

Apprentissage scolaire et exposition environnementale au bruit : une approche épidémiologique en milieu urbain.

Frédéric Mauny^{1,2}, Sophie Pujol^{1,2}, Jean-Pierre Levain³, Jérôme DeFrance⁴, Joseph Lardiès⁵, Hélène Houot⁶.

1- Laboratoire Chrono-environnement UMR 6249 CNRS / Université de Bourgogne Franche-Comté, Besançon

2- Centre hospitalier régional universitaire de Besançon

3-Laboratoire de psychologie EA 3188. ESPE Franche-Comté, Besançon

4- Centre scientifique et technique du bâtiment, Saint-Martin-d'Hères

5- Institut FEMTO-ST UMR 6174 CNRS / Université de Bourgogne Franche-Comté, , Besançon

6- Laboratoire THÉMA UMR 6049 CNRS/Université de Bourgogne Franche-Comté

Auteur correspondant :

Frédéric Mauny, Centre de méthodologie clinique, CHRU de Besançon – Hôpital Saint-Jacques, 2 place Saint-Jacques. F-25030 BESANCON Cedex

frederic.mauny@univ-fcomte.fr

Résumé

Cette recherche vise à tester l'existence d'une relation entre l'exposition prolongée au bruit associé à un environnement urbain et les performances scolaires des élèves scolarisés en CE₂ dans les écoles publiques d'une ville de 120000 habitants. Le projet repose sur l'utilisation d'une carte stratégique du bruit permettant de modéliser les différents niveaux de bruit en façade de l'école et en façade domicile des élèves, sur les résultats des évaluations diagnostiques en français et mathématiques de l'Education nationale, sur un questionnaire standardisé rempli par les familles et permettant de contrôler les principaux cofacteurs impactant les performances des élèves. Une approche statistique contextuelle à l'aide de modèles de régression linéaire multiniveau est utilisée.

Abstract

This study aims at assessing the existence of a relation between the school performance of grade 3 pupils in public schools of a town of 120000 inhabitants and the extended exposure to urban noise. This study was based on strategic map allowing us to estimate the outdoor noise levels at school as well as at the pupils' homes, the use of the results of diagnostic evaluations in French and Mathematics. The main cofactors which influence the pupils' results were also collected by standardised questionnaire distributed to families. A multi-level regression analysis was conducted to take account of the hierarchical structure of the data

Mots-clés : exposition au bruit, performance scolaire, évaluation des apprentissages, école primaire.

Keywords : noise exposure, pupil performance, learning assessments, primary school.

INTRODUCTION

L'effet délétère du bruit environnemental provenant du trafic routier, ferroviaire ou aéroportuaire, ainsi que celui provenant des sites industriels, sur la santé humaine et le bien-être est maintenant établi, en particulier pour les pathologies cardio-vasculaires, les troubles du sommeil, la gêne et les troubles cognitifs [1][2][3][4](WHO, 2009 ; 2011 ; Clark, 2007 ; Afsset, 2004). Dans les 30 dernières années, de nombreux travaux ont examinés les effets du bruit sur l'apprentissage et les performances scolaires [5](Shield, 2003), accumulant des éléments de preuves de l'influence négative de l'exposition prolongée et/ou à des niveaux élevés de bruit sur l'attention, la lecture, la mémoire et la résolution de problèmes [6](Hygge, 2011). La plupart des travaux épidémiologiques publiés concernaient l'exposition des enfants à l'école, à des bruits de trafic aérien [7][8][9][10][11][12][13](Clark, 2006 ; Haines, 2001, 2002 ; Hygge, 2002 ; Matsui, 2004 ; Stanfeld, 2005 ; Van Kempen, 2010) ou de trafic de grands axes routiers [14][15][16](Cohen, 1973 ; Lukas, 1980 ; Sanz, 1993).

Mis en forme : Interligne :
1,5 ligne

Les connaissances sur la nature du lien exposition-effet restent encore parcellaires, notamment en ce qui concerne des expositions à des niveaux de bruit plus modérés que ceux mesurés à proximité d'aéroports. La prise en compte de l'exposition conjointe à l'école mais aussi à la maison, en période de consolidation des acquis (travail à la maison) et de récupération (détente, sommeil), semble assez peu investiguée. Il semble admis que les nuisances sonores affectent les résultats d'épreuves normalisées portant sur la maîtrise de la langue écrite et peu ou pas sur celles de mathématiques [17](Cohen, 1986). Cependant, Haines *et al.* (2002) [9] mettent également en évidence un effet de l'exposition sonore sur les performances en mathématiques et Hygge (2011) [6] identifie un impact de l'exposition chronique au bruit à la fois sur la lecture, les apprentissages et sur la résolution de problèmes.

L'objectif principal de cet article est d'analyser la relation entre les performances scolaires en français et en mathématiques des enfants à l'entrée en CE₂ et l'exposition prolongée au bruit associé à un environnement urbain d'une ville de taille moyenne (120 000 habitants).

POPULATION ET METHODE

L'étude porte sur l'ensemble des élèves du cours élémentaire deuxième année (CE₂, troisième année de primaire) habitant la ville de Besançon¹ et scolarisés en 2006-2007 dans les écoles publiques de cette ville.

Une carte stratégique du bruit couvrant l'ensemble de l'agglomération a été réalisée à l'aide du logiciel MITHRA (Méthode Inverse de Tir dans l'Habitat de Rayons Acoustiques) développé par le CSTB (centre scientifique et technique du bâtiment). Le modèle obtenu a été validé à l'aide d'une

¹ Besançon est une ville moyenne constituée d'un centre ancien localisé dans un méandre du Doubs, de 2 couronnes bâties ultérieurement et de développements urbains périphériques plus récents. Aucun aéroport international, ni site d'activité industrielle ou commerciale particulièrement bruyant ne sont implantés en périphérie de la ville.

campagne de mesurage, réalisée en façade du domicile de 44 élèves bisontins, totalisant 271 jours de mesure pour une durée d'enregistrement par logement variant de 2 à 7 jours [18][19](Pujol et al. 2012 ; 2014a). Le niveau de pression acoustique au domicile des élèves ayant participé à l'étude a été calculé en façade, à partir de 2043 récepteurs ² [20][21](Pujol et al. 2014b ; Levain et al. 2015). Le niveau de pression acoustique en façade des écoles a lui aussi été estimé (299 récepteurs, niveau sonore moyen et le niveau sonore maximum). Les niveaux sonores équivalents continus pondérés A (L_{Aeq}) ont été calculés en façade de la chambre de l'enfant et sur la façade la plus exposée du logement pour trois périodes : $L_{Aeq, jour}$ (6:00–18:00), $L_{Aeq, soir}$ (18:00–22:00) and $L_{Aeq, nuit}$ (22:00–6:00). L'indice L_{den} (niveau sonore équivalent continu pondéré A pour 24h, avec une addition de 5 dB pour $L_{Aeq, soir}$ et 10 dB for $L_{Aeq, nuit}$) a également été estimé (Directive 2002/49/CE) [22].

Les résultats aux épreuves institutionnelles d'évaluation organisée en début de CE₂ sur l'ensemble du territoire nationale sont construites depuis 1988 par la DEPP (direction de l'évaluation, de la prospective et de la performance). Elles évaluent les acquis des élèves en mathématiques et en français en début de cycle 3. En français, 93 items visent à apprécier les compétences des savoirs lire et écrire à travers quatre champs. En mathématiques, 88 items permettent d'apprécier les objectifs de savoir, de savoir-faire et de résolution de problèmes à travers cinq champs. Les résultats des évaluations ont été saisis nominativement dans les écoles et transmis au centre de ressources informatiques académique (CRIA) qui a ensuite procédé au calcul des différents scores et sous-scores et à l'anonymisation des résultats.

Un questionnaire standardisé a été distribué dans les écoles à chaque famille concernée. Les données suivantes ont été collectées :

- la profession du père et de la mère et / ou d'un autre tuteur légal, leur statut vis-à-vis de l'emploi, ainsi que le niveau d'étude atteint pour chaque parent ;
- la structure de la famille (présence du père et de la mère, famille monoparentale, recomposée), le nombre d'habitants dans le logement, le nombre de frère et sœur, le rang dans la fratrie ;
- le sexe et l'âge de l'enfant, la langue principalement parlée à la maison, l'âge de la scolarisation, la fréquentation d'une crèche, les principaux loisirs pratiqués par l'enfant ;
- la taille du logement, l'ancienneté d'occupation du logement, l'équipement du logement, la localisation précise du logement et de la fenêtre de la chambre de l'enfant (adresse, étage, type de bâti autour du logement, environnement immédiat : cours, jardin, rue).

Au total, 746 questionnaires sur les 964 distribués ont été collectés au sein des 35 écoles publiques de la ville (taux de réponse de 77,4%, s'étendant entre 40 et 100% selon les écoles). Seuls les élèves répondant aux critères d'inclusion ont été inclus dans les analyses : élèves habitant à Besançon, dans le même logement depuis plus d'un an, et pour lesquels les résultats aux évaluations scolaires étaient disponibles.

L'analyse statistique consistait à évaluer la relation entre les résultats scolaires et l'exposition au bruit environnemental en tenant compte de l'influence potentielle d'autres facteurs. Les variables à expliquer étaient les scores globaux en français et en mathématiques, les variables d'exposition sonore étaient définies par les valeurs de niveaux sonores (exprimées en dB(A)) modélisées en façade du logement pour la période jour, soir et nuit (chambre de l'enfant et façade la plus exposée) et en façade de l'école pour la période jour (moyenne des valeurs de toutes les façades et valeur de

² Les 2043 récepteurs correspondent à autant de micros virtuels situés sur la carte à hauteur de l'étage d'habitation.

la façade la plus exposée). Le jeu de données présentait une structure complexe et organisée en niveaux hiérarchiques emboîtés : élève-classe-école. Aussi, une approche statistique contextuelle à l'aide de modèles de régression linéaire multiniveau (ou hiérarchique) a été utilisée [23] (Goldstein 1995). Deux niveaux d'organisation ont été définis : l'école et l'élève. Les évaluations scolaires se déroulant en début d'année scolaire, le niveau classe n'a pas été retenu. Les co-facteurs présentant un degré de signification inférieur à 0,20 lors de la phase monovariée ont été testés et retenus en analyse multivariée s'ils présentaient un degré de signification en analyse multivariée inférieur à 0,05. Les facteurs de confusions majeurs (niveau socioéconomique de la famille, sexe de l'enfant) ont été forcés dans le modèle. Les deux variables d'exposition sonore ont été implémentées centrées et conservées sous forme quantitative. Les écarts à la linéarité de la relation avec les scores en français et en mathématiques ont été testés à l'aide de polynôme d'ordre trois. Les logiciels SYSTAT 12 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) et MLwiN 2.02 [24] (Rasbash, 2000) ont été utilisés.

RÉSULTATS

Au total, 587 élèves ont été inclus dans l'étude, répartis dans 31 écoles (Figure 1). L'âge moyen des élèves était de 8 ans et 4 mois. Deux pour cents d'entre eux étaient en avance et 17% en retard. Un peu plus de 90% des élèves ont été scolarisés à l'âge de 3 ans ou plus jeune et un tiers a fréquenté une crèche collective. Les deux tiers déclaraient pratiquer la lecture comme loisir. Environ trois quarts résidaient dans un habitat collectif. Les 2/3 des familles étaient composés des deux parents, les familles monoparentales représentaient un quart du total. Les familles recomposées représentaient 6 % de l'ensemble. Les employés et professions intermédiaires constituaient le profil professionnel dominant des parents (environ 60 %). Les cadres, commerçants, artisans et chefs d'entreprise constituaient le tiers des professions représentées. Dans 77 % des familles, au moins un des deux parents travaillaient à temps plein (dans 23 % aucun des deux parents n'exerce un travail à temps plein). Le niveau d'étude du père comme de la mère était à plus de 40 % post secondaire. Enfin la langue française était la langue parlée à la maison dans 92 % des familles. Les scores obtenus aux évaluations institutionnelles, exprimés en pourcentages de réussite, étaient de 69,9 % en français et de 70,0 %³. La corrélation entre les deux scores était de 0,74 ($p < 10^{-3}$).

Les niveaux sonores en façade des habitations et des écoles sont présentés dans le tableau 1. La nuit, le niveau sonore était compris entre 35 et 60 dB(A) en façade des chambres d'enfants, avec une moyenne de 48 dB(A) ; 70 % des chambres d'enfants étaient exposées à plus de 45 dB, mais moins de 5% d'entre elles dépassaient 55 dB(A). L'indice L_{den} est en moyenne de 56,4 dB(A) en façade de la chambre d'enfants et 59,2 dB(A) pour la façade la plus exposée, avec 38% des logements présentant un L_{den} supérieur à 60 dB(A) pour la façade la plus exposée. A l'école, le niveau sonore de jour $L_{Aeq, jour}$ s'étendait entre 38 et 58 dB(A) (moyenne = 51,5 dB(A)) pour le niveau global des bâtiments et entre 41 et 69 dB(A) pour la façade la plus exposée (moyenne = 56,7 dB(A)). Dix-sept pourcents des écoles présentaient un niveau sonore moyen dépassant 55 dB(A) et 55% dépassaient ce seuil pour la façade la plus exposée. La corrélation entre les différents indicateurs d'exposition sonore était très élevée d'une période à une autre, pour un même lieu considéré (r compris entre 0,97 et 0,99) et était comprise entre 0,56 et 0,62 entre le niveau sonore en

Supprimé : x

³ Ces résultats sont très proches des résultats nationaux respectivement de 70,7 % et de 69,9 %.

façade de la chambre de l'enfant et celui de la façade la plus exposée du logement. A l'école, il était de 0,90 entre la valeur moyenne de l'école et celle de la façade la plus exposée.

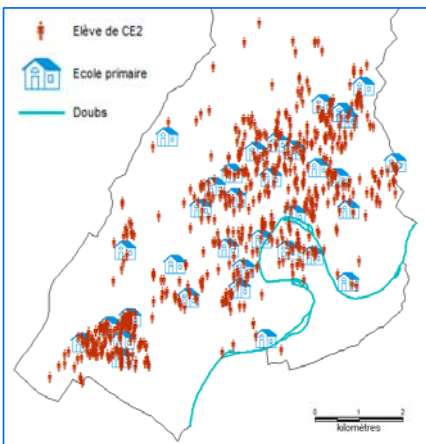
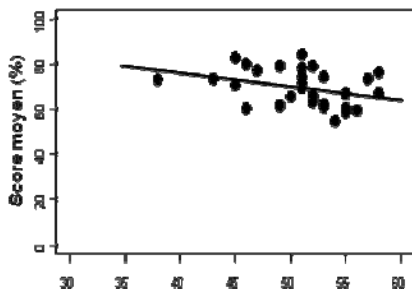


Fig 1 : Distribution spatiale des écoles primaires et des logements des élèves de CE2 inclus dans l'étude (d'après [20]Pujol, 2014 b).

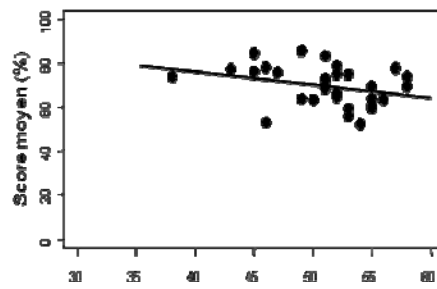
[Insérer ici Tableau 1] cf. fin du document

Français

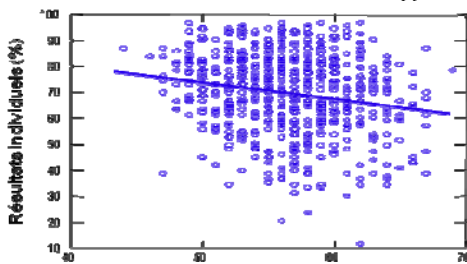


a. Exposition en façade de l'école ($L_{Aeq, jour}$)

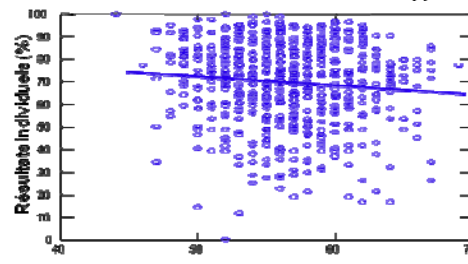
Mathématiques



b. Exposition en façade de l'école ($L_{Aeq, jour}$)



c. Exposition en façade du domicile (L_{den})



d. Exposition en façade du domicile (L_{den})

Fig 2 ; Score en français et en mathématique et exposition en façade : score moyen par école et LAeq, jour moyen en façade l'école (a et b) et score individuel et Lden en façade de la chambre de l'enfant au domicile (c et d).

La relation entre les scores en français et en mathématiques et le niveau acoustique moyen de l'école ($L_{Aeq, jour}$) est représentée Figure 2. La relation entre les scores en français et en mathématiques et le niveau acoustique en façade de la chambre de l'enfant (L_{den}) est représentée Figure 3a et 3b. En analyse bivariée, le score en français et en mathématiques étaient significativement et négativement associé au $L_{Aeq, jour}$ modélisé en façade de l'école et au L_{den} modélisé en façade de la chambre de l'enfant). En analyse multivariée, ajustée sur les variables socio-économiques, et en prenant en compte simultanément les niveaux acoustiques modélisés en façade de l'école et en façade de la chambre de l'enfant, les relations étaient comparables. Pour une augmentation de 10 dB(A) en façade de l'école ($L_{Aeq, jour}$), les scores en français et en mathématique étaient significativement plus faibles, respectivement -5,6 points ($p=0,01$) et -5,5 points ($p=0,02$) (Tableau 2). Pour une augmentation de 10 dB(A) en façade de la chambre de l'enfant (L_{den}), le score en français semblait plus faible, cette différence se situant à la limite de la signification (-2,3 points, $p=0,06$), et le score en mathématique n'était pas modifié ($p=0,50$).

Tab 2 : Relation exposition au bruit en façade et score en français et en mathématique : analyse multivariée (d'après [20]Pujol, 2014b)

Evaluation de l'exposition des élèves	Français (n=579)			Mathématiques (n=586)		
	β^a	IC 95 % ^b	p^c	β^a	IC 95 % ^b	p^c
L_{den} en façade de la chambre de l'enfant, pour une augmentation de 1dB)	-0,23	-0,46 - 0,01	0.06	-0,03	-0,32 - 0,26	0.85
$L_{Aeq, jour}$, moyenne des façade de l'école, pour une augmentation de 1dB)	-0,56	-0,99 - -0,13	0.01	-0,44	-0,85 -to -0,02	0.04

Les coefficients présentés sont issus d'un modèle de régression linéaire multiniveau, après ajustement sur les variables sexe de l'enfant, niveau d'éducation de la mère, statut des parents vis à vis de l'emploi, profession des parents, et pour le score en français, en plus lecture déclarée comme loisir et langue parlée à la maison (français ou autre langue),

a : coefficient du modèle de régression

b : intervalle de confiance à 95 %

c : degré de signification

Plusieurs facteurs étaient également significativement associés aux scores, en analyse bivariée et en analyse multivariée. Un niveau socio-économique plus élevé des familles était associé à un score plus élevé en français et en mathématiques : en moyenne, l'écart était de 14,6 points en français et 15,7 points en mathématiques entre les enfants dont la mère déclarait un niveau d'étude « école élémentaire » et ceux dont la mère déclarait un niveau d'étude « post bac » ($p < 10^{-3}$). Le fait de citer la lecture comme loisir, la langue française parlée à la maison et le sexe féminin était des facteurs significativement et positivement associés au score en français, respectivement : +2,9, +5,3 et +3,4

points ($p \leq 0,01$). Le sexe masculin était significativement et positivement associé à un score en mathématiques plus élevé, +4,4 point ($p \leq 10^{-3}$).

Les analyses complémentaires réalisées à partir d'autres indices acoustiques ($L_{Aeq, jour}$, $L_{Aeq, soir}$ ou $L_{Aeq, nuit}$) en façade du domicile l'enfant ont abouti à des résultats comparables aux résultats présentés ci-dessus.

Supprimé : ¶
¶

DISCUSSION

Ces résultats valident, dans le contexte d'une ville de taille moyenne et pour des élèves issus du système éducatif français, l'existence d'une relation entre les performances scolaires en français et mathématiques à l'entrée en CE₂ et l'exposition prolongée aux nuisances sonores tant à l'école qu'au domicile. Cette relation, déjà connue dans d'autres contextes pour le français, restait controversée pour les mathématiques [6][9][14](Cohen, 1986 ; Haines et al. 2002 ; Hygge, 2011).

Supprimé : 1981

Cette étude repose sur l'utilisation d'un modèle de prévision du bruit permettant de calculer les différents niveaux sonores environnementaux, et sur les résultats des évaluations diagnostiques standardisées en français et mathématiques effectuées en début d'année scolaire. La différenciation entre bruits à l'école et au domicile et une exhaustivité élevée des observations à l'échelle d'une ville moyenne constituent également des points forts de cette étude. Enfin, un questionnaire distribué aux familles a permis de contrôler les principaux co-facteurs impactant les performances des élèves. En effet, l'évaluation des performances scolaires est une question complexe qui nécessite de prendre en compte différents paramètres dont le niveau socio-économique du foyer dans lequel l'enfant évolue. Il existe en effet une interrelation étroite entre niveau socioéconomique, performances scolaires et exposition à un environnement défavorable, tel que les nuisances sonores [25][26](Evans et English, 2002 ; Rizk, 2003).

Plusieurs éléments constituent des limites méthodologiques de cette étude. L'exposition sonore des élèves a été évaluée à partir de valeurs estimées en façade des bâtiments, et non à l'intérieur des logements et des salles de classes. De plus, les évaluations scolaires ne sont pas des tests psychométriques, et ne permettent donc pas d'évaluer les processus cognitifs sous-jacents aux apprentissages, tels que le niveau d'attention, les capacités en mémoire de travail, les performances de rappel et de reconnaissance (immédiates et différées) en mémoire épisodique. Les évaluations scolaires sont construites pour évaluer des champs de compétence distincts : en français, la reconnaissance de mots, la compréhension, la production de textes et l'orthographe, et en mathématiques, la connaissance des nombres entiers naturels, l'exploitation de données numériques, le calcul, l'espace et la géométrie et enfin les grandeurs et mesures. Une approche menée à l'échelle de ces champs de compétences permet de compléter les résultats de cette première analyse globale [21](Levain, 2015).

Différents facteurs ont été proposés pour expliquer les effets cognitifs d'une exposition au bruit : une perte d'intelligibilité du discours [5](Shield, 2003), une diminution de l'attention [6](Hygge, 2011), un effet filtre du bruit [14](Cohen, 1986), la gêne [13](Van Kempen, 2010) et un effet indirect lié aux troubles du sommeil [1](WHO, 2009).

Supprimé :

Aucun élève n'est exposé, en façade de sa chambre, à des valeurs très élevées. La ville de Besançon reste comparativement à d'autres études internationales une agglomération modérément bruyante. Elle appartient aux villes européennes de taille moyenne, définies par une population comprise entre 100 000 and 500 000 habitants [27](Bobby, 1999). Ces villes sont fortement représentées démographiquement, plus de 44 % de la population européenne [28](Giffinger, 2007) y vivent, mais ont été très longtemps nettement moins étudiées que les grandes cités [29][30](Ehrlich, 1974; Selden, 1994). Compte tenu des efforts réalisés dans les grandes villes pour réduire les niveaux d'exposition, et au regard de leur poids démographique actuel, les villes de tailles moyennes, et les résultats des recherches menées sur leur territoire, sont essentiels pour la santé publique, tant pour l'amélioration des connaissances du présent que pour les projections qu'elles permettent sur le futur.

Ce travail a été rendu possible grâce au soutien inconditionnel de Mme Christine Dodane (Inspection académique du Doubs). Les auteurs tiennent à remercier les élèves, leur famille, les professeurs et responsables d'établissements scolaires, ainsi que Laurence Tilatti, Valérie Ninucci, Marie-Caroline Clément, et Jean-Marc Cote pour leur participation à ce projet. Le financement a été assuré par une convention de recherche du ministère de l'environnement, de l'énergie et du développement durable - MEEDDAT n°CV05000161. La conduite de cette étude a été approuvée par le Comité consultatif pour le traitement de l'information en matière de recherche dans le domaine de la santé (CCTIRS) et la Commission nationale de l'informatique et des libertés (CNIL).

Références bibliographiques

[1] World Health Organization. Night noise guidelines for Europe. Copenhagen: World Health Organization; 2009:162. Available at: <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2009/night-noise-guidelines-foreurope>.

[2] World Health Organization. Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe. Copenhagen: World Health Organization;2011:108. Available at: <http://www.euro.who.int/en/what-we-do/health-topics/environment-and-health/noise/publications/2011/burden-of-disease-from-environmentalnoise.-quantification-of-healthy-life-years-lost-in-europe>.

[3] Agence française de sécurité sanitaire environnementale. (2004). Effets biologiques extra-auditifs du bruit. In Impacts sanitaires du bruit, état des lieux, indicateurs bruit et santé. http://www.afsset.fr/upload/bibliotheque/878699506766704139266824216543/01_bruit_rapport_afsse.pdf

[4] Clark C, Stansfeld SA. The effect of transportation noise on health and cognitive development: a review of recent evidence. *Int J Comp Psychol.* 2007; 20(2): 145–158.

[5] Shield B, Dockrell J. The effects of noise on children at school: a review. *Build Acoust.* 2003; 10(2): 97–116.

[6] Hygge S. Noise and Cognition in Children. In: *Encyclopedia of Environmental Health*. Burlington, VT: Elsevier; 2011:146–151. Available at: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780444522726002610>.

Mis en forme : Anglais
(États-Unis)

[7] Clark C, Martin R, van Kempen E, et al. Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension: the RANCH project. *Am J Epidemiol*. 2006; 163(1): 27–37.

Supprimé : ¶

[8] Haines MM, Stansfeld SA, Brentnall S, et al. The West London Schools Study: the effects of chronic aircraft noise exposure on child health. *Psychol Med*. 2001; 31(8): 1385–1396.

[9] Haines MM, Stansfeld SA, Head J, Job RFS. Multilevel modelling of aircraft noise on performance tests in schools around Heathrow Airport London. *J Epidemiol Community Health*. 2002; 56(2): 139–144.

[10] Hygge S, Evans GW, Bullinger M. A Prospective Study of Some Effects of Aircraft Noise on Cognitive Performance in Schoolchildren. *Psychol Sci*. 2002; 13(5): 469–474.

[11] Matsui T, Stansfeld S, Haines M, Head J. Children's cognition and aircraft noise exposure at home—the West London Schools Study. *Noise Health*. 2004; 7(25): 49–58.

[12] Stansfeld S, Berglund B, Clark C, et al. Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *Lancet*. 2005; 365(9475): 1942–1949.

[13] Van Kempen E, van Kamp I, Lebrecht E, Lammers J, Emmen H, Stansfeld S. Neurobehavioral effects of transportation noise in primary schoolchildren: a cross-sectional study. *Environ Health*. 2010; 9: 25.

[14] Cohen S, Glass DC, Singer JE. Apartment noise, auditory discrimination, and reading ability in children. *J Exp Soc Psychol*. 1973; 9(5): 407–422.

[15] Lukas JS, DuPree RB. Effects of freeway noise on academic achievement of elementary school children. *J Acoust Soc Am*. 1980; 68(S1): S90–S90.

[16] Sanz SA, García AM, García A. Road traffic noise around schools: a risk for pupil's performance? *Int Arch Occup Environ Health*. 1993; 65(3): 205–207.

[17] Cohen, S., Evans, G.-W., Stockols, D., & Krantz, D.-S. (1986). *Behavior, Health and Environment stress*. New York : Plenum Press.

Mis en forme : Français (France)

[18] Pujol, S., Houot, H., Berthillier, M., de France, J., Lardiès, J., Levain, J.-P., Masselot, C., Petit, R., & Mauny, F. (2012). Urban ambient outdoor and indoor noise exposure at home: A population-based study on schoolchildren. *Applied Acoustics*, 73, 741-750.

[19] Pujol S, Berthillier M, Defrance J, Lardies J, Levain J-P, Petit R, et al. Indoor noise exposure at home: a field study in the family of urban schoolchildren. *Indoor Air*. 2014 Oct 1;24(5):511–20.

[20] Pujol S, Levain J-P, Houot H, Petit R, Berthillier M, Defrance J, et al. Association between Ambient Noise Exposure and School Performance of Children Living in An Urban Area: A Cross-Sectional Population-Based Study. *J Urban Health*. 2014 Apr 1;91(2):256–71.

Mis en forme : Français (France)

[21] Levain J-P, Mauny F, Pujol S, Petit R, Houot H, Defrance J, Lardies J, Berthillier M. Exposition au bruit et performance scolaire des élèves de CE₂. *Psychologie Française*, 2015 ; 60, 35-49.

Mis en forme : Français (France)

Mis en forme : Gauche, Autoriser lignes veuves et orphelines

[22] Directive 2002/49/CE du Parlement européen et du Conseil du 25 juin 2002 relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement (2002)

[23] Goldstein, H. (1995). *Multilevel Statistical Models*. 2nd edition. London : Edward Arnold.

[24] Rasbash J, Charlton C, Jones K, Pilling R. Bristol University, Centre for Multilevel Modelling Manual supplement for MLwiN 2.14. 2009. Available at: <http://www.bristol.ac.uk/cmm/software/mlwin/download/manuals.html>.

[25] Evans, G.-W., English, K. (2002). The environment of poverty: multiple stressor exposure, psychophysiological stress, and socioemotional adjustment. *Child Development*, 73(4), 1238-48.

[26] Rizk, C. (2003). Le cadre de vie des ménages les plus pauvres. *INSEE Première*, n°926. http://www.insee.fr/fr/ffc/docs_ffc/ip926.pdf.

[27] Bobby 1999 Boddy, M., 1999. Geographical economics and urban competitiveness: a critique. *Urban Stud.* 36, 811-842.

[28] Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Meijers, E., 2007. City-ranking of European medium-sized cities. Cent. Reg. Sci. Vienna UT.

[29] Ehrlich, P.R., Holdren, J.P., 1974. Human Population and the Global Environment: Population growth, rising per capita material consumption, and disruptive technologies have made civilization a global ecological force. *Am Sci* 62, 282-292.

[30] Selden, T.M., Song, D., 1994. Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions? *J. Environ. Econ. Manag.* 27, 147 - 162.

Mis en forme : Gauche, Autoriser lignes veuves et orphelines

Supprimé : ¶

Mis en forme : Police :

Supprimé : &

Mis en forme : Justifié, Ne pas ajuster l'espace entre le texte latin et asiatique, Ne pas ajuster l'espace entre le texte et les nombres asiatiques

Mis en forme : Police : Anglais (États-Unis)

Supprimé : 8

Tab 1 : Niveaux acoustiques modélisés en façade des écoles et du domicile des élèves.

	n	L _{Aeq, jour}		L _{Aeq, soir}		L _{Aeq, nuit}	
		moyenne (ET) ^a	étendue	moyenne (ET) ^a	étendue	moyenne (ET) ^a	ét
Façade du domicile							
Chambre de l'enfant	587	55,8 (4,4)	44-68	53,7 (4,5)	42-67	48,0 (4,5)	35
Façade la plus exposée	587	58,5 (4,0)	46-69	56,4 (4,1)	44-67	50,7 (4,0)	38
Ecole							
Moyenne	35	51,5 (4,5)	38-58				
Façade la plus exposée	35	56,7 (6,5)	41-69				

a : écart-type

Supprimé : ¶
Saut de section (page suivante) ¶