

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

Frédéric Mauny (auteur correspondant)

Professeur des Universités
Laboratoire Chrono-environnement UMR 6249 CNRS
Université de Bourgogne Franche-Comté et CHRU
de Besançon
Hôpital Saint-Jacques
2, place Saint-Jacques
25030 Besançon CEDEX
E-mail : frederic.mauny@univ-fcomte.fr

Sophie Pujol

Laboratoire Chrono-environnement UMR 6249 CNRS
Université de Bourgogne Franche-Comté et CHRU de
Besançon
Hôpital Saint-Jacques
2, place Saint-Jacques
25030 Besançon CEDEX
E-mail : sophie.pujol@univ-fcomte.fr

Jean-Pierre Levain

Laboratoire de psychologie EA 3188
UFR SLHS
30, rue Mégevand
25032 Besançon CEDEX
E-mail : jean-pierre.levain@univ-fcomte.fr

Jérôme Defrance

CSTB
24, rue Joseph Fourier
38400 Saint Martin d'Hères
E-mail : jerome.defrance@cstb.fr

Joseph Lardiès

DMA Institut FEMTO-ST UMR 6174 CNRS
Université de Bourgogne Franche-Comté,
24, rue de l'épitaque
25030 Besançon CEDEX
E-mail : joseph.lardies@univ-fcomte.fr

Hélène Houot

Laboratoire ThéMA UMR 6049 CNRS
Université de Bourgogne Franche-Comté
30, rue Mégevand
25032 Besançon CEDEX
E-mail : helene.houot@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 120 000 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 du domicile des élèves, sur les résultats des évaluations diagnostiques en français et mathématiques de l'Éducation 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 multi niveau est utilisée.

Abstract

This study aims at assessing the relation between the school performance of grade 3 pupils in public schools of a 120,000 inhabitants city and the environmental ambient noise exposure in an urban area. A strategic map was built to estimate the outdoor noise levels at school as well as at the pupils' homes. The children's school performance at the national standardized assessment test in French and Mathematics was considered. Standardized questionnaires were distributed to the families to collect data on potential confounding factors associated with school achievement or failure. A multi-level regression analysis was conducted to take account of the hierarchical structure of the data.



effet délétaire 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]. Dans les 30 dernières années, de nombreux travaux ont examinés les effets du bruit sur l'apprentissage et les performances scolaires [5], 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]. 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](ou de trafic de grands axes routiers [14][15][16]).

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]. 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 méthode

L'étude porte sur l'ensemble des élèves du cours élémentaire deuxième année (CE2, troisième année de primaire) habitant la ville de Besançon¹ (Doubs) 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 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]. Le niveau de pression acoustique au domicile des élèves ayant participé à l'étude a été calculé en façade, à partir de 2 043 récepteurs² [20][21]. Le niveau de pression acoustique en façade des écoles a lui aussi été estimé (299 récepteurs). 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 pour $L_{Aeq, nuit}$) a également été estimé [22].

Les épreuves institutionnelles d'évaluation organisées en début de CE2 sur l'ensemble du territoire national 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'anonimisation des résultats.

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

1. 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 ;
2. 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 ;
3. 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 ;
4. 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 retenus pour 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 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 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 multi niveau (ou hiérarchique) a été utilisée [23]. 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 bivariée 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] ont été utilisés.

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.

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

Résultats

Au total, 587 élèves ont été inclus dans l'étude, répartis dans 31 écoles (Figure 1).

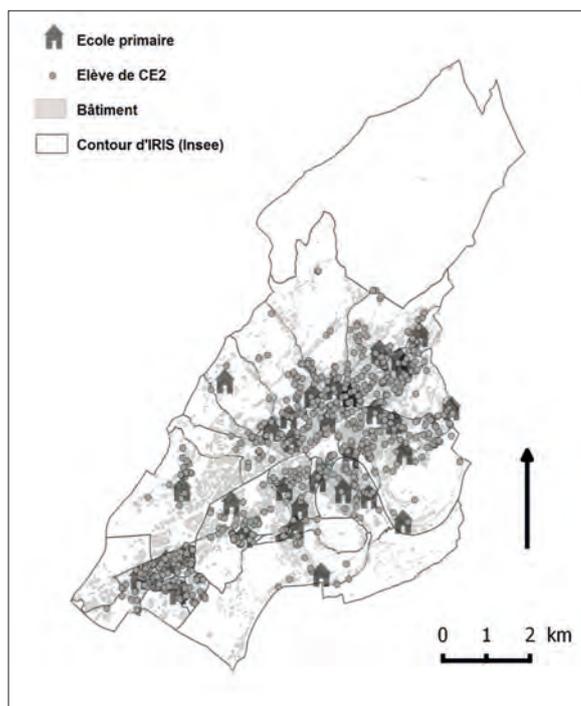


Fig. 1 : Distribution spatiale des écoles primaires et des logements des élèves de CE2 inclus dans l'étude (d'après [20]).

L'âge moyen des élèves était de 8 ans et 4 mois. 2% 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 jeunes 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 deux tiers 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 % en mathématiques³. 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(A), 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)). 17% 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 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.

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

	n	$L_{Aeq, jour}$		$L_{Aeq, soir}$		$L_{Aeq, nuit}$		L_{den}	
		moyenne (ET) ^a	étendue						
Façade du domicile									
Chambre de l'enfant	587	55,8 (4,4)	44-68	53,7 (4,5)	42-67	48,0 (4,5)	35-60	56,4 (4,4)	44-69
Façade la plus exposée	587	58,5 (4,0)	46-69	56,4 (4,1)	44-67	50,7 (4,0)	38-60	59,2 (4,0)	47-69
École									
Moyenne	35	51,5 (4,5)	38-58						
Façade la plus exposée	35	56,7 (6,5)	41-69						

a : écart-type

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

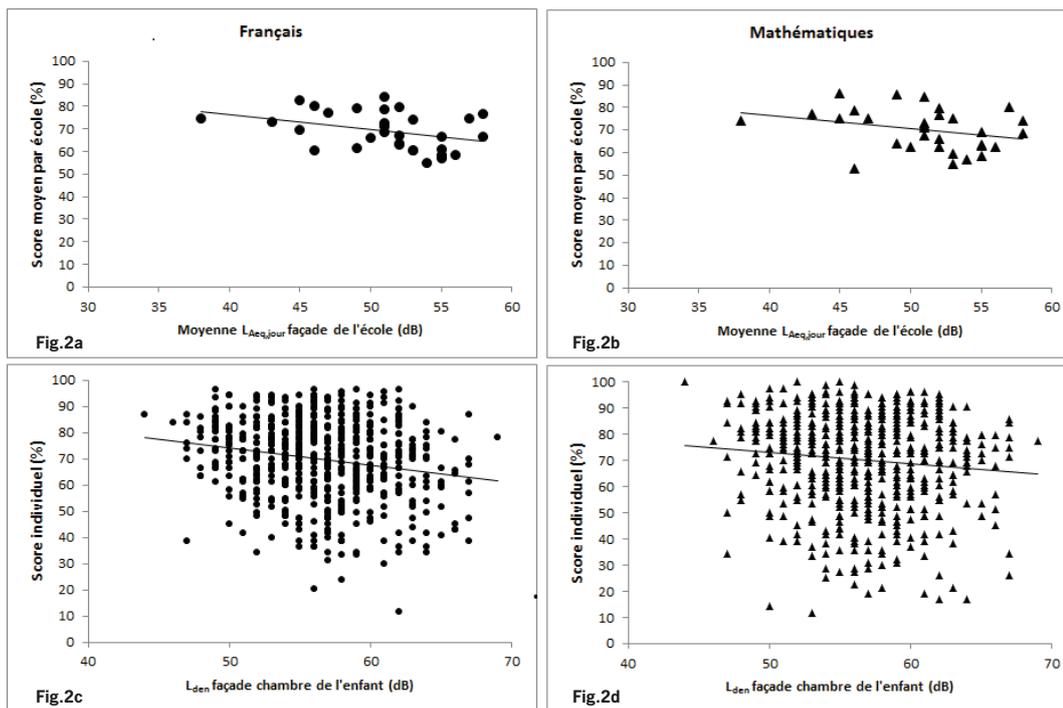


Fig. 2 : Score en français et en mathématiques et exposition en façade : score moyen par école et $L_{Aeq, jour}$ moyen en façade l'école (a et b) et score individuel et L_{den} en façade de la chambre de l'enfant au domicile (c et d).

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 2c et 2d. En analyse bivariée, les scores en français et en mathématiques étaient significativement et négativement associés 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 mathématiques 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 ($p=0,50$).

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 points ($p \leq 10^{-3}$).

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.

Évaluation 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 façades de l'école, (pour une augmentation de 1dB)	-0,56	-0,99 - -0,13	0,01	-0,44	-0,85 - -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'étude de la mère, statut des parents vis-à-vis de l'emploi, profession des parents, ainsi que, pour le score en français uniquement, lecture déclarée comme loisir et langue française parlée à la maison.
a : coefficient du modèle de régression / b : intervalle de confiance à 95 % / c : degré de signification

Tab. 2 : Relation Exposition au bruit en façade en français et en mathématiques : analyse multivariée (d'après Pujol, 2014b)

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].

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 l'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 connus pour impacter 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, telles que les nuisances sonores [25][26].

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, comme 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].

Différents facteurs ont été proposés pour expliquer les effets cognitifs d'une exposition au bruit : une perte d'intelligibilité du discours [5], une diminution de l'attention [6], un effet filtre du bruit [14], la gêne [13] et un effet indirect lié aux troubles du sommeil [1].

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]. Alors que ces villes hébergent plus de 44 % de la popula-

tion européenne [28] elles ont été très longtemps nettement moins étudiées que les grandes métropoles [29][30]. Compte tenu des efforts réalisés dans les grandes métropoles pour réduire les niveaux d'exposition, et au regard du poids démographique des villes de taille moyenne, ces dernières 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).

Cécile Coumau : On a plutôt des enquêtes sur la gêne déclarée par les adultes. Mais qu'est-ce que disent les enfants de la gêne qu'ils ressentent par rapport au bruit à l'école ?

On a profité des questionnaires « famille » pour ajouter une question sur la gêne et on a effectivement pu faire une évaluation chez l'enfant. Les résultats montrent que 30% d'entre eux se déclarent gênés par le bruit routier et si on amalgame tous les bruits pour construire un bruit ambiant, on arrive à plus de 50% des enfants qui se déclarent gênés. Ceci est à mettre en lien avec la gêne déclarée par les parents qui n'est pas complètement similaire. Les enfants de 8/9 ans ont une capacité à déclarer une gêne en relation avec le niveau d'exposition au bruit mais aussi avec la satisfaction résidentielle c'est-à-dire avec l'image que projette l'endroit où ils habitent avec leur famille.

Mais quelle est la différence si on compare les adultes et les enfants ?

La difficulté est de comparer les différentes études qui n'ont pas les mêmes niveaux ni la même perception. Je ne suis pas sûr que les enfants se plaignent autant du bruit que les adultes et comme on ne demande pas souvent leur avis, on a peu de recul pour comparer.

Est-ce qu'on peut expliquer la différence entre l'impact sur le français et sur les mathématiques ?

D'après des psychologues spécialistes du langage et de l'éducation, le bruit à l'école aurait un effet non seulement sur la compréhension mais aussi sur le traitement de l'information lors des tests de lecture. Un parallèle entre traitement langagier et traitement numérique a pu être dressé. Cependant, selon la nature de l'exercice à effectuer, les mêmes fonctions ne seront pas mobilisées (tâches complexes, tâches simples, répétitives).

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>.
- [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.
- [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, Garcia AM, Garcia A. Road traffic noise around schools: a risk for pupils' 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.
- [18] Pujol, S., Houot, H., Berthillier, M., de France, J., Lardies, 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.
- [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.
- [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.