

Impact sanitaire de l'exposition sonore en milieu urbain, la combinaison de 3 « E » : épidémiologie, expologie, environnement

Frédéric Mauny^{1,2}, Sophie Pujol^{1,2}, Quentin Tenaillau¹,
Nadine Bernard¹, Hélène Houot³

1- Laboratoire Chrono-environnement UMR 6249
CNRS/Université de Franche-Comté
2- Centre hospitalier régional universitaire
de Besançon
3- Laboratoire ThéMA UMR 6049 CNRS/
Université de Franche-Comté

Auteur correspondant :

Frédéric Mauny,

Centre de méthodologie clinique,
Laboratoire Chrono-environnement,
CHRU de Besançon – Hôpital Saint Jacques,
2, place Saint Jacques
F-25030 Besançon CEDEX
E-mail : frederic.mauny@univ-fcomte.fr

Résumé

La quantification de l'impact du bruit sur la santé relève d'une démarche complexe et mobilise des champs de compétence larges et différents. L'objectif de cet article est de proposer le point de vue volontairement orienté sur l'un de ces champs de compétence, centré sur une approche en population humaine. Sont ainsi décrits les concepts de l'épidémiologie, de l'expologie et leurs applications sur les approches en lien avec l'environnement, en particulier le milieu urbain. La dimension sociétale d'inégalité sociale et environnementale est également rappelée. Le principe de l'évaluation d'un impact sanitaire (appelé également évaluation du risque sanitaire) est succinctement présenté ainsi qu'une application aux effets des nuisances sonores.

L

es recherches réalisées depuis une trentaine d'années ont permis de relier de nombreux effets sanitaires à l'exposition de la population générale aux nuisances sonores [1,2]. Les effets du bruit sur la santé sont maintenant régulièrement soulignés bien au-delà de la littérature scientifique spécialisée en acoustique, tant pour les effets auditifs qu'extra-auditifs, et les approches sont régulièrement classées selon l'origine professionnelle, sociale (concert, bar...) ou environnementale du bruit [3].

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 lorsqu'on se focalise sur une seule pathologie.

D'une manière générale, les facteurs de risque associés à une pathologie ne permettent d'expliquer qu'une partie seulement des cas diagnostiqués. Cette part est cepen-

dant très variable : environ 90 % des pathologies coronariennes sont associées à des facteurs de risques identifiés [4] ; en périnatalité, la moitié des naissances prématurées demeure à ce jour inexpliquée [5], laissant supposer qu'une part non négligeable pourrait être attribuée aux facteurs en lien avec l'environnement. Un rapport de l'OMS confirmait en 2006 qu'environ un quart de la charge mondiale de morbidité – et plus d'un tiers pour les enfants – était dû à des facteurs environnementaux, pathologies infectieuses et non infectieuses confondues [6].

Afin de mieux cerner les enjeux scientifiques liés à la quantification de l'impact sanitaire de l'exposition sonore en milieu urbain, il paraît pertinent de décrire les concepts de l'épidémiologie, de l'expologie et leurs applications sur les approches en lien avec l'environnement, en particulier le milieu urbain. Ce document est volontairement orienté pour proposer un point de vue, celui associé à une approche en population, basée sur l'observation. Les démarches complémentaires, notamment celles fondées sur la conduite d'expérimentations, ne sont pas abordées dans ce présent document ; elles sont pour autant d'un grand apport à l'identification et à la compréhension de l'impact sanitaire des nuisances sonores.

Épidémiologie

L'épidémiologie étudie la fréquence et la répartition dans le temps et dans l'espace des problèmes de santé des populations (épidémiologie descriptive), ainsi que le rôle des facteurs qui les déterminent (épidémiologie analytique). C'est une science de l'observation, dont le sujet d'étude est la population et non l'individu dans sa singularité. Son approche est basée sur un raisonnement sous incertitude, impliquant des résultats exprimés sous forme probabiliste. L'épidémiologie analytique consiste à quantifier le lien existant entre l'apparition d'un événement de santé et l'exposition à un facteur, tout en tenant compte des différents cofacteurs susceptibles d'interférer dans cette relation.

L'épidémiologie environnementale est un domaine particulier de l'épidémiologie qui a pour objet d'apprécier la réalité et l'ampleur de l'impact sanitaire des facteurs environnementaux (également appelés agents) qu'ils soient d'origine biologique, physique ou chimique. Une quatrième origine, sociale, peut être ajoutée. Elle caractérise, selon les approches développées en écologie humaine, l'environnement social ou psychosocial, au sens des interactions entre l'individu et la communauté dans laquelle il évolue [7]. L'épidémiologie environnementale, appelée également éco-épidémiologie, permet d'évaluer les effets de facteurs attachés à tous les milieux (air, eau, sols, aliments...) ainsi que les environnements attachés à différents espaces de vie : au domicile, au travail, à l'école, pendant les transports, les loisirs...

L'épidémiologie environnementale s'intéresse le plus souvent à des pathologies relativement peu fréquentes, multifactorielles, pour lesquelles le niveau de contamination environnementale d'un agent, ainsi que la relation maladie – exposition à cet agent, sont d'intensité faible ou modérée, mais qui peuvent concerner une large part de la population. La conduite d'études dans ces conditions nécessite de considérer simultanément un nombre élevé de sujets, afin de garantir une capacité raisonnable de mettre en évidence la relation maladie – exposition si celle-ci existe (on parle de puissance statistique de l'étude).

Appliquée à la relation bruit et santé, il s'agit d'une approche multidisciplinaire, permettant d'appréhender les dimensions liées aux :

- sources d'émission et lois de propagation du son dans l'espace : les disciplines de l'acoustique ;
- pathologies ressenties, déclarées, diagnostiquées, dépistées : médecine clinique, santé publique... ;
- comportements individuels et collectifs : psychologie, sociologie, anthropologie... ;
- influence du milieu, caractérisation de l'espace : géographie, écologie, urbanisme, analyse systémique, approche paysagère.

Comparativement aux autres agents auxquels la population est exposée, le bruit présente certaines spécificités. De nature physique, il est issu de sources extrêmement diverses (de par leur nature, leur géométrie, leur spectre, leur durée d'émission...) et souvent multiples, auxquelles s'ajoute parfois le sujet exposé lui-même.

Il n'emprunte pas une des voies de contamination classiquement décrites en toxicologie (ingestion, inhalation, passage transcutané ou transplacentaire), et ne présente pas de rémanence (après l'arrêt de la source, l'énergie acoustique se dissipe dans un délai très court). Enfin, les sujets sont « équipés de capteurs », l'appareil auditif, qui leur assure une perception de l'agent au moins pour les fréquences dans le domaine de l'audible.

Expologie

On peut proposer un modèle en cinq étapes pour schématiser la relation environnementale entre un agent (bruit, radiofréquences, polluant atmosphérique...) et la survenue d'un effet sanitaire (Figure 1) : émission de la substance par la source, diffusion dans l'environnement, contamination de l'environnement, contact entre l'agent et la population (exposition) puis apparition d'un effet sanitaire.

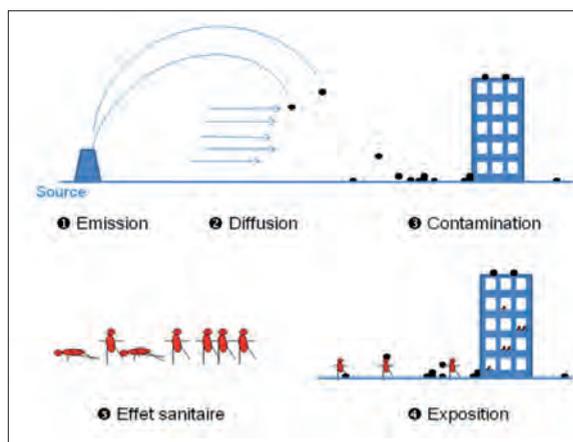


Fig. 1 : Exposition environnementale et effet sanitaire : un modèle à cinq étapes

Centrée sur la quatrième étape de notre modèle, l'expologie, en anglais *exposure science*, est la science de l'évaluation des expositions [8]. Elle a pour objet d'identifier et de caractériser le « contact » entre les individus d'une population et les agents potentiellement nocifs ainsi que, pour la plupart d'entre eux, la pénétration de ces derniers dans l'organisme. Comme l'épidémiologie, elle repose principalement sur les observations de terrain.

Les objectifs de l'évaluation de l'exposition environnementale sont d'établir l'existence, la fréquence, l'intensité et la durée des contacts entre la population et l'agent (ou substance), et ceci à l'aide d'une estimation réaliste et reproductible. La fréquence et la durée caractérisent le temps de contact de l'organisme avec l'agent ; l'intensité représente la concentration (ou le niveau de dose) de l'agent dans les milieux environnementaux. Cette évaluation nécessite l'emploi d'outils de mesure, de collecte de données, de méthodes d'attribution de l'exposition, de techniques d'analyse de données, tout en s'assurant de la validité et de la fiabilité de ces méthodes.

Un choix difficile doit être fait entre une estimation rétrospective, majoritairement retenue dans les études épidémiologiques mais délicate à reconstituer et souvent moins satisfaisante¹, et une estimation prospective difficilement réalisable et coûteuse compte tenu du grand nombre de sujets nécessaire pour ce type d'étude. Enfin, le facteur temps doit être précisément défini, travaille-t-on sur une période - fenêtre - d'exposition courte ou longue (exposition aiguë, à court terme ou chronique, à long terme) ? Quelle est la période minimale d'exposition pour qu'un effet soit raisonnablement imputable à l'exposition étudiée (on parle de délai d'induction) ? Ce délai est variable en fonction de l'effet sanitaire envisagé et souvent mal connu : après combien de nuits passées dans un logement localisé le long d'un axe à fort trafic, met-on en évidence une augmentation des marqueurs du stress dosés dans les urines, un trouble du sommeil, une hypertension artérielle ou des troubles anxio-dépressifs ?



Fig. 2 : Construction d'un modèle de prédiction du bruit dans l'environnement : Représentation 3D de la Ville de Besançon (topographie, bâtis, voies de circulation routières et ferroviaires) et carte de bruit (Logiciel MITHRA-SIG)

La collecte de données et l'attribution de l'exposition (quatrième étape du modèle) sont effectuées à l'aide de questionnaires, de matrices emploi-exposition² ou de budgets espace-temps [9]. D'autres approches utilisent le monitoring (suivi) individuel (par exemple le port d'un dosimètre) [10] ou se centrent sur la contamination environnementale (troisième étape du modèle, Figure 1), évaluée par mesures et/ou par modélisation (Figure 2) [11].

En fonction du type d'exposition (chronique/aiguë) et des propriétés de l'agent, les mesures peuvent être ponctuelles dans le temps et dans l'espace ou peuvent faire l'objet d'un véritable monitoring assuré par un réseau de capteurs fonctionnant en continu. À défaut de mesures directement effectuées sur les personnes, les doses auxquelles sont exposés les sujets peuvent être également calculées à l'aide de scénarii d'exposition.

Lorsque le nombre d'individus étudiés est élevé, la quantification de l'exposition sonore de chaque sujet par mesure acoustique individuelle devient difficilement envisageable et le recours à la modélisation s'impose pour évaluer la contamination du milieu. L'utilisation des valeurs modélisées en milieu extérieur pour quantifier l'exposition de la population aux nuisances sonores environnementales s'appuie également sur le lien mis en évidence entre indices sonores composites (comme le Lden)³ et certains effets comme la gêne exprimée [12]. À l'échelle de l'habitation individuelle, à partir d'une dose reçue en façade, la variabilité de l'exposition effective des habitants est cependant assez élevée, modulée par un ensemble de paramètres acoustiques et non acoustiques peu connus (facteurs liés à l'habitat, facteurs socio-économiques et comportementaux de l'individu, de la famille) [9]. L'ensemble de ces paramètres joue vraisemblablement un rôle important dans la relative faiblesse des corrélations entre niveau d'exposition et gêne individuelle, le bruit n'expliquant au mieux que 30 à 40 % de la gêne exprimée [13]. Cette constatation illustre un phénomène reconnu en expologie : la qualité de l'estimation se dégrade lorsque l'indicateur d'exposition utilisé « s'éloigne » du sujet, par exemple lorsque que l'on substitue à une mesure acoustique par dosimètre portable la valeur du niveau sonore moyen dans la pièce, ou le niveau à l'extérieur du bâtiment ou la distance à la route principale (Tableau 1).

Types de données	Qualité de l'approximation
Mesures personnelles quantitatives	+++
Mesures environnementales proches lieu de résidence ou d'activité	↓
Proxy/critère de substitution quantitatif	
Distance au site et durée d'exposition	
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	
	-

Tabl. 1 : Qualité de l'estimation de l'exposition environnementale et éloignement de l'indice utilisé, d'après [11]

Enjeu majeur dans l'approche environnement et santé, la qualité de l'estimation de l'exposition au bruit repose sur une quantification valide et fiable du niveau auquel les sujets étudiés sont soumis. Le choix du lieu d'exposition considéré apparaît ainsi primordial : le plus souvent le domicile, localisé en façade du bâtiment.

1- Par défaut de recueil en temps réel, information non conservée, problème de fiabilité de la mémoire...

2- 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

3- Indice synthétique de mesure d'une exposition à long terme utilisant une pondération pour la période nocturne, exprimé en décibels (A)

4- Indice synthétique de mesure d'une exposition à long terme utilisant une pondération pour la période soir et une pondération pour la période nuit, exprimé en décibels (A)

Se posent alors des difficultés pour tenir compte des conditions de vie réelles (intérieur/extérieur du logement, mobilité quotidienne, hebdomadaire...) et définir correctement des expositions « jour entier » ou « vie entière ».

Environnement

L'environnement peut être défini comme l'ensemble des éléments, naturels ou artificiels, qui entourent un individu ou une population, et dans lequel il (elle) évolue. Du milieu faiblement anthropisé, jusqu'au milieu industriel ou hospitalier, une gamme extrêmement variée d'environnements peut être considérée (Figure 3). En 2007, 50 % de la population mondiale habitait dans les villes. Dans les pays développés, le seuil de 80 % de population urbaine devrait être atteint dès 2025 [14]. Parmi les Européens habitant des villes de plus de 250 000 habitants, 54 % sont exposés à un niveau de bruit lié au trafic routier de plus de 55 dB (Lden⁴), seuil considéré comme délétère pour la santé humaine [15].

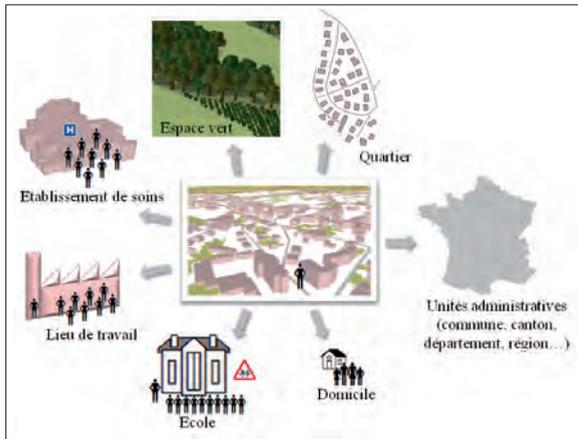


Fig. 3 : L'environnement comme contexte de vie, d'exposition...

L'environnement urbain détermine un espace de forte densité de population humaine et de concentration de sources de pollution de toutes natures, chimique, biologique, physique.

Cette superposition de sources de plusieurs agents (ou polluants) crée les conditions d'une exposition environnementale multiple d'une grande complexité.

Cette situation constitue un axe important d'amélioration de l'évaluation de l'impact des expositions environnementales sur la santé humaine et un domaine de recherche émergent, en particulier pour la détermination d'indicateurs relatifs aux cumuls d'exposition (même agent mais multisource ou multi-agents).

L'espace urbain se caractérise également par la forte mobilité quotidienne de sa population, à la fois source de pollution et génératrice d'une grande diversité de situations d'exposition. Cet espace est enfin aussi, dans sa dimension sociale, le théâtre privilégié de ce que l'on nomme l'iniquité environnementale (environmental injustice) ; le fait qu'au sein de la population, un niveau socio-économique faible s'accompagne très souvent d'un niveau d'exposition plus important à diverses conditions environnementales défavorables (dont « naturellement » le bruit) [16].

Du fait des spécificités de l'environnement urbain, la compréhension et l'identification de l'espace vécu - les endroits particuliers investis par les sujets, leur environnement individuel - apparaissent capitaux. Le lien entre le niveau acoustique estimé (le plus souvent en façade) et l'exposition humaine passe naturellement par la présence des individus (soit dans la rue, soit à l'intérieur des logements concernés après transfert de l'énergie acoustique à l'intérieur du bâti). Or, cette présence est variable au cours de la journée et modulée par les contraintes de mobilités, elles-mêmes conditionnées par les contraintes des déplacements. Dans ce contexte, la problématique du bruit apparaît fondamentalement comme une problématique spatio-temporelle : elle doit être à la fois spatialisée par rapport à la ville, ses logements et ses équipements, et décomposée selon des périodes de temps pertinentes pour évaluer ses impacts sanitaires potentiels (jour, nuit, mais également heures de pointes, horaires des écoles, etc.). Cette vision largement nourrie de la géographie fait également écho, en acoustique environnementale, à la notion de paysage sonore (soundscape).

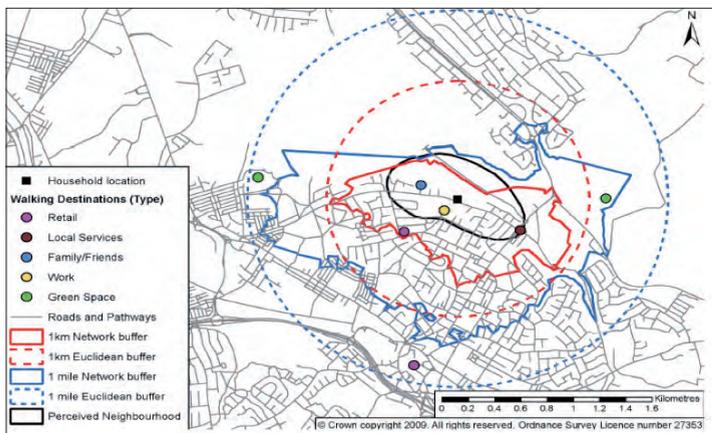


Fig. 4 : Limites du voisinage : illustration des différences entre les déplacements piétons déclarés, l'espace perçu, et l'espace défini par requête spatiale [17]

Trois figures illustrent les propos précédents pouvant apparaître conceptuels et théoriques. La figure 4 matérialise différentes représentations d'un espace urbain particulier, celui qui est investi à pied autour de son domicile (walking neighborhood) : 1) un tracé de l'espace perçu, 2) la localisation autour du domicile des différentes destinations usuelles et 3) le tracé provenant de quatre requêtes spatiales centrées sur le domicile, et basées sur une distance de un kilomètre ou de un mile d'éloignement du domicile, calculée soit en linéaire de tronçons de voies soit en rayon de cercle ou buffer [17].

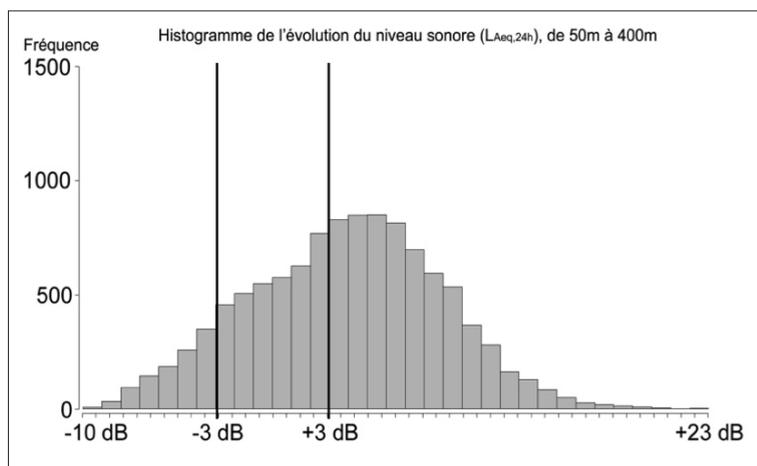
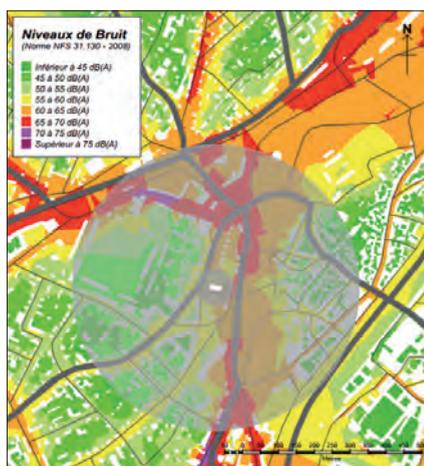


Fig. 5 : Différence d'estimation d'exposition sonore entre un buffer de 400 m et un buffer de 50 m autour des bâtiments d'habitation (n = 10 825 bâtiments), adapté de [18]

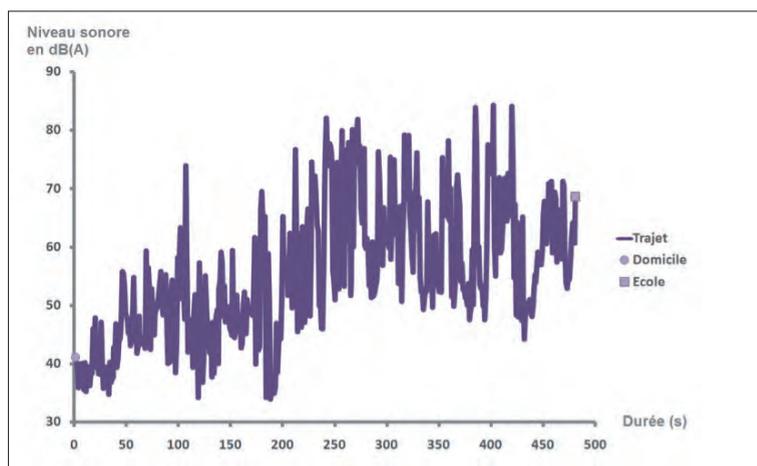
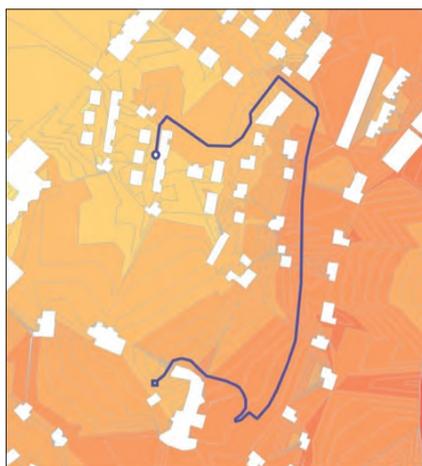


Fig. 6 : Trajet piéton domicile-école d'un enfant scolarisé en primaire : tracé sur une carte de bruit (— Trajet ○ Domicile □ Ecole) et mesure du profil acoustique, adapté de [19].

La figure 5 présente différents modes de considération de l'espace associé au domicile. À l'aide d'une carte de prévision du bruit environnemental, les niveaux sonores moyens ($L_{Aeq,24h}$) autour de plus de 10 000 bâtiments d'habitation ont été calculés pour deux buffers, (longueur de rayon 50 m ou 400 m) [18]. Pour chaque bâtiment, la différence entre les valeurs obtenues à partir des deux buffers a été calculée : l'écart varie de -9,4 dB à +22,3 dB.

La figure 6 présente le profil acoustique d'un trajet piéton domicile-école primaire enregistré à l'aide d'un dosimètre (porté en bandoulière par l'enfant) et le tracé du même trajet sur une carte de bruit.

Association statistique ou causalité : impact sanitaire de l'exposition sonore

L'estimation de l'importance d'un facteur de risque (ou d'un agent) en santé publique, son impact sanitaire, consiste à évaluer sa contribution à l'apparition des cas de maladie dans une population. Le résultat s'exprime souvent sous forme de risque attribuable ou de proportion de cas attri-

buables, estimant la proportion de cas dans la population qui peut être imputée à ce facteur de risque (ou à cet agent). La condition *sine qua non* à cette estimation : l'exposition étudiée doit être un agent causal de la maladie. Une étude épidémiologique, observationnelle, démontre l'existence d'un lien statistique, et non la nature causale de ce lien. Sa reconnaissance repose sur l'accumulation de critères de causalité (définis par A.B. Hill en 1965) [20], notamment : la force de l'association, une séquence chronologique compatible, la spécificité de l'association, une bonne cohérence avec des études menées dans le passé ou ailleurs, une relation de type dose-réponse et la plausibilité biologique.

Cette démarche a été appliquée pour estimer l'impact du bruit environnemental en Europe [21]. Le calcul a été réalisé à la suite d'un processus incluant le choix :

- i) des effets pathologiques retenus (identification du danger) ;
- ii) de la relation entre le niveau d'exposition sonore et la probabilité d'apparition des effets retenus (relation dose-réponse) ;
- iii) et de l'estimation de l'exposition des populations.

L'impact du bruit environnemental a été quantifié à l'aide d'un indicateur synthétique : le nombre d'années de vie en bonne santé perdues (ou DALYs).

Les effets sanitaires suivants ont été retenus : maladies cardio-vasculaires, troubles du sommeil, troubles cognitifs (chez les 7-19 ans), les acouphènes et les désagréments associés, et la gêne. Après sommation de tous ces effets, l'estimation globale annuelle se situe entre 1,0 et 1,6 million de DALYs pour la zone OMS EURO-A (420 millions d'habitants), soit un impact équivalent à celui du diabète. Un tel calcul est naturellement assorti d'un degré d'incertitude, lié au choix de la relation dose-effet, de l'estimation de l'exposition des populations concernées et des effets sanitaires retenus.

Les futurs travaux scientifiques apporteront sans aucun doute des éléments supplémentaires sur ces points et sur la nature causale d'éventuels autres effets sanitaires.

Enfin, des avancées dans le domaine de l'évaluation de l'impact sanitaire lié à l'exposition conjointe à des agents de différentes natures, tel que le bruit et la pollution de l'air, sont également nécessaires.

Conclusion

L'évaluation du risque sanitaire lié aux nuisances sonores environnementales repose en partie sur la qualité de l'estimation ou de la mesure de l'exposition des populations. L'ambition de cet article était d'apporter, non pas l'illustration du possible, mais la démonstration de l'incertitude inévitable de l'hybridation des disciplines scientifiques et des regards croisés de ses acteurs : celles des sciences de la vie et de la santé, celles des sciences humaines et sociales, mais aussi, notamment, celles de la physique ou de la chimie. L'acoustique, l'épidémiologie, la spatialisation, l'intégration temporelle et la modélisation mathématique, sont au cœur de l'exploration de la relation complexe entre bruit et santé.

Cette démarche conduit à revisiter le triptyque épidémiologique « individu, temps, espace », en redonnant à ce dernier élément une importance capitale, en particulier en milieu urbain. La géographie, la sociologie, la démographie... fournissent les clés permettant d'appréhender cette dimension par essence collective.

S'il est capital de démontrer le lien entre tabac et cancer du poumon, il est tout aussi essentiel de comprendre pourquoi le tabac est plus répandu dans les classes défavorisées. Acquérir une connaissance fine des inégalités de santé et des mécanismes qui conduisent à l'exposition des populations apparaît en effet primordial. Relevant tout autant de la recherche que de la santé publique, deux verrous de la connaissance en environnement et santé se résument par ces simples questions : Qui est réellement exposé aux nuisances sonores ? Et qui est vulnérable (sensible) à cette exposition ?

Apporter des réponses constitue un défi majeur, pour que l'avancée des connaissances puisse aussi faire progresser la condition de nos sociétés humaines.

Références bibliographiques

- [1] W. Passchier-Vermeer, W.F. Passchier, Noise exposure and public health, *Environ. Health Perspect.* 108 pp. 123-131, 2000
- [2] H. Ising, H. Lange-Asschenfeldt, H.-J. Moriske, J. Born, M. Eilts, Low frequency noise and stress: bronchitis and cortisol in children exposed chronically to traffic noise and exhaust fumes, *Noise Health.* 6 pp. 21-28, 2004
- [3] M. Basner, W. Babisch, A. Davis, M. Brink, C. Clark, S. Janssen, et al., Auditory and non-auditory effects of noise on health, *The Lancet.* 383, pp 1325-1332, 2014
- [4] S. Yusuf, S. Hawken, S. Ōunpuu, T. Dans, A. Avezum, F. Lanas, et al., Effect of potentially modifiable risk factors associated with myocardial infarction in 52 countries (the INTERHEART study): case-control study, *The Lancet.* 364, pp. 937-952, doi:10.1016/S0140-6736(04)17018-9, 2004
- [5] L.J. Muglia, M. Katz, The Enigma of Spontaneous Preterm Birth, *N. Engl. J. Med.* 362, pp. 529-535. doi:10.1056/NEJMra0904308, 2010
- [6] A. Prüss-ŪstŪn, C. Corvalán, How Much Disease Burden can be Prevented by Environmental Interventions?, *Epidemiology.* 18, pp. 167-178. doi:10.1097/O1.ede.0000239647.26389.80, 2007
- [7] L. McLaren, P. Hawe, Ecological perspectives in health research, *J. Epidemiol. Community Health.* 59 pp. 6-14. doi:10.1136/jech.2003.018044, 2005
- [8] P. Lioy, E. Lebrecht, J. Spengler, M. Brauer, T. Buckley, N. Freeman, et al., Defining exposure science, *J. Expo. Anal. Environ. Epidemiol.* 15 pp. 463. doi:10.1038/sj.jea.7500463, 2005
- [9] S. Pujol, M. Berthillier, J. Defrance, J. Lardies, J.-P. Levain, R. Petit, H. Houot, F. Mauny, Indoor noise exposure at home: a field study in the family of urban schoolchildren, *Indoor Air.* doi:10.1111/ina.12094, 2014
- [10] C. Diaz, A. Pedrero, Sound exposure during daily activities, *Appl. Acoust.* 67 pp. 271-283. doi:10.1016/j.apacoust.2005.06.005, 2006
- [11] M.J. Nieuwenhuijsen, *Exposure assessment in occupational and environmental epidemiology*, Oxford University Press, Oxford, 2003
- [12] H.M. Miedema, H. Vos, Exposure-response relationships for transportation noise, *J. Acoust. Soc. Am.* 104 pp. 3432-3445, 1998
- [13] Agence française de la sécurité sanitaire et environnementale, Impacts sanitaires du bruit - Etat des lieux, indicateurs de bruit-santé, Agence française de sécurité sanitaire environnementale, Maisons-Alfort, 2004
- [14] United Nations, Department of Economic and Social Affairs/Population Division, *World Population Prospects: The 2007 Revision. Sex and age distribution of the world population*, United Nations Publications, New York, http://www.un.org/esa/population/publications/wup2007/2007WUP_ExecSum_web.pdf, 2008
- [15] W. Babisch, Exposure to environmental noise: risks for the health and environment, in: *Workshop proceedings on the Sound Level of Motor Vehicles*, Directorate general for internal policies policy department a: economic and scientific policy, Brussels, p. 120. <http://www.europarl.europa.eu/document/activities/cont/201505/20150524ATT45762/201505/20150524ATT45762EN.pdf>, 2012
- [16] G.W. Evans, E. Kantrowitz, Socioeconomic status and health: the potential role of environmental risk exposure, *Annu. Rev. Public Health.* 23 pp. 303-331. doi:10.1146/annurev.publhealth.23.112001.112349., 2002
- [17] G. Smith, C. Gidlow, R. Davey, C. Foster, What is my walking neighbourhood? A pilot study of English adults' definitions of their local walking neighbourhoods, *Int J Behav Nutr Phys Act.* 7, pp. 34-41, 2010
- [18] Q.M. Tenailleau, N. Bernard, S. Pujol, H. Houot, D. Joly, F. Mauny, Assessing residential exposure to urban noise using environmental models: does the size of the local living neighborhood matter?, *J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol.* doi:10.1038/jes.2014.33, 2014
- [19] H. Houot, S. Pujol, M. Berthillier, J.-P. Antoni, F. Mauny, Expologie en épidémiologie environnementale : apport de la géographie - Exemple de l'exposition au bruit en milieu urbain, La géographie de la santé en France en 2011, quelles formations, quelles applications ?, Journée de l'Association de Géographes français et du Comité National Français de Géographie, Paris, 10 décembre 2011
- [20] A.B. Hill, The environment and disease: association or causation?, *Proc. R. Soc. Med.* 58 pp. 295, 1965
- [21] World Health Organization, Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe, World Health Organization, Copenhagen, <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2011/burden-of-disease-from-environmental-noise-quantification-of-healthy-life-years-lost-in-europe> (accessed December 12, 2011), 2011.