (AUDAB) a été utilisée pour décrire le site (topographie, bâtiments, tracé des voies routières et ferroviaires). La mairie de Besançon (service du plan) a fourni les adresses, permettant la localisation des points de mesure. Elles ont ensuite été géoréférencées. L'information relative aux attributs géométriques et

fonctionnels du réseau viaire a été fournie par le service voirie de la mairie.

Les données météorologiques nécessaires au calcul d'une rose d'occurrence des conditions favorables à la propagation du son pour la modélisation ont été acquises auprès de Météo France.

- Caractérisation des sources sonores

Les spectres d'émissions des voies routières et ferroviaires sont prédéterminés dans MITHRA®. Ils sont issus de mesures réalisées en bordure de route, en conditions expérimentales. Ils se modulent en fonction des caractéristiques de trafic de chaque infrastructure : nombre de véhicules par heure, pourcentage de poids lourds, flux et vitesse de circulation pour les transports routiers ; nombre de trains par période, type de train et composition, vitesse de circulation pour les voies ferrées. Ces renseignements ont été obtenus auprès de la direction départementale de l'équipement et du service voirie de la mairie pour la route et auprès de la Société nationale des chemins de fer et Réseau ferré de France pour le rail.

Étendue du modèle

Le modèle couvre l'ensemble du territoire communal de Besançon (65 km²). Sa construction nécessite l'implémentation de 510 km de voies routières, 14 km de voies ferrées et 11 800 bâtiments. Il est partiellement représenté sur la figure 2.

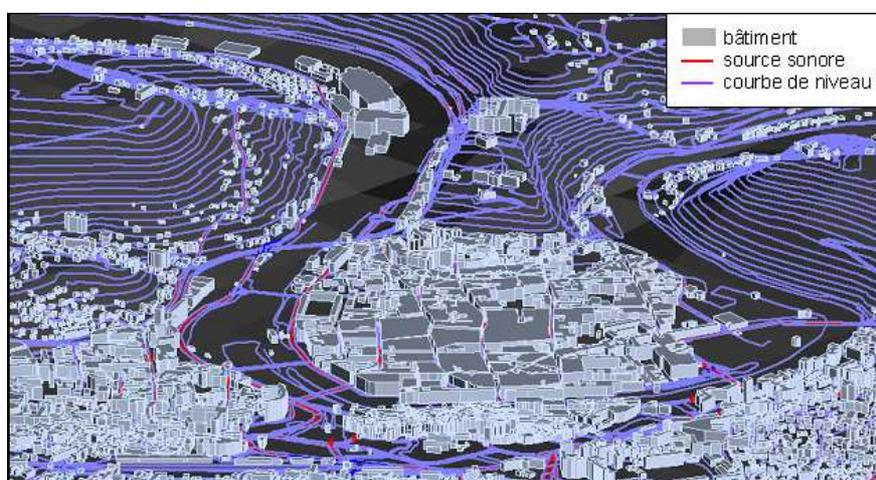


Figure 2. Vue 3D du modèle, centre ancien de Besançon (logiciel MITHRA®)

Paramètres de calcul retenus

Les calculs ont été effectués selon la norme XP S31-133 : 2001 (WG-AEN, 2006). Pour chaque récepteur, 200 trajets sonores ont été tracés (soit un pas angulaire de 1,8 degré), prenant en compte les sources sonores localisées dans un rayon de 1 km, avec un nombre de réflexions contre les surfaces

réfléchissantes lors du trajet (murs, bâtiments) égal à 5.

Valeurs obtenues

Le logiciel permet le calcul des niveaux sonores équivalents (LAeq), pour les différentes périodes de la journée (jour, soir, nuit) pour des points de réception à 2 m en avant de la façade des bâtiments,

aux emplacements mêmes où les microphones utilisés lors de la campagne de mesure ont été positionnés.

2.3 Comparaison entre niveaux sonores mesurés et modélisés

Les données issues du mesurage et celles issues de la modélisation du bruit routier et ferroviaire ont été comparées, pour chaque période et chaque logement (figure 3). Des tests de corrélation des rangs de Spearman ont été réalisés à l'aide du logiciel Systat® 11.0.

Malgré une validité du modèle globalement satisfaisante (coefficients de corrélation variant de 0,81 à 0,84 en fonction de la période), la présence d'observations atypiques sous-estimant de manière importante le niveau de bruit a fait rechercher l'existence d'autres sources sonores environnementales non prises en compte dans la modélisation. Ces sources ont été identifiées à l'aide de l'écoute de fichiers audiophoniques, le repérage sur site des logements concernés ou les déclarations des familles lors de l'installation du matériel. L'intensité et le spectre de réception de chaque source ont été caractérisés à l'aide de mesures complémentaires, en bordure de source. Leurs caractéristiques d'émission ont été évaluées par un module d'identification des sources incorporé dans le logiciel, qui, à partir de mesures *in situ*, calcule a posteriori le spectre et la puissance d'émission. Les sources retenues ont ensuite été implémentées, et des valeurs corrigées du niveau sonore ont été modélisées. À l'issue de cette seconde étape de

modélisation, des tests de corrélation des rangs de Spearman ont à nouveau été appliqués.

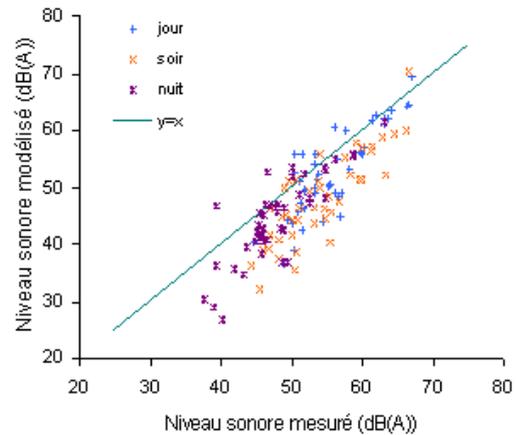


Figure 3. Comparaison des niveaux sonores mesurés et modélisés (dB(A)), pour le jour, le soir et la nuit, pour les 44 logements retenus pour l'étude.

3. Résultats

3.1 Choix des sources sonores à implémenter dans le modèle

La majorité des niveaux sonores prédits par le modèle est située en dessous de la droite représentant l'égalité entre valeurs modélisées et valeurs mesurées (figure 4). Les principales sources sonores repérées au voisinage des logements sont également présentées.

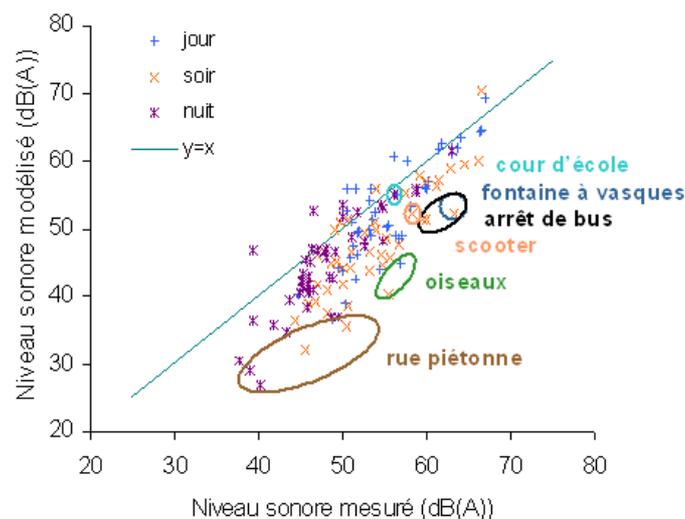


Figure 4. Distribution des niveaux sonores mesurés et modélisés (dB(A)), pour le jour, le soir et la nuit, pour les 44 logements retenus pour l'étude, et sources sonores identifiées à proximité des logements.

Trois types de sources complémentaires ont été identifiés.

Certaines sont associées à des conditions météorologiques défavorables (présence de précipitations ou de vent dont la vitesse excède 5m.s^{-1}). Les mesures associées à ces périodes ont été exclues du traitement. D'autres événements (fête de la musique, concerts en plein air, fête foraine) ont également donné lieu à l'exclusion des périodes de mesure correspondantes.

Les sources sonores liées à des événements aléatoires, ou non reproductibles, ou de contribution géographiquement restreinte ont été négligées. Il s'agit notamment des coups de klaxon, des cris d'oiseaux, de la circulation des 2 roues ou encore des travaux ponctuels (entretien des espaces verts, chantiers).

Enfin, les sources sonores dont les fréquences de fonctionnement et les spectres d'émissions étaient quantifiables et dont la localisation à l'échelle de la ville était envisageable ont été retenues.

À l'issue de cet examen, l'implémentation de 4 sources environnementales supplémentaires semblait pertinente : les voies piétonnes, les fontaines à vasques, les cours d'écoles et les arrêts de bus.

3.2 Influence des sources sonores sur le niveau modélisé

Voies piétonnes

La sous-estimation du niveau sonore par la carte avant l'implémentation de la source « voie piétonne » est de 12,6 dB(A) en moyenne pour chacune des périodes. La prise en compte de cette source sonore permet un gain moyen de 2,8 dB(A) pour les 2 logements concernés. À titre indicatif, une augmentation de 3 dB(A) correspond à un doublement de l'intensité sonore.

Fontaine à vasques

La modélisation initiale du niveau sonore du logement situé à 10 mètres en face d'une fontaine à vasques affiche respectivement 11,1 et 6,7 dB(A) de moins que le niveau mesuré pour le soir et la nuit (figure 5). Après implémentation, l'écart entre modélisation et mesure se situe dans une fourchette de 1 dB(A).

Cour d'école

La prise en compte de la cour d'école située en face d'un logement étudié permet un gain de 2dB(A) (figure 6).

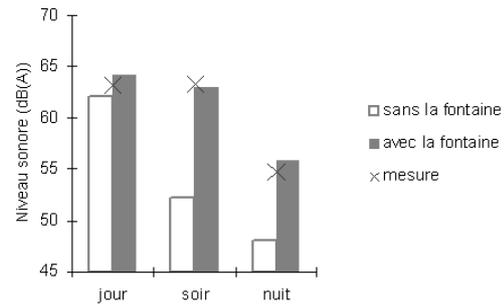


Figure 5. Niveaux sonores (dB(A)) mesurés et modélisés par la carte, avant et après l'ajout de la source « fontaine à vasques »

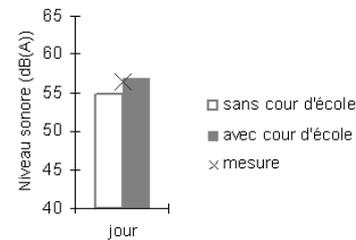


Figure 6. Niveaux sonores (dB(A)) mesurés et modélisés par la carte, avant et après l'ajout de la source « cour d'école »

Arrêts de bus

Le bruit associé au passage d'un bus étant déjà pris en compte dans le modèle (par le pourcentage de poids lourds attribué à la voie), la source « arrêt de bus » à implémenter comprend donc uniquement les émissions résultant du freinage, de la montée-descente des passagers et du redémarrage du véhicule.

Le réseau de bus de la ville Ginko comporte 624 points d'arrêts à Besançon, répartis en 335 stations. Devant la forte contrainte de localisation et de recueil d'information que représente le travail d'implémentation, le nombre d'arrêt à prendre en compte a été raisonné. Chaque point d'arrêt émet de manière discontinue, en fonction du nombre de lignes et du nombre de bus le desservant. Pour quantifier cette activité, les pourcentages de fonctionnement ont été calculés à partir des grilles horaires de chaque arrêt de bus du réseau Ginko pour les 3 périodes de la journée. La figure 7 représente la distribution des 335 stations en fonction de leur pourcentage de fonctionnement.

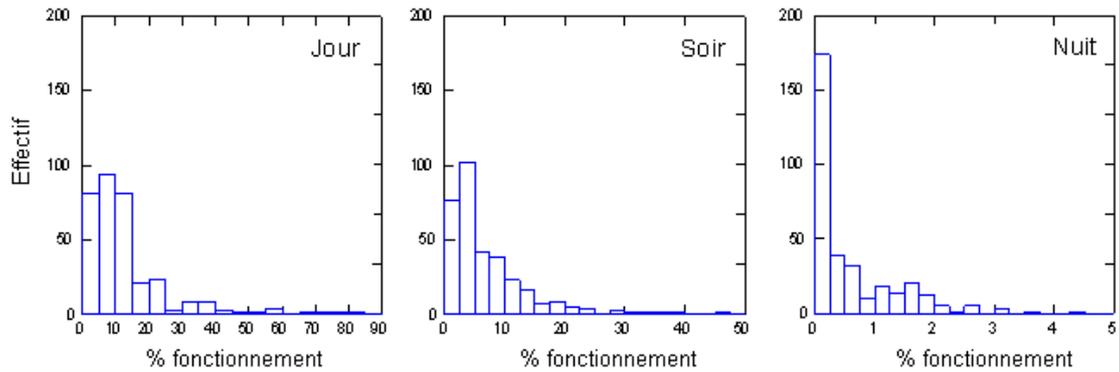


Figure 7. Distribution des arrêts de bus en fonction de leur pourcentage de fonctionnement pour chaque période de la journée.

La contribution de la source « arrêt de bus » en fonction de la distance source-récepteur et du pourcentage de fonctionnement a été évaluée par modélisation avec le logiciel MITHRA®, dans le cas d'une rue en L, avec un trafic routier de 66 véhicules par heure (cf. figure 8).

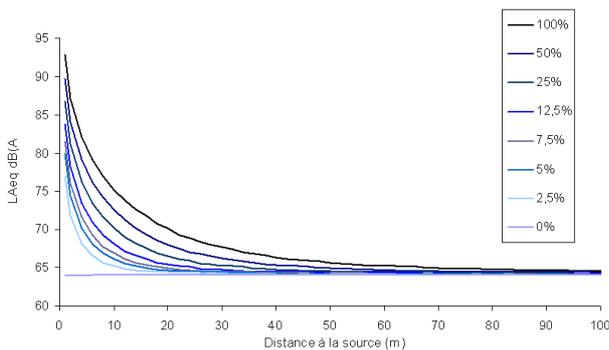


Figure 8. Niveau sonore équivalent modélisé (dB(A)) à proximité d'un arrêt de bus, en fonction du pourcentage de fonctionnement et de l'éloignement de la source.

La contribution de cette source est inférieure à 1 dB(A) au delà de 46 mètres de distance d'un arrêt de bus fonctionnant 50% du temps, au delà de 30 mètres de distance d'un arrêt de bus fonctionnant 20% du temps. Compte-tenu de la répartition géographique des arrêts de bus et de leur mode de fonctionnement, la contribution des arrêts de bus fonctionnant moins de 12,5% est inférieure à 1 dB(A) en façade de l'ensemble des logements concernés par l'étude (725 enfants). Ce seuil a été donc été retenu, permettant de réduire à 113 le nombre de stations à implémenter (34% des stations).

La figure 9 représente le niveau sonore des cinq logements situés à proximité d'un arrêt de bus, en fonction de l'éloignement entre la source et le logement, avant et après l'implémentation des sources sonores. Le niveau sonore augmente de 3,5 à 6,8 dB(A) selon les périodes pour le logement situé à 25 m de l'arrêt. Pour les habitations plus éloignées, les différences entre les valeurs modélisées avec et sans la source « arrêt de bus » sont inférieures à 0,2 dB(A).

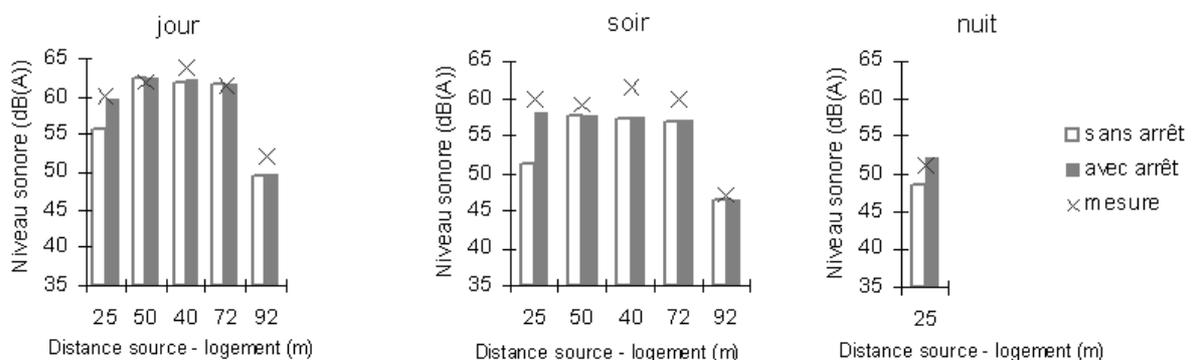


Figure 9. Contribution de la source « arrêt de bus » pour les logements éloignés de moins de 100 mètres.

3.3 Validité du modèle

Parmi les 44 logements étudiés, neuf, soit près de 20% de l'échantillon, sont situés à moins de 100 mètres de l'une des sources sonores ajoutées, distance retenue pour définir le périmètre maximal de contribution des sources implémentées. Le tableau 1 présente la corrélation entre valeurs mesurées et valeurs modélisées avant et après implémentation des 4 types de sources retenus, pour

l'ensemble de l'échantillon et pour les 9 logements situés à moins de 100 mètres d'une de ces sources. Sur l'ensemble de l'échantillon de logements étudiés, la modification des coefficients est le plus souvent inférieure à 0,01. Cependant, pour les logements situés à proximité d'une source nouvellement implémentée, les coefficients de corrélation des périodes de soir et de nuit évoluent respectivement de 0,73 à 0,90 et de 0,75 à 0,91.

	Logement à proximité d'une source*		Totalité de l'échantillon*	
	n = 9		n = 44	
	sans les sources	avec les sources	sans les sources	avec les sources
Jour	0,93	0,95	0,81	0,81
Soir	0,73	0,90	0,82	0,84
Nuit	0,75	0,91	0,84	0,85

* Pour les 12 tests, $p < 0,001$.

Tableau 1. Corrélation entre valeurs mesurées et valeurs modélisées, avant et après implémentation des sources sonores supplémentaires

4. Discussion

La première comparaison des valeurs mesurées et modélisées indique une corrélation élevée, mais une tendance à la sous estimation du modèle (-3 à -6,4 dB(A) en moyenne selon les périodes) et quelques logements fortement discordants. La prise en compte d'un plus grand nombre de sources sonores dans la modélisation permet d'augmenter les niveaux prédits par le modèle et d'éliminer plusieurs observations discordantes. Malgré un effet global minime, elle améliore la qualité de la modélisation des niveaux sonores associés aux logements situés à proximité des nouvelles sources, dont la proportion est estimée à 20% de la population étudiée.

Ces résultats montrent que certaines sources sonores de faible intensité peuvent être à l'origine d'une hétérogénéité spatiale responsable d'erreurs d'estimation du niveau d'exposition, dès lors que l'on se focalise sur l'échelon individuel. Certains quartiers (comme le centre ancien de Besançon) cumulent les éléments accentuant le phénomène : circulation routière restreinte et concentration de sources telles que les rues piétonnes, les fontaines à vasques, les arrêts de bus et les cours d'école.

La tendance d'une modélisation du bruit à sous estimer les valeurs a déjà été observée par d'autres auteurs (Murphy, 2004 ; Lee, 2007). Elle peut être en particulier attribuée à un défaut de paramétrage des sources déjà implémentées dans le modèle (trafics routier, ferroviaire sous estimés), ou à l'omission de sources annexes. La forme de la distribution et l'existence de quelques points

fortement discordants étaient plutôt en faveur de la deuxième hypothèse, et nécessitait une recherche approfondie des sources annexes.

Parmi les nombreuses sources annexes de bruits identifiées, seules quatre correspondaient aux critères de sélection : identification et localisation aisée sur l'ensemble de l'agglomération, caractérisation possible (spectres d'émission et modalités de fonctionnement) : les voies piétonnes, les fontaines à vasques, les cours d'école et les arrêts de bus. Le nombre élevé de points de mesures et la durée de la campagne ont permis une couverture tant spatiale que temporelle de l'espace sonore à l'échelle de l'agglomération, rendant peu vraisemblable l'oubli d'une source sonore importante. Néanmoins, la contribution de certaines activités commerciales (bars, discothèques) au niveau d'exposition chronique des riverains nécessiterait sans doute d'être évaluée afin de juger de la pertinence de leur prise en compte. Il en est de même pour la circulation des véhicules deux-roues, pour laquelle aucun comptage ni itinéraire emprunté n'est disponible à l'heure actuelle, ainsi que l'utilisation des sirènes, fréquente sur les axes desservant les casernes, commissariats et hôpitaux de la ville.

Des mesures acoustiques complémentaires ont été effectuées afin de déterminer les paramètres d'émission des sources sonores retenues. Bien que les caractéristiques d'émission de certaines de ces sources sonores aient déjà été décrites, en particulier les voies piétonnes, les valeurs semblaient difficilement transposables au site étudié (flux piéton de 1500 à 4000 personnes/heure, très

supérieur à la fréquentation des rues bisontines) (Bergeron, 2004).

Sur le plan temporel, la contribution des sources ne semble pas similaire au cours des trois périodes de la journée. L'implémentation des sources « fontaine » et « cour d'école » n'apporte qu'un gain modéré pour la période « jour » (+ 2 dB(A)), alors que le gain de la source « fontaine » est de 7,7 dB(A) pour la période « nuit ». Diniz *et al.* (2004) ont constaté qu'un trafic intense masquait le bruit d'un transformateur électrique, mais, que, si celui-ci était installé en zone calme, l'impact sonore était beaucoup plus élevé. De manière similaire, un plus faible niveau sonore nocturne peut dévoiler une contribution masquée la journée.

La source « voie piétonne » apporte un gain modéré (+2,8 dB(A) en moyenne), en partie expliqué par la configuration des lieux de mesure. Les mesures ont été réalisées non pas au dessus de la voie piétonne, mais dans une cour intérieure. Le niveau sonore modélisé résulte donc de l'effet d'écran du bâtiment d'habitation. Cette configuration urbaine est typiquement associée au centre ancien de la ville, avec succession de première, deuxième et parfois troisième cour en enfilade. Le confinement et la complexité de ces lieux pourraient nécessiter l'implémentation dans le modèle de sources sonores, mais les paramètres semblent difficilement quantifiables et transposables aux autres logements concernés : fréquence des claquements de porte, nombre de personnes dans les escaliers extérieurs, passage ou non de voitures, activité commerciale...

La sous-estimation du niveau de bruit par modélisation, qui persiste malgré l'implémentation des sources annexes retenues, peut s'expliquer par la complexité du milieu urbain et la multitude de sources sonores difficiles voire impossibles à caractériser. Elle pourrait être corrigée en calibrant les valeurs prédites par un modèle de régression linéaire calculé de façon à minimiser l'écart entre valeurs prédites et valeurs mesurées.

La qualité des études épidémiologiques évaluant les risques liés aux expositions environnementales

repose en partie sur la qualité de l'estimation ou de la mesure de l'exposition des sujets. L'utilisation des mesures caractérisant l'environnement immédiat des sujets ou le niveau d'imprégnation par biomonitoring devient rapidement irréaliste dès que l'effectif des sujets augmente (Nieuwenhuijsen, 2005). L'utilisation d'un modèle de cartographie sonore permet une estimation individuelle du niveau d'exposition de la population tout en limitant le recours aux mesures acoustiques. La mise au point de ce modèle implique un travail d'identification, de caractérisation et d'inclusion des sources sonores contribuant au niveau de bruit ambiant. La réglementation européenne (directive 2002/49/CE) impose aux villes de plus de 100 000 habitants de cartographier le bruit du aux infrastructures de transport et aux industries. La prise en compte de sources sonores « annexes », avec une méthodologie harmonisée, permettrait d'améliorer la qualité du niveau sonore prédit et du nombre d'individus exposés.

5. Conclusion

Si la modélisation du niveau sonore apparaît comme une réponse appropriée au besoin de quantification de l'exposition d'un nombre élevé de sujets, elle peut être améliorée par l'intégration de sources sonores « annexes », même si celles-ci sont de puissance limitée et d'impact local. L'exposition humaine au bruit sera ainsi mieux appréhendée, notamment dans le registre des faibles niveaux sonores pour lesquels persistent difficultés métrologiques et incertitudes sur les effets sanitaires possibles. Ainsi optimisées, l'approche épidémiologique et la démarche d'évaluation du risque apporteront un éclairage nouveau de la relation santé-environnement.

Financement

Ce projet a été soutenu par un financement du ministère de l'environnement et du développement durable, dans le cadre du troisième Prédit (GO n°7).

6. Références bibliographiques

- Agence française de normalisation, 1999, *Caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement*, NF 31-010, AFNOR, Paris.
- Anonymous, 1997, Noise: a hazard for the fetus and newborn, *Paediatrics*, 100(4), 724-7.
- Babisch W., Beule B., Schust M., Kersten N., Ising H., 2005, Traffic noise and risk of myocardial infarction, *Epidemiology*, 16 (1), 33-40.
- Babisch W., 2006, Transportation noise and cardiovascular risk: updated review and synthesis of epidemiological studies indicate that the evidence has increased, *Noise Health*, 8(30), 1-29.
- Bergeron F., Durang R., Criscione S., 2006, Caractérisation des sources sonores humaines, rue de la Huchette, 2004, in : Actes de la journée de clôture de l'opération 11F022 « Aménagement et ambiances sonores urbaines », Nantes, 2006.

- Camard J.-P., Lefranc A., Gremy I., 2004, Effets du bruit sur la santé : données épidémiologiques récentes, *Environnement, Risques & Santé*, 3 (4), 235-42.
- CERTU, 1998, Classement sonore des infrastructures de transports terrestres, arrêté du 30 mai 1996, CERTU, Lyon.
- CERTU, 2006, Comment réaliser les cartes de bruit stratégiques en agglomération, CERTU, Lyon.
- Clark C., Martin R., van Kempen E., Alfred T., Head J., Davies H. W., Haines M. M., Lopez Barrio I., Matheson M., Stansfeld S. A., 2006, Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension: the RANCH project, *American Journal of Epidemiology*, 163(1), 27-37.
- Diniz F. B., Zannin P. H. T., 2004, Noise impact caused by electrical energy substations in the city of Curitiba, Brazil, *Science of the Total Environment*, 328, 23-31.
- Directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002.
- Lee S. W., Chang S. I., Park Y. M., 2008, Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul, Korea, *Applied Acoustics*, 69, 704-14.
- Murphy E., King E. A., Rice H. J., 2008, Estimating human exposure to transport noise in central Dublin, Ireland, *Environment International*, 35, 298-302.
- Nieuwenhuijsenn M. J. (ed.), 2005, *Exposure assessment in occupational and environmental epidemiology*, Oxford University Press, Oxford.
- Passchier-Vermeer W., Passchier W. F., 2000, Noise exposure and public health, *Environment Health Perspectives*, 108 (1), 123-31.
- Stansfeld S. A., Haines M. M., Burr M., Berry B., Lercher P., 2000, A Review of Environmental Noise and Mental Health, *Noise Health*, 2(8), 1-8.
- Tsai K. T., Lin M. D., Chen Y. H., 2009, Noise mapping in urban environments: a Taiwan study, *Applied Acoustics*, 70, 964-72.
- Vincent B., Audy F., 2006, Guide méthodologique pour le développement d'un observatoire métrologique permanent du bruit des transports terrestres en milieu urbain, Acouicité, Lyon.
- Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), 2006, Guide de bonnes pratiques de la cartographie du bruit stratégique et la production de données associées sur l'exposition au bruit, document final, version 2, WG-AEN, Bruxelles.