

CFA/VISHNO 2016

Bruit environnemental en milieu urbain : exposition universelle ?

F. Mauny^{a,b}, S. Pujol^{a,b}, Q. Tenailleau^c, A.-S. Mariet^d, N. Bernard^{a,e} et H. Houot^e

^aLaboratoire Chrono-environnement UMR 6249 CNRS, Université de Franche Comté, 25030 Besançon, France

^bCentre hospitalier régional universitaire de Besançon, Hôpital Saint-Jacques, 25030 Besançon, France

^cLaboratoire LADYSS, UMR7533, Université Paris Ouest Nanterre, 92000 La Défense, France

^dInserm UMR 1181 (B2PHI), Université de Bourgogne, 21000 Dijon, France

^eLaboratoire ThéMA UMR 6049 CNRS, Université de Franche-Comté, 25030 Besançon, France

frederic.mauny@univ-fcomte.fr



LE MANS

Le milieu urbain concentre les activités anthropiques responsables d'une forte densité de sources de pollution et de fortes densités de population. Il constitue ainsi un espace majeur d'exposition des populations humaines à plusieurs polluants ubiquitaires néfastes pour la santé humaine, dont le bruit.

Quantifier précisément l'impact sanitaire de cette exposition au bruit implique de conduire simultanément deux missions : 1) identifier les effets réels du bruit sur la santé (quels appareils ou organes sont concernés, quels types de dysfonctionnements sont provoqués, quels mécanismes physiopathologiques sont actionnés, quelle est la forme de la relation dose-effet) et 2) quantifier et qualifier précisément l'exposition de la population concernée. Si de nombreux travaux ont porté sur le premier aspect du problème, relativement peu ont finalement abordé en profondeur le deuxième. Quelle valeur d'exposition au bruit attribuer à chacun des individus d'une population ? Avec quelle incertitude ? Quels sont les éventuels facteurs de modulation et/ou de susceptibilité ? Compte-tenu de la variabilité du niveau sonore auquel un individu est exposé au cours du temps, arriver à répondre à ces questions constitue un enjeu à la frontière de nombreuses pratiques, celles de l'épidémiologie, de la géographie, de l'écologie, de la métrologie, des sciences de l'environnement, et bien entendu de l'acoustique.

L'exercice, à la fois simple et périlleux, consiste à produire une estimation du niveau sonore auquel un individu, un groupe d'individu ou une population est soumise, à partir d'indices le plus souvent acoustiques, ponctuel ou continu, mesuré ou modélisé. Cette estimation se doit d'être à la fois valide, reproductible, sensible et bien entendu techniquement et logistiquement réalisable.

1 Introduction

Dans les pays développés, le seuil de 80 % de population vivant en milieu urbain devrait être atteint dès 2025 [1]. Le milieu urbain présente une forte densité de population humaine et concentre des sources de pollution de toutes natures, (chimique, biologique, physique) et de diverses origines (trafic, chauffage, industries...). La superposition de sources d'émissions de plusieurs agents ou polluants crée les conditions d'une multi-exposition environnementale d'une grande complexité. Le milieu urbain constitue ainsi un espace majeur d'exposition des populations humaines à plusieurs polluants ubiquitaires néfastes pour la santé humaine, dont le bruit.

Une partie de la complexité de la relation santé-environnement découle de la nature très souvent multifactorielle des pathologies incriminées et d'une notion souvent mal cernée de sensibilité/prédisposition personnelle (liée au genre, à l'âge, mais aussi à des facteurs génétiques, comportementaux, contextuels ou de l'ordre de traits de personnalité). Enfin, l'environnement dans lequel l'homme évolue représente un milieu d'exposition à un nombre variable et souvent multiple d'agents potentiellement nocifs pour sa santé, même lorsque que l'on se focalise sur une seule pathologie.

Objectif

Compte-tenu du nombre très élevé de personnes vivant en milieu urbain, l'évaluation de l'impact du mode de vie urbain sur l'environnement, et de ses risques pour la santé, en particulier ceux liés aux nuisances sonores, est un défi majeur. L'objectif de ce document est de situer les différentes étapes, les difficultés, les concepts émergents sinon récents, et les enjeux d'un tel processus d'évaluation du risque sanitaire lié à l'exposition au bruit environnemental. Le propos est volontairement orienté

pour proposer l'angle d'une approche en population, basée sur l'observation. Les démarches fondées sur l'expérimentation ne sont pas spécifiquement abordées dans ce présent document mais sont, bien sûr, d'un grand apport pour l'identification et à la compréhension de l'impact sanitaire des nuisances sonores.

2 Evaluer l'impact sanitaire du bruit

L'impact du bruit sur la santé d'une population s'évalue à partir d'une démarche basée sur l'identification des effets réels du bruit et sur l'évaluation de l'exposition au bruit de cette population. L'identification des effets réels du bruit sur la santé consiste à définir (et idéalement inventorier) quels appareils ou organes sont concernés, quels types de dysfonctionnements sont provoqués, à comprendre quels sont les mécanismes physiopathologiques actionnés, et quelle est la forme de la relation dose-effet. La qualité des travaux d'identification des effets, notamment à l'aide d'études épidémiologiques, repose en partie sur la qualité de l'estimation ou de la mesure de l'exposition des sujets, l'évaluation de l'exposition au bruit consistant à quantifier et à qualifier précisément l'exposition de la population concernée.

De nombreux travaux ont porté sur le premier aspect du problème (l'identification des effets), mais relativement peu ont finalement abordé en profondeur l'estimation de l'exposition des sujets. En effet, revues de la littérature et rapports présentent régulièrement un bilan des effets identifiés ou suspectés d'être associés à une exposition aux nuisances sonores [2, 3]. Cependant, le volet « évaluation » de l'exposition au bruit reste

incomplètement exploré, et des questions très concrètes restent sans réponses réellement satisfaisantes : quelle valeur d'exposition au bruit attribuer à chacun des individus d'une population ? Avec quelle incertitude ? Quels sont les éventuels facteurs de modulation et/ou de susceptibilité ? Quelle sont les périodes circadiennes ou les fenêtres temporelles les plus pertinentes pour évaluer l'impact sanitaire du bruit ?

3 Evaluer l'exposition au bruit

Les objectifs de l'évaluation de l'exposition sont d'établir l'existence, la fréquence, l'intensité et la durée des contacts entre les sujets ou la population étudiés et l'agent (ici le bruit), et ceci à l'aide une estimation réaliste et reproductible. La collecte de données et l'attribution du niveau d'exposition sont effectuées à l'aide : i) de questionnaires, de matrices emploi-exposition¹ ou de budgets espace-temps [4], ii) d'un monitoring (suivi) individuel (mesurage par dosimètre) [5], et enfin iii) de la quantification des niveaux acoustiques dans l'(es) environnement(s) par mesurage ou modélisation [6].

Depuis une dizaine d'années, le concept d'exposome a progressivement émergé dans la communauté scientifique. En complément de la démarche menée autour du génome et de son exploration, l'exposome désigne l'ensemble des expositions auxquelles un sujet est soumis, de la naissance à la mort [7]. En santé humaine, les avancées à partir de ce concept ont d'abord éclairé les thématiques liées aux agents chimiques et le domaine de la cancérologie. Une des recommandations préconise ainsi d'utiliser des biomarqueurs ou capteurs individuels plutôt que des indices liés à la mesure de la contamination des milieux [8, 9], et un consensus semble acquis sur l'utilisation d'outils et approches intégrées pour mieux définir l'exposition [10]. Cependant, pour l'analyse des effets sanitaires du bruit, l'utilisation des données mesurées devient rapidement irréaliste dès que l'effectif des sujets augmente [6], et incompatible avec une approche rétrospective. La solution est alors le recours à une modélisation des niveaux de bruit.

4 Qualité d'un indicateur d'exposition au bruit

L'évaluation de l'exposition se conduit en utilisant des indicateurs dont la valeur est censée représenter la réalité de l'exposition des sujets étudiés. Les qualités classiquement recherchées pour un indicateur sont

¹ Tableau structuré permettant de quantifier la relation entre une activité professionnelle et un agent. Une cellule du tableau indique la présence, l'intensité, la fréquence ou la probabilité d'une exposition.

l'acceptabilité, la sensibilité au changement, la reproductibilité (ou fiabilité), la validité et le coût réduit. Ces qualités pourtant essentielles sont parfois difficiles à garantir. L'acceptabilité technique et éthique d'une campagne de mesurage en milieu urbain peut sembler élevée. Cependant, pour des enregistrements longs et/ou pour des espaces tels que des pièces d'habitation (chambres à coucher), un compromis entre un positionnement acoustiquement adéquat des microphones et une installation compatible avec une vie habituelle s'impose. La validité d'un indicateur d'exposition, capacité à réellement mesurer ce que l'on est censé mesurer, est sûrement la qualité la plus difficile à garantir. Si l'on peut obtenir une estimation précise de la validité des niveaux de pression acoustique quantifiés (calibration des appareils, mesures répétées, validation de la modélisation), il est beaucoup plus délicat de quantifier l'écart entre une estimation de l'exposition et la véritable « dose reçue ou perçue » par le ou les sujets étudié(s), notamment dans le cas d'une exposition à long terme.

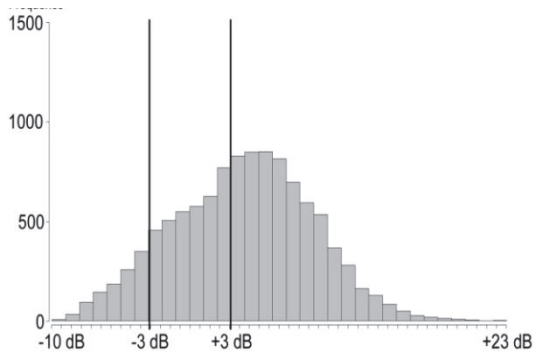
5 Importance de l'espace

Phénomène connu en expologie [11], la qualité de l'estimation de l'exposition se dégrade lorsque l'indicateur d'exposition utilisé « s'éloigne » du sujet. Cela se produit lors, par exemple, de la substitution d'une mesure acoustique par dosimètre portable par : 1) la valeur du niveau sonore moyen dans la pièce, 2) le niveau à l'extérieur du bâtiment, 3) la distance à la route principale, ou, plus « éloigné » encore, 4) le fait de résider sur le territoire d'une commune sur lequel est installé un aéroport (Tableau 1).

Tableau 1 : Relation entre la qualité de l'estimation de l'exposition et « l'éloignement » de l'indicateur utilisé, d'après [6].

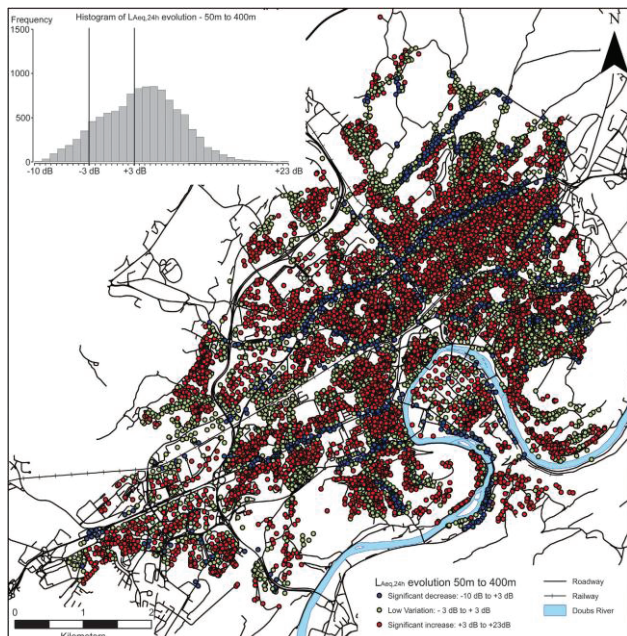
Type d'indicateur	Qualité de l'estimation
Mesures personnelles quantitatives	☺
Mesures environnementales proche du lieu de résidence ou d'activité	
Proxy/critère de substitution quantitatif	
Distance au site et durée de présence	↓
Résidence ou travail dans une aire géographique raisonnablement proche du site d'exposition	
Résidence ou travail dans une aire géographique administrative incluant un site supposé	☹

Afin d'évaluer l'effet de la définition de la zone d'exposition au voisinage du domicile sur la valeur de l'indicateur d'exposition, notre équipe a comparé les valeurs d'exposition ($L_{Aeq,24h}$) estimées par différents indicateurs pour près de 11 000 bâtiments d'habitation [12]. A partir d'un modèle de prévision du bruit dans l'environnement validé par une campagne de mesure, différentes définitions ont été appliquées pour tracer la zone d'exposition : point adresse, façade, zones tampon de rayon croissant autour du bâtiment, découpages administratifs.



Distributions de l'écart entre la valeur de $L_{Aeq,24h}$ calculée pour une zone tampon de rayon 400 m et la valeur calculée pour une zone tampon de rayon 50 m autour du logement (n=10 825), d'après [12].

Figure 1: Impact de la définition de la zone d'exposition autour du logement sur la valeur d'exposition : comparaison de deux zones tampon (400 m et 50 m).



D_{400-50} : écart entre la valeur de $L_{Aeq,24h}$ estimée à partir d'une zone tampon de 400 m de rayon et la valeur de $L_{Aeq,24h}$ estimée à partir d'une zone tampon de 50 m (n=10 825), d'après [12].

Figure 2: Impact sur la valeur d'exposition de la définition de la zone d'exposition autour du logement : distribution spatiale de D_{400-50} .

Un impact significatif de la définition de la zone d'exposition sur les valeurs d'expositions a été constaté : une augmentation des valeurs de $L_{Aeq,24h}$ et une diminution de l'hétérogénéité lorsque la taille de la zone d'exposition augmente (Figure 1). Cet impact apparaît différentiel en fonction de certaines caractéristiques du milieu bâti : typologie d'habitat du quartier, densité d'habitation, indice de déprivation (Figure 2).

Différentiel façade/intérieur du logement

Aujourd'hui les études épidémiologiques analysant la relation bruit-santé se basent majoritairement sur une estimation des niveaux de bruit extérieurs en façade des bâtiments. Or 80% du temps est passé en milieu intérieur. La relation entre les niveaux de bruit extra et intra domiciliaires est complexe et peu étudiée. Il est plus que vraisemblable que le différentiel bruit extérieur / bruit intérieur ne soit pas uniforme, et dépende des caractéristiques de construction et d'urbanisme, mais également des sources sonores présentes à l'intérieur du logement. La réduction par défaut de 21 dB proposée par l'OMS [13] pour convertir un niveau nocturne en façade permet de proposer une valeur intérieure. Cependant, cette correction introduit une variabilité et une incertitude dont l'ampleur et les aspects différentiels sont totalement inconnus [4, 14].

6 Importance du temps

Le plus souvent les indicateurs utilisés quantifient un niveau de pression acoustique en tenant compte de la fréquence des sons et de la sensibilité de l'oreille humaine. Ils sont intégrés sur une période temporelle définie. Il s'agit donc souvent de valeurs statiques moyennées sur une période et ne rendant que très peu compte des aspects dynamiques, notamment des phénomènes d'émergence, les phénomènes événementiels et le contenu fréquentiel [3]. Les périodes d'intégration varient selon les auteurs : une seule (24h), deux périodes (jour- nuit), trois périodes (jour-soir-nuit), parfois pondérées et majorées le soir et la nuit (L_{den}). Ces différences rendent la comparaison des résultats difficile. Ainsi, les indicateurs actuellement utilisés ne rendent qu'imparfaitement compte de l'exposition réelle au bruit, la relative faiblesse des corrélations entre le niveau d'exposition et la gêne individuelle déclarée (le bruit n'expliquant au mieux que 30 à 40% de la gêne exprimée) en est une illustration [3].

7 Conclusion

L'évaluation de l'impact sanitaire du bruit passe obligatoirement par l'identification et l'utilisation d'indicateurs de l'exposition parfaitement adaptés aux

missions assignées. Ces indicateurs devraient permettre de prendre en compte le niveau global d'exposition des personnes (dans le temps et dans l'espace). En particulier, des améliorations devraient être apportées afin de tenir compte du différentiel bruit extérieur / bruit intérieur. Il s'agit d'un axe d'amélioration de l'évaluation de l'impact des expositions environnementales. Ce domaine de recherche émergent constitue un défi majeur pour les sociétés de plus en plus urbaines du 21^e siècle, en particulier dans les pays émergents ou en voie de développement où la population des mégapoles connaît une croissance explosive.

Références bibliographiques

- [1] United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division. World Urbanization Prospects: The 2007 Revision. United Nations New York, 26 February 2008.
- [2] World Health Organization, Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe, World Health Organization, Copenhagen, 2011.
- [3] Agence nationale de la sécurité sanitaire, environnement, santé, travail. Évaluation des impacts sanitaires extra-auditifs du bruit environnemental - Avis de l'Anses - Rapport d'expertise collective. Février 2013, édition scientifique. <https://www.anses.fr/>.
- [4] Pujol S, Berthillier S, Defrance J, Lardies J, Levain JP, Petit R, Houot H, Mauny F. Indoor noise exposure at home: a field study in the family of urban schoolchildren. *Indoor Air*, 2014; 24: 511–520.
- [5] Díaz C, Pedrero A. Sound exposure during daily activities, *Appl Acoust*, 2006; 67 : 271–283.
- [6] Nieuwenhuijsenn M J Ed. Exposure assessment in occupational and environmental epidemiology, Oxford University Press, 2005, 283 p.
- [7] Wild CP. 2012. The exposome: from concept to utility. *Int J Epidemiol* 41(1):24–32.
- [8] Rappaport SM. Implications of the exposome for exposure science. *J Expo Sci Environ Epidemiol*. 2011 Jan-Feb;21(1):5-9.
- [9] Pleil JD. Categorizing biomarkers of the human exposome and developing metrics for assessing environmental sustainability. *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*. 2012;15(4):264-80.
- [10] National Research Council 2012. Exposure Science in the 21st Century: A Vision and Strategy. Washington DC:National Academies Press.
- [11] Liroy P, Leuret E, Spengler J, Brauer M, Buckley T, Freeman N, et al., Defining exposure science, *J Expo Anal Environ Epidemiol*, 2005; 15(6) : 463.
- [12] Tenailleau QM, Bernard N, Pujol S, Houot H, Joly D, Mauny F. Assessing residential exposure to urban noise using environmental models: does the size of the local living neighborhood matters? *J Expo Sci Environ Epidemiol*, 2015 ;25(1):89-96.
- [13] World Health Organization (2009) Night Noise Guidelines for Europe, Copenhagen, World Health Organization.
- [14] Pirrera S., De Valck E. and Cluydts R. Nocturnal road traffic noise assessment and sleep research: the usefulness of different timeframes and in- and outdoor noise measurements, *Appl Acoust*, 2011; 72:677–683.