

La localisation des écoles primaires et le bruit aérien dans la région métropolitaine de Toronto : un diagnostic d'équité environnementale et une analyse des impacts sur la réussite scolaire

Thomas Audrin, Philippe Apparicio and Anne-Marie Séguin

Volume 44, Number 1, 2021

URI: <https://id.erudit.org/iderudit/1079133ar>

DOI: <https://doi.org/10.7202/1079133ar>

[See table of contents](#)

Publisher(s)

Canadian Regional Science Association / Association canadienne des sciences régionales

ISSN

0705-4580 (print)

1925-2218 (digital)

[Explore this journal](#)

Cite this article

Audrin, T., Apparicio, P. & Séguin, A.-M. (2021). La localisation des écoles primaires et le bruit aérien dans la région métropolitaine de Toronto : un diagnostic d'équité environnementale et une analyse des impacts sur la réussite scolaire. *Canadian Journal of Regional Science / Revue canadienne des sciences régionales*, 44(1), 22–34. <https://doi.org/10.7202/1079133ar>

Article abstract

Cet article poursuit deux objectifs. Premièrement, il s'agit de vérifier si les écoles primaires accueillant des enfants issus de milieux défavorisés sont disproportionnellement localisées à proximité des aéroports, dans la région métropolitaine de Toronto. Deuxièmement, il s'agit de vérifier si les écoles primaires avec des niveaux de bruit aérien élevés présentent des niveaux de réussite scolaire plus faibles. L'étude porte sur 1420 écoles primaires publiques ou catholiques. Les courbes NEF ont été utilisées comme indicateur de gêne causée par le bruit des avions. Treize variables décrivant les caractéristiques des écoles et de leur clientèle ont été recueillies au niveau de chaque établissement pour l'année scolaire 2017-2018 à partir de données du Gouvernement de l'Ontario et du Ministère de l'Éducation. Des tests de Student ont été effectués pour réaliser le diagnostic d'équité environnementale alors que pour évaluer l'impact du bruit aérien sur la réussite scolaire, douze modèles de régression ont été construits. Les résultats des tests de Student démontrent que les écoles primaires avec des niveaux plus élevés de bruit aérien accueillent une clientèle plus souvent issue de milieux défavorisés et d'une langue maternelle autre que la langue d'enseignement. Concernant la réussite scolaire, les écoles dans la zone NEF présentent des taux de réussite significativement plus faibles. Par contre, une fois contrôlées les caractéristiques sociodémographiques, le bruit aérien n'est plus significativement associé à des taux de réussite plus faibles.

LA LOCALISATION DES ÉCOLES PRIMAIRES ET LE BRUIT AÉRIEN DANS LA RÉGION MÉTROPOLITAINE DE TORONTO : UN DIAGNOSTIC D'ÉQUITÉ ENVIRONNEMENTALE ET UNE ANALYSE DES IMPACTS SUR LA RÉUSSITE SCOLAIRE

Thomas Audrin, Philippe Apparicio, Anne-Marie Séguin

Thomas Audrin

Laboratoire d'équité
environnementale
Institut national de la recherche
scientifique, Centre Urbanisation
Culture et société
385, rue Sherbrooke Est,
Montréal, QC H2X 1E3

Philippe Apparicio

Laboratoire d'équité
environnementale
Institut national de la recherche
scientifique, Centre Urbanisation
Culture et société
385, rue Sherbrooke Est,
Montréal, QC H2X 1E3
philippe.apparicio@ucs.inrs.ca

Anne-Marie Séguin

Laboratoire d'équité
environnementale
Institut national de la recherche
scientifique, Centre Urbanisation
Culture et société
385, rue Sherbrooke Est,
Montréal, QC H2X 1E3

Soumis : 21 juillet 2020
Accepté : 25 octobre 2020

Résumé : Cet article poursuit deux objectifs. Premièrement, il s'agit de vérifier si les écoles primaires accueillant des enfants issus de milieux défavorisés sont disproportionnellement localisées à proximité des aéroports, dans la région métropolitaine de Toronto. Deuxièmement, il s'agit de vérifier si les écoles primaires avec des niveaux de bruit aérien élevés présentent des niveaux de réussite scolaire plus faibles. L'étude porte sur 1420 écoles primaires publiques ou catholiques. Les courbes NEF ont été utilisées comme indicateur de gêne causée par le bruit des avions. Treize variables décrivant les caractéristiques des écoles et de leur clientèle ont été recueillies au niveau de chaque établissement pour l'année scolaire 2017-2018 à partir de données du Gouvernement de l'Ontario et du Ministère de l'Éducation. Des tests de Student ont été effectués pour réaliser le diagnostic d'équité environnementale alors que pour évaluer l'impact du bruit aérien sur la réussite scolaire, douze modèles de régression ont été construits. Les résultats des tests de Student démontrent que les écoles primaires avec des niveaux plus élevés de bruit aérien accueillent une clientèle plus souvent issue de milieux défavorisés et d'une langue maternelle autre que la langue d'enseignement. Concernant la réussite scolaire, les écoles dans la zone NEF présentent des taux de réussite significativement plus faibles. Par contre, une fois contrôlées les caractéristiques sociodémographiques, le bruit aérien n'est plus significativement associé à des taux de réussite plus faibles.

Mots-clés : bruit des avions, écoles primaires, équité environnementale, réussite scolaire, Toronto

INTRODUCTION

Les nuisances sonores émises par les transports sont l'un des principaux polluants dans les zones urbaines (WHO, 2011). Indissociable de l'activité humaine, le bruit généré par les transports routier, ferroviaire et aérien suscite de l'inconfort et de vives inquiétudes chez les populations résidant à proximité de ces infrastructures de transport. De nos jours, le bruit aérien est considéré comme la nuisance la plus dérangeante (Miedema & Oudshoorn, 2001). Ses impacts sur la santé sont désormais bien connus : gêne et stress psychologique, troubles du sommeil, difficultés cognitives accrues et même risques d'hypertension artérielle et de maladies cardiovasculaires (Stansfeld & Matheson, 2003; Basner et al., 2017).

Parmi les populations à risque, les enfants sont particulièrement vulnérables à des niveaux de bruit aérien élevés, en raison de leur fragilité physiologique (Basner et al., 2014; Basner et al., 2017). En effet, le développement incomplet de leurs organes et de leur système nerveux augmente le risque de souffrir de problèmes de santé. En milieu scolaire, le bruit aérien provoque des interférences avec la communication parlée, ce qui entraîne une altération de l'intelligibilité des enseignements et une baisse de la concentration des enfants (Vincent & Olney, 2012). De ce fait, le processus de développement cognitif chez les enfants peut être perturbé. De nombreuses études épidémiologiques ont démontré qu'une exposition chronique à des niveaux de bruit aérien excessifs peut affecter les capacités d'apprentissage chez les enfants scolarisés, notamment en lecture, en écriture et en mathématique (Van Kamp & Davies, 2013; Basner et al., 2017).

Les effets néfastes du bruit sur les individus et notamment les enfants étant reconnus, Transport Canada recommande d'interdire la construction de nouveaux bâtiments à usages sensibles (écoles, garderies, résidences pour personnes âgées, hôpitaux et immeubles résidentiels) à proximité d'un aéroport (Transport Canada, 2013). Comme les enfants passent une partie non négligeable de leur temps à l'école, il apparaît que la qualité de l'environnement à proximité des écoles peut avoir une influence déterminante sur leur réussite scolaire, et plus globalement sur leur développement cognitif.

La recherche est guidée par deux objectifs avec comme terrain d'étude Toronto. Dans un premier temps, il s'agit de vérifier si les écoles primaires accueillant des enfants issus de milieux défavorisés sont disproportionnellement localisées à proximité des aéroports. Dans un second temps, il s'agit de vérifier si le bruit aérien a ou non un impact sur la réussite scolaire des enfants du primaire.

REVUE DE LA LITTÉRATURE

La recension des écrits est organisée en deux sections en lien avec chacun de ces deux objectifs de recherche : la première porte sur le bruit aérien abordé dans les études en équité environnementale et la seconde sur les effets du bruit des avions sur la réussite scolaire.

Écoles, bruit aérien et équité environnementale

Apparu au début des années 1980, le thème de l'injustice environnementale a été mis de l'avant aux États-Unis par des mouvements activistes revendiquant le droit d'habiter dans des espaces non pollués ou non exposés à des nuisances environnementales majeures comme des dépotoirs, des sites d'enfouissement de matières dangereuses ou encore des centrales nucléaires (Lee, 1992; Scholsberg, 2004; Walker, 2009). Selon Walker (2012), la justice environnementale comprend trois dimensions importantes : l'équité environnementale (ou justice distributive), la justice procédurale et la justice de la reconnaissance. Nous nous intéressons ici à la première dimension, soit l'équité environnementale qui se rapporte à la distribution des

éléments bénéfiques (parc, végétation, etc.) et des éléments négatifs (bruit, pollution atmosphérique, etc.) en lien avec la distribution de groupes de population le plus souvent définis selon l'âge, le revenu, ou l'appartenance ethnique (Walker, 2012).

La littérature en équité environnementale axée sur le milieu scolaire est croissante (entre autres, Grineski et al., 2020; 2019; 2018; Carrier et al., 2019), et ce, pour deux raisons. D'une part, du fait de leur vulnérabilité physiologique (Basner et al., 2014; Basner et al., 2017), les enfants sont particulièrement sensibles aux éléments négatifs de leur environnement (bruit, pollution, etc.). D'autre part, les enfants passent une partie importante de leur journée à l'école; ainsi, la qualité de l'environnement dans et autour du milieu scolaire a potentiellement un impact important sur leur santé. Le statut socio-économique de la famille à laquelle l'enfant appartient peut également avoir des effets directs et indirects sur les conditions de vie de ce dernier. Les enfants des milieux défavorisés sont plus à risque de souffrir de problèmes de santé et d'apprentissage en raison du manque de ressources matérielles et immatérielles qui ne permettent pas de répondre adéquatement aux besoins fondamentaux ni de favoriser leurs développements psychologiques (Bradley & Corwyn, 2005; Nieuwenhuis & Hooimeijer, 2016). Ainsi, l'exposition cumulative aux nuisances environnementales combinée à la pauvreté socio-économique pourrait donc accroître le risque pour l'enfant de développer des problèmes de santé.

En ce qui a trait au bruit aérien, des recherches ont montré que certains groupes ethniques minoritaires et les populations à faible revenu subissent une exposition disproportionnée à des niveaux élevés de bruit aérien dans leur milieu résidentiel à Phoenix (Sobotta et al., 2007), Boston (Ogneva-Himmelberger & Cooperman, 2010), Atlanta (Cohen et al., 2017), Birmingham (UK) (Brainard et al., 2004), Minneapolis-Saint Paul (Nega et al., 2013), Calgary et Vancouver (Canada) (Audrin et al., 2019). D'autres arrivent à des résultats contradictoires qui peuvent s'expliquer par des contextes géographiques, historiques et réglementaires particuliers. Par exemple, dans la région de Rijnmond aux Pays-Bas, les ménages les mieux nantis sont surexposés au bruit aérien (Kruize et al., 2007). Au Canada, une étude récente a montré que les populations à faible revenu bénéficient d'une situation légèrement favorable en termes d'exposition au bruit aérien à Toronto et à Montréal (Audrin et al., 2019). En résumé, les diagnostics d'iniquité à l'égard de l'exposition au bruit aérien peuvent varier d'une ville à l'autre et d'un groupe à l'autre.

Paradoxalement, malgré leur vulnérabilité physiologique au bruit aérien (Stansfeld et al., 2005; Clark et al., 2012), les enfants et les écoles ont été peu considérés dans les études en équité environnementale en lien avec le bruit aérien. Parmi les rares études qui se sont penchées sur cette population, celles de Brainard et al. (2004) à Birmingham (Angleterre) et de Nega et al. (2013) à Minneapolis-Saint Paul (États-Unis) concluent qu'il n'y a aucune iniquité quant à l'exposition des enfants au bruit environnemental dans leur milieu résidentiel. Néanmoins, dans ces deux études, les auteurs combinent à la fois les bruits routier et aérien, sans les distinguer. Récemment, l'étude de Audrin et al. (2019) portant uniquement sur le bruit aérien constate que les enfants de moins de 15 ans sont légèrement en situation d'iniquité à l'égard du bruit aérien dans les métropoles de Vancouver et de Toronto. Cependant, cette étude, comme celles de Brainard et al. (2004) et Nega et al. (2013) ne considèrent que le milieu résidentiel des enfants.

Or, compte tenu du nombre d'heures que les enfants passent à l'école et des impacts potentiels du bruit sur leur développement cognitif (Van Kamp & Davies, 2013; Basner et al., 2017), il semble opportun d'analyser leur exposition aux nuisances liées au bruit aérien au sein de ce milieu (Sampson, 2012). Des travaux récents en équité environnementale ont examiné l'exposition des enfants aux éléments nuisibles de leur environnement scolaire, notamment, la

pollution de l'air (Grineski et al., 2020; 2019; 2018) et le bruit environnemental (Collins et al., 2019; Carrier et al., 2019; Amram et al., 2011). Aux États-Unis, Collins et al. (2019) ont constaté que les élèves fréquentant les écoles publiques (primaires et secondaires) les plus exposées aux bruits routier et aérien étaient nettement plus susceptibles d'être économiquement défavorisés (éligibles pour des repas gratuits ou à prix réduit) et d'appartenir à une minorité visible (hispanique, noire ou asiatique).

Au Canada, plusieurs travaux ont analysé l'exposition au bruit routier des enfants dans leur milieu scolaire (Carrier et al., 2019; Amram et al., 2011). Par contre, à notre connaissance, la question du bruit aérien autour des écoles n'a pas encore été abordée, ce qui représente l'une des contributions de notre étude.

Exposition chronique au bruit des avions et apprentissage des enfants

Au-delà de la gêne ressentie par les enfants (Van Kempen et al., 2009), il est reconnu que le bruit aérien peut affecter leurs performances cognitives entraînant, entre autres, des difficultés dans l'apprentissage, une altération des fonctions cognitives et des problèmes de concentration (Basner et al., 2017). De nombreuses études, surtout épidémiologiques, ont analysé les effets d'une exposition chronique à des niveaux élevés de bruit aérien chez les enfants en milieu scolaire. Les résultats de ces travaux varient grandement en fonction d'une multitude de critères: design de l'étude (transversale ou longitudinale), indicateurs du bruit aérien (carte de contour de bruit, sonomètres), mesures de la performance ou de la réussite scolaire (compréhension en lecture, écriture, mathématique, science, etc.), source de données sur la réussite ou performance (données provenant d'un ministère de l'éducation ou de tests réalisés par les chercheurs sur un échantillon d'élèves), type de données (individuelles ou agrégées), âge des enfants et variables de contrôle (bruit routier, statut socioéconomique, langue maternelle, caractéristique de l'école, etc.) et modèles construits (régressions ou analyses multiniveaux).

Il est ainsi possible d'identifier trois types d'études: les études transversales basées sur des données individuelles, celles longitudinales basées aussi sur des données individuelles et finalement, les études transversales basées sur des données agrégées au niveau des écoles.

Les études transversales basées sur des données individuelles

Au sein du premier courant, l'étude transnationale et transversale RANCH (*Road traffic and Aircraft Noise and children Cognition & Health*) fait office de référence (Stansfeld et al., 2005). Cette étude a été menée de 2001 à 2003 auprès de 2844 enfants âgés de 9 à 10 ans scolarisés dans 89 écoles primaires situées à proximité de trois grands aéroports internationaux (Londres-Heathrow: 29; Amsterdam Schiphol: 33; Madrid Barajas: 27). L'analyse repose sur un modèle multiniveau avec: au niveau individuel, les résultats de tests de compréhension en lecture et plusieurs facteurs sociodémographiques (entre autres, âge et sexe de l'élève, niveau d'éducation de la mère, principale langue parlée à la maison, statut d'emploi, etc.); et au niveau de l'école, les niveaux de bruit aérien et de bruit routier et l'isolation acoustique (vitrage simple, double ou triple). Après avoir contrôlé les caractéristiques individuelles et celles de l'école, ils concluent qu'à mesure que l'exposition au bruit des avions augmente, les performances des enfants aux tests de compréhension de lecture diminuent. En effet, en dépit du fait qu'aucun seuil au-dessus duquel les effets du bruit aérien commencent à affecter les performances des enfants n'ait été identifié, Stansfeld & Clark (2015) rapportent qu'une augmentation de 5 dB ($LA_{eq,16h}^1$) au-dessus du seuil

de 55 dB est associée à une diminution de la compréhension en lecture. En termes d'impact, cela équivaldrait à un retard d'apprentissage de la lecture de deux mois pour les enfants fréquentant les 29 écoles sélectionnées au Royaume-Uni et d'un mois pour les 33 sélectionnées au Pays-Bas² (Clark et al., 2006 cités dans Stanfeld & Clark, 2015).

L'étude transversale de Haines et al. (2002) sur 11 000 enfants en sixième année dans 123 écoles primaires à proximité de l'aéroport de Londres-Heathrow repose sur une analyse multiniveau différente. Comparativement à l'étude précédente, les auteurs évaluent la performance des élèves en mobilisant les résultats de plusieurs tests (écriture, orthographe, rédaction, lecture, mathématique et sciences) du *Department for Education and Employment* (DfEE). Par contre, seuls l'âge et le sexe sont introduits au niveau individuel. Autre différence notable, ne disposant pas des caractéristiques socioéconomiques des élèves, trois variables sont introduites au niveau de l'école: le pourcentage d'enfants n'ayant pas l'anglais comme langue principale parlée à la maison, le pourcentage d'enfants ayant des besoins spéciaux et le pourcentage d'élèves éligibles aux repas scolaires gratuits (ce dernier comme proxy de défavorisation socioéconomique). Finalement, les niveaux d'exposition au bruit des avions au sein des écoles ont été extraits des cartes de contours de bruit de l'aéroport de Londres-Heathrow ($LA_{eq,16h}$). Les auteurs avancent deux principaux résultats. Premièrement, les écoles exposées à des niveaux élevés de bruit aérien accueillent proportionnellement une clientèle plus défavorisée et allophone, soit avec des pourcentages plus élevés d'enfants éligibles aux repas scolaires gratuits et n'ayant pas l'anglais comme langue principale parlée à la maison. Ce résultat soulève donc un enjeu d'équité environnementale. Deuxièmement, l'exposition au bruit affecte uniquement la performance en lecture et en mathématique. Toutefois, une fois contrôlé le pourcentage d'élèves éligibles aux repas scolaires gratuits dans un second modèle, cette association n'est plus significative. Cela démontre qu'il faut impérativement contrôler les caractéristiques socioéconomiques – au niveau individuel ou de l'école – afin d'obtenir une estimation non biaisée de l'impact du bruit aérien sur la performance scolaire des enfants.

Les études longitudinales basées sur des données individuelles

Dans ce courant d'études beaucoup plus rares, Hygge et al. (2002) étudient deux groupes expérimentaux d'enfants du primaire (326 enfants âgés de 8 à 12 ans) exposés soit à l'ancien, soit au nouvel aéroport international de Munich. Chacun de ces deux groupes est apparié à un groupe de contrôle peu exposé au bruit aérien et partageant des caractéristiques sociodémographiques similaires. Trois vagues de collecte ont été réalisées dans le cadre de cette recherche: six mois avant et puis un et deux ans après le changement d'aéroport. Durant ces trois collectes, les niveaux de bruit aérien ont été mesurés à l'aide de sonomètres ($LA_{eq,24h}^3$) et les élèves ont passé quatre tests (lecture, mémoire, attention générale et perception de la parole). Parmi les quatre indicateurs de performance, les résultats de leurs analyses de variance multivariée démontrent que l'exposition au bruit est associée significativement à une baisse de la mémoire à long terme et à une moins bonne compréhension en lecture chez les enfants des groupes plus fortement exposés au bruit aérien comparativement à ceux qui le sont peu. L'analyse longitudinale révèle deux résultats intéressants. Pour les élèves proches de l'ancien aéroport, les résultats des tests d'attention et de mémoire se sont significativement améliorés deux ans après sa fermeture. À l'inverse, pour ceux à proximité du nouvel aéroport, on assiste à une diminution des résultats aux tests de mémoire, de lecture et de perception de la parole (les effets étant aussi plus marqués après deux ans comparativement à la première année). Ainsi, cette étude suggère que d'une

¹ $LA_{eq,16h}$: Niveau de bruit équivalent continu pondéré A sur une période de 16 heures.

² Aucune donnée sur le retard d'apprentissage n'est disponible pour les écoles de Madrid.

³ $LA_{eq,24h}$: Niveau de bruit équivalent continu pondéré A sur une période de 24 heures (valeur exprimée en dB(A)).

part, les effets du bruit aérien sur la performance scolaire peuvent être réversibles; et d'autre part, qu'il faut un certain temps d'exposition au bruit aérien pour que les effets sur la performance scolaire se manifestent.

Les études transversales basées sur des données agrégées au niveau des écoles

Finalement, le troisième courant est associé à l'utilisation de données agrégées au niveau des écoles. Une des premières études au sein de ce courant est celle Green et al. (1982) qui s'intéresse à l'impact du bruit aérien sur la réussite scolaire au sein de 362 écoles publiques à New York. Pour ce faire, ils utilisent les contours des cartes NEF 30 et NEF 40⁴ des aéroports John F. Kennedy et de LaGuardia. Les variables dépendantes, relatives à la non-réussite scolaire, sont les pourcentages d'élèves dont les résultats aux tests de lecture les plaçaient soit un an ou plus en dessous de leur année scolaire, soit deux ans ou plus en dessous de leur niveau scolaire (pour des élèves de la deuxième à la sixième année du primaire). Les variables de contrôle sont, entre autres, les pourcentages d'élèves éligibles aux programmes de repas gratuits, les pourcentages d'élèves issus de minorités raciales (portoricaine, autre hispanique, afro-américaine, orientale et amérindienne) et le ratio élèves-enseignant. Toutes choses étant égales par ailleurs, les résultats des régressions linéaires montrent que dans les écoles localisées dans la zone NEF 40, le pourcentage d'élèves avec un retard en lecture d'un an ou plus est 3,6 % plus élevé que dans les écoles les moins exposées au bruit aérien (hors zone NEF 30).

Plus récemment, une étude transversale a été menée aux États-Unis entre 2000 et 2009 autour des 46 principaux aéroports américains et de 6000 écoles (Sharp et al., 2014). D'emblée, signalons que les auteurs ont utilisé une base de données sur les résultats de tests scolaires agrégés au niveau de l'école et non au niveau individuel comme dans les études précédentes. Concrètement, il s'agit des moyennes des tests obtenues par les élèves de chaque école en lecture et en mathématique pour les trois premières années du primaire (1 à 3); il s'agit donc d'une étude sur la performance scolaire et non la réussite comme dans le cas de l'étude de Green et al. (1982). Les facteurs sociodémographiques sont aussi introduits au niveau de l'école, notamment le pourcentage d'étudiants éligibles à des repas gratuits ou à prix réduit (comme proxy de la défavorisation), le pourcentage d'enfants issus de groupes minoritaires (hispaniques, afro-américains et amérindiens). À cela s'ajoutent les niveaux de bruit aérien et si l'école est insonorisée ou non. Comme dans les études antérieures, l'introduction d'une variable liée à la qualité acoustique est pertinente puisqu'elle risque de diminuer significativement l'exposition au bruit aérien à l'intérieur du bâtiment. Les résultats démontrent que les écoles avec des niveaux de bruit aérien plus élevés ont des moyennes aux tests de mathématique et de lecture significativement plus faibles, quel que soit le grade. Aussi, parmi les écoles à proximité des aéroports, celles avec une insonorisation acoustique ont des moyennes aux tests significativement supérieures que celles sans insonorisation. Par conséquent, l'isolation acoustique des bâtiments scolaires est associée avec une meilleure performance scolaire.

QUESTIONS ET HYPOTHÈSES DE RECHERCHE

S'il semblerait se dégager un consensus dans la littérature scientifique sur le fait que les écoles plus exposées au bruit aérien accueillent proportionnellement plus d'élèves défavorisés, il n'y a pas forcément d'accord sur l'impact du bruit aérien sur la réussite ou la performance scolaire, une fois contrôlées les caractéristiques socio-démographiques et éventuellement de l'école (notamment la quali-

té et/ou l'insonorisation sonore). Notons aussi qu'à notre connaissance, aucune étude en équité environnementale ne s'est penchée sur l'exposition au bruit aérien au sein des écoles dans le contexte canadien. Cette étude explore deux questions de recherche.

Les écoles primaires publiques desservant une forte proportion d'élèves issus de milieux défavorisés sont-elles exposées de manière disproportionnée à des niveaux de bruit aérien élevés dans la région métropolitaine de recensement (RMR) de Toronto? Autrement dit, les écoles primaires situées à proximité de l'aéroport international Lester B. Pearson de Toronto accueillent-elles une plus grande proportion d'élèves dont la langue maternelle est autre que la langue d'enseignement ou encore issus de milieux à plus forte concentration de familles à faible revenu?

Aussi, une fois contrôlés les facteurs socioéconomiques, les autres sources de bruit environnemental et la qualité du bâtiment, les écoles primaires publiques exposées à des niveaux de bruit aérien élevés présentent-elles des niveaux de réussite scolaire plus faibles en lecture, en écriture et en mathématique par rapport aux autres écoles primaires publiques de la RMR de Toronto?

Les hypothèses soutenues seraient que les écoles primaires desservant une forte proportion d'enfants issus de milieux défavorisés et dont la langue maternelle est autre que la langue d'enseignement sont exposées à des niveaux élevés de bruit aérien et que ces dernières présentent des niveaux de réussite scolaire plus faibles que le reste des écoles primaires publiques de la RMR de Toronto.

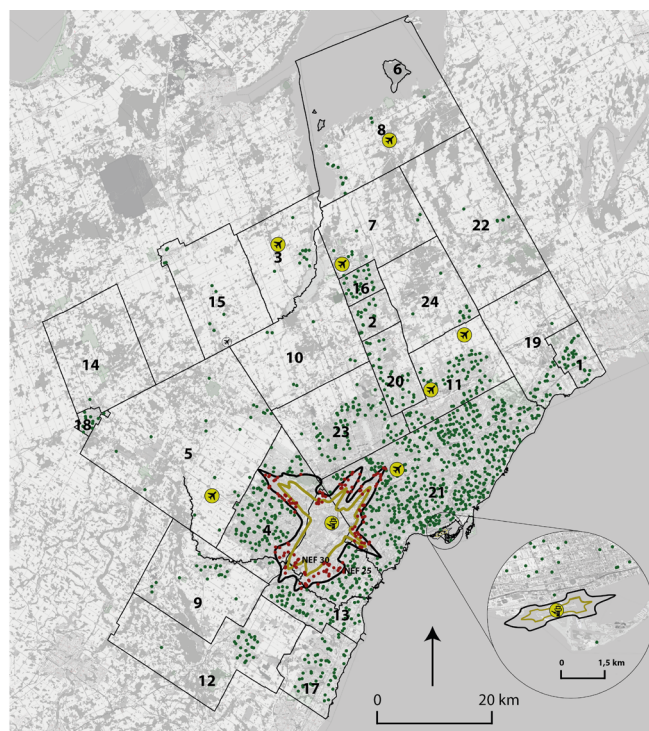
APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

Territoire d'étude : la région métropolitaine de Toronto

Le territoire d'étude est la plus grande région métropolitaine de recensement (RMR) au Canada, soit Toronto avec 5,93 millions d'habitants (Statistique Canada, 2016). Les proportions de jeunes de 5 à 14 ans, de personnes à faible revenu (MFR-AvI) et de minorités visibles dans la RMR de Toronto sont respectivement de 11,4 %, 15,6 % et de 51,4 % contre 11,2 %, 14,2 % et 22,3 % pour l'ensemble du Canada (Statistique Canada, 2016).

La RMR de Toronto comprend l'aéroport international Lester B. Pearson de Toronto qui est le plus grand aéroport au Canada. En 2017, plus de 467 103 mouvements d'aéronefs (Statistique Canada, 2017a) ont été recensés et environ 46 millions de passagers (Statistique Canada, 2017b) ont transité à l'aéroport international Lester B. Pearson de Toronto. Il est situé au nord-est de la municipalité de Mississauga, en plein cœur de la RMR de Toronto (figure 1). Les quartiers limitrophes à l'aéroport se caractérisent à la fois par des secteurs nantis situés dans la partie sud d'Etoibicoke à Toronto et la partie nord de Mississauga, mais aussi par des secteurs caractérisés par des immeubles d'appartements de grande dimension accueillant surtout des ménages à faible revenu et des immigrants récents (l'est de Mississauga et le nord d'Etoibicoke à Toronto). Notez que l'aéroport régional de Billy-Bishop à Toronto n'a pas été considéré dans cette étude, et ce, pour deux raisons principales. D'une part, cet aéroport régional n'accueille que des petits avions commerciaux; les nuisances sonores qu'il génère étant ainsi beaucoup limitées. D'autre part, étant situé sur l'île de Toronto, aucune école n'est localisée à proximité de cet aéroport (figure 1). De plus, les petits aéroports de Baldwin, Bradford, Brampton, Buttonville, Downsview, Markham et Tottenham/Volk n'ont pas été retenus: du fait de leur taille réduite, aucune courbe NEF n'est disponible.

⁴ NEF 30 et 40 : Pour une définition plus approfondie, se reporter à la section intitulée *les données sur le bruit aérien* dans la partie Approche méthodologique.

Figure 1. Le territoire à l'étude

Les données sur le bruit aérien

Pour identifier les zones caractérisées par des niveaux de bruit aérien élevés, nous utilisons les indicateurs préconisés au Canada (Transport Canada, 2013), à savoir les prévisions de l'ambiance sonore qui délimitent les zones de gêne sonore associée au bruit aérien autour d'un aéroport. Transport Canada fournit aux exploitants des aéroports le programme NEF (*Noise Exposure Forecast*) pour calculer les prévisions de l'ambiance sonore qui sont valables pour une période de cinq à dix ans. Une fois délimitées, les courbes NEF sont ensuite retournées et validées par Transport Canada.

5 dB(A): Unité de mesure du bruit exprimant le niveau sonore mesuré avec une pondération fréquentielle A qui permet de tenir compte de la sensibilité naturelle de l'oreille humaine. L'échelle des décibels varie de 0 à 130 dB(A). Le seuil d'audibilité pour l'oreille humaine est de l'ordre de 0 dB(A) et le seuil de douleur avoisine les 120 dB(A). Une augmentation du niveau sonore de 3 dB(A) correspond à multiplier l'intensité sonore par deux.

6 L_{dn} : Indicateur sonore pondéré sur 24h, mais corrigé de 10 dB(A) entre 22h et 7h.

7 L_{den} : Indicateur de bruit pondéré continu équivalent pondéré A pour une journée complète (d = jour(6h-18h), e = soir (18h-22h), n = nuit (22h-6h)).

8 L_n ou L_{night} : Indicateur de bruit moyen pondéré A pour la période nocturne (22h-6h) avec une correction de 10 dB(A) pour considérer la plus grande nuisance ressentie durant la nuit.

Pour l'aéroport international Lester B. Pearson de Toronto, deux courbes sont ainsi délimitées: NEF 25 et NEF 30 qui sont équivalentes à des niveaux de bruit moyen journalier d'environ 56,5 pour la première et environ 65 dB(A)⁵ pour la seconde (L_{dn} ⁶) (Bradley, 1996; Michaud et al., 2008; Egan, 2009). Ces niveaux sonores sont élevés. Il convient de préciser que les conséquences du bruit sur la santé et le bien-être varient en fonction de la source de bruit et de son intensité (dB(A)). Plus le bruit est fort, plus le nombre de décibels est élevé. À titre d'exemple, une conversation normale atteint en moyenne un niveau sonore de 55 dB(A), tandis qu'un avion au décollage à 300 mètres peut atteindre 120 dB(A) (Martin, Deshaies & Poulin, 2015). À partir d'une revue de la littérature dans le domaine du bruit environnemental, l'Organisation mondiale de la Santé recommande une valeur moyenne d'exposition au bruit des avions de 45 dB L_{den} ⁷ dans les secteurs résidentiels durant le jour et le soir et une valeur de 40 dB L_n ⁸ durant la nuit afin limiter les effets néfastes du bruit sur la santé (WHO, 2018). Toutefois, notons que dans une revue systématique récente sur le bruit aérien, Gjestland (2018) recommande une limite d'exposition de 53 dB L_{den} qui est relativement proche du seuil de la courbe NEF 25.

Pour cette étude, les courbes NEF 25 et NEF 30 ont été extraites du site Internet de l'aéroport international Lester B. Pearson (GTAA, 2018), puis géoréférencées dans un système d'information géographique (ArcGIS) (figure 1). Toutefois, la courbe NEF 30 n'a pas été retenue dans cette étude en raison du faible nombre d'écoles situées à l'intérieur de cette zone (n=13).

Identification des écoles primaires affectées par le bruit aérien

Afin de poser un diagnostic d'équité environnementale pour les enfants en milieu scolaire, il convient de localiser les écoles potentiellement impactées par le bruit aérien, soit celles qui sont situées dans la zone NEF 25. Pour ce faire, nous avons eu recours aux données disponibles sur le site du Gouvernement de l'Ontario et du Ministère de l'Éducation (Government of Ontario, 2019b) qui comportaient notamment des informations sur l'adresse et les effectifs des élèves de chaque établissement. Seules les écoles primaires publiques et catholiques financées par les fonds publics de l'Ontario ont été retenues dans cette étude. En Ontario, les écoles privées ne bénéficient d'aucune subvention du gouvernement, il est donc plus difficile, voire impossible, d'obtenir des données relatives aux caractéristiques socioéconomiques des élèves et sur la réussite scolaire de chaque école. Par la suite, les écoles primaires sélectionnées ont été géocodées dans un SIG (ArcGIS) à partir de leurs codes postaux. Finalement, nous avons amélioré leur localisation en positionnant les points au centre du bâtiment principal de chaque établissement scolaire. À cette fin, nous avons utilisé les couches de fond de carte de Google Maps et d'OpenStreetMap. Au total, 1420 écoles primaires publiques et catholiques de la RMR de Toronto ont été géolocalisées (figure 1), dans lesquelles 611 953 enfants sont inscrits de la maternelle à la 8^e année d'étude (5 à 14 ans) pour l'année scolaire 2017-2018.

Les variables retenues pour le diagnostic d'équité environnementale

Deux variables ont été retenues en lien avec notre première question de recherche pour caractériser chacune des 1420 écoles primaires publiques ou catholiques de la RMR de Toronto (tableau 1): 1) le pourcentage d'enfants dont la langue maternelle est autre que la langue d'enseignement qui fréquentent l'école et 2) le pourcentage estimé d'enfants issus de milieux défavorisés qui fréquentent l'école.

Rappelons que dans les études sur l'équité environnementale et le bruit aérien, les deux principaux groupes retenus sont les personnes à faible revenu et les minorités visibles ou certains groupes de ces dernières (personnes afro-américaines et hispaniques) (Sobotta et al., 2007; Ogneva-Himmelberger et Cooperman, 2010). Or, sur le site du Ministère de l'Éducation de l'Ontario, aucune variable relative au pourcentage d'enfants appartenant à ces groupes n'est disponible par école. À défaut de quoi, la variable sur la langue maternelle est employée comme proxy de personnes issues de l'immigration, à l'instar des travaux de Stansfeld et al. (2005) et Haines et al. (2002). Pour chaque école, nous avons extrait les données relatives au pourcentage d'enfants dont la langue maternelle est autre que la langue d'enseignement (l'anglais pour les écoles anglophones et le français pour les écoles francophones).

Quant à la variable liée au faible revenu, le pourcentage d'enfants issus de milieux défavorisés qui fréquentent l'école, elle est estimée à partir de données existantes du recensement de 2016 de Statistique Canada. Cette variable se base sur la mesure de faible revenu (MFR) de Statistique Canada. Le seuil de faible revenu correspond à la moitié de la médiane du revenu disponible des ménages. Cette mesure est ajustée pour tenir compte du nombre de personnes dans le ménage. Pour une école donnée, cette estimation est réalisée à partir d'une correspondance entre le code postal de résidence de chaque enfant qui fréquente l'école et les régions géographiques utilisées au recensement de la population de Statistique Canada (Ontario Ministry of Education, 2017a)⁹. Les données relatives à la langue maternelle sont quant à elles plus précises puisqu'elles sont collectées auprès de chaque élève par l'école puis communiquées au Ministère. Les deux variables ont été extraites du site du ministère de l'Éducation de l'Ontario pour l'année scolaire 2017-2018 (Government of Ontario, 2019b).

L'évaluation de l'équité environnementale

Pour vérifier si les écoles primaires desservant une forte proportion d'élèves dont la langue maternelle est autre que la langue d'enseignement et d'élèves issus de familles à faible revenu sont exposées de manière disproportionnée à des niveaux de bruit aérien élevés dans la RMR de Toronto, nous avons effectué des tests de Student sur des échantillons non appariés (test *t*), à l'instar d'autres études en équité environnementale (Carrier et al., 2014; Apparicio, Séguin & Dubé, 2016). Pour cela, nous avons comparé les valeurs moyennes pondérées par le nombre d'inscriptions par école primaire des deux variables sociodémographiques au niveau de chaque école. Deux groupes sont ainsi analysés : les écoles situées en dehors de la zone NEF 25 (Groupe 1) et les écoles situées à l'intérieur de cette zone NEF 25 (Groupe 2). L'analyse du test de Student suppose que la variable continue soit normalement distribuée, ce qui n'est pas toujours le cas. Par conséquent, nous avons aussi calculé le test non paramétrique de Wilcoxon-Mann-Whitney qui se base sur les rangs des observations et qui s'affranchit de l'hypothèse d'une distribution normale. Ces analyses de comparaisons de moyennes ont été réalisées dans le logiciel R (Team, 2013) avec le package *sjstats* (Lüdtke, 2018).

L'évaluation des effets du bruit aérien sur la réussite scolaire au primaire

En guise de rappel, dans la recension des écrits sur les effets de l'exposition chronique au bruit aérien sur la réussite et la performance scolaire, nous avons identifié trois courants d'études. Au même titre que l'étude de Sharp et al. (2014), ce travail constitue une étude transversale basée sur des données agrégées au niveau des

écoles. Pour évaluer les effets du bruit aérien sur la réussite scolaire au primaire, douze modèles de régression ont été construits. Signalement d'emblée que les observations sont les écoles pondérées par le nombre d'élèves inscrits.

Les variables dépendantes et la variable explicative

Six variables dépendantes mesurent la réussite scolaire et correspondent aux pourcentages d'élèves ayant atteint ou dépassé la norme provinciale¹⁰ de l'Office de la qualité et de la responsabilité en éducation (OQRE) en lecture, en écriture et en mathématique, respectivement pour la 3^e année et la 6^e année d'étude (8 et 11 ans) (tableau 1). Ces six variables ont été recueillies au niveau de chaque école pour l'année scolaire 2017-2018 (Government of Ontario, 2019b). Quant à la variable explicative, elle est dichotomique et indique si l'école est ou non située dans la zone NEF 25.

Les variables de contrôle relatives aux autres sources de bruit et à la qualité du bâtiment

Suite à la recension des écrits, nous avons retenu trois variables de contrôle : un indicateur de bruit routier (kilomètres de voies autoroutières et d'artères majeures dans un rayon de 300 mètres), un indicateur de bruit ferroviaire¹¹ (kilomètres de voies ferrées dans un rayon de 300 mètres) et un indicateur de la qualité du bâtiment (tableau 1). En effet, dans l'étude de Stansfeld et al. (2005), le bruit routier a été pris en compte comme variable de contrôle. Premièrement, à l'instar de l'étude de Carrier et al. (2014), nous avons calculé le nombre de kilomètres de tronçons autoroutiers, de voies collectrices, artérielles et express dans un rayon de 300 mètres autour de chaque école. Nous avons considéré une valeur de 300 mètres : les effets du bruit sont rarement ressentis au-delà de cette distance, car le bruit routier se confond avec le bruit ambiant (Ministère des Transports du Québec, 2016). Cet indicateur a été généré dans ArcGIS à partir d'une GéoBase disponible sur le site des données ouvertes du Gouvernement du Canada (Government of Canada, 2019). Nous avons retenu le seuil de 300 mètres, au-delà duquel le bruit routier s'estompe (Hokanson et al., 1981). De manière similaire, le nombre de kilomètres de voies ferrées dans un rayon de 300 mètres autour de chaque école a été calculé à partir des données géospatiales des voies ferrées de la carte d'occupation du sol du Gouvernement de l'Ontario (Government of Ontario, 2019a). D'ailleurs, le gouvernement de l'Ontario recommande que les utilisations des sols sensibles au bruit telles que les écoles doivent être situées à moins de 300 mètres d'une voie ferrée (Ontario Ministry of the Environment, 2013). Il est à noter que nous avons fait le choix délibéré de ne pas utiliser des cartes de bruit environnemental – notamment celle produite sous la direction de santé publique de la ville de Toronto (Toronto Public Health) (Oiamo et al., 2017) –, et ce, pour deux raisons. Premièrement, cette carte couvre uniquement le territoire de la Ville et non de la région métropolitaine de Toronto. Deuxièmement, cette carte de bruit environnemental – modélisation de type *Land use regression* à partir d'une collecte de mesure avec des sonomètres de types 2 – inclut ainsi toutes les sources de bruit, notamment routier, ferroviaire et aérien sans que l'on puisse les distinguer; cela risque d'être confondant avec les courbes NEF.

Aussi, au même titre que les travaux de Stansfeld et al. (2005) et de Sharp et al. (2014), nous avons utilisé comme proxy de la qualité du bâtiment, l'indice de l'état des installations scolaires (IEI) qui est une norme repère utilisée pour comparer l'état relatif d'un ensemble de bâtiments (Ontario Ministry of Education, 2017b). L'indice variant de 0 à 100 compare les besoins en réfection d'une infrastructure scolaire sur cinq ans par rapport aux coûts de reconstruction de cette

⁹ Cette approche qui consiste à utiliser des données de recensement pour construire des indicateurs de défavorisation et/ou de caractérisation du milieu socio-économique des écoles est somme toute classique au Canada. Elle est aussi utilisée notamment par le Ministère de l'Éducation du Québec (<http://www.education.gouv.qc.ca/references/indicateurs-et-statistiques/indices-de-defavorisation/>).

¹⁰ La norme provinciale équivaut à un B.

¹¹ En raison d'une distribution très fortement asymétrique, nous avons transformé l'indicateur de bruit ferroviaire en variable binaire (présence ou absence d'une voie ferrée dans un rayon de 300 mètres).

infrastructure. L'indice est calculé à partir de l'information recueillie au cours des inspections de chaque école. Plus l'indice est élevé, plus importants sont les besoins en matière de réparation et de réfection du bâtiment. Les données de l'IEI ont été récupérées et mises en correspondance à partir du numéro d'identification de chaque école. Malheureusement, nous ne disposons pas de données sur la qualité de l'isolation acoustique – sur la fenestration – des bâtiments scolaires. On peut supposer que plus l'indice de l'état des installations scolaires sera faible, plus l'isolation acoustique sera meilleure. Aussi, il est possible que la qualité des bâtiments scolaires ait un impact sur la réussite scolaire. Earthman (2002) souligne que les élèves fréquentant des écoles en meilleur état ont des rendements scolaires plus élevés que les élèves issus des écoles dont la qualité du bâtiment est inférieure.

Deux autres variables relatives au milieu scolaire

Outre les variables relatives au faible revenu et à la langue maternelle autre que la langue d'enseignement décrites plus haut et qui nous serviront à faire un diagnostic d'équité environnementale, nous avons retenu, à l'instar de travaux antérieurs (Haines et al., 2002; Stansfeld et al., 2005; Green et al., 1982 et Sharp et al., 2014), deux autres variables décrivant la clientèle scolaire, car elles sont susceptibles d'avoir un impact significatif sur la réussite scolaire. Il s'agit du pourcentage estimé d'enfants issus de milieux plus scolarisés (personnes avec une formation universitaire) et du pourcentage d'élèves ayant des besoins spéciaux (tableau 1). La première variable permet d'estimer la scolarité des parents et elle a été calculée de la même manière que la variable concernant le faible revenu.

La variable sur le pourcentage d'élèves ayant des besoins spéciaux nous renseigne sur la proportion d'élèves qui suivent des programmes de l'enfance en difficulté ou qui reçoivent des services à l'enfance en difficulté. Ces programmes visent les élèves ayant des besoins particuliers tels que des difficultés comportementales, communicationnelles, intellectuelles, physiques ou multiples (excluant les élèves identifiés comme doués). Les services de l'enfance en difficulté comprennent des aménagements, des soutiens ou des programmes pour les élèves qui ont besoin de méthodes d'ensei-

gnement différentes ou d'équipement spécial pour leur permettre de réussir à l'école.

Cette variable ainsi que celle du pourcentage estimé d'enfants issus de milieux plus scolarisés ont été extraites du site du ministère de l'Éducation de l'Ontario pour l'année scolaire 2017-2018 (Government of Ontario, 2019b).

Les douze modèles de régression

Dans un premier temps, nous avons construit six premiers modèles (un pour chacune des six variables dépendantes relatives à la réussite scolaire en lecture, en écriture et en mathématique, en 3^e et 6^e années), la variable explicative (NEF 25) et les variables de contrôle relatives aux autres sources de bruit et à la qualité du bâtiment. Ces modèles (annotés A), nous permettront de vérifier si les écoles primaires exposées à des niveaux de bruit aérien élevés présentent des niveaux de réussite scolaire plus faibles, une fois contrôlées les autres sources de bruit et la qualité du bâtiment.

Dans un second temps, nous avons ajouté à ces modèles les variables relatives au milieu scolaire. Avec ces six autres modèles (annotés B), nous verrons si l'impact du bruit aérien reste ou non significatif, une fois contrôlées les caractéristiques sociodémographiques du milieu scolaire.

LES RÉSULTATS

Des iniquités quant à l'exposition au bruit aérien des écoles primaires

L'analyse des données dans les SIG révèle que 128 écoles primaires dans lesquelles sont inscrits 55 042 écoliers sont situées dans la zone NEF 25, soit respectivement 9 % de l'ensemble des écoles primaires et 8,9 % des 611 953 élèves de Toronto.

Les résultats des tests de Student et de Mann-Whitney sont reportés au tableau 2. Ils révèlent des situations d'iniquités pour les écoles primaires de la RMR de Toronto quant à leur exposition au

Tableau 1. Statistiques descriptives pondérées par le nombre d'inscriptions par école primaire dans la RMR de Toronto

Variable	Zone	N	Moy.	SD	Min	Q1	Q2	Q3	Max
ElevesInsc	RMR	1 420	431	200	56	280	397	560	1482
	NEF25	128	430	175	82	292	414	547	952
FaibRev	RMR	1 420	17,4	12,2	0,0	9,8	14,9	23,6	62,7
LMaLE	RMR	1 387	39,8	22,6	1,8	20,5	39	57,4	94,8
ParEtuUniv	RMR	1 420	54,8	17,3	0,0	42,7	54,2	67,6	97,2
SerEnfDif	RMR	1 420	14,2	7,7	0,0	9,3	12,4	16,8	100,0
IEI	RMR	1 420	26,4	24,8	0,0	3,0	22,0	44,0	121,0
ACE (km)	RMR	1 420	2,5	3,0	0,0	0,8	1,77	3,1	50,1
Rail (km)	RMR	1 420	0,1	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	9,9
Lecture3	RMR	1 252	77,7	12,2	22,0	70,0	79,0	87,0	100,0
Lecture6	RMR	1 132	84,4	9,9	33,0	79,0	86,0	92,0	100,0
Ecriture3	RMR	1 252	76,1	13,5	21,0	68,0	78,0	86,0	100,0
Ecriture6	RMR	1 132	84,1	10,4	31,0	78,0	86,0	92,0	100,0
Math3 (%)	RMR	1 285	64,0	15,7	6,0	53,0	66,0	76,0	100,0
Math6 (%)	RMR	1 131	53,8	18,4	0,0	41,0	54,0	67,0	100,0

N : nombre d'observations (écoles). **ElevesInsc** : nombre d'élèves inscrits dans chaque école primaire. **FaibRev** : pourcentage estimé d'enfants issus de familles à faible revenu. **LMaLE** : pourcentage d'enfants dont la langue maternelle est autre que la langue d'enseignement. **ParEtuUniv** : pourcentage estimé d'enfants issus de milieux plus scolarisés (parents avec une formation universitaire). **SerEnfDif** : pourcentage des élèves qui suivent des programmes de l'enfance en difficulté ou reçoivent des services à l'enfance en difficulté. **IEI** : indice de l'état des installations scolaire est une norme repère utilisée pour comparer l'état relatif d'un ensemble de bâtiments. Plus l'IEI est élevé, plus les besoins en matière de réparation et de réfection sont importants. **ACE** : Nombre de kilomètres de voies autoroutières, collectrices, artérielles et express dans un rayon de 300 m autour de chaque école. **Rail** : Nombre de kilomètres de voies ferrées dans un rayon de 300 m autour de chaque école. **Lecture3/Ecriture3/Math3** : pourcentage d'élèves de 3^e année ayant atteint ou dépassé la norme provinciale au test de l'Office de la qualité et de la responsabilité en éducation (OQRE) en lecture/écriture/mathématique pour l'année 2017-2018. **Lecture6/Ecriture6/Math6** : pourcentage d'élèves de 6^e année ayant atteint ou dépassé la norme provinciale au test de l'Office de la qualité et de la responsabilité en éducation (OQRE) en lecture/écriture/mathématique pour l'année 2017-2018.

bruit aérien. À un seuil de significativité de 0,05, les écoles primaires situées dans la zone NEF 25 affichent des moyennes supérieures pour le pourcentage estimé d'enfants issus de milieux défavorisés (FaibRev) par rapport au reste des écoles primaires de la RMR de Toronto (19,9 % versus 17,2 %, une différence significative de 2,7 [IC 95 %: -4,8 -0,6]). Concernant le pourcentage d'enfants dont la langue maternelle est autre que la langue d'enseignement (LMaLE), le constat est identique avec des moyennes bien supérieures pour les écoles primaires situées dans la zone NEF 25 par rapport au reste

des écoles primaires de la RMR (39 % versus 47,4 %, une différence significative de 8,4 [IC 95 %: -11,8 -5,0]). En résumé, les tests de différences de moyennes révèlent que les enfants fréquentant les écoles primaires situées à proximité de l'aéroport international Lester B. Pearson de Toronto et exposés à des niveaux élevés de bruit aérien (NEF 25) sont issus de ménages plus défavorisés, et plus souvent d'une langue maternelle autre que la langue d'enseignement.

Une situation contrastée en termes de réussite scolaire

Les résultats des douze modèles de régression pour la réussite en lecture, écriture et mathématiques sont présentés aux tableaux 3 à 5. Avant d'analyser en détail les coefficients, signalons que la qualité d'ajustement des modèles (AIC) est, sans surprise, meilleure pour les modèles complets (modèles B) par rapport aux modèles incorporant seulement les indicateurs de bruit aérien, routier et ferroviaire et l'indice de l'état du bâtiment (modèles A). Aussi, il n'y a pas de problème de multicollinéarité excessive puisque la valeur maximale du facteur d'inflation de la variance entre les variables indépendantes est de 1,49. Les valeurs plus élevées du R² et du R² ajusté des modèles complets appuient ce constat. Par ailleurs, on distingue également que les modèles sont légèrement meilleurs pour les tests des élèves de 6^e année (6A et 6B) comparativement aux modèles des élèves de 3^e année (3A et 3B), en raison d'un AIC plus faible.

Les modèles A permettent de vérifier si les écoles situées dans la zone NEF 25 présentent des niveaux de réussite scolaire plus faibles en lec-

Tableau 2. Comparaison des moyennes des indicateurs socioéconomiques pour les écoles dans et hors de la zone NEF 25, pondérées par le nombre d'inscriptions par école.

Groupe étudié ^a	Moyenne		Différence et significativité			
	G1	G2	Diff. [IC 95 %] ^b	d de Cohen	T-Test (P)	Mann-Whitney (P)
FaibRev (%)	17,2	19,9	-2,7 [-4,8 -0,6]	-0,225	0,013 ()	0,000
LMaLE (%)	39,0	47,4	-8,4 [-11,8 -5,0]	0,390	0,000	0,000

^a G1 : Écoles en dehors de la zone NEF / G2 : Écoles dans la zone NEF 25.

^b Intervalle de confiance à 95 % de la différence de moyenne.

Tableau 3. Résultats des modèles de régression pour la réussite scolaire en lecture

Variable dépendante : lecture en 3^e année (n = 1252)

	Modèle L3A			Modèle L3B		
	Coef.	IC 95% ^a	P	Coef.	IC 95% ^a	P
Constante	80,497	[79,40 81,59]	0,000	71,349	[68,00 74,29]	0,000
NEF25	-2,535	[-4,90 -0,17]	0,036	0,335	[-1,93 2,29]	0,870
ACE (km)	-0,243	[-0,47 -0,02]	0,031	0,138	[-0,06 0,34]	0,176
Rail (binaire)	-4,177	[-6,91 -1,44]	0,003	-2,531	[-4,98 -0,09]	0,043
IEI (%)	-0,071	[-0,10 -0,04]	0,000	-0,032	[-0,06 -0,01]	0,017
FaibRev (%)				-0,219	[-0,28 -0,16]	0,000
LMaLE (%)				0,017	[-0,01 -0,04]	0,242
ParEtuUniv (%)				0,238	[0,20 0,28]	0,000
SerEnfDif (%)				-0,195	[-0,29 -0,10]	0,000
R ²	0,035			0,260		
R ² ajusté	0,032			0,255		
AIC	9912			9345		

Variable dépendante : lecture en 6^e année (n = 1132)

	Modèle L6A			Modèle L6B		
	Coef.	IC 95% ^a	P	Coef.	IC 95% ^a	P
Constante	87,014	[86,11 -87,92]	0,000	79,169	[76,61 81,73]	0,000
NEF25	-2,947	[-5,19 -0,71]	0,010	-0,412	[-2,32 1,49]	0,671
ACE (km)	-0,391	[-0,57 -0,21]	0,000	-0,008	[-0,15 0,16]	0,924
Rail (binaire)	-0,709	[-3,01 1,59]	0,546	0,703	[-1,26 2,66]	0,482
IEI (%)	-0,058	[-0,08 -0,04]	0,000	-0,008	[-0,03 0,01]	0,480
FaibRev (%)				-0,241	[-0,29 -0,19]	0,000
LMaLE (%)				0,039	[0,02 0,06]	0,001
ParEtuUniv (%)				0,203	[0,17 0,23]	0,000
SerEnfDif (%)				-0,229	[-0,30 -0,16]	0,000
R ²	0,049			0,340		
R ² ajusté	0,045			0,335		
AIC	8476			7888		

^a Intervalle de confiance du coefficient à 95 %.

ture (modèles L3A et L6A, tableau 3), en écriture (E3A et E6A, tableau 4) et en mathématique (M3A et M6A, tableau 5), une fois contrôlées les autres sources de bruit environnemental et la qualité du bâtiment, soit respectivement la longueur des tronçons autoroutiers, de voies collectrices et artérielles et express (ACE) et la présence de voies ferrées à l'intérieur d'un rayon de 300 m autour de chaque école primaire et l'indice de l'état des installations (IEI). La lecture des coefficients pour ces modèles démontre qu'en moyenne, les écoles situées dans la zone NEF 25 présentent des niveaux de réussite significativement plus faibles (au seuil de 0,05) : -2,535 [IC 95% : -4,90; -0,17] (modèle L3A), -2,947 [-5,19; -0,71] (modèle L6A), -3,306 [-5,91; -0,71] (modèle E3A), -2,636 [-4,97; -0,31] (modèle E6A), -5,833 [-8,90; -2,77] (modèle M3A), -6,081 [-10,27; -1,89] (modèle M6A). En guise d'exemple, cela signifie qu'une école située dans une zone NEF aura en moyenne un pourcentage de réussite en lecture en 3^e année de -2,535 plus faible comparativement à une école localisée hors d'une zone NEF 25, une fois contrôlées les autres sources de bruit environnemental et la qualité du bâtiment. On relève également plusieurs associations significativement négatives pour les variables de contrôle relatives à la qualité du bâtiment, et aux proxys du bruit routier et ferroviaire.

Toutefois, ces associations négatives pour la réussite aux tests de lecture, écriture et de mathématique pour les élèves de 3^e et 6^e années et l'exposition au bruit aérien (NEF 25) tiennent-elles toujours une fois contrôlées les variables socioéconomiques (soit les modèles L3B, L6B, E3B, E6B, M3B et M6B) ?

D'emblée, il est possible de constater que les associations deviennent non significatives pour l'indicateur du bruit aérien (NEF 25). En revanche, on peut observer que pour l'indicateur du bruit ferroviaire, il y a une association significativement négative en lecture (-2,531 [-4,98; -0,09] pour le modèle L3B, Tableau 3) et en écriture (-3,499 [-6,33; -0,67] pour le modèle E3B, Tableau 4). La variable de la qualité du bâtiment reste significativement négative en lecture (-0,032 [-0,06; -0,01] pour le modèle L3B, Tableau 3) et en écriture (respectivement -0,064 [-0,09; -0,03] et -0,037 [-0,06; -0,01] pour les modèles E3B et E6B, Tableau 4). Concernant l'influence des caractéristiques du milieu scolaire sur la réussite scolaire, les résultats sont contrastés. D'une part, bien que faibles, les coefficients sont tous significatifs et négatifs pour le pourcentage estimé d'enfants issus de familles à faible revenu (FaibRev) et le pourcentage des élèves qui suivent des programmes de l'enfance en difficulté ou reçoivent des services à l'enfance en difficulté (SerEnfDif). Aussi, on constate que les coefficients sont positifs et significatifs pour la variable des enfants issus de milieux plus scolarisés (avec une formation universitaire). D'autre part, contrairement à notre hypothèse de départ, le pourcentage d'enfants qui fréquentent l'école et dont la langue maternelle est autre que la langue d'enseignement (LMaLE) est associé positivement et significativement avec la réussite en lecture (0,039 [0,02, 0,06] pour le modèle L6B, Tableau 3), en écriture (0,046 [0,02, 0,07] pour le modèle E6B, Tableau 4) et en mathématique (0,067 [0,03, 0,10] et 0,192 [0,15, 0,23] respectivement pour les modèles M3B et M6B, Tableau 5).

Tableau 4. Résultats des modèles de régression pour la réussite scolaire en écriture

Variable dépendante : écriture en 3 ^e année (n = 1252)						
	Modèle E3A			Modèle E3B		
	Coef.	IC 95% ^a	P	Coef.	IC 95% ^a	P
Constante	79,559	[78,36 -80,76]	0,000	71,844	[68,21 75,48]	0,000
NEF25	-3,306	[-5,91 -0,71]	0,013	-1,106	[-3,55 1,34]	0,374
ACE (km)	-0,173	[-0,42 -0,07]	0,164	0,145	[-0,09 0,38]	0,220
Rail (binaire)	-4,967	[-7,98 -1,96]	0,001	-3,499	[-6,33 -0,67]	0,015
IEI (%)	-0,100	[-0,13 -0,07]	0,000	-0,064	[-0,09 -0,03]	0,000
FaibRev (%)				-0,182	[-0,25 -0,11]	0,000
LMaLE (%)				0,023	[-0,01 0,06]	0,161
ParEtuUniv (%)				0,202	[0,16 0,25]	0,000
SerEnfDif (%)				-0,218	[-0,33 -0,11]	0,000
R ²	0,047			0,186		
R ² ajusté	0,044			0,181		
AIC	10150			9701		

Variable dépendante : écriture 6 ^e année (n = 1132)						
	Modèle E6A			Modèle E6B		
	Coef.	IC 95% ^a	P	Coef.	IC 95% ^a	P
Constante	87,338	[86,40 88,28]	0,000	78,891	[76,16 81,62]	0,000
NEF25	-2,636	[-4,97 -0,31]	0,027	-0,226	[-2,25 1,80]	0,827
ACE (km)	-0,374	[-0,56 -0,19]	0,000	0,010	[-0,16 0,18]	0,908
Rail (binaire)	-0,903	[-3,30 1,49]	0,460	0,486	[-1,60 2,57]	0,648
IEI (%)	-0,083	[-0,11 -0,06]	0,000	-0,037	[-0,06 -0,01]	0,001
FaibRev (%)				-0,212	[-0,27 -0,16]	0,000
LMaLE (%)				0,046	[0,02 0,07]	0,000
ParEtuUniv (%)				0,204	[0,17 0,24]	0,000
SerEnfDif (%)				-0,233	[-0,30 -0,16]	0,000
R ²	0,063			0,315		
R ² ajusté	0,060			0,310		
AIC	8565			8026		

^a Intervalle de confiance du coefficient à 95%.

Tableau 5. Résultats des modèles de régression pour la réussite scolaire en mathématique

Variable dépendante : mathématique en 3 ^e année (n = 1285)						
	Modèle M3A			Modèle M3B		
	Coef.	IC 95% ^a	P	Coef.	IC 95% ^a	P
Constante	67,722	[66,34 69,11]	0,000	52,097	[48,34 55,85]	0,000
NEF25	-5,833	[-8,90 -2,77]	0,000	-1,795	[-4,37 0,78]	0,171
ACE (km)	-0,393	[-0,68 -0,11]	0,007	0,158	[-0,08 0,40]	0,200
Rail (binaire)	-4,539	[-7,98 -1,10]	0,010	-1,644	[-4,54 1,26]	0,266
IEI (%)	-0,084	[-0,12 -0,05]	0,000	-0,017	[-0,05 0,01]	0,294
FaibRev (%)				-0,303	[-0,37 -0,23]	0,000
LMaLE (%)				0,067	[0,03 0,10]	0,000
ParEtuUniv (%)				0,363	[0,32 0,41]	0,000
SerEnfDif (%)				-0,383	[-0,49 -0,27]	0,000
R ²	0,039			0,349		
R ² ajusté	0,036			0,345		
AIC	10821			10066		

Variable dépendante : mathématique en 6 ^e année (n = 1131)						
	Modèle M6A			Modèle M6B		
	Coef.	IC 95% ^a	P	Coef.	IC 95% ^a	P
Constante	57,618	[55,93 -59,31]	0,000	33,135	[28,22 38,05]	0,000
NEF25	-6,081	[-10,27 -1,89]	0,004	-2,648	[-6,30 1,00]	0,154
ACE (km)	-0,514	[-0,85 -0,18]	0,003	0,048	[-0,25 0,35]	0,753
Rail (binaire)	-1,654	[-5,96 2,65]	0,451	0,714	[-3,04 4,47]	0,709
IEI (%)	-0,081	[-0,12 -0,04]	0,000	-0,018	[-0,06 0,02]	0,395
FaibRev (%)				-0,319	[-0,42 -0,22]	0,000
LMaLE (%)				0,192	[0,15 0,23]	0,000
ParEtuUniv (%)				0,401	[0,34 0,46]	0,000
SerEnfDif (%)				-0,194	[-0,32 -0,06]	0,000
R ²	0,031			0,287		
R ² ajusté	0,027			0,282		
AIC	9884			9319		

^a Intervalle de confiance du coefficient à 95 %.

DISCUSSION

Une situation doublement inéquitable pour les écoles primaires desservant une forte proportion d'enfants issus de milieux défavorisés

À la lumière des résultats, cette étude montre que les enfants scolarisés dans les écoles primaires exposées à des niveaux élevés de bruit aérien dans la RMR de Toronto sont issus de milieux plus défavorisés et ont plus souvent une langue maternelle autre que la langue d'enseignement. Nos résultats vont ainsi dans le même sens que ceux de Collins et al. (2019) aux États-Unis et dans une moindre mesure ceux de Haines et al. (2002) à Londres. La dimension géographique peut-être un élément d'explication. À l'intérieur de la zone NEF 25 (251,3 km²), on retrouve à la fois des secteurs nantis, mais aussi défavorisés. Les secteurs mieux nantis sont situés dans la première et la seconde couronne de banlieue telle que la partie sud-ouest d'Eto-bicoke à Toronto (les quartiers Eringate et Markland, par exemple), la partie nord de Mississauga (le district Meadowvale village), mais aussi dans la partie est et plus rurale de Brampton. En ce qui a trait aux secteurs défavorisés, ces derniers sont situés dans la première couronne de banlieue (le sud de Brampton, l'est de Mississauga et le nord-ouest de Toronto – le quartier Jane and Finch et la partie nord d'Eto-bicoke soit le district de Rexdale). Ces secteurs résidentiels suburbains se caractérisent par une présence importante d'immeubles d'appartement de grande dimension accueillant principalement des ménages à faible revenu et des immigrants (Walks & Bourne 2006).

À cela, s'ajoute le fait que les établissements scolaires sont en moins bon état dans la zone NEF 25 par rapport au reste de la zone d'étude. En effet, selon le test de Student, les écoles primaires situées dans la zone NEF 25 ont un IEI plus élevé (30 %) que dans le reste de la RMR (26,1 %), soit une différence significative de 3,9 points de pourcentage ($p = 0,039$). Cela peut s'expliquer, en partie, par l'âge moyen plutôt élevé des bâtiments scolaires en Ontario (38 ans) et par la baisse des investissements dans les infrastructures scolaires entre les années 1980 et 2000, ce qui a contribué à la hausse de l'indice de l'état des installations (IEI) (Ontario Ministry of Education, 2017b). Nos résultats révèlent ainsi l'existence d'une double iniquité potentielle en termes d'exposition au bruit aérien puisque les enfants issus de milieux défavorisés et de langue maternelle autre que celle d'enseignement sont plus largement surreprésentés dans les écoles primaires situées dans la zone NEF 25 et que ces dernières sont en moins bon état dans cette zone par rapport à l'ensemble des écoles primaires de la RMR de Toronto. À notre connaissance, de tels résultats n'ont pas été démontrés à ce jour dans le contexte canadien. Par ailleurs, une récente étude menée dans la municipalité de Toronto montre que durant les trajets scolaires des enfants à Toronto, ces derniers sont disproportionnellement exposés aux particules ultra-fines lorsqu'ils proviennent de ménages à faible revenu et d'immigrants (Elford & Adams, 2020). L'iniquité est d'autant plus forte dans les secteurs limitrophes à l'aéroport international Lester B. Pearson (nord-ouest de la ville de Toronto). Les auteurs suggèrent que l'activité aéroportuaire est une des principales causes des émissions de

particules ultrafines dans la région torontoise. À l'avenir, il serait donc intéressant de prendre en compte plusieurs sources de pollutions afin de prévenir le cumul d'iniquité.

Une situation contrastée en termes de réussite scolaire

Les écoles localisées dans la zone NEF 25 présentent des niveaux de réussite scolaire plus faibles dans la RMR de Toronto. Toutefois, une fois contrôlés les autres sources de bruit environnemental, la qualité du bâtiment et les facteurs socioéconomiques, cette association n'est plus significative. Cela corrobore d'ailleurs les résultats de Haines et al. (2002) à Londres.

Le mauvais état du bâtiment semble également avoir un impact sur la réussite scolaire en lecture et en écriture. Ces résultats vont dans le même sens que ceux de Sharp et al. (2014) démontrant que les écoles bénéficiant d'une insonorisation acoustique ont des moyennes aux tests en mathématique et en lecture significativement supérieures à celles sans insonorisation. Les installations plus anciennes et en mauvais état présentent souvent des problèmes liés à l'isolation thermique et sonore, car ces composants sont généralement absents ou de moindre qualité dans les bâtiments plus anciens (Earthman, 2002).

Aussi, les écoles où les proportions d'enfants issus de milieux défavorisés et d'enfants ayant des besoins éducatifs spéciaux sont plus élevées ont des niveaux de réussite scolaire plus faibles en littérature, écriture et en mathématique. À l'inverse, plus il y a d'enfants issus de milieux fortement scolarisés au sein de l'école, plus la réussite scolaire en lecture, écriture et en mathématique est élevée. Ces résultats soulignent que les élèves vivant dans les milieux défavorisés ont plus de difficulté scolaire, des constats déjà avancés dans la littérature (Nieuwenhuis & Hooimeijer, 2016). Au Canada, des chercheurs dans le domaine de l'éducation rappellent que la pauvreté est souvent associée à un déficit de capital culturel qui a un impact négatif sur la réussite ou la performance scolaire (Ledent et al., 2013; McAndrew et al., 2011). En revanche, le pourcentage, au niveau de l'école, d'enfants dont la langue maternelle est autre que la langue d'enseignement est associée positivement et significativement au taux de réussite scolaire en lecture, écriture et en mathématique. Là encore, ce résultat va dans la même direction que ceux des travaux de Ledent et al. (2013) et de McAndrew et al. (2011) sur la performance académique et la diplomation d'élèves au secondaire à Montréal, Toronto et Vancouver; ces auteurs concluaient que « les non-locuteurs de la langue dominante performant mieux que les locuteurs de cette même langue » (Ledent et al., 2013:35).

Les limites de la recherche

Il convient ici de signaler certaines limites inhérentes à cette étude. Cette recherche repose sur l'utilisation des courbes NEF qui ne sont pas des mesures d'exposition, mais bien des prévisions du niveau de gêne sonore. Les courbes NEF n'indiquent pas les niveaux d'exposition réelle des écoliers pendant les heures de classe. Par ailleurs, étant donné que ce sont des prévisions, il se peut que les courbes NEF utilisées dans cette étude surestiment ou sous-estiment les niveaux de gêne sonore associés au trafic actuel.

Une autre limite réside dans l'utilisation de nos deux indicateurs de bruit routier et ferroviaire. En effet, d'autres sources de bruit potentielles telles que les industries auraient pu être prises en compte. Aussi, nous avons considéré un rayon de 300 mètres autour de chaque école primaire pour calculer la concentration des tronçons routiers et ferroviaires comme proxy du bruit. Dès lors, nous n'avons pas considéré les niveaux d'exposition réelle des écoliers et à toutes les sources potentielles de bruit pendant une période donnée. Cela introduit une certaine imprécision dans nos estimations du bruit à l'école. Il serait donc intéressant dans les futures études d'utiliser des mesures d'exposition à partir d'appareils de mesure de bruit en temps réel.

En ce qui concerne l'indice de l'état des installations (IEI), une des contraintes de cet indicateur est qu'il n'indique pas précisément si les bâtiments ont des lacunes en matière d'isolation phonique (indice basé sur une évaluation visuelle). Dans le futur, il pourrait donc être intéressant de mener des mesures plus précises à ce sujet.

Enfin, comme pour les travaux de Green et al. (1982) et Sharp et al. (2014), notre étude n'est pas basée sur des données individuelles sur la réussite scolaire qui sont difficilement accessibles, mais sur des données agrégées au niveau des écoles primaires. Dès lors, il se peut que les données au niveau des écoles ne soient pas parfaitement représentatives de la réalité. C'est notamment le cas pour les données relatives au niveau de réussite scolaire de l'Office de la qualité et de la responsabilité en éducation (OQRE), certains résultats n'étant pas diffusés en raison d'un nombre limité de participants par école. En effet, l'information sur la réussite scolaire des élèves n'est pas disponible si moins de 10 élèves ont participé à l'évaluation.

Nous avons pu démontrer que les écoles primaires localisées dans la zone NEF 25 présentent des taux de réussite plus faibles. Rappelons toutefois qu'une association obtenue avec des données agrégées ne peut pas nous permettre de conclure à une influence directe au niveau individuel, car l'agrégation des données entraîne une perte d'information. Cette erreur d'interprétation dite erreur écologique (*ecological fallacy*) tend à laisser penser que les associations entre les groupes s'appliquent à chaque individu (Robinson, 1950). Nos résultats gagneraient à être corroborés à partir d'analyses reposant sur des données individuelles.

CONCLUSION

Dans cet article, nous avons posé un diagnostic d'équité environnementale à l'égard des écoles primaires quant aux niveaux de bruit aérien. Les résultats obtenus à Toronto démontrent que les écoles primaires avec des niveaux plus élevés de bruit aérien – c'est-à-dire localisées dans la zone NEF 25 – accueillent une clientèle plus souvent issue de milieux défavorisés et dont la langue maternelle est autre que la langue d'enseignement. En outre, leurs bâtiments présentent des indices de qualité plus faibles. Concernant la réussite scolaire, les écoles localisées dans la zone NEF présentent des taux de réussite significativement plus faibles en lecture, écriture et mathématique en 3^e et 6^e année du primaire. Par contre, une fois contrôlées les caractéristiques sociodémographiques, le bruit aérien n'est plus significativement associé à des taux de réussite plus faibles.

Les écoles dans la zone NEF 25 pourraient faire l'objet d'un ciblage particulier, et ce, afin de mettre en place des mesures de surveillance et de mitigation du bruit, notamment aérien. D'une part, il conviendrait de mesurer précisément les niveaux de bruit à l'aide de sonomètres sur la cour d'école et dans les salles de classe. D'autre part, des investissements pourraient être consacrés à l'amélioration de l'isolation phonique des bâtiments scolaires lorsque nécessaire. À cet effet, Transport Canada peut sanctionner les exploitants d'aéronefs qui ne se conforment pas aux restrictions acoustiques d'utilisation et aux procédures d'atténuation du bruit. Ces dernières sont publiées par NAV Canada dans le Canada Air Pilot et le Supplément de vol (publications à jour tous les 56 jours). « Les sanctions pour la violation de ces restrictions et procédures peuvent s'élever de 5000 \$ pour une personne et à 25 000 \$ pour une entreprise » (Transport Canada, 2018). Ces contraventions pourraient servir à financer l'amélioration de l'isolation phonique des bâtiments scolaires.

Financement : Cette recherche a été financée par la Chaire de recherche du Canada en équité environnementale (950-230813) et le Fonds de Recherche Société et Culture Québec.

BIBLIOGRAPHIE

- Amram, O., R. Abernethy, M. Brauer, H. Davies, & R. Allen. (2011). Proximity of public elementary schools to major roads in Canadian urban areas. *International Journal of Health Geographics*, 10(1): 1-11.
- Apparicio, P., A.-M. Séguin & J. Dubé. (2016). Spatial distribution of vegetation in and around city blocks on the Island of Montreal: A double environmental inequity? *Applied Geography*, 76: 128-136.
- Audrin, T., Apparicio, P., Séguin, A. M., & Gelb, J. (2020). Bruit aérien et équité environnementale dans les quatre plus grandes métropoles canadiennes. *The Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, 64(1): 155-168.
- Basner, M., W. Babisch, A. Davis, M. Brink, C. Clark, S. Janssen, & S. Stansfeld. (2014). Auditory and non-auditory effects of noise on health. *The Lancet*, 383(9925): 1325-1332.
- Basner, M., C. Clark, A. Hansell, J.I. Hileman, S. Janssen, K. Shepherd, & V. Sparrow. (2017). Aviation noise impacts: state of the science. *Noise & Health*, 19(87): 41.
- Bradley, J.S. (1996). NEF Validation Study: (3) Final Report.
- Bradley, R. H., & R. F. Corwyn. (2002). Socioeconomic status and child development. *Annual review of psychology*, 53(1), 371-399.
- Brainard, J.S., A.P. Jones, I.J. Bateman, & A.A. Lovett. (2004). Exposure to environmental urban noise pollution in Birmingham, UK. *Urban Studies*, 41(13): 2581-2600.
- Carrier, M., P. Apparicio, A.-M. Séguin & D. Crouse. (2014). The application of three methods to measure the statistical association between different social groups and the concentration of air pollutants in Montreal: a case of environmental equity. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 30: 38-52.
- Carrier, M., P. Apparicio, A.-M. Séguin, & D. Crouse. (2019). School locations and road transportation nuisances in Montreal: An environmental equity diagnosis. *Transport policy*, 81: 302-310.
- Clark, C., R. Martin, E. Van Kempen, T. Alfred, J. Head, H.W. Davies, M.M. Haines, I.L. Barrio, M. Matheson & S.A. Stansfeld. (2006). Exposure-effect relations between aircraft and road traffic noise exposure at school and reading comprehension: the RANCH project. *Am J Epidemiol*, 163: 27-37.
- Clark, C., R. Crombie, J. Head, I. Van Kamp, E. Van Kempen, & S.A. Stansfeld. (2012). Does traffic-related air pollution explain associations of aircraft and road traffic noise exposure on children's health and cognition? A secondary analysis of the United Kingdom sample from the RANCH project. *American Journal of Epidemiology*, 176(4): 327-337.
- Cohen, J.P., C.C. Coughlin, & J.C. Crews. (2017). Airport Noise in Atlanta: The Inequality of Sound. *Federal Reserve Bank of Saint-Louis*.
- Collins, T.W., S. Grineski, & S. Nadybal. (2019). Social disparities in exposure to noise at public schools in the contiguous United States. *Environmental research*, 175: 257-265.
- Eagan, M.E. (2009). *Compilation of Noise Programs in Areas Outside DNL 65*, Transportation Research Board.
- Earthman, G.I. (2002). School facility conditions and student academic achievement. *U.C. Los Angeles: UCLA's Institute for Democracy, Education, and Access*.
- Elford, S., & Adams, M.D. (2020). Associations between socioeconomic status and ultrafine particulate exposure in the school commute: An environmental inequality study for Toronto, Canada. *Environmental Research*, 110224.
- Gjestland, T. (2018). A Systematic Review of the Basis for WHO's New Recommendation for Limiting Aircraft Noise Annoyance. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 2717.
- Government of Canada. (2019). *Open Governmental Portal*. En ligne : [<https://open.canada.ca/en>] (Consulté en octobre 2019).
- Government of Ontario. (2019a). *Ontario GeoHub*. En ligne : [<https://geohub.lio.gov.on.ca>] (Consulté en novembre 2019).
- Government of Ontario. (2019b). *School information and student demographics*. En ligne : [<https://data.ontario.ca/en/dataset/school-information-and-student-demographics>] (Consulté en octobre 2019).
- Green, K.B., B.S. Pasternack, & R.E. Shore. (1982). Effects of aircraft noise on reading ability of school-age children. *Archives of environmental health: an international journal*, 37(1): 141-145.
- Grineski, S.E., T.W. Collins & D.E. Adkins. 2020. Hazardous air pollutants are associated with worse performance in reading, math, and science among US primary schoolchildren. *Environmental Research*, 181: 108925.
- Grineski, S.E., & T.W. Collins. 2019. Lifetime cancer risks from hazardous air pollutants in US public school districts. *J Epidemiol Community Health*, 73(9): 854-860.
- Grineski, S.E., & T.W. Collins. 2018. Geographic and social disparities in exposure to air neurotoxicants at US public schools. *Environmental research*, 161: 580-587.
- GTAA. (2018). *Noise Exposure Forecast 2005*. En ligne : [<https://www.torontopearson.com/>] (Consulté en novembre 2019).
- Haines, M.M., S.A. Stansfeld, J. Head, & R.F. Job. (2002). Multilevel modelling of aircraft noise on performance tests in schools around Heathrow Airport London. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 56(2): 139-144.
- Hokanson, B., M. Minkoff, S. Nichols & S. Cowart. (1981). Measures of noise damage costs attributable to motor vehicle travel.
- Hygge, S., G.W. Evans, & M. Bullinger. (2002). A prospective study of some effects of aircraft noise on cognitive performance in schoolchildren. *Psychological Science*, 13(5): 469-474.
- Kruize, H., P.P. Driessen, P. Glasbergen, & K.N. Van Egmond. (2007). Environmental equity and the role of public policy: experiences in the Rijnmond region. *Environmental Management*, 40(4): 578-595.
- Ledent, J., C. Aman, B. Garnett, J. Murdoch, D. Walters & M. McAndrew. (2013). Academic performance and educational pathways of young allophones: A comparative multivariate analysis of Montreal, Toronto, and Vancouver. *Canadian Studies in Population [ARCHIVES]*, 40(1-2): 35-56.
- Lee, C. (1992). Toxic waste and race in the United States, in B. Bryant and P. Mohai (Eds.), *Race and the incidence of environmental hazards: a time for discourse*. Boulder, CO: Westview Press, 10-27.
- Lüdecke, D. (2018). sjstats: Statistical functions for regression models. *R package version 0.14.0*.
- Martin, R., P. Deshaies & M. Poulin. (2015). Avis sur une politique québécoise de lutte au bruit environnemental: pour des environnements sonores sains: Institut national de santé publique du Québec. <https://www.inspq.qc.ca/publications/2048>.
- McAndrew, M., B. Garnett, J. Ledent & R. Sweet. (2011). Les carrières scolaires des jeunes allophones à Montréal, Toronto et Vancouver: une analyse comparative. *Journal of International Migration and Integration*, 12(4): 495.
- Michaud, D.S., S.H. Bly & S.E. Keith. (2008). Using a change in percent highly annoyed with noise as a potential health effect measure for projects under the Canadian Environmental Assessment Act. *Canadian Acoustics*, 36, 13-28.
- Miedema, H.M., & C.G. Oudshoorn. (2001). Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL

and their confidence intervals. *Environmental Health Perspectives*, 109(4): 409.

Ministère des Transports du Québec. (2016). Devis de services professionnels: Réalisation d'une étude d'impact sonore. En ligne: [<https://www.transports.gouv.qc.ca/fr/entreprises-partenaires/entreprises-reseaux-routier/contrats/Documents/services-professionnels/devis-etude-impact-sonore.docx>] (Consulté en septembre 2020).

Nieuwenhuis, J., & P. Hooimeijer. (2016). The association between neighbourhoods and educational achievement, a systematic review and meta-analysis. *Journal of Housing and the Built Environment*, 31(2), 321-347.

Nega, T.H., L. Chihara, K. Smith, & M. Jayaraman. (2013). Traffic Noise and Inequality in the Twin Cities, Minnesota. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 19(3): 601-619.

Ogneva-Himmelberger, Y., & B. Cooperman. (2010). Spatio-temporal Analysis of Noise Pollution near Boston Logan Airport: Who Carries the Cost? *Urban Studies*, 47(1): 169-182.

Oiamo, T.H., H. Davies, & C. Rinner. (2017). Environmental Noise Study in the City of Toronto. *City of Toronto Public Health Project: Toronto, ON, Canada*.

Ontario Ministry of Education. (2017a). School Information Finder. En ligne: [<http://www.edu.gov.on.ca/eng/sift/faq.html>] (Consulté en octobre 2019).

———. (2017b). *School Facility Condition Index*. En ligne: [<http://www.edu.gov.on.ca/eng/parents/fci.html>] (Consulté en octobre 2019).

Ontario Ministry of the Environment. (2013). Environmental Noise Guideline - Stationary and Transportation Sources - Approval and Planning (NPC-300).

Robinson, W.S. (1950). Ecological Correlations and the Behavior of Individuals. *American Sociological Review*, 15(3).

Sampson, N. (2012). Environmental justice at school: understanding research, policy, and practice to improve our children's health. *Journal of School Health*, 82(5): 246-252.

Scholsberg, D. (2004). Reconceiving environmental justice: Global movements and political theories. *Environmental politics*, 13, 517-540.

Sharp, B., D. McLaughlin, C. Clark, & J. Hervey. (2014). Assessing Aircraft Noise Conditions Affecting Student Learning, Volume 1.

Sobotta, R.R., H.E. Campbell, & B.J. Owens. (2007). Aviation noise and environmental justice: The barrio barrier. *Journal of Regional Science*, 47(1): 125-154.

Stansfeld, S.A., & C. Clark. (2015). Health effects of noise exposure in children. *Current environmental health reports* 2 (2):171-178.

Stansfeld, S.A., B. Berglund, C. Clark, I. Lopez-Barrio, P. Fischer, E. Ohrström, M.M. Haines, J. Head, S. Hygge, I. van Kamp, & B.F. Berry. (2005). Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *The Lancet*, 365(9475): 1942-1949.

Stansfeld, S.A., & M. P. Matheson. (2003). Noise pollution: Non-auditory effects on health. *British Medical Bulletin*, 68(1): 243-257.

Statistique Canada. (2016). *Recensement de la population de 2016*. En ligne: [<https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/index-fra.cfm>] (Consulté en janvier 2020)

Statistique Canada. (2017a). Tableau 23-10-0018-01 Mouvements d'aéronefs, par classe de vol dans les aéroports dotés d'une tour de contrôle de NAV Canada, annuel.

Statistique Canada. (2017b). Tableau 23-10-0253-01 Trafic aérien de passagers aux aéroports canadiens, annuel.

Team, R Core. (2013). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria.

Transport Canada. (2013). *TP 1247F Aviation - Utilisation des terrains au voisinage des aéroports*. En ligne: [<http://www.tc.gc.ca/fra/aviationcivile/publications/tp1247-menu-1418.htm>] (Consulté en novembre 2019)

Transport Canada (2018). *Gestion du bruit des aéronefs*. En ligne: [<https://tc.canada.ca/fr/aviation/exploitation-aeroports-aero-dromes/gestion-bruit-aeronefs>] (Consulté en septembre 2020)

Van Kamp, I., & H. Davies. (2013). Noise and health in vulnerable groups: a review. *Noise and Health*, 15(64): 153.

Van Kempen, E., I. Van Kamp, R. Stellato, I. Lopez-Barrio, M. Haines, M. Nilsson, C. Clark, D. Houthuijs, B. Brunekreef, & B. Berglund. (2009). Children's annoyance reactions to aircraft and road traffic noise. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 125(2): 895-904.

Vincent, B., & X. Olry. (2012). Le bruit des transports, une nuisance, un impact majeur pour la population. 2268-3798.

Walker, G. (2009). Beyond distribution and proximity: exploring the multiple spatialities of environmental justice. *Antipode*, 41(4): 614-636.

Walker, G. (2012). *Environmental justice: concepts, evidence and politics*, Routledge.

Walks, A.R., & L.S. Bourne. (2006). Ghettos in Canada's cities? Racial segregation, ethnic enclaves and poverty concentration in Canadian urban areas. *The Canadian Geographer/Le Géographe Canadien*. 50 (3): 273-297.

WHO. (2011). Burden of disease from environmental noise – Quantification of healthy life years lost in Europe. Bonn, Germany.

WHO. (2018). Environmental Noise Guidelines for the European Region. Copenhagen, Denmark: WHO Regional Office for Europe.