

4.9 Nitrates dans les particules fines (NPM_{2.5})

4.9.1 Tendances annuelles, saisonnières et mensuelles

D'abord, rappelons que la portée territoriale des stations des NPM_{2.5} est beaucoup plus faible que pour le reste des polluants. En effet, les stations se retrouvent que dans la région de la Capitale-Nationale ainsi que dans la région de Montréal. La tendance annuelle des NPM_{2.5} montre que les concentrations diminuent le long de la série temporelle. Cependant, la diminution est très légère puisque la courbe de Kendall ne diminue que très peu, quoiqu'elle soit statistiquement significative. Il y a aussi une augmentation des concentrations à partir de 2015. De plus, les concentrations des NPM_{2.5} sont beaucoup plus faibles que les concentrations des PM_{2.5} (moins de 2 µg/m³ pour l'année la plus élevée pour les NPM_{2.5} comparativement à plus de 10 µg/m³ pour les PM_{2.5} pour l'année la plus élevée). Elles représentent entre 3,5% et 11% des concentrations des PM_{2.5}. Les faibles concentrations de NPM_{2.5} comparativement aux concentrations des PM_{2.5} démontrent que les nitrates ne sont pas un élément prédominant dans la composition des particules fines. Cela était aussi vrai pour les NTSP (section 4.3.1) et les NPM₁₀ (section 4.6.1). L'hypothèse des sources potentielles de nitrates au Québec est le chauffage. En effet, le chauffage représente un grand pourcentage des émissions de particules fines (Lebel *et al.*, 2012). De plus, les ratios des nitrates sur les sulfates dans les PM_{2.5} sont faibles (section 4.8.1), ce qui laisse sous-entendre que les émissions des PM_{2.5} sont de sources stationnaires.

L'évolution saisonnière montre que les concentrations en hiver sont nettement plus élevées que pour les autres saisons, suivi de l'automne et le printemps, quoique la saison d'automne et du printemps ont des concentrations beaucoup plus basses que l'hiver. Ces résultats appuient l'hypothèse selon laquelle les NPM_{2.5} sont produits essentiellement par le chauffage en hiver. Comparativement aux NTSP (section 4.3.1) et au NPM₁₀ (section 4.6.1), les concentrations en été demeurent basses tout au long de la série temporelle. Donc, il est impossible de dire que les NPM_{2.5} soit produit par la combustion du gaz naturel à des fins de climatisation en été. Il est donc possible que l'hypothèse de la climatisation soit fausse, ou que ce type de combustion ne produise pas de PM_{2.5}. Une étude approfondie serait nécessaire pour confirmer ou infirmer cette hypothèse. Les figures de la répartition spatiale montrent aussi que les concentrations sont plus élevées en hiver et diminuent pour

atteindre presque $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en juin et en juillet, autant pour la région de la Capitale-Nationale que pour la région de Montréal.

Le cycle annuel ressemble beaucoup au cycle saisonnier, à savoir des concentrations plutôt élevées en hiver et des concentrations basses en été. Cependant, comparativement aux autres cycles pour les autres polluants, toutes les catégorisations selon l'environnement avoisinant sont près de $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en été. Il n'y a aucun secteur qui se démarque en été. Néanmoins, en hiver, les concentrations dans toutes les catégories sont plus élevées. Le chauffage dans les diverses catégories semble l'hypothèse la plus probable pour expliquer les concentrations des $\text{NPM}_{2.5}$ sur le territoire québécois, particulièrement en hiver.

4.10 Sulfates dans les particules fines ($\text{SPM}_{2.5}$)

4.10.1 Tendances annuelles, saisonnières et mensuelles

D'abord, rappelons que la portée territoriale des stations des $\text{SPM}_{2.5}$ est beaucoup plus faible que pour le reste des polluants. En effet, les stations se retrouvent que dans la région de la Capitale-Nationale ainsi que dans la région de Montréal. La tendance des $\text{SPM}_{2.5}$ pour la période à l'étude est similaire à celle des STSP (section 4.4.1) ainsi que celle des SPM_{10} (section 4.7.1), c'est-à-dire à la diminution, qui est statistiquement significative. En effet, à partir des années 90, les concentrations des $\text{SPM}_{2.5}$ ont une tendance à la diminution. L'hypothèse des mesures d'assainissement de l'air proposé pour les STSP (voir la section 4.4.1) ainsi que les SPM_{10} (voir la section 4.7.1) est, une fois de plus, privilégiée pour expliquer la diminution des $\text{SPM}_{2.5}$. De plus, les concentrations de dioxyde de soufre (SO_2) sont en constante diminution depuis 1976 (Lebel *et al.*, 2012), et le sulfate varie de manière proportionnelle que son précurseur, soit le dioxyde de soufre (Masclat, 2005). Finalement, les concentrations des $\text{SPM}_{2.5}$ sont plus élevées que celle des $\text{NPM}_{2.5}$ (un peu plus de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au point le plus hauts des $\text{SPM}_{2.5}$ comparativement à moins de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ au point le plus hauts des $\text{NPM}_{2.5}$) ce qui signifie que les sulfates sont des éléments plus importants dans la composition des $\text{PM}_{2.5}$ que les nitrates, tout comme le reste des particules, peu importe la taille. Elles représentent entre 12,26% et 35,47% des concentrations de $\text{PM}_{2.5}$.

L'évolution des concentrations selon les saisons ressemble, une fois de plus, à celle des STSP (section 4.4.1) et SPM₁₀ (section 4.7.1). En effet, quoique les concentrations diminuent pour toutes les saisons, il n'y a pas de saison où les concentrations se démarquent plus que les autres. Cela signifie que les émissions se produisent tout au long de l'année. Cela se répercute spatialement pour les deux régions à l'étude. Cependant, pour la région de Montréal, la moyenne des stations montre qu'en été, il y a une petite augmentation des concentrations. Ce n'est pas toutes les stations à l'étude qui montre cette augmentation. Selon Lebel *et al.* (2012), les émissions des SO₂ du Québec proviennent presque exclusivement des industries (84,7 %). Deux hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette augmentation en été dans la région de Montréal. D'abord, il y a la variation saisonnière des emplois (Bollman, 2002) (voir la section 4.2.1). Puisqu'il y a plus d'employés durant l'été, avec un pic atteignant le mois de juillet, il est possible que les activités industrielles augmentent durant cette période, faisant augmenter les émissions des SPM_{2.5}. La deuxième hypothèse est que, comme mentionné dans la section 4.8.2, les rétrotrajectoires en provenance des Grands Lacs sont associées avec les hautes concentrations de PM_{2.5} puisque ce territoire comporte beaucoup d'industries. Il est possible que, puisque les concentrations des PM_{2.5} sont plus élevées en été, que ces parcelles d'air contiennent plus de sulfates, faisant augmenter les concentrations de la région de Montréal. Cependant, ces contributions ne sont pas assez élevées pour que la saison d'été se démarque des autres saisons. De plus, les concentrations en été dans la Capitale-Nationale ne sont pas plus élevées que les autres saisons. Or, comme le montre l'analyse des rétrotrajectoires des PM_{2.5} (section 4.8.2), les rétrotrajectoires associées aux hautes concentrations pour la Capitale-Nationale proviennent aussi de la région des Grands Lacs. L'hypothèse des rétrotrajectoires devient alors moins probable que celle de la variabilité des activités industrielles, au niveau local. Une étude répertoriant les particules fines et leurs compositions au Canada montre que, entre 2003 et 2008, les concentrations des SO₂ sont aussi plus élevées en été dans la ville de Montréal, ce qui est en adéquation avec les résultats obtenus dans ce mémoire (Dabek-Zlotorzynska *et al.*, 2011).

Pour ce qui des cycles annuels selon la catégorisation de l'environnement avoisinant, les concentrations varient beaucoup selon la catégorie. En effet, dans la catégorie

commerciale, la catégorie résidentielle près d'une route, les concentrations en été sont plutôt élevées, notamment pour la catégorie commerciale. Ces résultats sont en adéquation avec les résultats du paragraphe précédent.

4.11 Récapitulatif

Le tableau récapitulatif 4.11.1 permet de voir les principales tendances pour chacun des polluants.

Tableau 4.11.1 : Récapitulatif des diverses tendances pour les polluants

Polluant	Évolution temporelle	Saisons ayant les plus fortes concentrations	Catégorie ayant les plus hautes concentrations annuelles	Proportion des dépassements de normes	Rétrotrajectoires associées aux hautes concentrations
O₃	↑ (p-value <0.0001)	Printemps et hiver	Forestière, Agricole, Industrielle, Résidentielle	↑	Nord du Québec (pour les stations plus nordiques), Région des Grands Lacs (pour les régions plus au sud)
TSP	↓ (p-value <0.0001)	Printemps et été	Commerciale près d'une usine, Résidentielle près d'une industrie, Mine, Industrielle	↓	N.D.
NTSP	↓ (p-value <0.0001)	Hiver	Résidentielle Montréal, Résidentielle près d'un axe routier	N.D.	N.D.
STSP	↓ (p-value <0.0001)	Aucune saison n'est supérieure	Commerciale près d'une mine, Industrielle	N.D.	N.D.
PM₁₀	↓ (p-value <0.0045)	Printemps et été	Résidentielle Montréal, Résidentielle, Industrielle, Commerciale	↓	N.D.
NPM₁₀	↑ (p-value <0.3893)	Hiver	Commerciale, Parc urbain	N.D.	N.D.
SPM₁₀	↓ (p-value <0.0101)	Aucune saison n'est supérieure	Parc urbain, Agricole.	N.D.	N.D.
PM_{2.5}	↓ (p-value <0.0001)	Été et hiver	Résidentielle Montréal, Résidentielle près d'un aéroport, Résidentielle près d'une industrie, Commerciale	↑	Région des Grands Lacs
NPM_{2.5}	↓ (p-value <0.0001)	Hiver	Résidentielle Montréal, Commerciale	N.D.	N.D.
SPM_{2.5}	↓ (p-value <0.0001)	Aucune saison n'est supérieure	Commerciale, Résidentielle près d'un axe routier	N.D.	N.D.

4.12 Pollution atmosphérique et changements climatiques

Suite à la présentation et l'analyse des résultats, il est possible de comparer les résultats obtenus dans le présent mémoire avec les prévisions de concentrations des polluants identifiés par Ouranos⁸ pour déterminer s'il est déjà possible de voir les impacts des changements climatiques sur l'évolution de l'ozone troposphérique et des particules fines au Québec (Sottile, 2011).

Pour l'ozone troposphérique, les facteurs qui influenceraient à la hausse les concentrations sont l'augmentation des îlots de chaleur, la diminution de la couverture nuageuse en été, l'augmentation de l'usage de la climatisation, la hausse des feux de forêt et une augmentation des éclairs générant des précurseurs d'ozone (Sottile, 2011). Parmi ces facteurs, un seul facteur a pu être identifié avec l'analyse de nos résultats. Il s'agit du facteur de la climatisation. Cependant, celui-ci a été observé de manière indirecte. En effet, le facteur de la climatisation expliquerait l'augmentation des NTSP et des NPM₁₀. Néanmoins, les NO₂ produits par les climatiseurs sont des précurseurs d'ozone (Fontan, 2003) autant que pour le nitrate (Berner *et al.*, 2012), malgré la non-linéarité des NO₂ par rapport aux nitrates. Il sera donc possible de voir une augmentation de l'ozone en été causée par la climatisation. Cette hausse n'est toutefois pas visible présentement, pour les concentrations d'ozone, puis que l'ozone en été demeure relativement stable tout au long de la période d'étude (figure 3.1.4.1). Pour ce qui est des autres facteurs mentionnés, il est impossible, dans cette étude d'identifier quelconques liens entre ceux-ci et les concentrations élevées d'ozones. Des études plus approfondies en ce sens devront être faites, particulièrement dans les prochaines années. Pour ce qui est des facteurs réduisant les concentrations d'ozones, Sottile (2011) identifie la formation des nitrates particuliers qui bloque les UV, les pertes de forêts produisant des BCOV, l'augmentation des dépôts secs et l'augmentation de la vapeur d'eau. Pour le moment, ces facteurs sont moins importants que les facteurs d'augmentation, puisque les concentrations d'ozone augmentent continuellement depuis les années 2000. La formation des nitrates particuliers, qui est en augmentation depuis 2010 pour les NTSP et pour les NPM₁₀ ne

⁸ Consortium sur la climatologie régionale et l'adaptation aux changements climatiques

semble pas avoir un impact sur les concentrations d’ozone à l’heure actuelle. Il est aussi possible que les mécanismes de formation d’ozone soient supérieurs à la réflexion des rayons UV par les nitrates particulaires. De plus, selon le 4^e rapport du GIEC, les modèles qui peuvent simuler l’ozone troposphérique montrent que la contribution de la basse stratosphère est probablement le facteur le plus important dans la contribution de l’ozone troposphérique (Sottile, 2011). Les résultats de ce mémoire démontrent aussi que l’apport de l’ozone stratosphérique est dominant dans les épisodes de hautes concentrations d’ozone.

Pour ce qui est des particules fines, les projections montrent une grande disparité, puisqu’il existe de nombreuses sources des particules (Sottile, 2011), et comme le montrent nos résultats, les tendances varient selon la taille des particules. Les sulfates en provenance des océans devraient diminuer, causés par la disparition partielle du phytoplancton (Sottile, 2011). De plus, avec une augmentation des températures, les réactions physico-chimiques de la transformation des précurseurs des nitrates et des sulfates devraient s’accélérer, ce qui augmentera les concentrations de ces polluants près des lieux d’émissions. Il reste néanmoins difficile de faire des prévisions et des projections sur l’évolution des particules à l’heure actuelle.

5. Conclusion

Au Québec, les études spatiales et longitudinales de la pollution atmosphérique restent, somme tout, peu nombreuses. En effet, la dernière étude d'envergure sur la pollution atmosphérique pour le Québec date de 2009, à notre connaissance (Lebel *et al.*, 2012). De plus, cette étude se concentre davantage sur des polluants dont les impacts sur la santé sont connus et clairement identifiés (Lebel *et al.*, 2012). Ce type d'étude, quoique très pertinente d'un point de vue de la santé publique, néglige l'analyse de certains types de polluant (comme les nitrates et sulfates à l'intérieur des particules). Les effets des nitrates et des sulfates sur la santé ne sont pas clairement identifiés dans les études épidémiologiques. Donc, l'évolution temporelle et spatiale des nitrates et sulfates dans toutes les grosseurs de particules (NTPS, NPM₁₀, NPM_{2.5}, STSP, SPM₁₀ et SPM_{2.5}) était, jusqu'à ce jour, inconnu. Pour les autres polluants (soit O₃, TSP, PM₁₀ et PM_{2.5}), leurs évolutions à l'échelle du Québec demeuraient inconnues à partir de 2009.

Cette problématique a amené deux questions de recherche, qui ont motivé le travail effectué pour ce mémoire. D'abord, la première question était : est-ce que la qualité de l'air au Québec par rapport aux polluants à l'étude s'est améliorée? La seconde question était : d'où provient la pollution sur une plus longue distance? L'élaboration de ces questions a été faite dans l'optique d'avoir un meilleur bilan de la qualité de l'air au Québec et de permettre une prise de décision de la part des décideurs afin de pouvoir agir sur les sources de polluants. En effet, en identifiant les polluants causant problème, la période de l'année où leurs concentrations sont élevées, la partie du territoire où leurs concentrations sont problématiques et en émettant des hypothèses quant à leurs sources d'émissions, les décideurs pourront agir en conséquence afin d'accroître la réduction de la pollution atmosphérique au Québec.

Pour répondre à ces deux questions de recherches, les données du MDDELCC (pour l'O₃, TSP, NTSP, STSP, PM₁₀, NPM₁₀, SPM₁₀ et PM_{2.5}) et les données d'EC (pour les NPM_{2.5} et SPM_{2.5}) ont été utilisées. D'abord, pour répondre à la première question de recherche, de nombreuses tendances statistiques selon divers pas de temps et diverses répartitions

spatiales montrent que, dans l'ensemble, la pollution atmosphérique au Québec a diminué. Les polluants qui montrent une diminution sont les TSP, NTSP, STSP, PM₁₀, SPM₁₀, NPM_{2.5} et SPM_{2.5}. Les particules fines (PM_{2.5}) montrent une très faible diminution. Les NPM₁₀ montrent une faible augmentation, qui n'est cependant pas statistiquement significative. Pour ce qui est de l'O₃, il est en constante augmentation, particulièrement après 1990. Paradoxalement, la réduction de la pollution en NO_x a contribué à l'augmentation des concentrations d'O₃ troposphérique. Certains polluants (TSP, STPS, PM₁₀ et SPM₁₀,) semblent avoir atteint des concentrations plancher, où il devient relativement impossible de réduire davantage ce niveau de pollution. De plus, les émissions des particules au Québec sont d'origines stationnaires, puisque chacun des ratios de nitrates sur les sulfates est faible, ce qui est un indicateur de sources stationnaires.

Puis, pour répondre à la deuxième question de recherche, la méthodologie de Leduc (2005) fut utilisée. Les résultats montrent que, pour l'O₃ troposphérique, les sources naturelles sont plus importantes dans le bilan des stations d'échantillonnages les plus au nord du territoire à l'étude. Puis, pour les stations d'échantillonnage au sud du fleuve Saint-Laurent, les sources de pollution longue distance proviennent autant du nord du Québec que de la région des Grands Lacs. Ces résultats sont similaires à ceux de Leduc *et al.* (2005). Pour les PM_{2.5}, pour toutes les stations à l'étude, les sources de pollution longue distance se situent dans la région des Grands Lacs. L'activité industrielle de cette région est importante, et les industries sont identifiées dans la littérature scientifique comme étant des sources des précurseurs de l'O₃ et des PM_{2.5}.

La limite majeure de cette recherche est la disponibilité et la qualité des données. En effet, la répartition spatiale des stations d'échantillonnage ne représente pas adéquatement le territoire (figure 5.1). En effet, il y a une concentration de stations d'échantillonnage près des centres urbains alors que les parties moins habitées du territoire sont moins bien desservies en stations. Cela ne permet pas de comparer les niveaux de polluants « normaux » en milieu moins altéré avec les concentrations en milieux urbains. De plus, de nombreuses stations d'échantillonnages sont relocalisées au cours de la période à

l'étude, alors que d'autres ont fermé et d'autres ont ouvert. Ces changements enlèvent une précision et une fiabilité dans les données. Puis, les données concernant les TSP, les PM₁₀ et leurs composantes ne sont pas prises sur une base horaire, ce qui empêche de faire certaines tendances, qui pourraient aider à mieux comprendre les sources d'émissions de ces polluants et comment ceux-ci évoluent dans une journée et dans une semaine. Concernant les limites relatives aux rétrotrajectoires, un plus grand nombre de stations réparties sur le territoire permettraient d'avoir une plus grande confiance quant aux sources des rétrotrajectoires associées aux hautes concentrations d'O₃ et de PM_{2.5}.

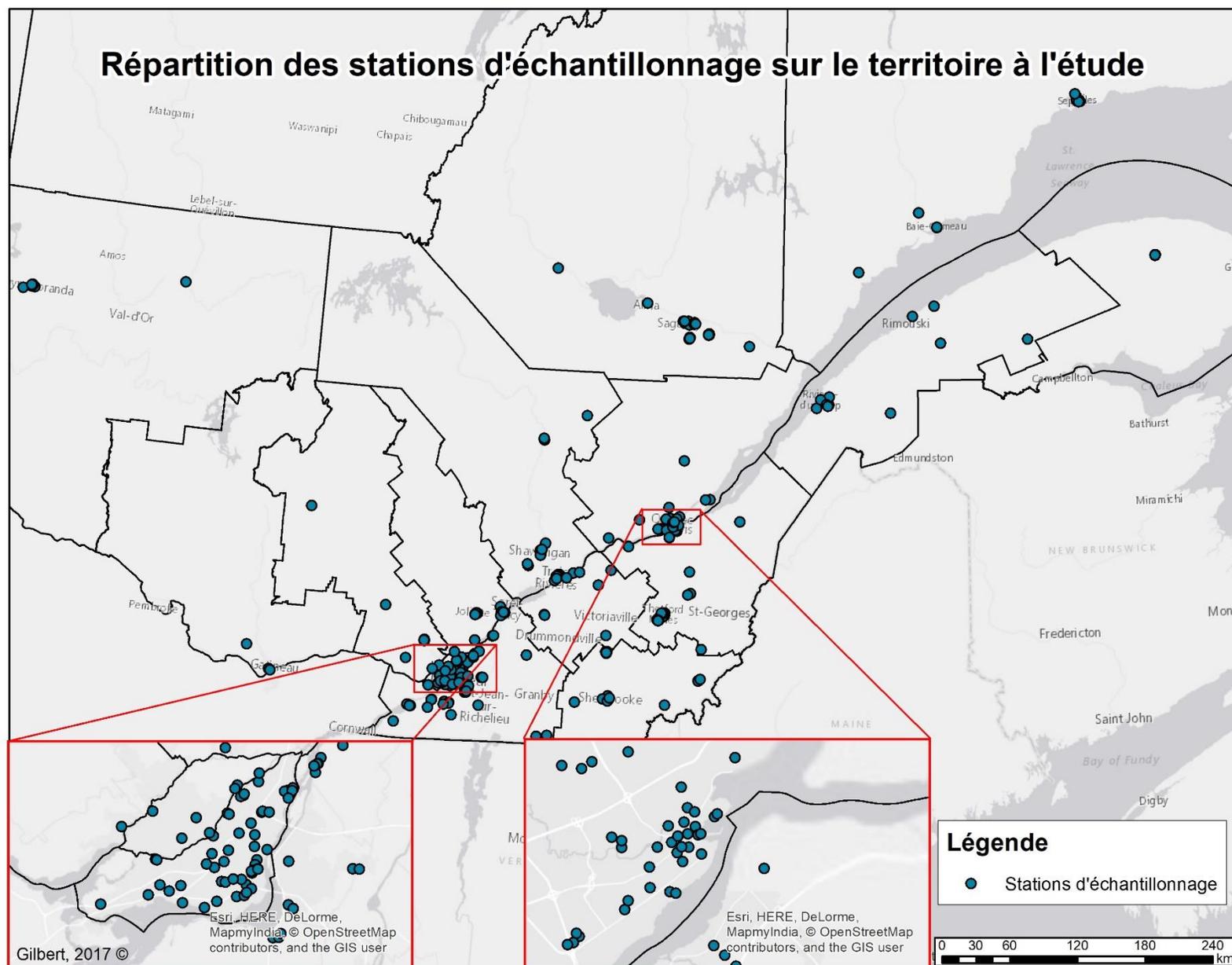


Figure 5.1 : Répartition des stations d'échantillonnage sur le territoire à l'étude

Des études plus approfondies sur les polluants en se concentrant sur les territoires où les concentrations sont plus élevées pourraient permettre d'infirmer ou de confirmer les hypothèses avancées dans ce mémoire concernant les sources des émissions. En effet, en plaçant des stations d'échantillonnages qui prennent des données horaires des particules sur un plus petit territoire et en les laissant un long moment, en plus d'analyser la composition exacte des particules, il sera alors possible de déterminer avec plus de précision les sources des particules. Cela s'avère important, dans un contexte de changements climatiques, puisque la modélisation des particules demeure, à ce jour, difficile.

Par ailleurs, les résultats de notre étude montrent l'importance de garder une expertise en ce qui concerne la pollution atmosphérique au Québec. En effet, le maintien et l'ajout de stations d'échantillonnage dans des territoires non couverts est ou serait un atout à la connaissance scientifique sur l'évaluation de la qualité de l'air. La comparaison entre les milieux urbains et ruraux est essentielle pour une meilleure compréhension dans la dynamique des polluants dans l'atmosphère. De plus, l'interaction des particules dans l'atmosphère est encore mal comprise à ce jour, ce qui rend l'intégration des particules dans les modèles climatiques hasardeuse, avec des résultats qui se contredisent. C'est pourquoi il est recommandé de ne plus fermer des stations d'échantillonnages et de procéder à une réouverture des stations, pour limiter la perte de connaissance ainsi que pour assurer une protection de l'environnement adéquate, ce qui semble parfois être négligé.