



ÉCOLE DE GESTION
DÉPARTEMENT D'ÉCONOMIE
MÉMOIRE DE RECHERCHE

L'EFFET DES PARTICULES EN SUSPENSION ET LE DEGRÉ DE
RÉUSSITE ACADÉMIQUE D'ENFANTS D'ÂGE SCOLAIRE AU CANADA

Par :

Alex Héroux Messier
alex.heroux.messier@usherbrooke.ca

Dirigé par :

Martino Pelli , Ph.D.
martino.pelli@usherbrooke.ca

4 MAI 2022

1 Remerciement

La réalisation de ce mémoire a été rendue possible grâce à la collaboration des partenaires suivants :

- **Centre interuniversitaire québécois de statistiques sociales (CIQSS)**
- **Réseau canadien des Centres de données de recherche (RCCDR)**
- **Université de Sherbrooke**, Département d'économique
- **Martino Pelli, Ph.D.**, Université de Sherbrooke
- **Catherine Haeck, Ph.D.**, Université du Québec à Montréal
- **Charles Séguin, Ph.D.**, Université du Québec à Montréal
- **Patrick Richard, Ph.D.**, Université de Sherbrooke
- **Alek Racicot**, Université du Québec à Montréal, Interpolation des données de pollution atmosphérique

Table des matières

1	Remerciement	1
2	Introduction	4
3	Définition des polluants	6
4	Revue de littérature	7
4.1	Mécanisme d'absorption des PM _{2,5} et leurs effets sur l'organisme . . .	7
4.2	Effets des PM _{2,5} sur les performances cognitives	9
4.3	Effets des PM _{2,5} sur les performances académiques	10
5	Description des données	11
5.1	Réseau National de Surveillance de la Pollution Atmosphérique	11
5.1.1	Les membres du réseau	12
5.1.2	Objectifs du RNSPA sur la qualité des données	12
5.1.3	Détermination des sites de prélèvement	12
5.1.4	Méthode de mesure en continu des PM _{2.5}	14
5.1.5	Création de bases de données du RNSPA	14
5.1.6	Statistiques descriptives du RNSPA	15
5.2	Enquête Longitudinale Nationale sur les Enfants et les Jeunes	17
5.2.1	Méthode d'échantillonnage	17
5.2.2	Composition des cohortes de l'ELNEJ	18
5.2.3	Données colligées par l'ELNEJ	20
5.3	Visualisation géographique RNSPA-ELNEJ	22
5.3.1	Échantillon de l'ELNEJ pour vue d'analyse	27
6	Analyse quantitative	28
6.1	Interpolation géostatistique	28
6.2	Analyse économétrique	29
6.3	Résultats	31
6.4	Limites	35
7	Conclusion	36
8	Bibliographie	37
9	Annexe	42
9.1	Partenaires du RNSPA	42
9.2	Détermination des sites de prélèvements	43
9.3	Variables colligées par l'ELNEJ et résultats de moédlisation	44

Table des figures

1	Voies respiratoires et mécanisme d'entrée des PM _{2,5} (Wu, Jin Carlsten, 2018)	8
2	Représentation des valeurs moyennes quotidiennes de PM _{2.5} par cycle de l'ELNEJ	15
3	Représentation des données moyennes journalières maximales de PM _{2.5} par cycle de l'ELNEJ	16
4	Évolution de l'échantillon de l'ELNEJ à travers les cycles (S.Canada, 2009)	20
5	Relation entre résultat brut et gradué classique par niveau scolaire (S.Canada , 2009)	22
6	Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 1	23
7	Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 2	24
8	Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 3	24
9	Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 4	25
10	Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 5	25
11	Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 6	26
12	Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 7	26
13	Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 8	27
14	Représentation graphique de l'échantillon de l'ELNEJ retenu	28
15	Résultats des régressions : Bloc 1	47
16	Résultats des régressions : Bloc 2	48
17	Résultats des régressions : Bloc 3	49
18	Résultats des effets marginales : Bloc 1	50
19	Résultats des effets marginales : Bloc 2	51
20	Résultats des effets marginales : Bloc 3	52
21	Table de corrélation des variables de pollutions	53

2 Introduction

Les changements climatiques et la pollution sont des thèmes répandus dans la littérature économique. Il est possible de penser aux effets de la pollution de l'air sur la santé tant physique que cognitive, la productivité et la croissance. Les recherches économiques impliquant la qualité de l'air et la productivité s'intéressent principalement aux effets contemporains.

Nous savons que la qualité de l'air influence la productivité des travailleurs occupant des emplois demandant une grande concentration. Par exemple, un accroissement de 10 milligrammes par mètre cube de particule en suspension d'une dimension inférieure à 2,5 micromètres (PM_{2,5}) durant une période de douze heures, génère une augmentation de 2,6% la probabilité qu'un arbitre de la ligue majeure de baseball commette une erreur durant une partie (Archsmith, Heyes and Saberian, 2018). L'altération des performances cognitives découlant d'une exposition à une piètre qualité de l'air affecte non seulement les travailleurs occupant des emplois axés sur les capacités cognitives, mais aussi les travailleurs occupant des emplois physiquement intensifs (Chang, Zivin, Gross et Neidell, 2016) . Bien entendu, les enfants d'âge scolaire sont aussi affectés par la qualité de l'air. Une réduction de 10% des PM_{2,5} à l'intérieur de la salle de classe lors d'un examen de mathématique permet d'augmenter le résultat à l'examen de 0,34% (S.Zweig, C.Ham and L.Avol, 2009).

Mais encore, les effets des particules en suspension sont beaucoup plus importants qu'une réduction des capacités cognitives. En 2015, 8,9 millions de personnes approximativement sont décédées dû à une exposition de longue durée au PM_{2,5} (intervalle de confiance à 95% , 7,5 - 10,3 millions) (Burnett et al., 2018). De plus, ce phénomène de décès prématuré pourrait impacter la croissance économique future. En considérant que la réglementation sur la qualité de l'air reste inchangée en Chine, la réduction de la force de travail ainsi que le nombre d'heures travaillé causé par les PM_{2,5} devraient réduire la croissance annuelle en 2030 de 2% (Xie et al. , 2019).

Ceci dit, les études soulevées précédemment sont principalement orientées vers les effets contemporains de l'exposition à la pollution de l'air ou représentent des prévisions de l'effet actuel de la qualité de l'air sur les performances économiques futures. Cependant, les effets à long terme de la qualité de l'air sur la productivité restent un sujet peu exploré. C'est pourquoi il devient pertinent d'approfondir la relation entre la qualité de l'air et la performance académique d'enfants d'âge scolaire, et ce sur une longue période.

Ce mémoire cherche donc à évaluer la relation entre l'exposition cummulative de long terme aux PM_{2,5} et le degré de réussite scolaire des Canadiens âgés de 8 à 13 ans. Mais encore, la question fondamentale de ce mémoire est la suivante : est-ce que l'exposition cumulative de long terme aux particules en suspension de dimension

inférieure à 2,5 micromètres (PM_{2,5}) a des effets sur les performances académiques en mathématiques d'enfants âgés de 8 à 13 ans au Canada ?

Pour ce faire, deux sources de données seront utilisées. La première provient du Réseau National de Surveillance de la Pollution Atmosphérique (RNSPA) d'Environnement et Changement Climatique Canada qui regroupe des données sur la qualité de l'air depuis 1974. Plus précisément, la mission du RNSPA est de «surveiller et d'évaluer la qualité de l'air ambiant dans les régions peuplées du Canada» (G. Canada, 2019).

La seconde est issue l'Enquête Longitudinale Nationale sur les Enfants et les Jeunes (ELNEJ) de Statistique Canada. Cette enquête longitudinale regroupe un bon nombre de données sociodémographiques et spécifiques confidentielles concernant la réussite scolaire d'enfants canadiens. Plus particulièrement, L'ELNEJ collige des données sur la performance en mathématique par l'entremise d'un test administré aux enfants âgés de 8 à 13 ans. Il est alors possible d'explorer la relation cumulative de long terme entre les PM_{2,5}, et le degré de réussite académique d'enfants âgés de 8 à 13 ans au Canada en croisant les données du RNSPA et de l'ELNEJ.

Une fois les données harmonisées, un modèle de régression linéaire sera utilisé. Plus particulièrement, le modèle permettra d'évaluer la relation entre l'exposition cumulative de long terme aux PM_{2,5} et les performances académiques en mathématiques d'enfants âgés de 8 à 13 ans au Canada et, ce en tenant en compte de variables de contrôles telles que le revenu du ménage ainsi que le niveau d'éducation des parents ou tuteurs.

3 Définition des polluants

Les matières particulaires, les particules fines ou PM sont des particules solides ou liquides qui se retrouvent dans l'atmosphère (G. Canada, 2013). Les particules primaires sont occasionnées de manière directe par l'activité humaine, telles que les cheminées des industries, l'érosion éolienne ou l'érosion découlant du travail du sol. Les particules secondaires sont, quant à elles, le résultat de réactions physiques ou chimiques dans l'atmosphère. Ce type de réaction entre l'oxyde de soufre, l'ammoniac ou l'oxyde d'azote génère principalement de l'ammoniac, du nitrate et des particules fines (G. Canada, 2013).

La taille des particules fines est principalement subdivisée en deux catégories, soit les particules de taille inférieure à 10 micromètres (c.-à-d. PM10) et celles de taille inférieure à 2,5 micromètres (c.-à-d. PM2,5). Dans cette recherche, nous nous concentrerons sur la seconde classe, c'est-à-dire les PM2,5.

Les principaux effets physiques des particules en suspension sur l'humain selon Santé Canada sont (S. Canada, 2012) ;

1. Complications cardiovasculaires
2. Restrictions des fonctions pulmonaires

Il est à noter que les particules en suspension sont aussi présentes dans l'air ambiant à l'intérieur des bâtiments et que leurs sources peuvent être différentes. Toutefois, dans cette recherche, nous nous intéresserions uniquement à l'effet des particules en suspension de taille inférieure à 2,5 micromètres (PM2,5) présente dans l'atmosphère.

Dans la prochaine section, nous adresserons plus précisément les effets des PM2,5 sur l'organisme, sur les performances cognitives et sur les performances académiques.

4 Revue de littérature

4.1 Mécanisme d'absorption des PM_{2,5} et leurs effets sur l'organisme

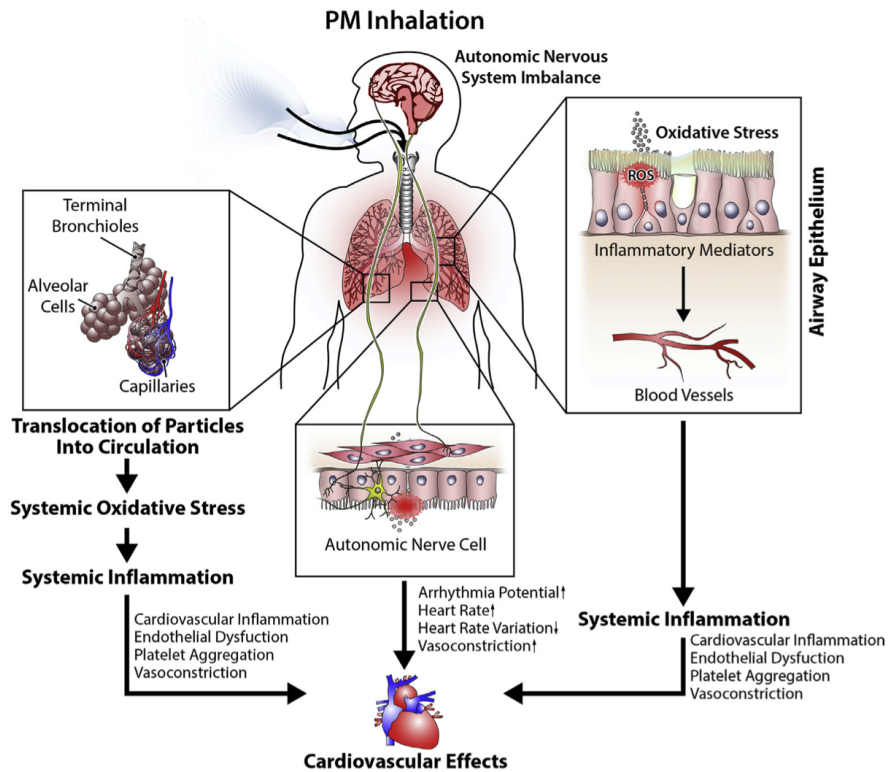
Les polluants atmosphériques tel que les PM_{2,5} sont initialement exogènes au corps humain. Pour observer les effets de l'exposition des PM_{2,5} sur les performances cognitives il est crucial de retracer le parcours des polluants à travers le corps humain jusqu'à leur effets sur les performances cognitives. Pour ce faire, nous explorerons la littérature afin de bien comprendre la dynamique physique des PM_{2,5} sur le corps humain à court et long terme.

Lorsque l'on inspire, les particules fine présentent dans l'atmosphère entrent dans le corps par les voies respiratoires pour atteindre les poumons. Une fois dans les poumons, les particules de petites tailles, tel que les PM_{2,5}, se retrouvent dans les alvéoles pulmonaires où l'échange gazeux est réalisé entre le dioxyde de carbone et l'oxygène. Durant cette échange les particules fines subissent une translocation, c'est-à-dire une modification génétique, leur permettant d'entrer dans le système sanguin (Wu, Jin et Carlsten, 2018). Il existe également d'autres chemins pouvant mener à l'absorption des PM_{2,5} dans le système sanguin tel que par l'épithélium mucociliaire qui regroupe les cellules produisant les mucus servant à filtrer en partie l'air absorbé dans les voies aériennes supérieures (Deweirdt, 2018). De plus, les cellules nerveuses autonomes, responsable entre autre de la contraction des bronches, sont susceptibles d'absorber des PM_{2,5} (UCLouvain, Chapitre 4). Voir la figure 13, pour un exemple graphique des voies respiratoires ainsi que les différents mécanisme d'entrée des PM_{2,5}.

Une fois que les particules fines sont présentes dans le systèmes sanguins, elles peuvent altérer le fonctionnement du corps d'un point de vue physique ou cognitif et résulter en des ennuis de santé. Plus précisément, les complications physiques découlant d'une exposition de court terme aux particules fines présente dans l'atmosphère sont principalement associées au système respiratoire, tel que les maladies pulmonaires obstructives chroniques, les bronchites chroniques, l'asthme l'emphysème pulmonaire (Tanaka, Asai, Yanagita, Nishinakagawa, Miyamoto, Kotaki et al. 2013). Il est également à noter que l'absorption de particules fines peut affecter le système cardio-vasculaire et résulter en une hausse de la pression vasculaire ou l'accélération du rythme cardiaque (Du, Shao, Gao, Wei et al, 2021). À terme, l'exposition aux PM_{2,5} était la cinquième cause de mortalité dans le monde en 2015 (Lee et al, 2019).

L'exposition de court terme aux particules fines peuvent également impacter le système nerveux centrale. L'un de ces impact est l'altération la barrière hémato-encéphalique. Cette barrière a pour fonction d'acheminer les nutriments au cer-

FIGURE 1 – Voies respiratoires et mécanisme d'entrée des PM_{2,5} (Wu, Jin Carlsten, 2018)



veau en restreignant l'accès à d'autres composantes comprises dans le sang (Corniou, 2020). Mais encore, les particules fines sont susceptibles d'accroître la réponse des médiateurs chimiques de l'inflammation qui sont responsables de stimuler les réactions inflammatoires (Huang et al, 2008). Les conséquences découlant de la présence de PM_{2,5} dans le système nerveux se traduisent, entre autres, en neuroinflammation, en des changements sur la structure cérébrale ainsi qu'en des déficits cognitifs (Peeples, 2020).

4.2 Effets des PM2,5 sur les performances cognitives

Maintenant que le mécanisme d'absorption des PM2,5 ainsi que leurs effets à haut niveau sur l'organisme ont été explorés, il est alors possible d'approfondir les effets des PM2,5 sur les performances cognitives.

Il est à noter qu'il existe ici deux axes d'analyse découlant de la provenance des PM2,5. C'est-à-dire, si ce sont des expositions à l'air ambiante à l'intérieur ou à l'extérieur. Dans le cadre de cette étude, nous nous concentrerons sur les effets découlant d'une exposition aux PM2,5 présente dans l'atmosphère, soit l'air extérieur.

Plus précisément, il a été démontré que l'exposition de court terme au PM2,5 lors de déplacement en milieu urbain influençait de manière statistiquement significative les performances cognitives d'adultes. Plus précisément, l'étude illustre que l'exposition de court terme aux PM2,5 à l'extérieur dégradait les performances cognitives de court termes chez les adultes (Shehab et Pope, 2019). De plus, il a été établi que les PM2,5 avait un effet direct sur la mémoire à court terme impactant les nouveaux apprentissages (Younan et al, 2020).

Une forte portion de la littérature s'intéresse aux effets de PM2,5 sur les performances cognitives des personnes âgées. Plus précisément, une forte concentration de PM2,5 est responsable d'une dégradation de la mémoire, des capacités de réflexions et des capacités cognitives globales (Tonne et al, 2014). Également, les PM2,5 sont susceptibles d'accroître les risques de démence (Rodriguez et al, 2018), d'Alzheimer et de Parkinson (Shi et al, 2020).

Il est indéniable que les PM2,5 sont en partie responsable de la dégradation des performances cognitives chez les adultes tant de manière ponctuelle que chronique. Il devient alors pertinent d'orienter la réflexion autour des effets potentiels chez les enfants.

Dès son état foetal, l'enfant est exposé aux polluants atmosphériques. Plus précisément, il a été démontré que l'exposition au PM2,5 durant le premier trimestre de la grossesse entraîne chez l'enfant des difficultés cognitives associés aux capacités interpersonnels, au langage et accroît les probabilités de dépression (McGuinn et al, 2020). Également, il a été présenté de manière préliminaire qu'il existe une relation négative entre le développement psychomoteurs et les PM2,5 chez les enfants de 5 ans (Matus et al, 2019). Plus précisément, une dégradation du développement psychomoteur chez l'enfant dû aux PM2,5 est susceptible d'entraîner un décalage dans le développement de compétences plus complexes. Il est alors possible d'extrapoler de manière préliminaire que l'exposition au PM2,5 chez les enfants pourrait entraîner des difficultés potentiel en milieu scolaire.

4.3 Effets des PM_{2,5} sur les performances académiques

La littérature actuelle démontre l'existence d'une relation négative entre les PM_{2,5} et les performances cognitives chez les jeunes et moins jeunes. Par contre, qu'en est-il de la relation entre les performances académiques des enfants d'âges scolaire et les PM_{2,5}.

Initialement, les effets des PM_{2,5} sur les enfants se matérialisent à travers une altération des performances du métabolisme qui entraîne (S. Zweig et al, 2009) :

1. L'absentéisme dû a une réaction physique du corps aux polluants atmosphériques
2. La réduction de l'attention à l'école découlant de symptômes physiques dû aux polluants atmosphériques
3. La fatigue lié aux polluants atmosphériques lorsqu'il est temps de réaliser les devoirs.
4. L'effet des polluants sur le développement du cerveau

Ces implications sont ainsi responsables de manières cumulatives d'une réduction potentielles des performances académiques des enfants.

De plus, il a été démontré que l'exposition chronique aux PM_{2,5} entraîne une réduction de l'indice de performance académique d'étudiants de 12ième année en Californie (Gaffron et Niemeier,2015). Mais encore, les difficultés académiques en mathématique sont plus fortement associés aux périodes de points aux PM_{2,5} que l'exposition chronique (Mullen et al., 2020). Plus précisément, une augmentation de 1 micromètre par mètre cube de PM_{2,5} entraîne une réduction des résultats en mathématique d'environ 0,246% (Lu, Hackman et Shwartz, 2021). Une analyse similaire a également démontré qu'une réduction des PM_{2,5} dans l'air ambiants impactait positivement les résultats en mathématique. Plus précisément, une réduction de 10% des PM_{2,5} ambiants augmentait les résultats des étudiants de 0,34% (Zweig et al, 2009).

À plus long terme, l'exposition aux PM_{2,5} et à la pollution au sens large sont responsables d'une certaine réduction du capital humain chez les enfants (Rau, Urzúa et Reyes, 2015). De plus, la présence de toutes formes de pollution dans l'environnement est susceptible d'impacter négativement les performances cognitives des enfants, et ce tout au long de leurs développements (Persico, 2021). Bref, les différents polluants, dont les PM_{2,5}, sont responsables d'une réduction de la productivité, du capital humain et de la force de travail. Par extrapolation, la pollution au sens large devient un frein à la croissance économique.

Il est à noter, qu'il existe toutefois très peu d'études qui se sont concentrées sur les effets cumulatives de long termes des PM_{2,5} sur les performances académiques des jeunes canadiens. En fait, la dispersion de la population sur le territoire et à la faible concentration moyenne de PM_{2,5} limitent grandement la réalisation de ce types d'études. Dans la prochaine section, nous nous intéresserons donc à évaluer la relation entre l'exposition cumulative de long termes aux PM_{2,5} et les performances cognitives d'enfants d'âges scolaire au Canada par le biais des résultats aux tests mathématiques de l'ELNEJ.

5 Description des données

Dans le cadre de cette recherche, deux sources de données sont exploitées. La première a pour mission de recenser les données concernant la pollution atmosphérique et la seconde de colliger des informations relatives aux jeunes canadiens. Plus précisément, ces sources de données sont le Réseau National de Surveillance de la Pollution Atmosphérique (RNSPA) et l'Enquête Longitudinale Nationale sur les Enfants et les Jeunes (ELNEJ). Les deux sous-sections suivantes décrivent ces données.

5.1 Réseau National de Surveillance de la Pollution Atmosphérique

Le Réseau National de Surveillance de la Pollution Atmosphérique (RNSPA) est un mécanisme de surveillance de la qualité de l'air pancanadien initié en 1974. Pour ce faire, le réseau regroupe les ministères de l'Environnement des provinces et territoires en plus de la Ville de Montréal et Métro Vancouver. La mission du réseau est de colliger des données sur les polluants atmosphériques, mais également de dresser des tendances de long terme et de rendre publiques ces données.

En 2016, le RNSPA comptait 219 stations de prélèvement distribuées de façon représentative à la population. Ces centres colligent des données de manière continue et ponctuelle. Plus précisément, les données en continu offrent une lecture horaire pour vingt-quatre heures, et ce pour l'ensemble des jours d'une année, soit 8 760

observations par an. Quant à elle, la méthode de cueillette ponctuelle propose des données supplémentaires à la méthode horaire telles que la pression atmosphérique, la température ainsi que la vitesse du vent. Ce type de donnée est observée tous les six jours. Le réseau recueille de l'information sur une panoplie de polluants telle que les PM2.5, l'Ozone et NO.

Les sections suivantes traceront un portrait détaillé du réseau ainsi que des données utilisées dans ce mémoire. Il sera entre autres question des membres du réseau, de ses objectifs de collecte de données, de la localisation des stations ainsi que du traitement des données réalisé.

5.1.1 Les membres du réseau

Les partenaires du RNSPA, sont majoritairement des ministères de l'environnement ou des régions métropolitaines. On y retrouve, entre autres, les ministères du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs et la Ville de Montréal. Vous trouverez à l'annexe 1 la liste exhaustive des membres du réseau.

5.1.2 Objectifs du RNSPA sur la qualité des données

Afin d'assurer une ligne directrice parmi les membres, le réseau définit des objectifs de qualité de données afin d'assurer un niveau acceptable d'incertitude sur les données (CCME, 2019). Ceci permet donc l'uniformité des méthodes et des données parmi les membres.

Ces objectifs assurent la validité et la qualité des données pour l'ensemble du réseau. Si l'un ou l'autre de ces objectifs n'est pas atteint, le réseau assure un suivi de manière à rendre conforme le processus.

Ainsi le tableau 1, Objectifs de qualité des données, établit la ligne à suivre quant à la collecte de données pour l'ensemble des partenaires du réseau. En conséquence, les données colligées sont normalisées et comparables.

5.1.3 Détermination des sites de prélèvement

Le choix de la localisation d'une station de prélèvement est réalisé à l'aide d'un système de classification hiérarchique, inspiré des travaux de Brauer de l'Université de Colombie-Britannique (CCME, 2019). Ce système est fondé sur des variables clés, telles que la population, l'urbanisation, l'exploitation du sol et des caractéristiques spécifiques à chacune des localisations.

Plus précisément, la première classe d'analyse est l'urbanisation qui permet de définir le degré d'urbanisation.

TABLE 1 – Objectifs de qualité des données
(CCME, 2019)

Objectifs relatifs aux données	Description de l'objectif
Comparabilité	Détermine le niveau d'assurance pour lequel une méthode d'analyse ou un groupe de données peut être comparé à ceux d'une autre station.
Complétude	Rapprochement entre les données observées et les données attendues. Le ratio permet d'évaluer si les données recueillies sont suffisantes pour permettre une analyse scientifique.
Exactitude	Évaluation entre les mesures observées et une valeur prédéterminée de façon à évaluer la précision et la présence de biais.
Limite de détection	Borne inférieure de détection.
Représentativité	Exactitude des mesures pour une station durant une période suffisante pour le calcul d'une moyenne.

La seconde classe, soit la population cartier, cherche à évaluer les nombres de résidences dans un rayon de quatre kilomètres autour d'une station du RNSPA.

La troisième classe correspond à l'exploitation du sol. Cette classe permet d'identifier le type d'exploitation du sol qui est réalisé dans un rayon de 400 mètres autour de la station en zone urbaine.

La quatrième classe, type de station, permet de définir qu'elle est la source d'émission que la station doit évaluer. Il existe quatre sources, soit la pollution atmosphérique générale, la concentration de fond, la pollution découlant du transport et celle provenant de sources fixes. Plus précisément, la concentration de fond est le niveau de particules fines (c.-à-d. PM2.5) présent dans l'atmosphère sans activités humaines ou sans particules primaires (CCME, 2019).

Quant à elle, une source fixe peut être une usine pétrochimique. Le type de station le plus courant dans le réseau est celui qui évalue la pollution atmosphérique en général. Ce type de station permet principalement de considérer les niveaux de pollution dans les zones urbaines et de cartier. Ce qui est conforme avec la mission du réseau, soit de colliger des données sur la pollution atmosphérique dans les zones habitées du Canada. Voir annexe 2, détermination des sites de prélèvements, pour une description détaillée.

5.1.4 Méthode de mesure en continu des PM2.5

Il existe trois méthodes d'analyse pour les particules en suspension de moins de 2.5 micromètres.

Atténuation bêta (FEM-bêta) "Les tailles de particules (p. ex., $\leq 2,5 \mu\text{m}$) sont séparées de manière aérodynamique avant l'analyse. Pour ces mesures, le ruban filtrant est exposé au flux de l'échantillon ambiant et des particules sont déposées sur le filtre. Les rayons bêta sont émis par une source et atténués lorsqu'ils traversent les dépôts sur le filtre. L'atténuation bêta à travers le dépôt est corrigée par une mesure à blanc, en utilisant l'atténuation bêta à travers un filtre propre. Les mesures d'atténuation corrigées par des mesures à blanc sont converties en concentrations massiques" (CCME,2019).

Diffusion de la lumière (FEM) "Cette méthode lie les mesures de diffusion de la lumière aux mesures massiques. Dans le cadre de cette méthode, la diffusion de la lumière des particules est déterminée par l'illumination des particules et la mesure de cette intensité diffusée à différentes orientations de la lumière incidente. La mesure de la diffusion est souvent fortement corrélée avec les concentrations massiques, mais la relation peut dépendre des propriétés des particules, comme leur taille, leur forme et leur composition" (CCME,2019).

Microbalance à élément conique oscillant (TEOM) "Les tailles de particules sont séparées de façon aérodynamique avant l'analyse. Un TEOM est constitué d'un élément en verre creux oscillant à une fréquence connue. L'échantillon d'air traverse un filtre fixé à l'élément conique. À mesure que les particules se déposent sur le filtre, la fréquence d'oscillation varie proportionnellement à la quantité de masse déposée. Ce changement de fréquence est utilisé pour déterminer la concentration de PM. Pour être équivalente aux méthodes de l'EPA américaine, les TEOM mesurant les PM2,5 doivent être exploités avec un système de filtration dynamique (FDMS) qui corrige la volatilisation et d'autres problèmes de chargement de masse du filtre." (CCME,2019)

Il est important de souligner que l'appareil TEOM s'est avéré surestimer la concentration ambiante de PM2.5, ce biais a été estimé à 10% (Schwab et al., 2006). Pour répondre à la problématique, ces machines ont été remplacées à compter de 2005 par les machines citées précédemment. Ces nouveaux appareils sont en mesure d'évaluer une proportion de PM2.5 semi-volatile que la machine TEOM n'est pas en mesure de quantifier. Et ce, tout en utilisant une méthode d'analyse similaire.

5.1.5 Création de bases de données du RNSPA

Le réseau regroupe les données colligées depuis 1974, et ce pour plusieurs types de polluants. Dans le cadre de cette recherche, uniquement les fichiers contenant les

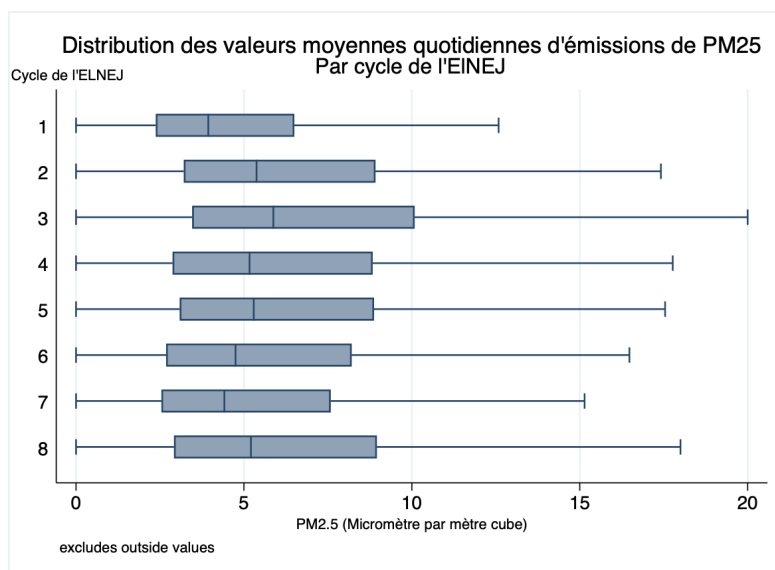
valeurs horaires de PM2.5 ont été utilisés. Une fois les données consolidées, la base de données contenait 1 698 848 observations.

Par la suite, nous avons observé les données et avons procédé au traitement des données extrêmes. Afin de conserver un maximum d'observations tout en limitant l'importance de certaines valeurs jugées aberrantes, nous avons intégré une règle de nettoyage. Celle-ci consiste à retirer de l'échantillon le dernier centile. Nous avons ainsi obtenu une distribution plus uniforme. Ultimement, la variable d'intérêt correspond au niveau moyen d'exposition au PM2.5 présent dans l'atmosphère et sur une longue période (c.-à-d. niveau ambiant moyen). Pour se faire, il a été possible de regrouper les données horaires en moyenne quotidienne et annuelle.

5.1.6 Statistiques descriptives du RNSPA

Une fois que les données relatives aux PM2.5 ont été agrégées, il a été possible de générer des graphiques permettant de visualiser la distribution du niveau moyen d'exposition quotidienne pour l'année correspondant au cycle de l'ELNEJ.

FIGURE 2 – Représentation des valeurs moyennes quotidiennes de PM2.5 par cycle de l'ELNEJ

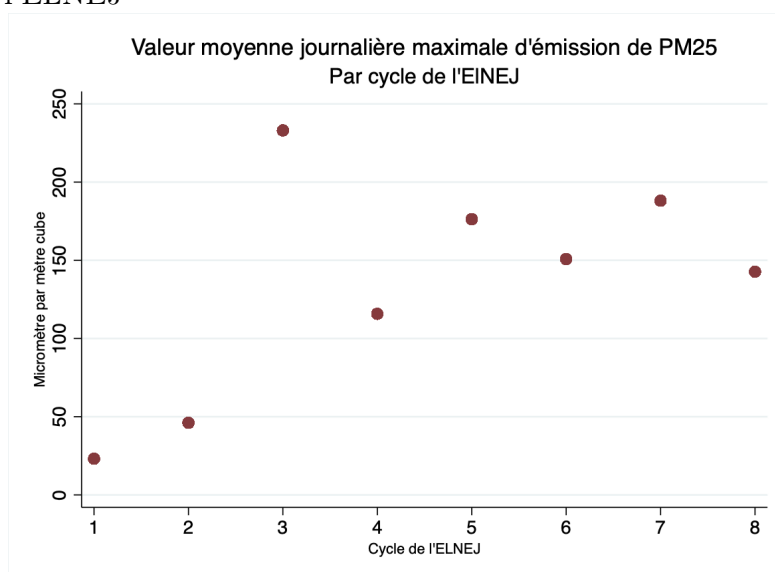


La figure 2 illustre principalement la distribution des valeurs moyennes quotidiennes de PM2.5 par cycle. Mais encore, les droites qui se détachent de la boîte ou moustaches sont les premiers et derniers quartiles respectivement. Nous pouvons alors extrapoler que la distribution des observations de PM2.5 est relativement uniforme d'un cycle à l'autre avec une valeur médiane de plus ou moins 5 micromètres par

mètre cube. Pour comparaison, les normes canadiennes de qualité de l'air ambiant fixaient le seuil d'exposition moyenne annuelle de l'ensemble des concentrations moyennes journalières à 10 micromètres par mètre cube en 2015 et à 8,8 micromètres par mètre cube en 2020 (CCME,2020). En se référant à la figure 11, il est alors possible de constater que l'ensemble des cycles de l'ELNEJ, les trois premiers quartiles de la distribution se trouvent en deçà de la norme de 2015.

Toutefois, les valeurs moyennes journalières maximales observées dans la figure 3, ici-bas, sont légèrement plus volatiles et expliquées en partie par des éléments exceptionnels. Par exemple, durant l'année 1998 (C.-à-d. Cycle 3) on dénombrait 10 723 feux de forêt actifs au Canada, ce qui représente le sommet du nombre de feux de forêt actifs durant les 8 cycles de l'ELNEJ (CCMF, 2020).

FIGURE 3 – Représentation des données moyennes journalières maximales de PM2.5 par cycle de l'ELNEJ



Dans le cadre de l'analyse, nous nous intéresserons à la valeur moyenne annuelle PM2.5 en fonction du cycle de l'ELNEJ. Pour ce faire, nous utiliserons une méthode d'interpolation géostatistique. Celle-ci est décrite à la section 5, analyse quantitative. À terme, ces données permettront d'évaluer la relation cumulative de l'exposition aux PM2.5 sur les performances académiques des jeunes canadiens.

5.2 Enquête Longitudinale Nationale sur les Enfants et les Jeunes

La seconde partie des données utilisées proviennent de l'Enquête Longitudinale Nationale sur les Enfants et les Jeunes, soit l'ELNEJ. Cette enquête est produite par Statistique Canada et supportée par Ressources humaines et Développement des compétences Canada. L'objectif de l'ELNEJ est de recueillir de l'information sur les jeunes canadiens à travers une série d'enquêtes réalisées aux deux ans de 1994 à 2009. Plus précisément, elle permet d'observer le développement ainsi que le bien-être des jeunes canadiens de leur naissance à l'âge adulte (S.Canada,2009) .

On y retrouve entre autres de l'information sur les comportements des jeunes, les performances académiques ainsi que de l'information sociodémographique. Ceci permet donc de tracer un portrait des différents facteurs pouvant influencer certaines caractéristiques d'intérêt. Dans cette recherche, la variable d'intérêt est nommée "MathScore". Elle correspond au résultat des répondants au test de mathématique exploité dans le cadre de l'enquête.

5.2.1 Méthode d'échantillonnage

L'échantillon de l'ELNEJ est construit à partir des répondants de l'Enquête sur la population active (EPA) de Statistique Canada. l'EPA est une enquête tenue de manière mensuelle qui regroupe 52 000 répondants d'un océan à l'autre et qui collige de l'information sur le marché du travail (S.Canada, 2009). Afin de comprendre le mécanisme d'échantillonnage de l'ELNEJ, il faut alors définir la méthode d'échantillonnage de l'EPA.

La méthode de sondage de l'EPA repose sur un plan stratifié à plusieurs couches basées sur échantillonnage probabiliste pour chacune de celles-ci. Premièrement, les dix provinces canadiennes sont subdivisées en région économique et en région économique de l'assurance-emploi (S. Canada, 2009).

Plus précisément, les régions économiques (RÉ) "sont des régions géographiques de structure économique plus ou moins homogène constituée en vertu d'ententes fédérales- provinciales et qui sont relativement stables au fil du temps (S. Canada, 2009)."

Quant à eux, les régions économiques de l'assurance-emploi (RÉAE) "sont également des régions géographiques qui correspondent à peu de choses près aux régions économiques quant à la taille et au nombre, mais elles diffèrent pour ce qui est de la définition.Des estimations de la population active sont produites pour les RÉAE, lesquelles sont utilisées par Ressources humaines et Développement des compétences Canada (S. Canada, 2009)."

Les intersections de ces catégories de région forment la première couche de strates. Ces strates dites primaires sont ensuite subdivisées en trois catégories d'unités, c'est-à-dire, les régions rurales, les régions éloignées et les régions urbaines.

Par la suite, les régions urbaines sont à leur tour subdivisées en deux catégories, soit en listes d'appartements et en bases aréolaires. Ces deux types de catégories sont alors subdivisées à leur tour en une seconde couche de strates.

Quant aux régions rurales et éloignées, celles-ci sont aussi subdivisées en strate secondaire de manière à correspondre à la densité de population.

Par la suite, chaque strate secondaire est alors subdivisée en grappes. À partir des grappes d'une strate secondaire, un échantillon est déterminé et c'est à partir de cet échantillon que les ménages sont sélectionnés de manière aléatoire.

5.2.2 Composition des cohortes de l'ELNEJ

L'Enquête Longitudinale Nationale sur les Enfants et les Jeunes a débuté en 1994 en intermittence de 2 ans. Il est à noter que l'enquête est toujours active. Le tableau ci-dessous illustre les périodes de collecte de données pour l'ensemble des cycles.

TABLE 2 – Cycles de l'ELNEJ
(S.Canada, 2009)

Cycle	Début de la collecte	fin de la collecte
1	Décembre 1994	Avril 1995
2	Décembre 1996	Avril 1997
3	Octobre 1998	Juin 1999
4	Septembre 2000	Mai 2001
5	Septembre 2002	Juin 2003
6	Septembre 2004	Juin 2005
7	Septembre 2006	Juillet 2007
8	Septembre 2008	Juillet 2009

La première cohorte, soit celle découlant de la collecte de données de décembre 1994 à avril 1995, est composée d'enfants âgés de 0 à 11 ans, de manière à créer 6 sous-groupes d'enfants. Ces regroupements d'enfants vont comme suit ;

TABLE 3 – Répartition des répondants de l'ELNEJ au cycle 1 par tranche d'âge
(S.Canada, 1994)

Âge de l'enfant	Effectif de l'échantillon	Proportion de l'échantillon
0	2 227	9,75 %
1	2 469	10,81%
2	1 963	8,60%
3	1 946	8,52%
4	1 935	8,48%
5	1 793	7,85%
6	1 800	7,88%
7	1 750	7,67%
8	1 780	7,80%
9	1 734	7,59%
10	1 766	7,74%
11	1 668	7,31%
Total	22 831	100%

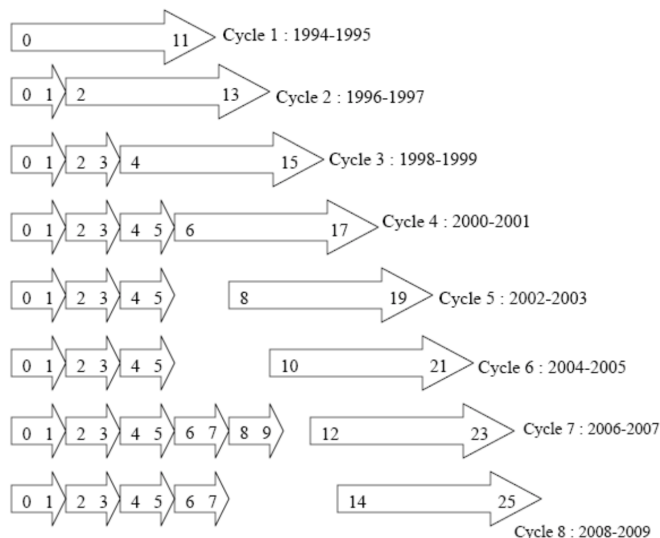
Au premier cycle, un ménage de 4 enfants maximum était admissible à participer à l'enquête. Au total, le nombre de répondants au cycle 1 était de 22 831 (S. Canada, 1994).

À compter du deuxième cycle, une nouvelle cohorte d'enfants âgés de 0 à 1 an sont inclus dans l'échantillon, et ce pour chacun des cycles suivants de manière à conserver un échantillon longitudinal valide. Mais encore, à compter du second cycle, le nombre d'enfants admissible par ménage est passé à deux, ce qui a diminué le nombre de répondants à 16 903.

Pour chacun des cycles suivants, le nombre total de répondants a été corrigé afin de respecter les critères de l'enquête. Certains répondants ont été écartés s'ils ne participaient pas durant au moins deux cycles ou s'ils ne résidaient plus au pays ou s'ils étaient décédés. Ainsi, au cycle 8, le nombre total de répondants était de 26 266.

La figure 4 permet de visualiser l'évolution de l'échantillon de l'ELNEJ pour chacun des cycles de l'ELNEJ.

FIGURE 4 – Évolution de l'échantillon de l'ELNEJ à travers les cycles (S.Canada, 2009)



5.2.3 Données colligées par l'ELNEJ

Dans le but de colliger l'information relative aux enfants, mais aussi à leur contexte social, plusieurs questionnaires sont administrés dans le cadre de l'ELNEJ afin d'isoler l'information jugée pertinente.

Donc, une fois que les répondants sont identifiés, ils sont alors soumis à un questionnaire administré en personne ou par téléphone par un interviewer de Statistique Canada. Celui-ci transcrit directement les réponses fournies par le répondant dans un ordinateur. Cette méthode d'enquête permet ainsi d'intégrer une certaine complexité au questionnaire assurant une collecte de données plus spécifique en plus d'assurer des vérifications de validité des réponses à l'intérieur même du questionnaire (S. Canada, 2009). Ainsi, Statistique Canada introduit un premier contrôle qualité sur les données en s'assurant que les individus interviewés répondent uniquement aux questions correspondant à leur situation.

Afin d'évaluer les performances cognitives des répondants, Statistique Canada utilise deux types de mesures, soit des mesures directes et des mesures indirectes. Les mesures directes correspondent principalement à des mesures de performances cognitives. Quant à eux, les mesures indirectes correspondent principalement à des questionnaires autoadministrés. Cette deuxième méthode de mesure cible principalement les répondants de 14 à 17 ans.

L'ensemble de ces questionnaires permettent de fournir de l'information sociodémographique ainsi que de l'information spécifique à l'enfant. Vous pouvez vous référer à l'annexe 7,3 pour une liste exhaustive des variables colligées dans le cadre de l'ELNEJ.

Dans le cadre de cette recherche, nous tentons de déterminer l'effet de l'exposition cumulative des PM_{2,5} sur les performances cognitives des jeunes canadiens. Il est alors primordial d'avoir une mesure spécifique permettant d'évaluer cette relation. Pour ce faire, nous utiliserons les résultats d'une mesure directe, soit la variable MathScore découlant de l'exercice de calcul mathématique.

Plus précisément, les répondants de l'ELNEJ sont soumis à une version réduite de l'épreuve mathématique du test canadien normalisé de connaissance, c'est-à-dire le CAT-2. La mission de ce test est d'évaluer les compétences académiques de bases de jeunes canadiens. Les répondants de l'ELNEJ doivent alors répondre à vingt questions selon leur niveau scolaire. Les questions sont construites de manière à évaluer les thèmes et compétences énumérées à la table 4.

TABLE 4 – Variables colligées partir de la version réduite du CAT-2 dans le cadre de l'ELNEJ(S.Canada, 2009).

Compétences évaluées
Les additions et soustractions
Les multiplications et divisions
Les décimales, les fractions, les exposants, les pourcentages et les négatifs
L'ordre des opérations
La résolution de problèmes

Une fois que le répondant a réalisé le test, il se voit attribuer un résultat brut qui correspond simplement aux nombres de bonnes réponses au test. Il est donc échelonné de 0 à 20.

Cependant, puisque le test utilisé pour l'ELNEJ est une version réduite du CAT-2, il n'est alors pas possible d'utiliser le résultat brut afin d'inférer sur la performance des répondants. Pour ce faire, Statistique Canada, utilise l'échantillon normatif afin de déterminer le rang centile associé à chacun des scores bruts du test abrégé.

Par interpolation linéaire, on détermine le résultat gradué classique pour chacun des résultats bruts du test abrégé (S. Canada, 1994). Plus précisément, le résultat gradué classique découle d'une transformation selon les normes du centre canadien de test, soit le CTC. Pour ce faire, le CTC a mis en place en 1992 un test à partir d'un échantillon normatif des 10 provinces excluant le Québec. Les résultats de ce test sont les résultats gradués classiques. Ceux-ci sont, en fait, des résultats sur une

échelle équidistante couvrant l'ensemble des niveaux scolaires. La figure 5 permet d'évaluer la relation entre les résultats bruts et les résultats gradués.

FIGURE 5 – Relation entre résultat brut et gradué classique par niveau scolaire (S.Canada , 2009)

Score brut	Les scores gradués (classiques)						
	Niveau 4	Niveau 5	Niveau 6	Niveau 7	Niveau 8	Niveau 9	Niveau 10
0	267	294	311	330	361	397	406
1	285	306	318	338	376	423	419
2	301	324	332	359	401	449	430
3	314	339	347	381	425	477	443
4	327	355	365	405	443	504	475
5	339	370	383	426	464	530	495
6	350	382	397	444	480	554	518
7	361	392	409	461	494	574	536
8	371	403	421	477	506	589	565
9	380	414	433	492	517	605	581
10	388	425	445	506	529	623	597
11	396	434	456	518	540	641	619
12	405	443	468	529	557	659	636
13	416	453	480	541	570	678	662
14	425	464	495	550	583	696	681
15	434	478	510	559	597	717	703
16	445	489	527	574	614	739	724
17	458	503	544	594	637	760	751
18	475	522	564	611	664	781	791
19	497	540	584	636	684	803	830
20	524	568	622	674	729	825	871

Afin de s'assurer de suivre l'évolution des répondants après le niveau 10, un test de résolution de problèmes a été intégré au cycle 6. Ainsi, les répondants âgés de 16 et 17 ans sont toujours considérés dans l'échantillon.

5.3 Visualisation géographique RNSPA-ELNEJ

Une fois la base de données de l'ELNEJ construite, il a été possible d'associer pour l'ensemble des répondants des coordonnées géographiques (i.e. latitude, longitude) selon son leur code postal. Pour ce faire, nous avons utilisé le fichier de conversion des codes postaux de Statistique Canada en collaboration avec la Société canadienne des postes (S, Canada, 2015). Ainsi, nous avons été en mesure d'intégrer sur une même carte la position de chacun des enfants en plus de la position des stations de prélèvement, et ce pour l'ensemble des cycles de l'ELNEJ.

Cependant, par souci de confidentialité et dans le but de visualiser l'échantillon le plus représentatif de la population, nous avons généré des cartes pour chacun des cycles sur lesquelles l'ensemble des répondants de l'ELNEJ sont représentés en termes de densité. C'est-à-dire que le nombre de répondants est illustré sur la carte par un système de couleur de type météorologique. Il nous est alors possible d'illus-

trer l'ensemble des répondants par provinces et territoires pour chacun des cycles tout en respectant les critères de confidentialité. De plus, sur chacune de ces cartes, nous retrouvons les stations du RNSPA pour les PM_{2,5} illustré par des points de couleurs vert.

Définissons brièvement le système de couleur utilisé sur les cartes suivantes. L'éventail de couleur passe du bleu foncé au rouge foncé. Le bleu foncé représente la région ayant le moins de répondants à l'ELNEJ et le rouge foncé représente quant à lui la région ayant le plus grand nombre de répondants à l'ELNEJ. Vous trouverez sur la gauche de chacune des cartes une légende indiquant le nombre de répondants selon la couleur affichée, et ce, en ordre croissant. Le nombre de répondants est toujours plus élevé en Ontario et au Québec, ce qui est représentatif de la distribution de population au Canada. Pour ce qui est des stations du RNSPA, il est possible de constater que le nombre de stations augmente et sa distribution sur le territoire s'élargit à l'extérieur des grands centres à travers les cycles.

FIGURE 6 – Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 1

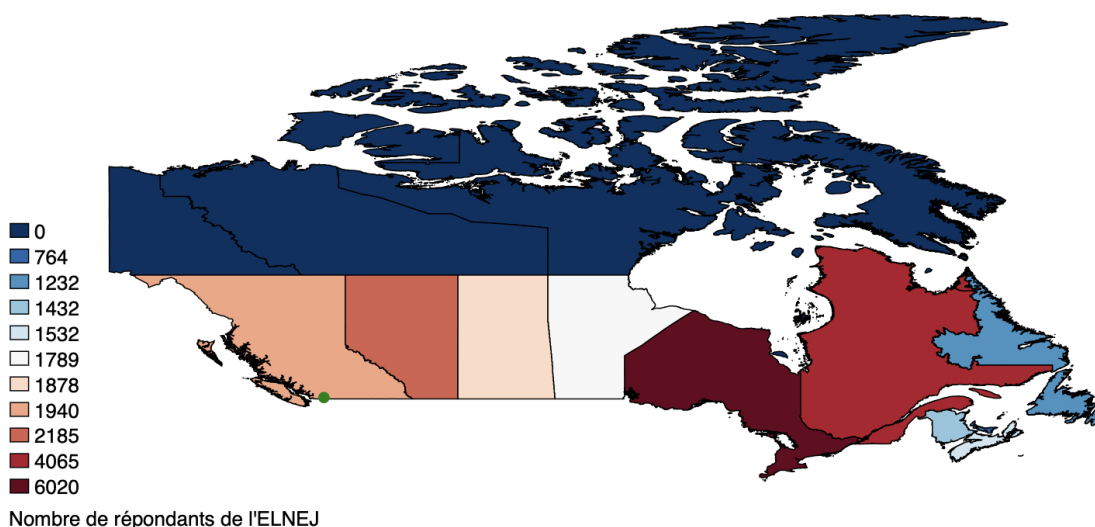


FIGURE 7 – Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 2

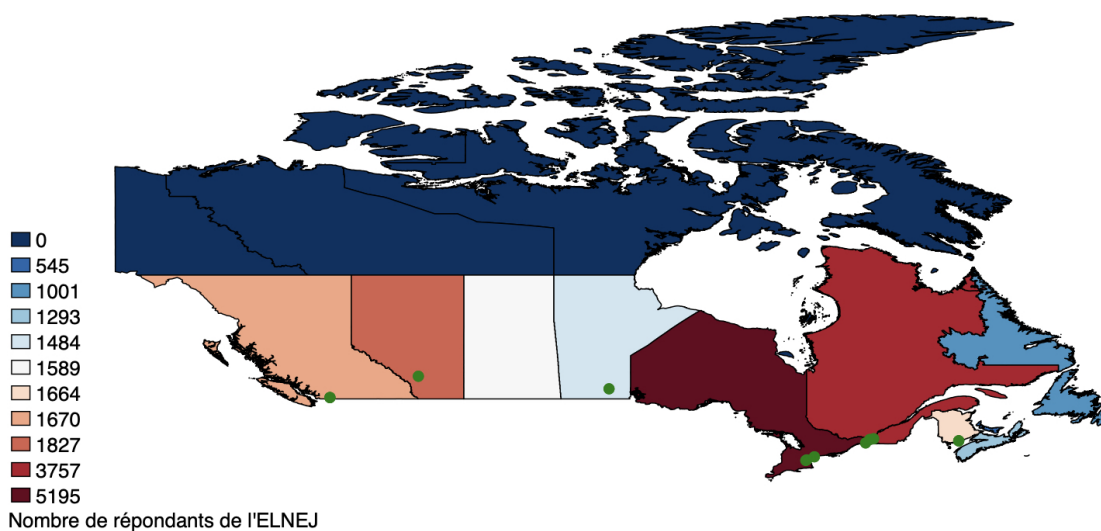


FIGURE 8 – Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 3

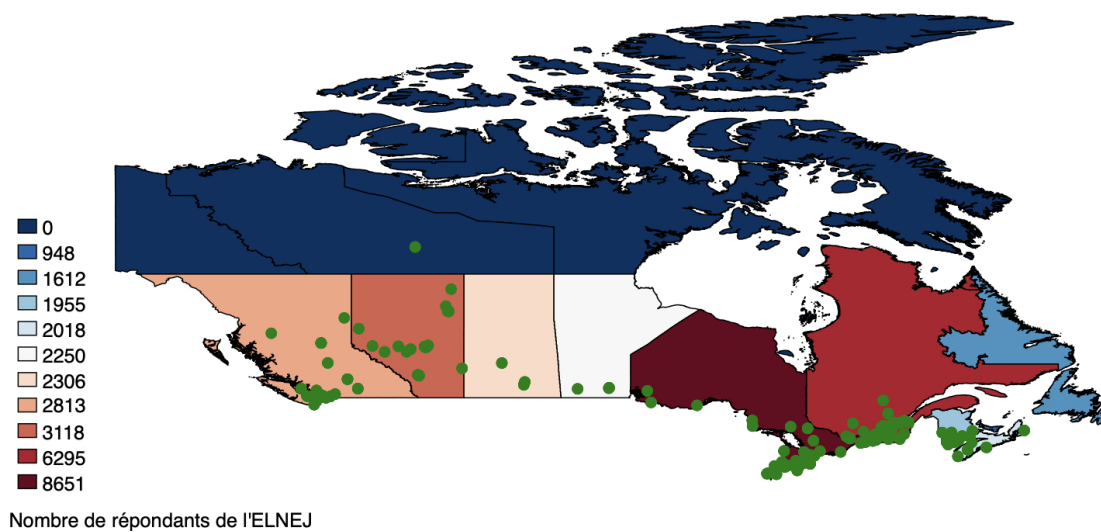


FIGURE 9 – Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 4

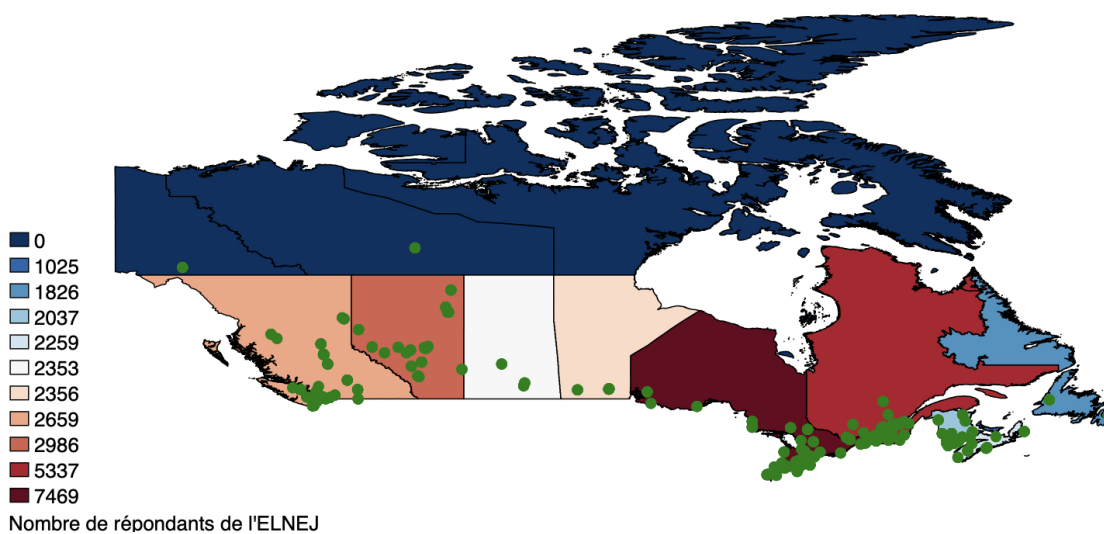


FIGURE 10 – Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 5

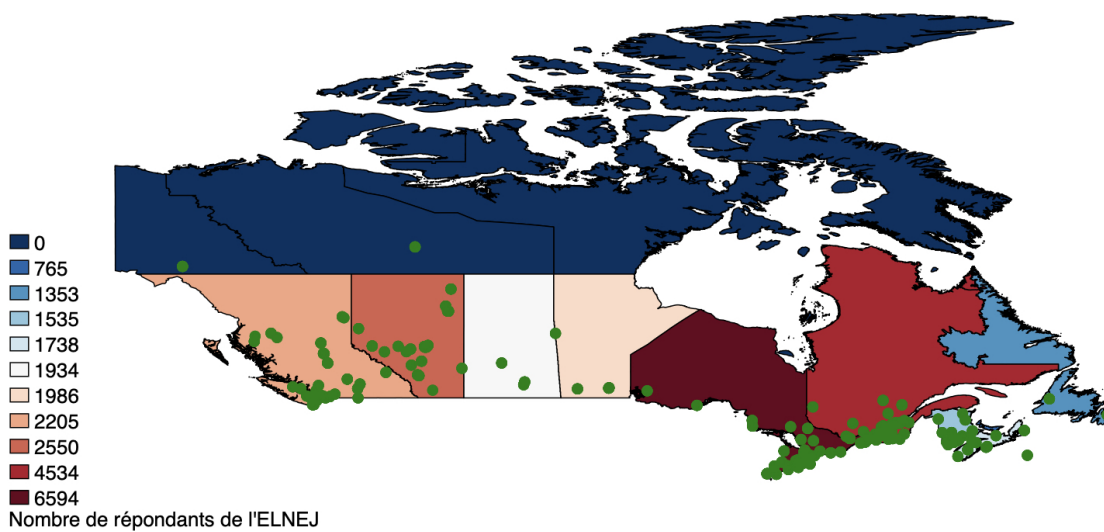


FIGURE 11 – Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 6

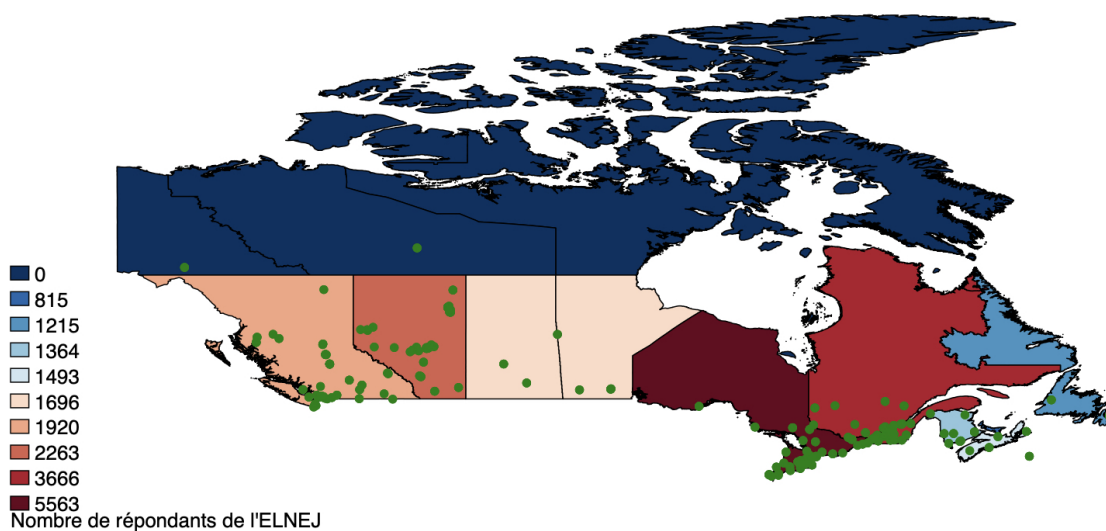


FIGURE 12 – Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 7

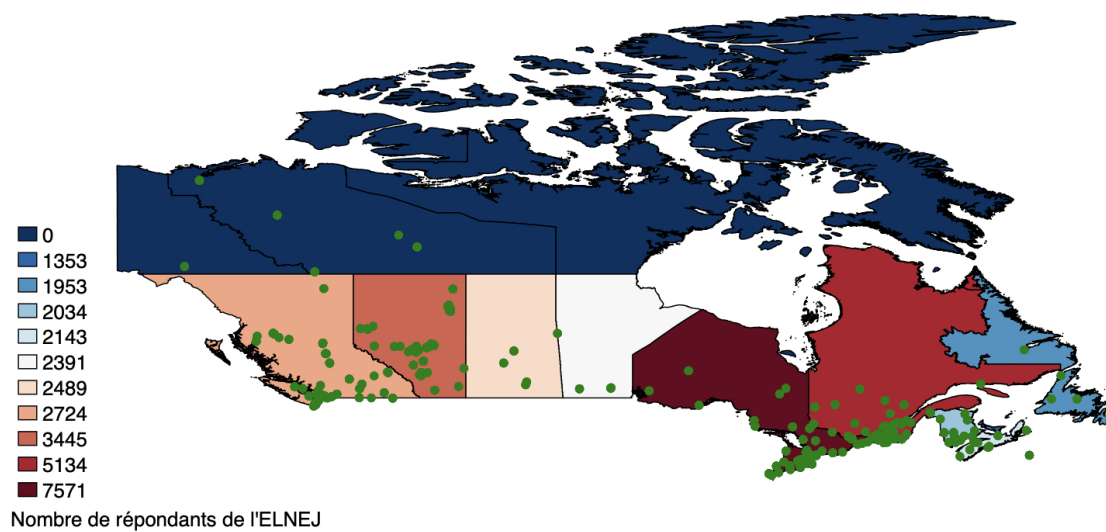
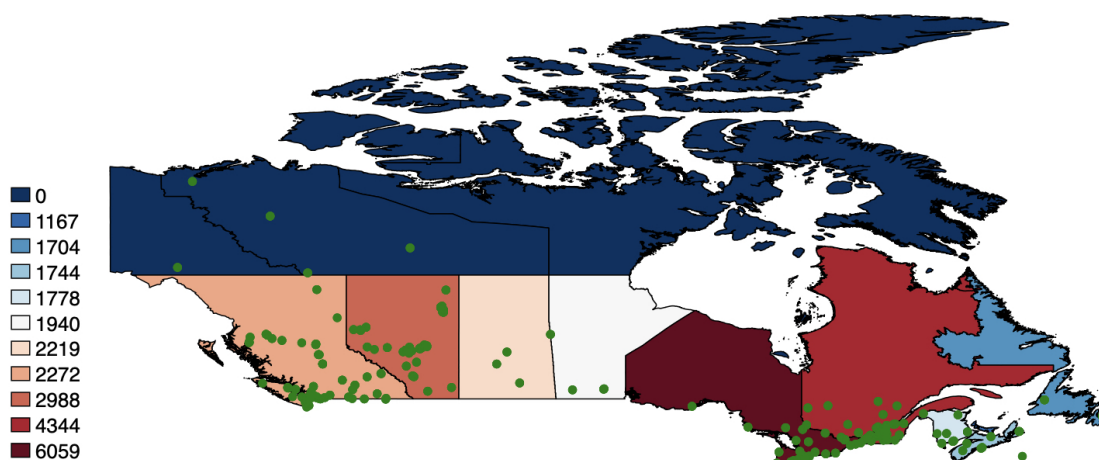


FIGURE 13 – Données jointes ELNEJ-RNSPA au cycle 8



Nombre de répondants de l'ELNEJ

5.3.1 Échantillon de l'ELNEJ pour vue d'analyse

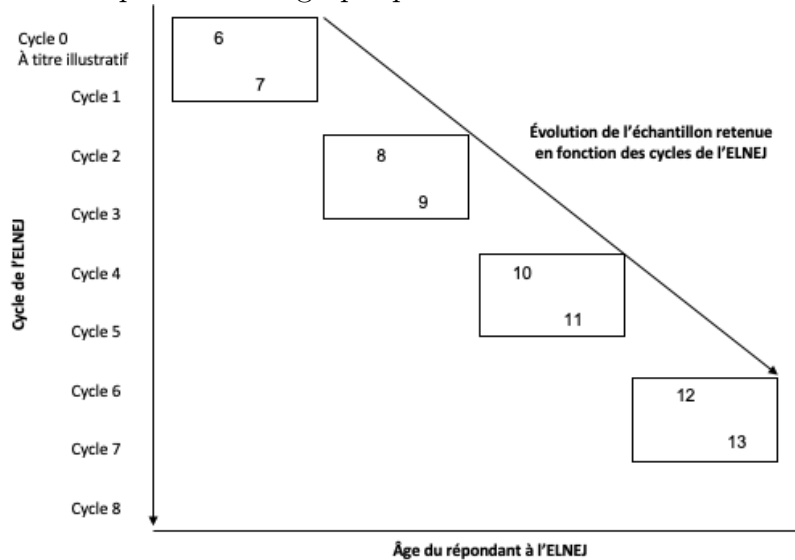
Afin d'évaluer la relation entre l'exposition cumulative aux PM_{2,5} et les résultats en mathématique de enfants d'âges scolaire au Canada, il est important de définir le sous-échantillon de l'ELNEJ qui sera exploité.

Plus précisément, nous nous intéresserons aux enfants âgés de 8-9 ans aux cycles 2 et 3. L'objectif derrière cette sélection est de suivre un même groupe d'enfant évalué à différents cycles. Il est alors possible d'estimer la relation entre l'exposition moyenne aux PM_{2,5} observée durant le cycle de mesure ou durant les cycles précédents et les performances en mathématiques des jeunes canadiens.

Ce même groupe d'enfant est alors observé trois fois, soit à l'âge de 8-9 ans aux cycles 2 et 3, à l'âge de 10-11 ans aux cycles 4 et 5, finalement à l'âge de 12-13 ans soit au cycle 6-7. Voir Figure 14 ici-bas pour une illustration de l'évolution de l'échantillon.

Initialement, la base de données de l'ELNEJ compte un total de 143 120 observations. En appliquant les filtres sur l'âge observé au cycle 2 et 3 ainsi que sur les données observées pour le répondant principal de l'enfant, on obtient un échantillon disponible qui varie en fonction des cycles et des variables de contrôles entre 4 660 et 5 451 observations. Ce sous-échantillon est alors utilisé dans le cadre de l'analyse présentée à la section 5. Il est important de noter que les différents paramètres de sélection représentent un phénomène d'attrition important.

FIGURE 14 – Représentation graphique de l'échantillon de l'ELNEJ retenu



6 Analyse quantitative

Comme discuté à la section 2, les données générées par l'ELNEJ sont des données longitudinales ou des données en panel. Ce type de données nécessitent un traitement spécifique afin de tenir compte de caractéristiques non observées.

la prochaine section permet de définir le modèle économétrique utilisé afin d'estimer l'effet de l'exposition cumulative de long terme aux PM_{2,5} sur les résultats en mathématiques d'enfants d'âges scolaire au Canada, mais également de présenter les résultats de la modélisation.

6.1 Interpolation géostatistique

L'introduction de l'interpolation des données de pollution permet de répondre à une limite des données colligées par le RNSPA. En fait, les données de PM_{2,5} regroupées par une station sont initialement considérées statiques et indépendantes les unes des autres. En conséquence, un rayon doit être imposé autour de la station de collecte de manière à assurer la validité des données associées aux répondants de l'ELNEJ. Cette méthode restreint donc le nombre de répondants potentiels, sachant que la distance du rayon est en moyenne entre cinq et dix kilomètres.

Afin d'assurer un maximum d'appariement entre les données du RNSPA et de l'ELNEJ, l'interpolation géostatistique, soit la méthode universelle de Kriging, permet

d'estimer à partir d'un échantillon de points limités la valeur d'une variable d'intérêt sur un espace continu en exploitant l'autocorrélation des données géospatiales (Columbia P.H., 2019). Ainsi, il est possible d'associer une mesure de PM2,5 à l'ensemble des répondants de l'ELNEJ en appliquant une pondération en fonction de leurs positionnement par rapport à la station de collecte du RNSPA. La valeur estimée à partir du processus de Kriging pour l'ensemble des stations du RNSPA est alors égale aux valeurs colligées. De fait, les valeurs interpolées sont calculées de manière à minimiser l'erreur de prédiction au point évalué.

D'un point de vue théorique, la méthode universelle de Kriging introduit une hypothèse moins restrictive sur la stationnarité de la moyenne, et donc permet aux moyennes de varier de manière spatiale.

Le modèle est alors :

$$Z(O_i) = \mu(O_i) + \varepsilon(O_i) \quad (1)$$

Avec $\mu(O_i)$ une valeur obtenue d'une fonction déterministe et $\varepsilon(O_i)$ un terme d'erreur obtenu à partir de la différence entre le polynôme de premier et second ordre (ESRI,2020).

$$Z(X^{\rightarrow}) = \sum_{k=1}^K \beta f_k(X^{\rightarrow}) + \varepsilon(X^{\rightarrow}) \quad (2)$$

L'équation 2 permet donc d'estimer la valeur moyenne de PM2,5 à partir du vecteur de position X et d'un terme d'erreur auto-corrélée d'un point de vue spatiale. Celle-ci est modélisée à partir d'un variogramme. Plus précisément, un variogramme correspond à une représentation de la covariance entre l'ensemble des paires de données colligées dans l'échantillon. Pour chacune des combinaisons de points disponibles on calcule la différence quadratique moyenne entre les valeurs observées que l'on trace en fonction de la distance entre chacun de ces points(Columbia P.H., 2019).

6.2 Analyse économétrique

Données d'intérêts

L'idée principale de ce mémoire est de tester l'existence d'une relation entre l'exposition cumulative aux PM2,5 et les résultats en mathématiques de jeunes canadiens. Pour ce faire, la variable d'intérêt est MathScore qui correspond aux résultats de la version abrégée du CAT-2 et tel que défini à la section 4. Pour ce qui est de données de pollutions, nous utilisons les données estimées à partir du processus d'interpolation décrit ci-dessus. Deux variables de pollutions sont utilisé en fonction des cycle, soit la mesure de PM2,5 interpolé et cette même mesure au carré. L'utilisation de

la variable de pollution au carré permet de considérer le caractère non linéaire des données.

Données de contrôles

Afin d'appliquer la méthode économétrique aux données jointes de l'ELNEJ et du RNSPA, il est primordial d'introduire les variables de contrôles qui seront utilisés dans l'analyse. La table 5, ici-bas, permet d'énumérer les variables de contrôles pour le modèle de régression. On considère, entre autres, le quartile dans lequel se trouve le revenu du ménage au cours des 12 derniers mois avant impôts et retenues, le plus haut diplôme obtenu par la mère ainsi que d'autres variables, le statut migratoire de la mère et sa consommation de tabac.

TABLE 5 – Variables de contrôles pour l'analyse quantitative (S.Canada, 2009)

Variables de contrôles	Description
Quartile de revenu du ménage (QRev)	Variable numérique [1 ; 4]
Plus haut niveau de scolarité atteint de la mère (ScolF)	Variable nominale dichotomique[0 ; 1]
Âge de la mère biologique à la naissance (AgeMB)	Variable numérique
Statu migratoire de la femme (Immig)	Variable nominale dichotomique[0 ; 1]
Consommation de tabac chez la mère (Tabac)	Variable nominale dichotomique[0 ; 1]
Dépression chez les parents (Dep)	Variable nominale dichotomique[0 ; 1]
Âge de la mère biologique est dans l'adolescence à la naissance	Variable nominale dichotomique[0 ; 1]
L'enfant vie dans une zone rural	Variable nominale dichotomique[0 ; 1]
La variable MathScore au cycle précédent	Variable numérique

Détermination des modèles économétriques

De manière pragmatique, le modèle de régression utilisé dans le cadre de cette analyse est un modèle des moindres carrés ordinaires (c.-à-d. MCO). On suppose alors les hypothèses structurelles du modèle MCO tel que la normalité des erreurs et donc que ceux-ci sont indépendamment et identiquement distribuées ou iid (Richard, 2019).

Le **premier modèle** prend alors la forme suivante :

$$MathScore = \beta_0 + Pol_{t-i}\beta_1 + Pol_{t-i}^2\beta_2 + Pol_t\beta_3 + Pol_t^2\beta_4 + \epsilon \quad (3)$$

Avec Pol_{t-i} et Pol_{t-i}^2 représentent le niveau moyen de PM2,5 et le niveau moyen au carré associés aux répondants pour le cycle précédent. Les variables Pol_t et Pol_t^2 suivent le même concept, mais sont associés au cycle d'intérêt. Finalement, la variable ϵ correspond au terme d'erreur.

Cette spécification, permet donc de considéré une possible relation non-linéaire entre les performances en mathématique et l'exposition aux PM2,5 de manière contemporaine et historique. On parle alors d'un modèle semi-paramétrique.

Pour des fins de simplifications, on suppose que l'équation 3 sans le terme d'erreur correspond à la variable $M1$

Le second modèle correspond au premier modèle auquel on ajoute la variable correspondant au quartile de revenu du ménage, soit ;

$$MathScore = M1 + QRev\beta_5 + \epsilon \quad (4)$$

Le troisième modèle correspond au premier modèle auquel on ajoute la variable correspondant Plus haut niveau de scolarité atteint de la mère, soit ;

$$MathScore = M1 + ScolF\beta_5 + \epsilon \quad (5)$$

Finalement, **Le quatrième modèle** correspond au premier modèle auquel on ajoute l'ensemble des variables de contrôles définies plus haut, soit ;

$$MathScore = M1 + QRev\beta_5 + ScolF\beta_6 + AgeMB\beta_7 + Immig\beta_8 + Tabac\beta_9 + Dep\beta_{10} + Ado\beta_{11} + Rur\beta_{12} + \epsilon \quad (6)$$

6.3 Résultats

Afin d'interpréter les résultats de modélisations, nous avons choisi de subdiviser l'analyse en trois de manière à observer les résultats des répondants de l'ELNEJ en fonction de leur âge au début de l'enquête tels qu'illustrer à la figure 14.

Pour chacun des trois groupes d'âges auquel les répondants ont été observés, soit 8-9 ans, 10-11 ans et 12-13 ans, on observe les résultats disponibles pour chacun des modèles spécifiés ici haut.

Résultats des régressions lorsque les répondants de l'ELNEJ sont âgées 8-9 ans (Voir annexe 8,3 , figure 15 pour le tableau de résultats)

Le premier bloc de résultats permet de constater que la pollution observée lorsque les enfants sont âgés de 8-9 ans est positivement corrélée avec les résultats en mathématique, et ce pour l'ensemble des modèles disponibles. Ces résultats sont tout de même contre-intuitifs. Il est noter que le moyenne d'exposition aux PM_{2,5} aux cycles 2 et 3 sont inférieur à la norme de 10 micromètres par mètre cube, tel qu'on peut le constater à la figure 2.

Pour ce qui est du modèle 2, soit l'équation 4, on constate que la relation positive entre le revenu du ménage et les résultats en mathématique. En fait, plus le revenu du répondant est élevé, plus la relation entre les variables est importante et forte en termes de significativité.

Le modèle 3, soit l'équation 5, permet quant à lui de constater un comportement similaire à celui de la variable revenu pour la variable de scolarité chez la femme. En fait, la relation est positive entre le niveau de scolarité des la femme et le résultat en mathématique de l'enfant. Cependant, l'effet n'est pas totalement linéaire. Comme on peut le constater, un niveau de diplomation postsecondaire sans être collégial démontre une influence plus importante sur les résultats en mathématiques que les femmes ayant un niveau de diplomation collégiale.

Néanmoins, le pouvoir explicatif, soit le R-carré, des régressions des modèles 1,2 et 3 est relativement faible, ce qui laisse présumer que d'autres variables non mesurées seraient susceptibles de mieux expliquer les performances en mathématiques des répondants.

Pour ce qui est des effets marginales des variables de pollutions sur les résultats en mathématiques, ceux-ci ne sont pas statistiquement différents de zéro, comme illustré à la figure 18. Ainsi, l'exposition au PM_{2,5} et l'exposition au carré n'influence pas marginalement à la hausse les résultats en mathématiques. Ce constat permet d'atténuer l'importance de la relation entre la pollution contemporaine et la variable d'intérêt.

À noter, les résultats pour le modèle 4, soit l'équation 6, ne sont pas disponibles pour des raisons de disponibilités de données. Ils seront présentés pour les prochains blocs de données.

Résultats des régressions lorsque les répondants de l'ELNEJ sont âgés 10-11 ans (Voir annexe 8,3 , figure 16 pour le tableau de résultats)

Contrairement, au premier bloc de donner, les résultats associés aux données dites contemporaines aux cycles d'analyse ne sont pas statistiquement significative. Par contre, on constate que la pollution historique, soit celle observée lorsque les répondants étaient âgés de 6-7 ans, semble influencer les performances en mathématique

des répondants de manière statistiquement significative. De plus, la variable de pollution au carré pour cette période est également statistiquement significative, ce qui laisse croire que la contribution de la pollution atmosphérique aux résultats en mathématique est marginalement croissante. Tout comme pour le premier bloc de données, ces résultats sont contre-intuitifs et peuvent s'expliquer en partie par le faible niveau d'exposition observée sur la période.

Pour ce qui est du modèle 2, soit l'équation 4, on constate également l'existence d'une relation positive entre le revenu du ménage et les résultats en mathématique. En fait, plus le revenu du répondant est élevé, plus la relation entre les variables est importante et forte en termes de significativité.

Le modèle 3, soit l'équation 5, permet quant à lui de constater un comportement similaire à celui de la variable revenu pour la variable de scolarité chez la femme. En fait, la relation est positive entre le niveau de scolarité des la femme et le résultat en mathématique de l'enfant. Contrairement, au bloc de données précédent, la relation est totalement linéaire. C'est-à-dire, que l'effet de scolarité est croissant en fonction du niveau de scolarité atteint par la femme.

Quant à lui le modèle 4, soit l'équation 6, permet de constater que la consommation de tabac dans l'environnement du répondant influence négative les résultats de en mathématiques des répondants, et ce à un seuil de significativité de 1%. Ce résultat permet une ouverture possible sur l'influence de la qualité de l'aire à l'intérieur des bâtiments sur les performances cognitives des enfants d'âges scolaires.

Tout comme pour le premier bloc de données, le pouvoir explicatif des modèles de différents modèles , soit le R-carré, est relativement faible, ce qui laisse présumer que d'autres variables non mesurées seraient susceptibles de mieux expliquer les performances en mathématiques des répondants. Quant-à-eux, les effets marginales des variables de pollutions sur les résultats en mathématiques ne sont pas statistiquement différents de zéro, comme illustré à la figure 19. Ainsi, l'exposition au PM2,5 et l'exposition au carré n'influence pas marginalement à la hausse les résultats en mathématiques. Ce constat permet d'atténuer l'importance de la relation entre la pollution contemporaine et la variable d'intérêt.

Résultats des régressions lorsque les répondants de l'ELNEJ sont âgés 12-13 ans (Voir annexe 8,3 , figure 17 pour le tableau de résultats)

Tout comme le second bloc de données, les résultats associés aux données dites contemporaines aux cycles d'analyse ne sont pas statistiquement significatifs ainsi que les données historiques plus récentes. Également, on constate que la pollution historique observée lorsque les répondants étaient âgés de 6-7 ans semble toujours

influencer les performances en mathématique des répondants de manière statistiquement significative en plus d'être possiblement marginalement croissante. De même que pour les deux premiers blocs de données ces résultats sont contre-intuitifs et peuvent s'expliquer en partie par le faible niveau d'exposition observée sur la période.

Pour ce qui est du modèle 2, soit l'équation 4, on constate également l'existence d'une relation positive entre le revenu du ménage et les résultats en mathématique. Dans le cas présent, uniquement les quartiles 3 et 4, soit ceux dénombrant les revenus les plus importants sont statistiquement significatifs. Tout de même, la relation entre les deux variables reste positive.

Le modèle 3, soit l'équation 5, permet quant à lui de constater un comportement similaire aux deux derniers blocs de données. Contrairement, aux blocs précédents, l'ensemble des niveaux de scolarités sauf le diplôme secondaire sont statistiquement significatifs, et ce pour un seuil de 1%.

Quant à lui, le modèle 4, soit l'équation 6, permet de constater que la consommation de tabac dans l'environnement du répondant influence négative les résultats de en mathématiques des répondants, et ce à un seuil de significativité de 5%. Mais encore, il est possible de constater pour la première fois l'effet possible du statut de migration sur les performances en mathématiques des enfants. En fait, on constate que le fait d'être issue de l'immigration pour la mère influencerait positivement les résultats en mathématique chez les enfants. Par contre, ce résultat est évalué à un seuil de significativité de 10%. On peut alors considérer avec parcimonie ce résultat.

Tout comme pour les deux premiers blocs de données, le pouvoir explicatif des différents modèles, soit le R-carré, est relativement faible, ce qui laisse présumer que d'autres variables non mesurées seraient susceptibles de mieux expliquer les performances en mathématiques des répondants. Mais encore, les effets marginales des variables de pollutions sur les résultats en mathématiques sont également non statistiquement différents de zéro, comme illustré à la figure 20. Ainsi, l'exposition au PM_{2,5} et l'exposition au carré n'influence pas marginalement à la hausse les résultats en mathématiques. Ce constat permet d'atténuer l'importance de la relation entre la pollution contemporaine et la variable d'intérêt.

Bref, l'ensemble des résultats de modélisation présenté ici-haut sont peut concluant et ne permettent pas de démontré la relation entre l'exposition cumulative de long terme aux PM_{2,5} et les performance académiques, soit en mathématique, des jeunes canadiens.

6.4 Limites

L'analyse réalisée dans le cadre de ce mémoire introduit quelques limites. Tout d'abord, la qualité et la quantité des données disponibles tant du côté de l'ELNEJ que du côté du RNSPA introduisent des limites sur la validité des résultats. Plus précisément, le faible nombre de stations de captation active au cours des deux premiers cycles limite grandement l'échantillon, comme le démontre les figure 6 et 7. Plus précisément, ce faible nombre de stations induit donc un faible nombre d'appariements de répondants de l'ELNEJ vivant dans un rayon de 5km d'une station du RNSPA.

Mais encore, les enjeux de captations des appareils TEOM au cours des 6 premiers cycles de l'ELNEJ limitant ainsi la précision des données captées durant la période 1994 à 2005. Plus spécifiquement, les appareils TEOM se sont avérés surestimer la concentration ambiante de PM_{2,5}. Le biais a été estimé à 10% (Schwab et al., 2006). En réponse, à cet enjeu, les appareils ont été changés à compter de 2005. Par contre, le calendrier de remplacement n'a pas permis d'identifier et de corriger à rebours les biais en fonction des moments de remplacement. À terme, il est possible que le niveau d'exposition moyen au PM_{2,5} soit légèrement surestimer. Par contre, puisque les résultats ne sont pas statistiquement significatifs, il est possible de réduire la considération relative de ce biais.

En suite, il faut considérer la taille de l'échantillon comme une limite importante à l'inférence statistique sur la population. En fait, le processus de nettoyage de données réduit considérablement l'échantillon. Il est possible de se référer aux critères de récurrence des répons (c.-à-d. le répondant doit être présent minimalement à deux cycles) ainsi que la distance entre la résidence de l'enfant et une station du RNSPA. Ces critères sont responsables du phénomène d'attrition de l'échantillon.

De plus, la relation entre l'exposition cumulative de long terme aux PM_{2,5} n'exclut pas les effets des expositions de pointes qui ont largement été étudié et pour lesquelles, il existe une corrélation démontré. Plus précisément, il est probable que les effets induits d'une exposition de pointe soient responsables de la dégradation des performances cognitives de long terme. Il serait alors intéressant de chercher à isoler uniquement les effets de l'exposition cumulative de long terme aux PM_{2,5}.

De même, la spécification du modèle de régression induit un faible pouvoir explicatif, il est alors plus que possible que d'autres variables puissent être considérées dans une nouvelle modélisation afin d'assurer une meilleure analyse de la relation. De plus, la corrélation entre les variables de pollutions contemporaines, au carré et leur contre partie historique sont relativement corrélé, ce qui pourrait induire des enjeux de colinéarité, voir figure 21. La spécification du modèle pourrait être revue en réduisant l'analyse de la relation avec l'exposition de pointes.

En conséquence, il existe plusieurs limites à l'inférence statistique des résultats. Certains d'entre eux découlent directement de la méthodologie et d'autres pourraient être considérés comme ouverture à cette recherche.

7 Conclusion

En conclusion, il n'est pas possible de démontré l'existence d'une de relation entre l'exposition cumulative de long terme aux PM_{2,5} et les résultats en mathématiques d'enfants d'âges scolaire au Canada. Ceci est cohérent avec les faibles niveaux moyen d'exposition au PM_{2,5} au Canada comme il est possible de constater à la figure 2. Plus précisément, le faible niveau d'exposition d'un cycle à l'autre de l'ELNEJ adjoint à l'importance du territoire et à la dispersion de la population sont des facteurs contribuant à justifier l'absence de relation entre les résultats du test mathématique de l'ELNEJ et l'exposition cumulative de long terme aux PM_{2,5}.

Toutefois, la littérature démontre l'existence d'une relation négative entre l'exposition de pointe aux PM_{2,5} et la réduction des performances cognitives. Plus précisément, celle-ci illustre l'existence des effets négative de l'exposition de pointe aux PM_{2,5} sur les performances cognitives contemporaines. Mais encore, les effets de long terme à une exposition chronique sont également responsables d'une réduction permanente des performances cognitives.

Mais encore, l'exposition aux PM_{2,5} implique des effets ponctuelles et permanents sur l'organisme responsable, entre autre, d'absentéisme et d'une réduction de l'espérance de vie (Burnett et al. , 2018). Il est alors indéniable que l'exposition aux PM_{2,5} réduit la productivité des individus et pourrais éventuellement être responsable d'une réduction de la force de travail. Il est possible de croire que les pays aux pris avec des seuils d'expositions à la pollution atmosphérique importants pourrait voir à long terme leur niveau de production se contracter dû à la réduction de la productivité ainsi qu'à la réduction de la force de travail (Persico, 2021).

Les changements climatiques adjoints à une augmentation de la fréquence des événements climatiques extrêmes, comme les feux de forêt, pourraient entraîner dans les prochaines années une croissance de la fréquence des périodes d'exposition de pointes, ce qui à terme, serait en mesure d'impacter de manière plus significative les performances cognitives des jeunes canadiens d'âge scolaire. Il sera donc pertinent de réévaluer la relation entre l'exposition cumulative de long terme et chronique aux PM_{2,5} et les résultats en mathématiques d'enfants d'âges scolaire au Canada.

8 Bibliographie

Références

- [1] Conseil canadien des ministres de l'environnement(2019), Lignes directrices sur la surveillance de l'air ambiant, l'assurance et le contrôle de la qualité.p.5,13-14,44
- [2] Conseil Canadien des ministres de l'environnement, Guide pour la détermination de l'atteinte des normes pancanadiennes, P.23
- [3] US EPA, What Is Ozone?, <https://www.epa.gov/ozone-pollution-and-your-patients-health/what-ozone>
- [4] Environnement Canada (2016), Principaux Contaminants Atmosphériques : Ozone Troposphérique, <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/pollution-atmosphérique/polluants/principaux-contaminants/ozone-troposphérique.html>
- [5] Statistique Canada (2012), Document De Conseils Sur Les Particules Fines (PM2,5) Dans L'air Intérieur Résidentiel , <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/publications/vie-saine/document-conseils-particules-fines-pm2-5-air-interieur-residentiel.html>
- [6] Statistique Canada (2009), Guide De L'Utilisateur Des Microdonnées, Cycle 8. Enquête longitudinale nationale sur les enfants et les jeunes. Gouvernement du Canada, p.11-12, 18, 156-157,
- [7] Statistique Canada (2020), Guide De L'enquête Sur La Population Active : Section 3 : Dictionnaire Des Concepts Et Des Définitions , <https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/71-543-g/2012001/part-partie3-fra.htm>
- [8] Statistique Canada (2009), Guide De L'Utilisateur Des Microdonnées, Cycle 8. Enquête longitudinale nationale sur les enfants et les jeunes. Gouvernement du Canada, p.23,35
- [9] Statistique Canada (2015),Fichier De Conversion Des Codes Postaux MO Plus (FCCP+), <https://www150.statcan.gc.ca/n1/fr/catalogue/82F0086X>
- [10] Statistique Canada (1994), Guide De L'Utilisateur Des Microdonnées, Cycle 1. Enquête longitudinale nationale sur les enfants et les jeunes. Gouvernement du Canada, p.13.
- [11] Statistique Canada et Ressources humaines et développement social Canada (2006), Enquête longitudinale nationale sur les enfants et les jeunes, p. 66-67

-
- [12] Statistique Canada (2018), Programme de surveillance nationale de la pollution atmosphérique - Données, <http://data.ec.gc.ca/data/air/monitor/national-air-pollution-surveillance-naps-program/Data-Donnees/?lang=fr>>
- [13] Conseil Canadien des ministres et des forêts (CCMF) (2020), <http://nfdp.ccfm.org/fr/data/fires.php>
- [14] Statistique Canada (2015), Centre de population (CTRPOP) - Dictionnaire du recensement, <https://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2011/ref/dict/geo049a-fra.cfm>
- [15] Archsmith, J., Heyes, A. and Saberian, S. (2018), Air Quality and Error Quantity : Pollution and Performance in a High-Skilled, Quality-Focused Occupation, Journal of the Association of Environmental and Resource Economists, p.827-863
- [16] Schwab J.J., Spicer J., Demerjian K.L., Ambs J.L. et Felton H.D. (2004), Long-term field characterization of tapered element oscillating microbalance and modified tapered element oscillating microbalance samplers in urban and rural New York State locations. Journal of the Air and Waste Management Association, p.264-1280.
- [17] Burnett, R., Chen, H., Szyszkowicz, M., Fann, N., Hubbell, B., Pope, C.A., et al, Global estimates of mortality associated with long-term exposure to outdoor fine particulate matter, Proceedings of the National academy of Sciences of the United States of America, p. 9592–9597
Gouvernement du Canada (2019), Programme du Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique, <https://ouvert.canada.ca/data/fr/dataset/1b36a356-defd-4813-acea-47bc3abd859b>
- [18] Gouvernement du Canada (2019), Programme du Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique, <https://www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/pollution-atmospherique/reseau-surveillance-donnees/programme-national-pollution-atmospherique.html>
- [19] Gouvernement du Canada (2013), Programme du Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique : partenaires, <https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/air-pollution/monitoring-networks-data/national-air-pollution-program/partners.html>

-
- [20] S. Zweig, J., C. Ham, J. and L. Avol, E., 2009. Air Pollution and Academic Performance : Evidence from California Schools. National Institute of Environmental Health Sciences, p.2.
- [21] S. Zweig, J., C. Ham, J. and L. Avol, E (2009), Air Pollution and Academic Performance : Evidence from California Schools
- [22] Xie, Y., Dai, H., Zhang, Y., Wu, Y., Hanaoka, T. and Masui, T. (2019), Comparison of health and economic impacts of PM2.5 and ozone pollution in China, Environment International
- [23] Zivin, J. and Neidell, M.(2017) ,The Impact of Pollution on Worker Productivity, American Economic Review, p.3652-3673
- [24] Weidong Wu, Yuefei Jin Chris Carlsten (2018), Inflammatory health effects of indoor and outdoor particulate matter, Clinical reviews in allergy and immunology
- [25] Tanaka T, Asai M, Yanagita Y, Nishinakagawa T, Miyamoto N, Kotaki K, et al (2013), Longitudinal study of respiratory function and symptoms in a non-smoking group of long-term officially-acknowledged victims of pollution-related illness. BMC Public Health
- [26] Jing Du,Bing Shao,Yanlin Gao, Zaihua Wei, Yu Zhang, Hong Li,Jing Wang, Yunping Shi,Jianting Su, Qingping Liu, Yang Liu, Ping Wang, Chunyan Xie, Chao Wang,Xinbiao Guo Gang Li (2021), Associations of long-term exposure to air pollution with blood pressure and homocysteine among adults in Beijing, China : A cross-sectional study,Environnemental Research, Volume 197
- [27] Université Catholique de Louvain, Chapitre 4, Le système nerveux autonome, [https ://sites.uclouvain.be/facm2/dessy/systeme-nerveux-autonome.pdf](https://sites.uclouvain.be/facm2/dessy/systeme-nerveux-autonome.pdf)
- [28] Suji Lee, Whanhee Lee, Dahye Kim, Ejin Kim, Woojae Myung, Sun-Young Kim, Ho Kima (2019), Short-term PM2.5 exposure and emergency hospital admissions for mental disease, Environmental reseach, 171
- [29] Melinda C. Power, Marc G. Weisskopf, Stacey E. Alexeeff, Brent A. Coull, Avron Spiro III, and Joel Schwartz (2011), Traffic-Related Air Pollution and Cognitive Function in a Cohort of Older Men, ,Environmental Health Perspectives
- [30] Marine Corniou, L'infranchissable barrière hémato-encéphalique, Québec Science, Magazine en ligne, 2020
- [31] Ning-Hua Huang, Qin Wang, Dong-Qun Xu (2008), Immunological effect of PM2.5 on cytokine production in female Wistar rats

-
- [32] Lynne Peeples (2020), How air pollution threatens brain health, Proceedings of the National Accademy of Sciences of the United States of America (PNAS)
- [33] Shehab, M.A., Pope, F.D.(2019), Effects of short-term exposure to particulate matter air pollution on cognitive performance
- [34] Diana Younan, Andrew J Petkus, Keith F Widaman, Xinhui Wang, Ramon Casanova, Mark A Espeland, Margaret Gatz, Victor W Henderson, JoAnn E Manson, Stephen R Rapp, Bonnie C Sachs, Marc L Serre, Sarah A Gaussoin, Ryan Barnard, Santiago Saldana, William Vizuetete, Daniel P Beavers, Joel A Salinas, Helena C Chui, Susan M Resnick, Sally A Shumaker, Jiu-Chiuan Chen (2020), Particulate matter and episodic memory decline mediated by early neuroanatomic biomarkers of Alzheimer’s disease, *Brain*, p.289–302
- [35] Lindsay A. Tallon, Justin Manjourides, Vivian C. Pun, Carmel Salhi, Helen Suh (2017), Cognitive impacts of ambient air pollution in the National Social Health and Aging Project (NSHAP) cohort, *Environment International* 104 (2017) 102–109
- [36] Aarón Salinas-Rodríguez, Julián Alfredo Fernández-Niño, Betty Manrique-Espinoza, Grea Litai Moreno-Banda, Ana Luisa Sosa-Ortiz, Zhengmin (Min)Qian, Hualiang Lin (2018), Exposure to ambient PM_{2.5} concentrations and cognitive function among older Mexican adults , *Environment International*
- [37] Liuhua Shi, Xiao Wu, Mahdieh Danesh Yazdi, Danielle Braun, Yara Abu Awad, Yaguang Wei et al.(2020), Long-term effects of PM_{2.5} on neurological disorders in the American Medicare population : a longitudinal cohort study
- [38] P.Matus, M.Salgado et N.Vega (2019), Air Pollution and cognitive impairment in 5 years old children from Chile
- [39] Laura A McGuinn, David C Bellinger, Elena Colicino, Brent A Coull, Allan C Just, Itai Kloog, Erika Osorio-Valencia, Lourdes Schnaas, Rosalind J Wright, Martha M Téllez-Rojo, Robert O Wright, Megan K Horton (2020), Prenatal PM_{2.5} exposure and behavioral development in children from Mexico City
- [40] Philine Gaffron, Deb Niemeier (2015), School Locations and Traffic Emissions — Environmental (In)Justice Findings Using a New Screening Method
- [41] Casey Mullen, Sara E. Grineski, Timothy W. Collins, Daniel L. Mendoza (2020), Effects of PM_{2.5} on Third Grade Students’ Proficiency in Math and English Language Arts, *International Journal of Environmental Research and Public Health*

-
- [42] Wenxin Lu , Daniel A. Hackman , and Joel Schwartz , Ambient air pollution and academic achievements among US children : a panel study , Environmental Health Perspectives
- [43] Jacqueline S. Zweig, John C. Ham, Edward L. Avol (2009), Air Pollution and Academic Performance : Evidence from California Schools
- [44] Patrick Richard (2019), note de cours ECN541
- [45] Tomás Rau, Sergio Urzúa, et Loreto Reyes, Early Exposure to Hazardous Waste and Academic Achievement : Evidence from a Case of Environmental Negligence, Journal of the Association of Environmental and Resource Economists, 2015
- [46] Claudia Persico, How Exposure to Pollution Quietly Shapes the American Workforce and Economy, Innovation frontier project, 2021
- [47] Columbia Mailman School Of Public Health, Kriging Interpolation, 2019
- ESRI, ArcGIS Pro 2.8, Understanding universal kriging, date de publication non disponible

9 Annexe

9.1 Partenaires du RNSPA

La table ci-dessous, Partenaires du RNSPA, énumère de manière exhaustive les membres du réseau. Ceux-ci sont majoritairement des ministères de l'environnement ou des régions métropolitaines.

TABLE 6 – Partenaires du RNSPA
(G.Canada,2013)

Province, territoire ou municipalité	Organisme responsable de la collecte
Terre-Neuve-et-Labrador	Department of Environment and Conservation
Île-du-Prince-Édouard	Department of Environment, Energy and Forestry
Nouvelle-Écosse	Environnement Nouvelle-Écosse
Algeria Nouveau-Brunswick	Ministère de l'Environnement du Nouveau-Brunswick
Québec	Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs
Ville de Montréal	Direction de l'environnement
Ontario	Ministère de l'Environnement de l'Ontario
Manitoba	Manitoba Conservation
Saskatchewan	Saskatchewan Ministry of Environment
Alberta	Alberta Environment
Colombie-Britannique	British Columbia Ministry of Environment
Metro Vancouver	Air Quality Policy and Management Division
Yukon	Government of Yukon Department of Environment
Gouvernement des Territoires-du-Nord-Ouest	Department of Environment and Natural Resources
Gouvernement du Nunavut	Department of Environment

9.2 Détermination des sites de prélèvements

TABLE 7 – Détermination des sites de prélèvements
(CCME, 2019)

Classe de sites de prélèvements	Description
Classe 1 ; Urbanisation	Afin de définir le degré d'urbanisation, le réseau utilise les centres de population du recensement de Statistique Canada (Canada. S, 2015). Un centre de population est une zone ou un ensemble de zones géographiques comptant au minimum 1000 habitants et doit avoir une densité de 400 individus par kilomètre carré. Si ces critères ne sont pas respectés, alors la zone sera considéré comme une zone non urbaine. Il est à noter que la vaste majorité du territoire canadien est considéré comme non urbaine (CCME,2019).
Classe 2 ; Population de quartier	Cette catégorie permet d'évaluer les nombres de résidences dans un rayon de quatre kilomètres autour d'une station du RNSPA. La taille du quartier permet aussi d'évaluer l'exposition des résidents à la pollution atmosphérique.
Classe 3 ; exploitation du sol	Cette classe permet d'identifier le type d'exploitation du sol qui est réalisé dans un rayon de 400 mètres autour de la station en zone urbaine. Le réseau a choisit ce rayon afin qu'il corresponde à celui utilisé par le Air Quality System des États-Unis. De plus, il est à noter que cette distance correspond à l'échelle moyenne de représentativité spatiale. Les classes sont les suivantes ; <ol style="list-style-type: none">1. Résidentielle2. Commerciale3. Industrielle4. Forestière5. Zone dégagée6. Agricole7. Parc et plan d'eau

TABLE 8 – Détermination des sites de prélèvements - suite
(CCME, 2019)

Classe de sites de prélèvements	Description
Classe 4 ; type de station	Cette catégorie permet de définir qu'elle est la source d'émission que la station doit évaluer. Il existe quatre sources, soit la pollution atmosphérique général, la concentration de fonds, la pollution découlant du transport et celle provenant de sources fixes. Plus précisément, la concentration de fonds est le niveau de particules fines (i.e. PM2.5) présent dans l'atmosphère sans activités humaines ou sans particules primaires(CCME,2019). Quant à elle, une source fixe peut être une usine pétrochimique. Le type de station le plus courant dans le réseau est celui qui évalue la pollution atmosphérique en général. Ce type de station permet principalement de considérer les niveaux de pollution dans les zones urbaines et de quartier. Ce qui est conforme avec la mission du réseau , soit de colliger des données sur la pollution atmosphérique dans les zones habitées du Canada.

9.3 Variables colligées par l'ELNEJ et résultats de modélisation

TABLE 9 – Variables colligées auprès de la personne responsable de l'enfant dans le cadre de l'ELNEJ(S.Canada, 2009).

Variables d'intérêts
Le niveau de scolarité
L'activité sur le marché du travail
Le revenu
La santé de l'adulte
Le fonctionnement de la famille
La sécurité du quartier
Le soutien social
Les caractéristiques sociodémographiques

TABLE 10 – Variables colligées auprès de l'enfant à partir du questionnaire administré à l'enfant dans le cadre de l'ELNEJ(S.Canada, 2009).

Variables d'intérêts
Le niveau de scolarité
La santé
Les étapes du développement
Le tempérament
L'alphabétisation
La communication
La participation aux activités non scolaires
Le comportement
Le sommeil
Les relations
Le rôle parental et la garde légal de l'enfant

TABLE 11 – Variables colligées partir du questionnaire administré auto-administré aux jeunes de 14 à 17 ans dans le cadre de l'ELNEJ(S.Canada, 2009).

Variables d'intérêts
La portée et la qualité du réseau social
Les perceptions relatives à l'école
L'estime de soi
Les sentiments et comportements
Les comportements à risques
Le suicide
La dépression
La relation avec le tuteur légal
Le tabac, l'alcool et les drogues
Les activités non scolaires
La santé
Le travail
Les relations amoureuses

TABLE 12 – Variables colligées partir du questionnaire administré aux jeunes de 16 à 25 ans dans le cadre de l'ELNEJ(S.Canada, 2009).

Variabes d'intérêts
Le niveau de scolarité
Les attentes et aspirations
Le départ du foyer parental
L'activité sur le marché du travail
L'aspiration professionnelle
Le revenue
La santé
Les sentiments et comportements
Les relations
Les activités non scolaires
Les engagements politiques
L'estime de soi
Le quotient émotionnel
Le soutien social
La formation de la famille et la fertilité

FIGURE 15 – Résultats des régressions : Bloc 1

MODÈLE	1	2	3
VARIABLES	scoreMath	scoreMath	scoreMath
pol_8_9	9.545** (4.761)	9.259* (4.936)	9.841** (4.806)
2.pol_8_9	5.557 (4.645)	5.507 (4.784)	5.557 (4.705)
pol_6_7	1.631 (4.027)	1.870 (4.011)	1.493 (3.767)
2.pol_6_7	3.035 (4.123)	2.521 (4.173)	2.725 (3.872)
diplSecFemme			4.124 (3.887)
postFemme			14.352*** (3.621)
diplCollFemme			10.116*** (3.053)
diplUniFemme			21.568*** (4.115)
2.q_rev		6.488* (3.389)	
3.q_rev		9.006*** (3.149)	
4.q_rev		13.903*** (4.402)	
Constant	365.063*** (4.303)	357.297*** (5.123)	353.970*** (4.873)
Observations	4,660	4,651	4,660
R-carré	0.013	0.021	0.029

Erreurs types entre parenthèses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

FIGURE 16 – Résultats des régressions : Bloc 2

MODÈLE	1	2	3	4
VARIABLES	scoreMath	scoreMath	scoreMath	scoreMath
pol_10_11	-1.747 (4.569)	-2.375 (4.589)	-3.018 (4.498)	-3.189 (4.639)
2.pol_10_11	3.718 (4.844)	3.339 (4.756)	2.218 (4.869)	1.365 (5.095)
pol_8_9	-0.417 (4.188)	-0.519 (4.055)	0.445 (3.955)	0.070 (4.354)
2.pol_8_9	-4.891 (4.287)	-4.692 (4.086)	-3.280 (4.149)	-3.424 (4.576)
pol_6_7	9.518** (4.452)	9.754** (4.430)	9.679** (4.479)	9.812** (4.675)
2.pol_6_7	12.429*** (4.740)	11.081** (4.787)	11.682** (4.763)	11.040** (5.006)
QRev-2		7.085** (2.822)		4.400 (2.931)
QRev-3		15.667*** (3.704)		11.031*** (3.820)
QRev-4		23.100*** (3.347)		13.154*** (4.108)
ScolF-SEC			6.866** (3.186)	4.635 (3.110)
ScolF-Post			13.640*** (4.902)	10.716** (4.439)
ScolF-COLL			14.556*** (3.363)	10.057*** (2.768)
ScolF-UNI			28.910*** (3.672)	19.615*** (4.403)
AgeMB				0.406* (0.210)
AgeMB_absent				15.172 (13.245)
Immig				3.234 (4.431)
Tabac				-9.785*** (3.180)
Dep				-0.304 (0.231)
Dep_absent				-
Ado				4.893 (8.714)
Rur				-1.472 (3.902)
Constant	426.230*** (5.888)	415.514*** (6.851)	413.535*** (7.368)	402.423*** (8.976)
Observations	5,451	5,442	5,451	5,237
R-carré	0.022	0.045	0.047	0.069

FIGURE 17 – Résultats des régressions : Bloc 3

MODÈLE	1	2	3	4
VARIABLES	scoreMath	scoreMath	scoreMath	scoreMath
pol_12_13	8.891 (7.218)	10.511 (7.918)	10.808 (8.228)	12.632 (8.611)
2.pol_12_13	6.243 (7.936)	8.365 (8.770)	8.096 (9.099)	10.203 (9.501)
pol_10_11	-1.042 (7.665)	-2.126 (7.615)	-2.809 (7.719)	-3.114 (7.867)
2.pol_10_11	9.095 (8.859)	7.023 (9.057)	7.468 (9.258)	6.919 (9.385)
pol_8_9	9.923 (6.023)	9.746 (6.466)	11.051* (5.947)	8.649 (6.350)
2.pol_8_9	9.418 (6.072)	9.603 (6.258)	10.875* (6.114)	7.334 (6.231)
pol_6_7	16.675*** (5.617)	16.138*** (5.480)	16.140*** (5.128)	14.906*** (4.734)
2.pol_6_7	12.766** (6.399)	10.716* (6.094)	10.936* (5.882)	8.563* (4.927)
QRev-2		1.339 (4.146)		0.358 (3.415)
QRev-3		20.253*** (4.621)		15.477*** (4.511)
QRev-4		27.467*** (4.713)		17.247*** (4.716)
ScolF-SEC			8.722 (5.852)	4.551 (5.882)
ScolF-Post			26.637*** (5.804)	23.623*** (5.968)
ScolF-COLL			22.989*** (6.072)	17.214*** (6.289)
ScolF-UNI			40.936*** (6.938)	28.216*** (8.144)
AgeMB				0.414 (0.423)
AgeMB_absent				16.996 (10.989)
Immig				11.110* (5.960)
Tabac				-7.297** (3.656)
Dep				-0.296 (0.382)
Dep_absent				-
Ado				4.821 (8.956)
Rur				-2.178 (4.015)
Constant	464.704*** (7.984)	452.299*** (9.284)	445.316*** (9.648)	433.510*** (14.338)
Observations	5,402	5,395	5,402	5,255
R-carré	0.018	0.047	0.057	0.080

Erreurs types entre parenthèses

*** p<0.01, ** p<0.05, * p<0.1

FIGURE 18 – Résultats des effets marginales : Bloc 1

Bloc 1			
Modèles	1	2	3
EM pol_8_9	602,1	596,5	602,4
σ	106,4	104,3	108,0
t	0,083	0,084	0,082
EM pol_6_7	314,3	261,6	282,2
σ	31,9	31,2	29,0
t	0,144	0,123	0,143
n	4660	4651	4660

H0 : $\mu(0) = 0$

t=2,807

FIGURE 19 – Résultats des effets marginales : Bloc 2

Bloc 2				
Modèles	1	2	3	4
EM pol_10_11	50,3	44,4	28,1	15,9
σ	13,5	14,8	13,7	12,1
t	0,051	0,041	0,028	0,018
EM pol_8_9	-73,4	-70,5	-48,5	-51,0
σ	7,8	8,5	6,6	2,7
t	0,127	0,112	0,100	0,264
EM pol_6_7	134,0	120,7	126,6	120,3
σ	48,7	46,5	47,6	46,6
t	0,1	0,1	0,1	0,3
n	5451	5442	5451	5237

H0 : $\mu(0) = 0$

t=2,807

FIGURE 20 – Résultats des effets marginales : Bloc 3

Bloc 3				
Modèles	1	2	3	4
EM pol_12_13	86,3	114,2	111,2	139,2
σ	12,7	46,7	46,6	56,5
t	0,093	0,033	0,032	0,034
EM pol_10_11	126,4	96,4	101,8	93,8
σ	16,3	20,5	24,2	24,6
t	0,106	0,064	0,057	0,053
EM pol_8_9	150,4	153,0	173,2	118,0
σ	52,8	52,8	59,9	43,5
t	0,039	0,039	0,039	0,037
EM pol_6_7	144,5	123,4	125,6	100,6
σ	65,3	58,8	59,5	50,6
t	0,030	0,029	0,029	0,027
n	5402	5395	5402	5255

H0 : $\mu(0) = 0$

t=2,807

FIGURE 21 – Table de corrélation des variables de pollutions

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
moypm (1)	1													
I_moypm (2)	0,85 0,0000	1												
I2_moypm (3)	0,81 0,0000	0,87 0,0000	1											
I3_moypm (4)	0,79 0,0000	0,82 0,0000	0,87 0,0000	1										
I4_moypm (5)	0,71 0,0000	0,8 0,0000	0,8 0,0000	0,84 0,0000	1									
I5_moypm (6)	0,52 0,0001	0,77 0,0000	0,71 0,0000	0,68 0,0000	0,79 0,0000	1								
I6_moypm (7)	0,40 0,2895	0,8024 0,0160	0,7754 0,0140	0,8577 0,0031	0,8359 0,0050	0,9361 0,0002	1							
moypm2 (8)	0,97 0,0000	0,8 0,0000	0,75 0,0000	0,72 0,0000	0,64 0,0000	0,45 0,0010	0,39 0,2949	1						
I_moypm2 (9)	0,82 0,0000	0,97 0,0000	0,83 0,0000	0,78 0,0000	0,77 0,0000	0,77 0,0000	0,78 0,0216	0,8 0,0000	1					
I2_moypm2 (10)	0,77 0,0000	0,84 0,0000	0,97 0,0000	0,83 0,0000	0,77 0,0000	0,69 0,0000	0,73 0,0242	0,74 0,0000	0,85 0,0000	1				
I3_moypm2 (11)	0,75 0,0000	0,77 0,0000	0,83 0,0000	0,97 0,0000	0,81 0,0000	0,66 0,0000	0,85 0,0041	0,71 0,0000	0,76 0,0000	0,85 0,0000	1			
I4_moypm2 (12)	0,64 0,0000	0,73 0,0000	0,73 0,0000	0,79 0,0000	0,95 0,0000	0,77 0,0000	0,83 0,0052	0,6 0,0000	0,74 0,0000	0,73 0,0000	0,81 0,0000	1		
I5_moypm2 (13)	0,48 0,0000	0,72 0,0000	0,66 0,0000	0,64 0,0000	0,79 0,0000	0,97 0,0000	0,94 0,0020	0,42 0,0000	0,75 0,0000	0,67 0,0000	0,64 0,0000	0,82 0,0000	1	
I6_moypm2 (14)	0,34 0,3700	0,8 0,0178	0,75 0,0201	0,84 0,0045	0,84 0,0042	0,95 0,0001	0,99 0,0000	0,34 0,3697	0,78 0,0223	0,71 0,0309	0,83 0,0054	0,85 0,0040	0,95 0,0000	1

p<0,05