

Bilan de la qualité de l'air au Québec

2021



Coordination et rédaction

Cette publication a été réalisée par la Direction de la qualité de l'air et du climat du ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP).

Renseignements

Téléphone : 418 521-3830
1 800 561-1616 (sans frais)

Formulaire : www.environnement.gouv.qc.ca/formulaires/renseignements.asp

Internet : www.environnement.gouv.qc.ca

Référence à citer

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (2023). Bilan de la qualité de l'air au Québec 2021. Québec, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction de la qualité de l'air et du climat, 66 p. + 25 annexes [En ligne], [www.environnement.gouv.qc.ca/air/rapports-qualite-air.htm].

Dépôt légal – 2024
Bibliothèque et Archives nationales du Québec
ISBN 978-2-550-97160-3 (PDF)

Tous droits réservés pour tous les pays.
© Gouvernement du Québec - 2024

Équipe de réalisation

Rédaction	Antony Laberge ¹ , chimiste, M. Sc., MBA Daniel Busque ¹ , biologiste, M. Sc.
Collaboration	Marc-André Foucreault ¹ , B. Sc. biochimie Fabrice Godefroy ² , chef de section – RSQA Sébastien Lamarre ³ , chimiste, Ph. D. Sonia Melançon ² , chimiste, Ph.D. – RSQA Catherine Savard ¹ , physicienne, M. Sc.
Révision scientifique	Frédéric Bouffard ¹ , M. Sc. Marie-Pier Brault ¹ , biologiste M.E.I.
Cartographie	Simon Magnan ⁴ , M.Sc.

¹ Direction de la qualité de l'air et du climat

² Section réseau de surveillance de la qualité de l'air de la Division du contrôle des rejets et suivi environnemental du Service de l'environnement, Ville de Montréal

³ Direction des inventaires et de la gestion des halocarbures

⁴ Direction de la qualité des milieux aquatiques

Résumé

Le Bilan de la qualité de l'air au Québec 2021 fait état des concentrations des contaminants les plus couramment mesurés au Québec à 63 stations de mesure situées en milieu urbain, rural et forestier, soit les particules en suspension totales (PST), les particules respirables (PM₁₀), les métaux, les particules fines (PM_{2,5}), le carbone noir (BC), les particules ultrafines (PM_{0,1}), le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂), le monoxyde de carbone (CO), l'ozone troposphérique (O₃) et le sulfure d'hydrogène (H₂S).

Depuis les 48 dernières années, de 1974 à 2021, la qualité de l'air s'est améliorée au Québec. Les tendances des concentrations des différents contaminants sont généralement à la baisse et les normes de qualité de l'atmosphère en vigueur dans le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA) sont majoritairement respectées, ce qui confirme que la qualité de l'air est bonne. D'ailleurs, les concentrations sont semblables à celles observées ailleurs au Canada (Gouvernement du Canada, 2023a).

Particules en suspension totales

Les concentrations moyennes annuelles de particules en suspension totales ont varié de 6,4 µg/m³ à la station Radisson à 95,4 µg/m³ à la station Québec – Henri-IV. Les concentrations de PST mesurées aux stations rurales et forestières sont généralement plus faibles et plus constantes que celles mesurées aux stations urbaines. Les tendances des concentrations de PST sont généralement stables ou à la baisse depuis 10 ans au Québec. En 2021, 35 dépassements de la norme quotidienne des PST ont été observés au Québec, tous à des stations urbaines situées près d'installations industrielles ou à proximité d'une autoroute majeure. L'analyse de tendance des concentrations de PST démontre que les concentrations sont significativement à la baisse aux stations situées en milieu urbain.

Particules respirables

Les concentrations moyennes annuelles de particules respirables ont varié de 10,69 µg/m³ à la station Montréal – Sainte-Anne-de-Bellevue à 26,0 µg/m³ à la station Saguenay – Parc Powell. L'analyse de tendance des concentrations de PM₁₀ à toutes les stations démontre qu'elles sont stables depuis 10 ans.

Métaux

De manière générale, très peu de métaux sont détectés dans les particules respirables ou les particules en suspension totales au Québec. Sur 31 métaux mesurés, 14 n'ont pas été détectés plus de 80 % du temps au cours de l'année 2021, soit : l'argent, le béryllium, le bismuth, le bore, le chrome, l'étain, le lithium, le nickel, le sodium, le strontium, le tellure, le thallium, l'uranium et le vanadium. Les quelques dépassements des normes sur les métaux ont été observés à proximité de sources connues, comme des industries ou une autoroute.

Particules fines

Les concentrations moyennes annuelles de particules fines ont varié de 2,6 µg/m³ à la station Radisson à 9,5 µg/m³ à la station Québec – École Les Primevères. Les stations rurales et forestières ont enregistré des concentrations moyennes généralement moins élevées (entre 2,6 et 7,4 µg/m³) que les stations urbaines (entre 6,1 et 9,5 µg/m³). Les stations ayant les concentrations parmi les plus élevées au Québec sont influencées par ces différentes sources de particules : la station de mesure de la qualité de l'air Témiscaming est située à proximité d'une installation industrielle, la station Québec – École Les Primevères se trouve dans un secteur où le chauffage au bois est très présent (MELCCFP, 2023a; Laberge, 2023) et la station Québec – Henri-IV est localisée en bordure d'une autoroute majeure. Les feux de forêt qui ont sévi dans le nord-ouest de

l'Ontario et au Manitoba au cours de l'été 2021 ont causé plusieurs pointes de fortes concentrations de $PM_{2,5}$ dans l'ensemble du Québec (MELCCFP, 2023b), en plus d'être à l'origine de la majorité des dépassements de norme de l'année 2021. Le chauffage au bois et les feux extérieurs dans les cours arrière des résidences sont responsables de certaines hausses des concentrations de particules fines. Bien que l'analyse de tendance soit limitée par de courtes série chronologiques, de façon générale, les tendances calculées sont significativement à la baisse pour une majorité de stations.

Carbone noir

Les concentrations moyennes annuelles de carbone noir ont varié de $0,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à la station Québec – Collège St-Charles-Garnier à $0,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à la station Québec – Henri-IV. En général, le carbone noir provenant de la combustion de biomasse domine l'hiver, tandis que l'été, les concentrations de carbone noir sont plus fortement influencées par la combustion de combustible fossile due au transport.

Particules ultrafines

Les concentrations moyennes annuelles de particules ultrafines ont varié de 6 840 particules/ cm^3 à la station Québec – Collège St-Charles-Garnier à 13 410 particules/ cm^3 à la station Québec – Henri-IV. Les concentrations mesurées en bordure de l'autoroute Henri-IV sont nettement plus variables et élevées, une conséquence du trafic routier.

Dioxyde d'azote

Les concentrations moyennes annuelles de dioxyde d'azote ont varié de 2,1 ppb à la station Saint-Anicet à 11,6 ppb à la station Montréal – Échangeur Décarie. Les concentrations de NO_2 varient principalement en fonction de la densité de la circulation automobile à proximité des stations de mesure. L'analyse de tendance des concentrations de NO_2 au Québec indique que les concentrations moyennes sont en forte baisse à toutes les stations. Toutes les normes du RAA concernant le NO_2 sont respectées depuis l'entrée en vigueur du règlement en juin 2011.

Dioxyde de soufre

Les concentrations moyennes annuelles de dioxyde de soufre ont varié de 0,1 ppb à la station Gatineau – Hull à 4,9 ppb à la station Saguenay – Parc Powell. Les données mesurées aux stations situées près de sources de SO_2 connues (Saguenay, Témiscaming, Rouyn-Noranda) sont nettement plus élevées que celles des autres stations du réseau. Les concentrations de SO_2 sont significativement en baisse à toutes les stations du réseau mesurant ce contaminant. Les normes quotidiennes et annuelles du RAA sont respectées pour l'ensemble des stations en 2021. Le nombre de dépassements de la norme sur 4 minutes a, quant à lui, diminué de plus de 89 % depuis 2012.

Monoxyde de carbone

Les concentrations moyennes annuelles de monoxyde de carbone ont varié de 0,16 ppm à la station Saint-Anicet à 0,31 ppm à la station Québec – Henri-IV. Les concentrations enregistrées en 2021 aux stations urbaines (Gatineau, Montréal, Laval et Québec) sont du même ordre de grandeur, à l'exception des stations Québec – Henri-IV et Montréal – Échangeur Décarie qui sont légèrement plus élevées. Les concentrations de CO ont chuté au cours des 10 dernières années au Québec. Toutes les normes du RAA concernant le CO sont respectées depuis l'entrée en vigueur du règlement en juin 2011.

Ozone

Les concentrations moyennes annuelles d'ozone ont varié de 21,0 à 32,5 ppb. Les plus faibles concentrations sont observées à la station Montréal – Échangeur Décarie, située à l'intersection de deux autoroutes majeures, tandis que les concentrations les plus élevées sont observées aux stations situées en milieu rural ou forestier, éloignées des grands centres urbains comme la station Saint-Hilaire-de-Dorset. L'analyse de tendance des concentrations d'O₃ indique qu'elles augmentent en milieux urbains, tandis qu'elles sont stables ou légèrement à la baisse aux stations rurales et forestières depuis 10 ans. Trois cent vingt-sept (327) dépassements de la norme de l'ozone sur 8 heures ont été enregistrés au Québec en 2021, le plus haut total depuis 2012.

Sulfure d'hydrogène

Les concentrations moyennes annuelles de sulfure d'hydrogène ont varié de 0,20 ppb à la station Trois-Rivières – École MEES à 0,49 ppb à la station Trois-Rivières – Cap-de-la-Madeleine. L'analyse de tendance des concentrations mensuelles des concentrations de H₂S démontre que les concentrations sont significativement à la hausse à la station Trois-Rivières – École MEES, tandis qu'elles ont été significativement à la baisse à la station Trois-Rivières – Cap-de-la-Madeleine. La norme annuelle a été respectée en 2021 aux deux stations de mesure du H₂S. Cependant, 1 162 dépassements de la norme sur 4 minutes ont été enregistrés aux deux stations, une nette diminution par rapport aux 2 705 dépassements enregistrés en 2020.

Table des matières

Résumé	iv
Glossaire	xii
1. Introduction	1
2. Méthodologie	1
2.1. Réseau de surveillance de la qualité de l'air du Québec	1
2.2. Réseau de surveillance de la qualité de l'air sur l'île de Montréal	5
2.3. Présentation des méthodes d'analyse statistique et des données	5
2.4. Comparaison aux normes d'air ambiant.....	7
3. Indicateurs de qualité de l'air.....	8
3.1. Indice de la qualité de l'air	8
3.2. Jours de smog	8
3.3. Normes canadiennes de qualité de l'air ambiant	8
4. Description des contaminants	10
4.1. Les particules en suspension totales	10
4.2. Les particules respirables.....	10
4.3. Les métaux	11
4.4. Les particules fines.....	12
4.5. Le carbone noir.....	14
4.6. Particules ultrafines	15
4.7. Le dioxyde d'azote.....	15
4.8. Le dioxyde de soufre	16
4.9. Le monoxyde de carbone.....	17
4.10. L'ozone	18
4.11. Le sulfure d'hydrogène	19
5. Résultats et analyses	20
5.1. Concentrations annuelles.....	20
5.2. Tendances des concentrations	30
5.3. Comparaison aux normes d'air ambiant.....	38
5.4. Le chauffage au bois	49
5.5. Le suivi en bordure d'une autoroute.....	50
5.6. Feux de forêt de l'été 2021.....	54
5.7. Feux extérieurs.....	57
Conclusion.....	60
Références bibliographiques.....	61
Annexe A1. Répartition des stations du Réseau de surveillance de la qualité de l'air au Québec, par régions administratives – 2021	67

Annexe A2. Statistiques annuelles des particules en suspension totales – 2021*	70
Annexe A3. Statistiques annuelles des particules respirables – 2021*	71
Annexe A4. Statistiques annuelles des particules fines – 2021* ion	72
(Suite) Annexe A4. Statistiques annuelles des particules fines – 2021*	73
Annexe A5. Statistiques annuelles du carbone noir – 2021*	74
Annexe A6. Statistiques annuelles des particules ultrafines – 2021*	75
Annexe A7. Statistiques annuelles de dioxyde d'azote – 2021*	76
Annexe A8. Statistiques annuelles de dioxyde de soufre – 2021*	77
Annexe A9. Statistiques annuelles de monoxyde d'azote – 2021*	78
Annexe A10. Statistiques annuelles de monoxyde de carbone – 2021*	79
Annexe A11. Statistiques annuelles d'ozone – 2021*	80
(Suite) Annexe A11. Statistiques annuelles d'ozone – 2021*	81
Annexe A12. Statistiques annuelles du sulfure d'hydrogène – 2021*	82
Annexe A13. Dépassements des normes du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* ..	83
Annexe A14. Pourcentage de détection des métaux	86
Annexe B. Calcul des tendances	87
Annexe B1. Tendence 2011-2021 des particules en suspension totales	88
Annexe B2. Tendence 2011-2021 des particules respirables	94
Annexe B3. Tendence 2011-2021 des particules fines.....	96
Annexe B4. Tendence 2011-2021 du carbone noir	106
Annexe B5. Tendence 2011-2021 des particules ultrafines.....	107
Annexe B6. Tendence 2011-2021 du dioxyde d'azote	108
Annexe B7. Tendence 2011-2021 du dioxyde de soufre	112
Annexe B8. Tendence 2011-2021 du monoxyde de carbone.....	116
Annexe B9. Tendence 2011-2021 de l'ozone	118
Annexe B10. Tendence 2011-2021 du sulfure d'hydrogène.....	126

Liste des figures

Figure 2.1 Localisation des stations de surveillance de la qualité de l'air au Québec en 2021	3
Figure 2.2 Légende d'un diagramme en boîte	5
Figure 2.3 Exemple d'analyse de tendance	6
Figure 5.1 Concentrations annuelles de particules en suspension totales aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.	20
Figure 5.2 Concentrations annuelles de particules respirables aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.	21
Figure 5.3 Nombre de métaux mesurés dans les particules en suspension totales, sur un total de 31 métaux, dont le pourcentage des données au-dessus des limites de détection est supérieur à 80 % pour l'année 2021.	22
Figure 5.4 Concentrations annuelles de particules fines aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.....	23
Figure 5.5 Concentrations annuelles de carbone noir aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.....	24
Figure 5.6 Concentrations annuelles de particules ultrafines aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.....	25
Figure 5.7 Concentrations annuelles de dioxyde d'azote aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.	26
Figure 5.8 Concentrations annuelles de dioxyde de soufre aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.	27
Figure 5.9 Concentrations annuelles de monoxyde de carbone aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.	28
Figure 5.10 Concentrations annuelles d'ozone aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.	29
Figure 5.11 Concentrations annuelles de sulfure d'hydrogène aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.	30
Figure 5.12 Tendances des concentrations moyennes mensuelles de particules respirables à la station urbaine Saguenay – Parc Powell de 1993 à 2021 et de juin 2011 à mai 2021.	32
Figure 5.13 Tendances des concentrations moyennes mensuelles de dioxyde d'azote à la station rurale Saint-Jean-sur-Richelieu – L'Acadie de 1999 à 2021 et de juin 2011 à mai 2021.	34
Figure 5.14 Tendances des concentrations moyennes mensuelles de dioxyde d'azote à la station urbaine Québec Vieux-Limoilou de 1998 à 2021 et de juin 2011 à mai 2021.....	34
Figure 5.15 Tendances des concentrations moyennes mensuelles de dioxyde de soufre à la station urbaine Saint-Joseph-de-Sorel de 1987 à 2021 et de juin 2011 à mai 2021.	35
Figure 5.16 Tendances des concentrations moyennes mensuelles de monoxyde de carbone à la station rurale Saint-Anicet de 1998 à 2021 et de juin 2011 à mai 2021.....	36
Figure 5.17 Tendances des concentrations moyennes mensuelles de monoxyde de carbone à la station urbaine Gatineau – Hull de 1997 à 2021 et de juin 2011 à mai 2021.....	36
Figure 5.18 Nombre de dépassements de la norme sur les particules en suspension totales au Québec, de 2012 à 2021.	39
Figure 5.19 Nombre de dépassements mensuels de la norme sur les particules en suspension totales au Québec en 2021.....	40
Figure 5.20 Nombre de dépassements annuels de la norme quotidienne des particules fines au Québec entre 2012 et 2021.	42
Figure 5.21 Nombre de dépassements de la norme quotidienne des particules fines en 2021, par mois.	43
Figure 5.22 Nombre de valeurs supérieures à la norme de 400 ppb et du seuil de 500 ppb sur 4 minutes pour le dioxyde de soufre au Québec, de 2012 à 2021.	45

Figure 5.23	Nombre de dépassements des normes sur une (1) heure et sur huit (8) heures pour l'ozone au Québec entre 2012 et 2021.....	47
Figure 5.24	Concentrations mensuelles de carbone noir provenant de la combustion de biomasse aux quatre stations mesurant les concentrations de carbone noir en 2021.	49
Figure 5.25	Concentrations horaires de carbone noir provenant de la combustion de biomasse durant l'hiver (janvier, février et décembre) aux quatre stations mesurant les concentrations de carbone noir en 2021.	50
Figure 5.26	Concentrations horaires de carbone noir provenant de la combustion de combustible fossile, de monoxyde de carbone, de particules ultrafines, de particules fines, de monoxyde d'azote et de dioxyde d'azote, ainsi que le nombre moyen horaire de quatre classes de véhicules mesurés à la station Québec – Henri-IV en 2021.	51
Figure 5.27	Concentrations mensuelles moyenne de particules en suspension totales mesurées à la station Québec – Henri-IV en 2021.....	53
Figure 5.28	Concentrations mensuelles moyenne de sodium, de calcium et de magnésium dans les particules en suspension totales mesurées à la station Québec – Henri-IV en 2021.	54
Figure 5.29	Nombre de jours de smog annuels enregistrés au Québec au cours des mois d'été (juin, juillet et août).....	55
Figure 5.30	Concentrations horaires de particules fines enregistrées à la station Québec – St-Charles-Garnier entre le 18 juillet et le 8 août 2021.	56
Figure 5.31	Concentrations de particules fines et de carbone noir provenant de la combustion de biomasse à la station Québec – Collège St-Charles-Garnier du 25 au 27 juillet 2021.	57

Liste des tableaux

Tableau 2.1 Échantillonneurs déployés dans le cadre du suivi quinquennal des métaux 2021.....	2
Tableau 5.1 Périodes de déploiement des différents analyseurs de $PM_{0,1}$ au RSQAQ.	25
Tableau 5.2 Pente des tendances Theil-Sen des données de particules en suspension totales..	31
Tableau 5.3 Types d'appareils de mesure des particules fines en continu utilisés au Québec.....	32
Tableau 5.4 Pente des tendances Theil-Sen des données d'ozone des stations rurales et forestières.....	37
Tableau 5.5 Pente des tendances Theil-Sen des données d'ozone des stations urbaines.	38
Tableau 5.6 Normes du RAA prescrites sur les métaux en 2021.	40
Tableau 5.7 Nombre de dépassements des normes quotidiennes des métaux par station en 2021.	41
Tableau 5.8 Concentrations horaires, quotidiennes et annuelles de dioxyde d'azote les plus élevées au Québec en 2021.	44
Tableau 5.9 Concentrations quotidiennes et annuelles de dioxyde de soufre les plus élevées au Québec en 2021.	44
Tableau 5.10 Stations ayant enregistré des dépassements des valeurs de 400 ppb et de 500 ppb pour les concentrations de dioxyde de soufre sur 4 minutes en 2021.....	45
Tableau 5.11 Concentrations horaires et huit (8) heures de monoxyde de carbone les plus élevées au Québec en 2021.....	46
Tableau 5.12 Concentrations horaires et huit (8) heures de de l'ozone les plus élevées au Québec en 2021.....	47
Tableau 5.13 Nombre de dépassements et valeurs maximales annuels des concentrations de sulfure d'hydrogène sur quatre (4) minutes entre 2012 et 2021.	48
Tableau 5.14 Coefficient des corrélations de Spearman (ρ) entre les données horaires des contaminants émis par le trafic routier et le nombre de véhicules circulant sur l'autoroute, par classe de véhicule.....	52

Glossaire

BAM	analyseur de particules fines de marque MetOne BAM-1020 utilisant l'absorption de rayonnement bêta comme outil d'analyse
BC	carbone noir
BC _{bb}	carbone noir provenant de la combustion de biomasse, comme le chauffage au bois ou les feux de forêt
BC _{ff}	carbone noir provenant de la combustion de carburant fossile, comme le transport routier
CCME	Conseil canadien des ministres de l'environnement
CIRC	Centre international de Recherche sur le Cancer
CMM	Communauté métropolitaine de Montréal
CO	monoxyde de carbone
COV	composés organiques volatils
DICHOT	échantillonneur de particules de diamètre entre 2,5 et 10 µm ainsi qu'égal ou inférieur à 2,5 µm
ECCC	Environnement et Changement climatique Canada
H ₂ S	sulfure d'hydrogène
GRIMM	analyseur de particules fines de marque GRIMM 180 et 365 utilisant l'optique comme outil d'analyse
HAP	hydrocarbures aromatiques polycycliques
HNO ₃	acide nitrique
H ₂ SO ₄	acide sulfurique
IQA	indice de la qualité de l'air du Québec
LD	limite de détection
MELCCFP	ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs
µg/m ³	microgramme par mètre cube
µm	micromètre
Métaux	Les acronymes des métaux présentés dans ce document sont ceux des éléments du tableau périodique : l'aluminium (Al), l'argent (Ag), l'arsenic (As), le bore (B), le baryum (Ba), le béryllium (Be), le bismuth (Bi), le calcium (Ca), le cadmium (Cd), le cobalt (Co), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le lithium (Li), le potassium (K), le magnésium (Mg), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo), le sodium (Na), le nickel (Ni), le plomb (Pb), l'antimoine (Sb), le sélénium (Se), l'étain (Sn), le strontium (Sr), le tellure (Te), le thallium (Tl), le titane (Ti), l'uranium (U), le vanadium (V) et le zinc (Zn).
NCQAA	normes canadiennes de qualité de l'air ambiant
NO	monoxyde d'azote
NO _x	oxydes d'azote

NO ₂	dioxyde d'azote
NO ₃ ⁻	nitrate
nm	nanomètre
O ₃	ozone
PM _{0,1}	particules ultrafines ou particules de diamètre aérodynamique égal ou inférieur à 100 nm
PM _{2,5}	particules fines ou particules de diamètre aérodynamique égal ou inférieur à 2,5 µm
PM ₁₀	particules respirables ou particules de diamètre aérodynamique égal ou inférieur à 10 µm
ppb	partie par milliard
ppm	partie par million
PST	particules en suspension totales
RSQA	Réseau de surveillance de la qualité de l'air de la Ville de Montréal
RSQAQ	Réseau de surveillance de la qualité de l'air du Québec
RAA	Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère
SGQA	Système de gestion de la qualité de l'air
SHARP	analyseur de particules fines de marque Thermo SHARP 5030 utilisant l'optique et l'absorption de rayonnement bêta comme outil d'analyse
SO ₂	dioxyde de soufre
SO ₄ ²⁻	sulfate
Station urbaine	station de mesure de la qualité de l'air située dans un milieu urbanisé à densité de population relativement forte
Station rurale	station de mesure de la qualité de l'air dont l'environnement immédiat de la station est majoritairement occupé par des champs ou des activités agricole et qui est située dans un milieu non urbain à densité de population faible
Station forestière	station de mesure de la qualité de l'air dont l'environnement immédiat de la station est majoritairement occupé par la forêt et qui est située dans un milieu non urbain à densité de population très faible
T640	analyseur de particules fines de marque Teledyne API-T640 utilisant l'optique comme outil d'analyse
TEOM-SES	analyseur de particules fines de marque Rupprecht and Pataschnik TEOM-SES utilisant la gravimétrie comme outil d'analyse
TEOM-FDMS	analyseur de particules fines de marque Thermo TEOM-FDMS utilisant la gravimétrie comme outil d'analyse
UV	ultraviolet

1. Introduction

Depuis le début des années 1970, le Réseau de surveillance de la qualité de l'air du Québec (RSQAQ) permet au ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs (MELCCFP) d'assurer un suivi de la qualité de l'air ambiant au Québec. Plusieurs contaminants y ont été mesurés et analysés, que ce soit lors d'activités régulières ou pour des projets spéciaux visant à faire état de situations particulières. Le Bilan de la qualité de l'air au Québec en 2021 vise à répondre aux objectifs suivants :

- Établir un portrait des concentrations des principaux contaminants analysés dans l'ensemble du Québec pour l'année 2021;
- Évaluer les tendances historiques de la qualité de l'air au Québec;
- Comparer les concentrations mesurées en 2021 aux normes de qualité de l'atmosphère;
- Effectuer différentes analyses permettant de mieux comprendre la qualité de l'air au Québec en 2021.

2. Méthodologie

Les contaminants analysés dans cette étude sont les particules en suspension totales (PST), les particules respirables (PM₁₀), les particules fines (PM_{2,5}), le carbone noir (BC), les particules ultrafines (PM_{0,1}), le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂), le monoxyde de carbone (CO), l'ozone troposphérique (O₃) et le sulfure d'hydrogène (H₂S). Il s'agit des dix contaminants les plus couramment analysés au Québec en raison, entre autres, de leur effet sur la santé humaine et sur l'environnement. Les concentrations de métaux mesurées dans les PST et les PM₁₀ à différentes stations du RSQAQ sont aussi présentées sommairement dans ce bilan.

2.1. Réseau de surveillance de la qualité de l'air du Québec

En 2021, le RSQAQ est composé de 63 stations, dont 52 exploitées par le MELCCFP et 11 par le Réseau de surveillance de la qualité de l'air (RSQA) de la Ville de Montréal. La localisation des 63 stations est présentée à la figure 2.1 et l'identification des stations, leurs coordonnées géographiques et les contaminants analysés à chacune des stations se trouvent à l'annexe A1, classées par région administrative.

Plusieurs nouveautés ont eu lieu au RSQAQ en 2021.

2.1.1. Fermeture de la station Lac-Édouard

La station forestière de Lac-Édouard a été fermée en novembre afin de redéployer les appareils en milieu urbain dans la ville de Granby.

2.1.2. Ouverture de la station Granby – Parc Poitevin

La station de Granby a été ouverte dans le parc Poitevin afin de mesurer la qualité de l'air ambiante de la ville.

2.1.3. Suivi quinquennal des métaux

En 2021, le Ministère a démarré un projet de mesure d'une durée d'un an des concentrations de 31 métaux dans les particules en suspension totales (PST) et les particules respirables (PM₁₀) de l'air dans différents milieux caractéristiques du Québec. Les métaux suivis sont l'aluminium (Al), l'argent (Ag), l'arsenic (As), le bore (B), le baryum (Ba), le béryllium (Be), le bismuth (Bi), le calcium (Ca), le cadmium (Cd), le cobalt (Co), le chrome (Cr), le cuivre (Cu), le fer (Fe), le lithium (Li), le potassium (K), le magnésium (Mg), le manganèse (Mn), le molybdène (Mo), le sodium (Na), le nickel (Ni), le plomb (Pb), l'antimoine (Sb), le sélénium (Se), l'étain (Sn), le strontium (Sr), le tellure

(Te), le thallium (Tl), le titane (Ti), l'uranium (U), le vanadium (V) et le zinc (Zn). Ces données permettront notamment de connaître le niveau de fond des concentrations de métaux dans les particules dans différents milieux caractéristiques du Québec et de suivre leur évolution à long terme en répétant ces mesures à chaque 5 ans. Les échantillonneurs déployés dans le cadre de cette étude sont détaillés au tableau suivant.

Tableau 2.1 Échantillonneurs déployés dans le cadre du suivi quinquennal des métaux 2021

Stations (numéro de station)	Échantillonneurs
Gatineau – Hull (07002)	PST, PM ₁₀
Saint-Zéphirin-de-Courval (04711)	PST, PM ₁₀
Auclair (01810)	PST
Trois-Rivières – Cap-de-la-Madeleine (04048)	PST
Radisson (10200)	PST
Saguenay – UQAC (02022)	PST, PM ₁₀
Mont-St-Michel (07200)	PST
La Patrie (05810)	PST

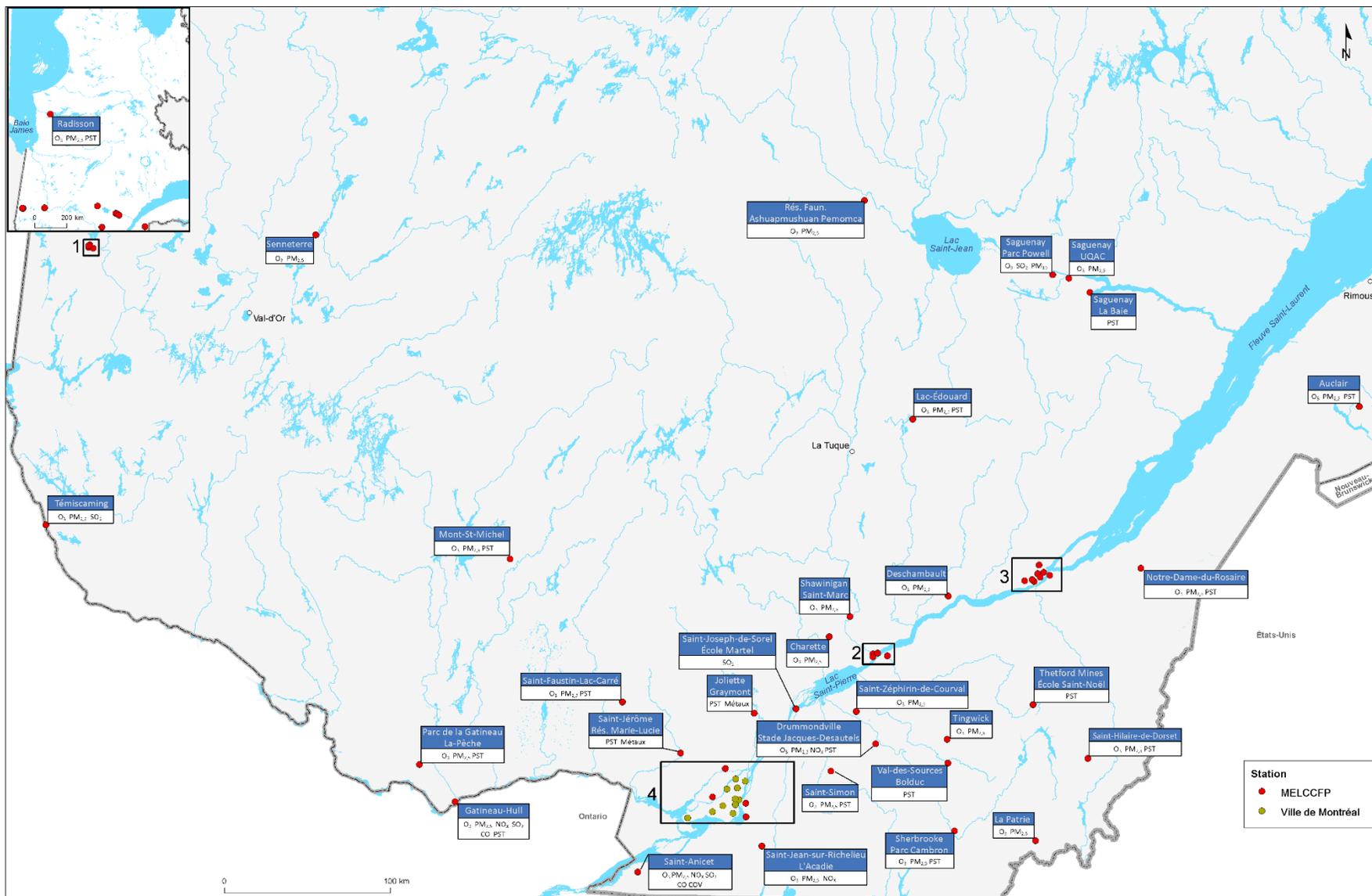


Figure 2.1 Localisation des stations de surveillance de la qualité de l'air au Québec en 2021

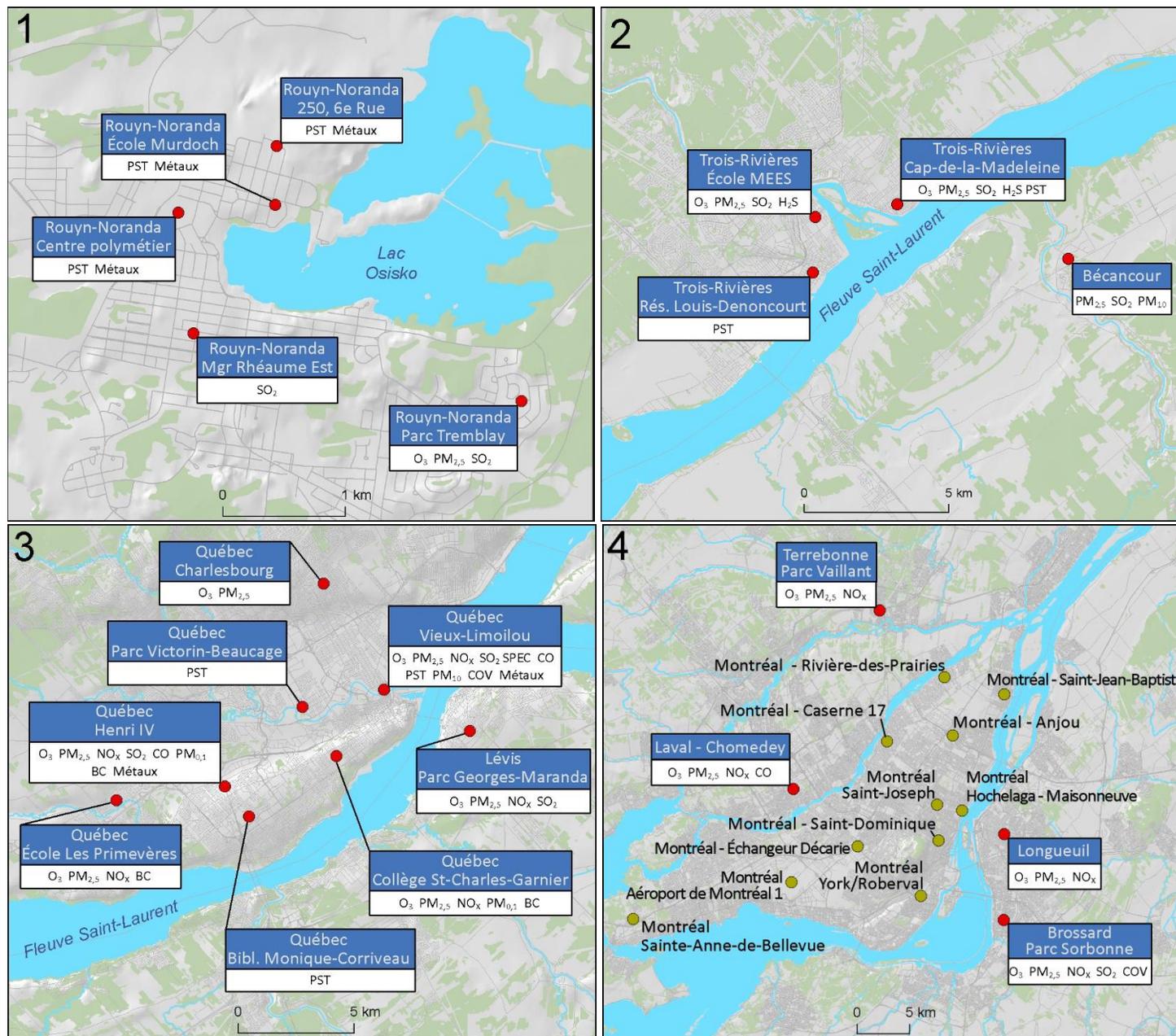


Figure 2.1 Localisation des stations de surveillance de la qualité de l'air au Québec en 2021 (suite)

2.2. Réseau de surveillance de la qualité de l'air sur l'île de Montréal

En 1981, le ministère de l'Environnement du Québec a confié la gestion de la qualité de l'air sur le territoire de l'île de Montréal à la Communauté urbaine de Montréal (aujourd'hui le territoire de l'agglomération de Montréal) en matière de surveillance de qualité de l'air sur son territoire. L'exploitation du réseau de la surveillance de qualité de l'air a été déléguée à la Ville de Montréal sous la forme d'un protocole. Les données des stations de surveillance de la qualité de l'air de Montréal font partie de ce bilan afin qu'un portrait de l'ensemble du Québec puisse être présenté. La Ville de Montréal publie chaque année son propre bilan qui est accessible sur son site Web (Ville de Montréal, 2023a).

2.3. Présentation des méthodes d'analyse statistique et des données

Les données ayant servi à la production du présent bilan sont des données horaires provenant d'appareils de mesure en continu, à l'exception des données de particules en suspension totales (PST), de particules respirables (PM₁₀) et de métaux, qui sont des mesures quotidiennes, effectuées généralement tous les six (6) jours. Les statistiques des concentrations annuelles des contaminants sont présentées aux annexes A2 à A12.

Dans ce document, les saisons sont définies comme suit : l'hiver comprend les mois de décembre, janvier et février; le printemps comprend les mois de mars, avril et mai; l'été comprend les mois de juin, juillet; et août et l'automne comprend les mois de septembre, octobre et novembre. D'ailleurs, toutes les heures associées aux données sont en heures normales de l'est (HNE).

Les statistiques annuelles des contaminants sont présentées sous la forme de diagrammes en boîte (*box plot*). Ce type de diagramme est détaillé à la figure 2.2.

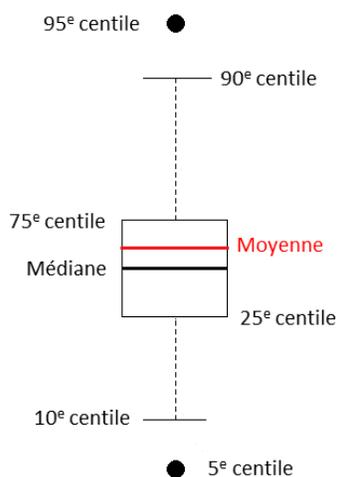


Figure 2.2 Légende d'un diagramme en boîte

En plus de présenter certains centiles, la médiane et la moyenne, les boîtes vertes indiquent que les stations sont situées en milieu forestier ou rural et les bleues représentent celles situées en milieu urbain.

De plus, les stations qui ne respectent pas le critère de complétude des données continues, soit un minimum de 75 % de données valides pour une année, sont identifiées par un astérisque (*) à côté de leur nom dans les figures. Il convient donc d'être prudent dans l'interprétation des concentrations mesurées à ces stations, car il est possible que la moyenne ne soit pas

représentative. Enfin, les stations qui n'ont pas un minimum de 50 % de données continues valides par année ne sont pas présentées dans ce bilan. Aucun critère de complétude n'a été appliqué pour les données séquentielles, cependant le nombre de résultats utilisés pour produire les différentes figures est identifié pour chacune des stations.

Une analyse de tendance a aussi été réalisée pour l'ensemble des contaminants, à l'exception des métaux, sur une période de 10 ans suivant l'entrée en vigueur du RAA en juin 2011. La méthode de calcul des tendances est détaillée à l'annexe B, tandis que les figures contenant les résultats de tous les calculs de tendance sont présentées aux annexes B1 à B10. Les tendances sont présentées sous le même format pour l'ensemble du bilan. Ainsi, comme le montre la figure 2.3, la statistique servant à la tendance (moyenne mensuelle) est représentée avec les points liés par des lignes bleues pour les stations urbaines et par des points et des lignes vertes pour les stations rurales et forestières. La ligne rouge foncé représente la tendance Theil-Sen, tandis que les trois lignes bleues, avec une aire sous la courbe bleu pâle, représentent les tendances lisses (*smooth trend*). La tendance des concentrations de juin 2012 à mai 2021, basée sur la pente tendance Theil-Sen, est affichée en haut du graphique, suivies du code de valeur p « p-value » (** = $p < 0,01$; * = $p < 0,05$; + = $p < 0,1$).

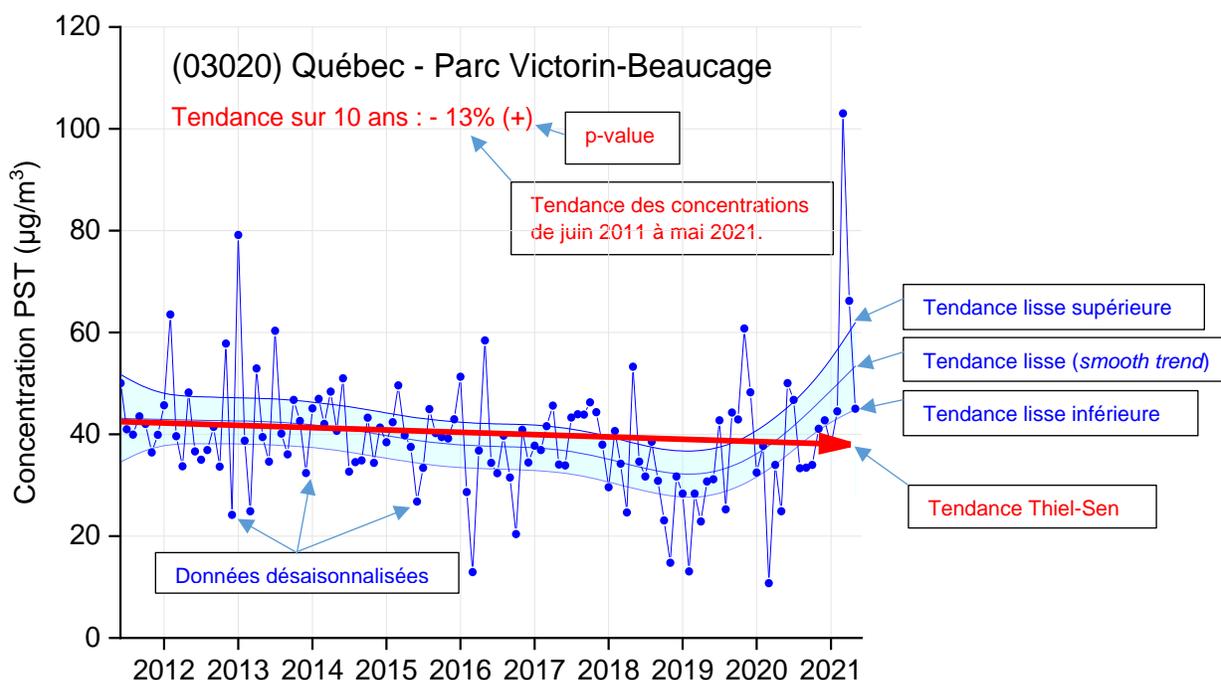


Figure 2.3 Exemple d'analyse de tendance

Pour les analyses de tendance Theil-Sen et lisse, les données ont été préalablement désaisonnalisées (Cleveland et al., 1990). La désaisonnalisation vise à éliminer les fluctuations infra-annuelles, c'est-à-dire mensuelles ou trimestrielles, qui se répètent d'année en année, afin que l'analyse de tendance indique, sans distorsion, la direction que prennent les concentrations dans le temps. Les tendances Theil-Sen présentées dans ce bilan sont suivies du code de valeur p « p-value » (** = $p < 0,001$; * = $p < 0,01$; + = $p < 0,1$).

La corrélation de Spearman permet de déterminer s'il y a une bonne relation entre les données de deux méthodes. Il s'agit d'une corrélation par rang entre deux séries de données robustes aux données extrêmes. Les analyses de corrélation de Spearman ont été réalisées avec le logiciel R et le progiciel (*package*) *Hmisc* (Harrel et Dupont, 2022). Les valeurs de rho de Spearman sont présentées dans ce bilan, suivies du code de valeur p « p-value » (***) = $p < 0,001$; ** = $p < 0,01$; * = $p < 0,05$; + = $p < 0,1$). Une valeur de rho de Spearman positive signifie une corrélation positive entre deux variables. Plus la valeur de rho de Spearman se rapproche de 1, plus la relation est bonne entre les données.

Finalement, l'analyse des concentrations de carbone noir permet de différencier si elles proviennent de la combustion de combustible fossile (BC_{ff}) ou bien de la combustion de biomasse (BC_{bb}). Cette analyse des données de carbone noir est réalisée selon la méthode développée par Sandradewi et al. (2008) et Zotter et al. (2017), tel que présenté par Healy et al. (2017). L'analyse des données a été réalisée avec les paramètres prescrits par Zotter et al. (2017) pour les milieux influencés par le chauffage au bois (λ : 470 et 950 nm; α : 0,9 et 1,68). Il est important de préciser que cette méthode de quantification des sources de carbone noir possède un degré d'incertitude pouvant atteindre 25 % (Zotter et al., 2017) et que les paramètres de la méthode (α) ne sont probablement pas optimaux pour les conditions observées au Québec.

2.4. Comparaison aux normes d'air ambiant

Les concentrations des principaux contaminants ont été comparées aux normes de qualité de l'atmosphère prescrites dans le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA) (MELCCFP, 2023b).

Une norme de qualité de l'atmosphère est la concentration limite dans l'air ambiant pour un contaminant intégrée dans le RAA. La norme peut être établie à un niveau de risque négligeable ou à un niveau de risque acceptable après considération de facteurs technologiques et socioéconomiques.

Bien que la Communauté métropolitaine de Montréal (CMM) dispose de ses propres normes de qualité de l'air⁵, les stations de mesures de la qualité de l'air situées sur l'île de Montréal ont été comparées à titre indicatif aux mêmes seuils que celles situées ailleurs au Québec.

Les normes de qualité de l'atmosphère prescrites dans le RAA sont exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, or les concentrations des contaminants gazeux sont habituellement présentées en ppb ou en ppm. Ainsi dans le cadre de ce bilan, les normes ont été converties en ppb ou en ppm pour faciliter leur comparaison. Les dépassements des normes du RAA sont détaillés à l'annexe A13.

⁵ <https://montreal.ca/sujets/qualite-de-lair>

3. Indicateurs de qualité de l'air

3.1. Indice de la qualité de l'air

L'indice de la qualité de l'air (IQA) est un indicateur de la qualité générale de l'air ambiant. Il est calculé et mis à jour toutes les heures, à partir des concentrations de cinq contaminants (O_3 , NO_2 , SO_2 , $PM_{2,5}$ et CO) mesurées en continu. L'IQA est présenté selon deux échelles de représentativité spatiale. L'échelle régionale correspond aux régions météorologiques utilisées dans le cadre du programme de prévision Info-Smog (MELCCFP, 2023c). L'échelle locale de l'IQA représente l'environnement immédiat d'une station de mesure de la qualité de l'air. Le MELCCFP diffuse l'IQA en temps réel sur son site Web (MELCCFP, 2023d) pour l'ensemble du territoire québécois couvert par le RSQAQ, à l'exception de l'île de Montréal, qui est diffusé sur le site Web de la Ville de Montréal (Ville de Montréal, 2023b).

L'IQA qualifie l'état de la qualité de l'air en trois catégories (« bon », « acceptable » ou « mauvais »), en comparant les concentrations des cinq contaminants à des valeurs de référence déterminées selon des critères de protection de la santé humaine.

En 2021, l'IQA a été calculé pour 24 régions météorologiques. Pour l'ensemble des régions, l'IQA a été « bon », « acceptable » ou « mauvais » dans une proportion de 62 %, 36 % et 2 %.

3.2. Jours de smog

Un « jour de smog » est une journée durant laquelle les émissions atmosphériques et les conditions météorologiques provoquent, pendant plusieurs heures, la formation ou l'accumulation de concentrations élevées de $PM_{2,5}$ ou d' O_3 sur une vaste étendue de territoire.

En 2021, le nombre de jours de smog a varié d'un (1) dans la région du Bas-Saint-Laurent à quinze (15) dans la région de la Capitale-Nationale (MELCCFP, 2023e). Contrairement aux dernières années où le chauffage au bois hivernal était la cause principale des jours de smog, la majorité des jours de smog pour l'année 2021 (72 %) a été observée durant la période estivale, une première depuis 2004 et une conséquence des feux de forêt qui ont sévi dans le nord-ouest de l'Ontario et au Manitoba en juillet et en août.

3.3. Normes canadiennes de qualité de l'air ambiant

En octobre 2012, les gouvernements fédéraux, provinciaux et territoriaux, à l'exception du gouvernement du Québec, ont accepté de mettre en œuvre un système pancanadien de gestion de la qualité de l'air (CCME, 2023a). Même si le Québec appuie les objectifs généraux du Système de gestion de la qualité de l'air (SGQA), il a choisi de ne pas y adhérer afin d'éviter un chevauchement avec ses propres outils de gestion de la qualité de l'air, dont le RAA. Toutefois, il collabore avec les autres gouvernements pour l'élaboration de certains éléments du SGQA, dont les zones atmosphériques de gestion et les normes canadiennes de qualité de l'air ambiant (NCQAA) (CCME, 2023b) qui sont le moteur de la gestion de la qualité de l'air dans le cadre du SGQA. À noter que le terme « norme » doit être compris comme un synonyme d'« objectif » et qu'il n'est pas question ici de normes légales contraignantes. Le Québec dispose de ses propres normes de qualité de l'atmosphère, lesquelles sont enchâssées dans le RAA. Ces normes ne doivent pas être assimilées ni comparées aux NCQAA. En 2016, une NCQAA pour l' O_3 et deux pour les $PM_{2,5}$ (une basée sur 24 heures et l'autre sur un an) étaient en vigueur. En 2017, le Conseil canadien des ministres de l'Environnement (CCME) a avalisé de nouvelles NCQAA pour le SO_2 et le NO_2 en vigueur à partir de 2020.

Pour l'année 2021 (période 2019-2021), les NCQAA de l'O₃ étaient respectées dans l'ensemble des stations (MELCCFP, 2023g). Les NCQAA pour les PM_{2,5} n'ont pas été respectées pour les stations Montréal – Échangeur Décarie et Québec – École Les Primevères.

Les statistiques NCQAA pour le NO₂ et le SO₂ sont fournies pour la première fois en 2021. Les NCQAA pour le NO₂ sont respectées à toutes les stations, tandis qu'elles sont dépassées pour le SO₂ aux stations Rouyn-Noranda – Parc Tremblay et Saguenay – Parc Powell, deux stations qui subissent une influence industrielle.

4. Description des contaminants

4.1. Les particules en suspension totales

4.1.1. Description et propriétés

Les particules en suspension totales (PST) désignent les aérosols solides ou liquides ayant un diamètre aérodynamique inférieur à 100 micromètres (μm) environ.

4.1.2. Origine

En 2020 au Québec, les PST ont été émises principalement par la mise en suspension de poussières (87,4 %), l'agriculture (8,1 %), le chauffage au bois (1,6 %) et les industries (1,5 %) (MELCCFP, 2023g).

4.1.3. Effets

Les effets des PST sur la santé dépendent de la concentration à laquelle elles se retrouvent dans l'air, mais aussi de la composition chimique des particules, de leur teneur en métaux et autres composés toxiques ainsi que du diamètre des particules. Les particules les plus fines sont plus préoccupantes pour la santé que les fractions plus grossières, car elles pénètrent plus profondément dans les poumons et peuvent entrer dans la circulation sanguine. Outre les répercussions sur la santé, les particules les plus grossières peuvent occasionner des nuisances lorsqu'elles se déposent sur certaines surfaces comme les fenêtres, les voitures, etc.

4.1.4. Norme

Le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (MELCCFP, 2023b) prescrit une norme de qualité de l'atmosphère pour les PST de $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une période de 24 heures. La CMM dispose de ses propres normes de qualité de l'air⁶.

4.1.5. Méthode d'échantillonnage

L'échantillonnage des particules en suspension totales (PST) nécessite un échantillonneur à haut débit, aussi appelé « Hi-Vol ». Les particules sont collectées sur un filtre en fibre de verre ou en quartz pendant environ 24 heures à un débit connu. Après l'échantillonnage, les filtres sont envoyés au laboratoire pour être pesés.

4.2. Les particules respirables

4.2.1. Description et propriétés

Les particules respirables (PM_{10}) désignent les aérosols en suspension dans l'air sous forme solide ou liquide possédant un diamètre aérodynamique égal ou inférieur à $10 \mu\text{m}$.

4.2.2. Origine

Les PM_{10} peuvent provenir de sources anthropiques d'émission primaire ou être le résultat de réactions de formation secondaire à partir de contaminants précurseurs, comme les NO_x et le SO_2 (USEPA, 2022a).

Au Québec en 2020, les particules respirables ont été émises principalement par la mise en suspension de poussières (81,5 %), l'agriculture (6,5 %), le chauffage au bois (5,0 %), les industries (2,8 %) et les transports (1,7 %) (MELCCFP, 2023g).

⁶ <https://montreal.ca/sujets/qualite-de-lair>

4.2.3. Effets

L'effet des PM₁₀ sur la santé dépend de la concentration à laquelle elles se retrouvent dans l'air, mais aussi de leur composition chimique, comme leur teneur en métaux et autres composés toxiques.

Comme leur nom l'indique, les particules respirables sont reconnues pour pénétrer profondément dans le système respiratoire, où elles peuvent parfois s'introduire dans la circulation sanguine. Ces particules peuvent aggraver les symptômes de certains problèmes respiratoires, en plus de causer de la toux, des irritations des voies respiratoires, de la difficulté à respirer et de l'asthme, surtout chez les jeunes enfants et les personnes plus vulnérables (USEPA, 2023b).

4.2.4. Norme

Le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (MELCCFP, 2023b) ne prescrit pas de norme de qualité de l'atmosphère pour les PM₁₀. Les niveaux de PM₁₀ sont généralement limités par l'application des normes sur les PM_{2,5} et des PST.

4.2.5. Méthode d'échantillonnage

L'échantillonnage des particules respirables (PM₁₀) nécessite un échantillonneur à haut débit, aussi appelé « Hi-Vol », muni d'une tête sélective afin de ne permettre qu'aux particules de taille égale ou inférieure à 10 µm d'être prélevées. Les particules sont collectées sur un filtre pendant 24 heures à un débit connu. Après l'échantillonnage, les filtres sont envoyés au laboratoire pour être pesés.

4.3. Les métaux

4.3.1. Description et propriétés

Les métaux sont présents principalement sous forme particulaire dans l'atmosphère dans une ou plusieurs fractions des particules.

4.3.2. Origine

L'érosion éolienne du sol, les éruptions volcaniques, les feux de forêt et les particules de sel marin sont des sources naturelles de métaux dans l'air. Les industries, notamment minières et de traitement des métaux, la combustion de combustible fossile et l'incinération de déchets peuvent être des sources anthropiques de métaux dans l'atmosphère (Nriagu, 1989).

4.3.3. Effets

Les conséquences sur la santé et l'environnement varient en fonction de chaque métal. Par exemple :

- L'arsenic peut causer le cancer des poumons lorsqu'inhalé (OMS, 2023a);
- Le cadmium peut causer le cancer du poumon, de la trachée et des bronches (USEPA, 2023c);
- Le chrome hexavalent peut causer le cancer du poumon (OMS, 2023b);
- Le cuivre et le zinc peuvent causer des effets irritants sur les voies respiratoires (Gouvernement du Canada, 2023b; Gouvernement du Canada, 2023c; INERIS, 2005);
- Le nickel peut causer le cancer du poumon (OMS, 2023b);
- Le plomb peut avoir des effets nocifs sur le développement (saturnisme) (Gouvernement du Canada, 2023d).

4.3.4. Norme

Le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (MELCCFP, 2023b) prescrit des normes de qualité de l'atmosphère pour les métaux suivants :

Nom	Norme ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Fraction des particules
	24 h	1 an	
Antimoine	-	0,17	PST
Argent (composés solubles)	-	0,23	PST
Arsenic, élémentaire et composés inorganiques (sauf l'arsine)	-	0,003	PST
Baryum, métal et composés solubles	-	0,05	PST
Béryllium	-	0,0004	PST
Cadmium	-	0,0036	PST
Chrome trivalent	-	0,1	PST
Chrome hexavalent	-	0,004	PST
Cuivre	2,5	-	PST
Mercure	-	0,005	PST
Nickel⁷	0,014		PM ₁₀
Plomb	-	0,1	PST
Thallium	-	0,25	PST
Vanadium	-	1	PST
Zinc	2,5	-	PST

4.3.5. Méthode d'échantillonnage

Les concentrations de métaux sont mesurées par le laboratoire à la suite de l'échantillonnage dans différentes fractions des particules (pour les détails, voir les sections sur les particules en suspension totale, les particules respirables et les particules fines). L'unique différence par rapport à l'échantillonnage des PM₁₀ et des PST est que la collecte des particules s'effectue sur des filtres en quartz lorsqu'il y a analyse de métaux.

4.4. Les particules fines

4.4.1. Description et propriétés

Les particules fines (PM_{2,5}) désignent les aérosols en suspension dans l'air sous forme solide ou liquide dont le diamètre aérodynamique est inférieur ou égal à 2,5 μm . Leur composition dépend de leur provenance, de la saison et des conditions atmosphériques. Les particules sont composées entre autres de sulfates (SO₄²⁻), de nitrates (NO₃⁻), d'ammonium (NH₄⁺), de chlorure de sodium (NaCl), de carbone (élémentaire et organique), de matières minérales et d'eau. Au Québec, les PM_{2,5} constituent la principale composante du smog (MELCCFP, 2023h).

⁷ Le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* a introduit une nouvelle norme quotidienne de 0,070 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ainsi qu'une norme annuelle de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les concentrations de nickel dans les PM₁₀ le 28 avril 2022. Toutefois, les données de nickel dans les PM₁₀ présentées dans ce bilan ont été mesurées en 2021, elles ont donc été comparées à l'ancienne norme quotidienne du nickel dans les PM₁₀ de 0,014 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en vigueur à l'époque.

4.4.2. Origine

Les particules dites primaires sont émises directement dans l'atmosphère, tandis que les particules secondaires sont le résultat d'une série de réactions chimiques et physiques où interviennent différents gaz précurseurs, tels que les oxydes de soufre et d'azote, les composés organiques volatils, l'ammoniac et la vapeur d'eau.

Au Québec, en 2020, les $PM_{2,5}$ ont été émises principalement par la mise en suspension de poussières (48,4 %), le chauffage au bois (19,9 %), l'agriculture (10,3 %), l'industrie (7,5 %), la combustion non industrielle⁸ (5,4 %) et les transports (4,9 %) (MELCCFP, 2023g). Tout comme l' O_3 , les $PM_{2,5}$ peuvent voyager sur de très longues distances. D'ailleurs, les feux de forêt, même lorsqu'ils sévissent à des milliers de kilomètres, sont une source significative de $PM_{2,5}$.

4.4.3. Effets

En raison de leur petite taille, les $PM_{2,5}$ pénètrent profondément dans le système respiratoire et peuvent s'introduire dans la circulation sanguine. Elles peuvent entraîner des effets importants en ce qui concerne les systèmes respiratoire et cardiovasculaire, pouvant même occasionner des décès prématurés. Les particules sont aussi considérées comme des cancérigènes reconnus pour l'homme (OMS, 2023b). De courtes expositions peuvent provoquer de la toux, des irritations et de l'inflammation dans les bronches, en plus d'augmenter la vulnérabilité aux infections respiratoires. Les enfants, les personnes âgées ainsi que les personnes souffrant d'asthme, de pneumonie, de bronchite, d'emphysème ou d'autres maladies respiratoires chroniques sont particulièrement sensibles aux effets des $PM_{2,5}$ (USEPA, 2023b). Les $PM_{2,5}$ n'ont pas de seuil de concentration en dessous duquel elles n'ont aucun effet pour la santé.

4.4.4. Norme

Le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (MELCCFP, 2023b) prescrit une norme de qualité de l'atmosphère pour les $PM_{2,5}$ de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour une période de 24 heures.

4.4.5. Principe de mesure et méthode d'échantillonnage

Les analyseurs en continu les plus utilisés sur le RSQAQ utilisent une technologie de comptage optique à partir d'une source de lumière blanche aux diodes électroluminescentes (T640). Un échantillon est d'abord soumis à la source de lumière qui catégorise les particules en fonction de leur taille. Ensuite, la différence entre la lumière émise par l'appareil et la lumière réfléchiée par l'échantillon est proportionnelle à la quantité de particules dans l'échantillon d'air, laquelle est ensuite convertie en concentration massique en fonction de chacune des catégories de taille.

D'autres appareils sur le réseau utilisent une technologie d'atténuation du rayonnement bêta (BAM). L'échantillon d'air passe d'abord à travers une tête sélective qui ne laisse passer que les particules de taille inférieure à $2,5 \mu\text{m}$. Il est ensuite chauffé, au besoin, afin de maintenir l'humidité relative sous la valeur de 40 % pour en limiter l'influence sur la mesure. La poussière est collectée sur un ruban durant 42 minutes, puis ce dernier est soumis à un rayonnement bêta qui est absorbé par la poussière contenue sur le filtre. L'atténuation de ce rayonnement bêta est ensuite enregistrée par un détecteur placé derrière le ruban et convertie en concentration de particules fines.

D'autres appareils déployés au RSQA de la Ville de Montréal utilisent une technologie de diffusion de la lumière (néphélométrie), qui est calibrée à partir de la technologie d'atténuation du rayonnement bêta (SHARP). La diffusion d'un vaisseau de lumière de longueur d'onde de 880 nm est mesurée à la suite de son contact avec l'échantillon d'air, laquelle est convertie en

⁸ Ce secteur comprend les émissions de contaminants générées par les sources de combustion résidentielles, commerciales et institutionnelles, excluant le chauffage au bois résidentiel.

concentration de particules fines. La poussière est ensuite récoltée sur un filtre, puis ce dernier est soumis à un rayonnement bêta qui est absorbé par la poussière contenue sur le filtre. Cette mesure permet de confirmer la concentration mesurée au préalable.

Les particules fines peuvent aussi être échantillonnées à l'aide d'échantillonneurs munis d'une tête sélective placée à l'embouchure de la prise d'air, permettant de capter seulement les particules de diamètre égal ou inférieur à 2,5 micromètres. Les particules sont collectées sur un filtre en téflon pendant 24 heures à un débit connu. Après l'échantillonnage, les filtres sont envoyés au laboratoire pour y être pesés.

4.5. Le carbone noir

4.5.1. Description et propriétés

Le carbone noir (BC) est un constituant des particules fines, composé principalement de carbone élémentaire.

4.5.2. Origine

Le BC est produit lors de la combustion incomplète de matières organiques, comme le diesel, le bois ou le charbon.

4.5.3. Effets

Le BC a essentiellement les mêmes effets sur la santé humaine que les particules fines. Son aspect poreux et rugueux favorise d'ailleurs l'adsorption de certaines impuretés à sa surface, comme les composés organiques volatils (COV) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), qui contribuent à sa toxicité (USEPA, 2011).

Le BC influence aussi grandement le climat. D'une part, il absorbe très efficacement le rayonnement solaire à cause de sa couleur noire, ce qui réchauffe localement la température de l'air et diminue l'albédo de la neige et de la glace lorsqu'il s'y dépose. D'autre part, les particules de BC peuvent servir de noyau de nucléation dans la formation de nuages, qui réfléchissent ensuite une partie du rayonnement solaire (NASA Earth Observatory, 2010). Globalement, le forçage radiatif du BC est positif, ce qui signifie qu'il absorbe plus d'énergie provenant du rayonnement solaire qu'il en réfléchit, contribuant au réchauffement de la température ambiante (Schimel et al., 2022).

4.5.4. Norme

Le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (MELCCFP, 2023b) ne prescrit pas de norme de qualité de l'atmosphère pour le carbone noir.

4.5.5. Principe de mesure

Le suivi des concentrations de BC est effectué en continu à l'aide d'analyseurs mesurant l'absorption de lumière des aérosols à des longueurs d'onde spécifiques. Ce type de suivi du carbone noir permet de distinguer s'il provient de la combustion de carburant fossile, comme le transport routier, ou de la combustion de biomasse, comme le chauffage au bois ou les feux de forêt. Les longueurs d'onde plus longues, dans l'infrarouge, sont utilisées pour quantifier le carbone noir (carbone élémentaire), alors que les plus courtes fournissent une information sur les composés organiques qui se sont adsorbés aux particules de BC, communément appelés carbone brun. Ce dernier provient de la combustion incomplète de la matière organique, comme c'est le cas avec le chauffage au bois, mais aussi lors de feux de forêt.

4.6. Particules ultrafines

4.6.1. Description et propriétés

Les particules ultrafines ($PM_{0,1}$) sont des aérosols liquides ou solides ayant un diamètre aérodynamique égal ou inférieur à 100 nanomètres (nm). Leur composition chimique est semblable à celle des $PM_{2,5}$, mais dans des proportions différentes.

Les $PM_{0,1}$ ne représentent qu'une infime portion de la masse de l'ensemble des particules se retrouvant dans l'air, mais elles représentent plus de 85-90 % du nombre total de particules (Solomon, 2012).

4.6.2. Origine

Les $PM_{0,1}$ ont une origine tant naturelle qu'anthropique. Elles peuvent être émises directement dans l'atmosphère ou bien être le résultat de différents processus de formation secondaire. Ces processus, qui incluent la nucléation, la condensation et la coagulation, sont grandement influencés par les conditions météorologiques.

Les émissions anthropiques directes de $PM_{0,1}$ proviennent essentiellement de tout processus de combustion, dont les moteurs à diesel qui sont la source principale. Les activités humaines, comme les industries et le transport, sont aussi des sources importantes de précurseurs à la formation secondaire de $PM_{0,1}$, dont les NO_x , le CO, le SO_2 et plusieurs composés organiques. (Solomon, 2012).

4.6.3. Effets

Les recherches sur l'effet sur la santé des $PM_{0,1}$ sont encore peu nombreuses sur le sujet et plusieurs aspects, comme les effets à long terme de ce contaminant, n'ont pas encore été étudiés. Toutefois, il est connu qu'étant donné leur très petite taille, les particules ultrafines peuvent traverser l'épithélium respiratoire et s'introduire dans la circulation sanguine, où elles peuvent avoir des effets néfastes. Les résultats récents démontrent que les $PM_{0,1}$ peuvent causer l'inflammation des voies respiratoires, de l'hypertension et aggraver certains symptômes respiratoires comme l'asthme (Morawska et al., 2008; Baldauf et al., 2016; USEPA, 2023c).

4.6.4. Norme

Le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (MELCCFP, 2023b) ne prescrit pas de norme de qualité de l'atmosphère pour les $PM_{0,1}$.

4.6.5. Principe de mesure

Les concentrations de $PM_{0,1}$ sont généralement rapportées en particules par centimètre cube ($part./cm^3$), contrairement aux concentrations des autres particules qui sont rapportées en microgrammes par mètre cube ($\mu g/m^3$).

L'analyse des particules ultrafines dans l'air ambiant s'effectue par un appareil qui permet le comptage optique de chacune des particules individuelles. Au préalable, la taille des particules est augmentée artificiellement par condensation avec de l'eau afin de permettre à l'appareil de les détecter.

4.7. Le dioxyde d'azote

4.7.1. Description et propriétés

Le dioxyde d'azote (NO_2) est un gaz irritant généré par tous les processus de combustion. Il est un des constituants du smog et l'un des principaux contaminants précurseurs des $PM_{2,5}$ et de l' O_3 . À température élevée, l'azote et l'oxygène présents dans l'air se combinent pour former du monoxyde d'azote (NO), ce dernier étant partiellement oxydé en NO_2 dans l'atmosphère. Ces deux

substances, le NO₂ et le NO, sont les principaux composés de la famille des oxydes d'azote (NO_x). Par la suite, le NO₂ réagit avec l'eau présente dans l'atmosphère pour former des nitrates (NO₃⁻) sous forme liquide ou solide. Les NO₃⁻ contribuent fortement à l'acidification des précipitations.

4.7.2. Origine

Au Québec en 2020, les NO_x étaient émis principalement par le secteur du transport (66,8 %), le secteur industriel (22,3 %) et la combustion non industrielle⁹ (5,8 %) (MELCCFP, 2023g). Le NO₂ est donc un bon indicateur des émissions des véhicules et c'est la raison pour laquelle la majorité des stations où il est mesuré sont situées en milieu urbain.

4.7.3. Effets

Le NO₂ peut irriter les poumons, provoquer une inflammation des voies respiratoires, une diminution de la capacité pulmonaire et de la toux, en plus de diminuer la résistance des voies respiratoires aux infections. Les personnes asthmatiques sont les plus sensibles au NO₂ (USEPA, 2023d).

4.7.4. Norme

Le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (MELCCFP, 2023b) prescrit les normes de qualité de l'atmosphère suivantes pour le dioxyde d'azote :

- 220 ppb (414 µg/m³) pour une période d'une (1) heure ;
- 110 ppb (207 µg/m³) pour une période de 24 heures ;
- 55 ppb (103 µg/m³) pour une période d'un an.

4.7.5. Principe de mesure

La mesure de la concentration de NO₂ est basée sur le principe de chimiluminescence, soit la production d'énergie sous forme de lumière résultant d'une réaction chimique. D'abord, un échantillon d'air est aspiré vers une chambre de réaction où est injecté de l'ozone. Le NO dans l'échantillon réagit avec l'ozone, puis une quantité de lumière proportionnelle à la quantité de NO est émise, permettant de déterminer la concentration de NO. L'échantillon passe ensuite vers le convertisseur pour que le NO₂ soit réduit en NO, puis il retourne dans la chambre de réaction. De l'ozone est de nouveau injecté, puis on mesure la concentration de NO_x en fonction de l'intensité lumineuse de la réaction chimique. Pour obtenir la concentration de NO₂, la concentration de NO est soustraite de celle des NO_x.

4.8. Le dioxyde de soufre

4.8.1. Description et propriétés

Le dioxyde de soufre (SO₂) est un gaz incolore dont l'odeur est âcre et piquante. Contrairement aux PM_{2,5} et à l'O₃, les concentrations de SO₂ dans l'air ambiant sont généralement très faibles sans la présence d'une source industrielle à proximité. Dans l'atmosphère, le SO₂ s'oxyde en sulfate (SO₄²⁻) en présence d'eau. Les SO₄²⁻ contribuent à l'acidification des précipitations, de même qu'à la formation de PM_{2,5} secondaires.

⁹ Ce secteur comprend les émissions de contaminants générées par les sources de combustion résidentielles, commerciales et institutionnelles, excluant le chauffage au bois résidentiel.

4.8.2. Origine

Au Québec en 2020, le SO₂ provenait presque exclusivement des industries (96,6 %) et dans une moindre mesure de la combustion non industrielle¹⁰ (1,8 %) ainsi que du secteur des transports (0,8 %) (MELCCFP, 2023g). Les concentrations élevées de ce contaminant sont observées à proximité de sources industrielles.

4.8.3. Effets

Le SO₂ est un gaz irritant qui agit en synergie avec d'autres contaminants, qui a un effet principalement sur le système respiratoire. Les asthmatiques sont particulièrement sensibles au SO₂ (USEPA, 2023e).

4.8.4. Norme

Le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (MELCCFP, 2023b) prescrit les normes de qualité de l'atmosphère suivantes pour le dioxyde de soufre :

- 400 ppb (1050 µg/m³) pour une période de quatre (4) minutes, celle-ci peut être excédée jusqu'à 0,5 % du temps sur une base annuelle, sans dépasser 500 ppb (1310 µg/m³);
- 110 ppb (288 µg/m³) pour une période de 24 heures et;
- 20 ppb (52 µg/m³) pour une période d'un an.

4.8.5. Principe de mesure

Le principe de fluorescence ultraviolette (UV) permet de mesurer les concentrations de SO₂ dans l'air. L'échantillon d'air est pompé vers l'analyseur, où il est filtré pour qu'en soient retirées les potentielles interférences. L'échantillon est ensuite soumis à un rayonnement UV, ce qui fait en sorte que les molécules de SO₂ émettent de l'énergie sous forme de lumière. La quantité de lumière émise par l'échantillon étant proportionnelle à la concentration de SO₂, elle est ensuite convertie en concentration de SO₂.

4.9. Le monoxyde de carbone

4.9.1. Description et propriétés

Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz incolore et inodore produit par la combustion incomplète de toute matière organique, incluant les carburants fossiles, les déchets et le bois. Une fois dans l'atmosphère, il se transforme en dioxyde de carbone (CO₂), un important gaz à effet de serre contribuant aux changements climatiques.

4.9.2. Origine

Au Québec en 2020, le CO était majoritairement émis par le secteur du transport (47,8 %), mais aussi par les industries (35,6 %) et le chauffage au bois (11,4 %) (MELCCFP, 2023g). En ville, les concentrations maximales de CO sont observées à proximité des grands axes routiers aux heures de pointe de circulation automobile.

4.9.3. Effets

Le CO pénètre rapidement dans le sang, où il réduit l'apport d'oxygène aux organes et aux tissus. Les fumeurs et les personnes souffrant de maladies cardiovasculaires sont les plus affectées par le CO. Les symptômes d'intoxication se traduisent par des étourdissements, des maux de tête, de

¹⁰ Ce secteur comprend les émissions de contaminants générées par les sources de combustion résidentielles, commerciales et institutionnelles, excluant le chauffage au bois résidentiel.

la somnolence, des troubles de la vision et des troubles moteurs (USEPA, 2023f). Cependant, il est important de mentionner que ces effets se produisent à des concentrations beaucoup plus élevées que celles qu'on retrouve dans l'air ambiant au Québec.

4.9.4. Norme

Le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (MELCCFP, 2023b) prescrit les normes de qualité de l'atmosphère suivantes pour le monoxyde de carbone :

- 30 ppm (34 000 µg/m³) sur une période d'une (1) heure;
- 11 ppm (12 700 µg/m³) pour une période de 8 heures.

4.9.5. Principe de mesure

La liaison entre le carbone et l'oxygène absorbe la lumière infrarouge d'une longueur d'onde connue. L'échantillon d'air est aspiré vers l'analyseur, où il est soumis à un rayonnement infrarouge (IR) à la longueur d'onde spécifique au CO. La quantité de lumière absorbée est proportionnelle à la concentration de CO de l'échantillon. Ainsi, la quantité de lumière absorbée est mesurée par l'appareil et ensuite convertie en concentration de CO.

4.10. L'ozone

4.10.1. Description et propriétés

L'ozone (O₃) est un gaz formé de trois atomes d'oxygène. Relativement instable, il réagit chimiquement avec les autres composantes de l'atmosphère. À l'état naturel, il se trouve à différentes altitudes de l'atmosphère. À très haute altitude (stratosphère), il nous protège des rayons nocifs du soleil en absorbant une bonne partie du rayonnement ultraviolet. Près du sol (troposphère), c'est un contaminant qui est nuisible à la santé et à l'environnement. Il est un des principaux composants du smog.

4.10.2. Origine

L'O₃ n'est pas émis directement dans l'atmosphère, il résulte plutôt de réactions photochimiques de contaminants précurseurs : les oxydes d'azote (NO_x), le monoxyde de carbone (CO) et les composés organiques volatils (COV). Ces contaminants sont produits en grande quantité par des activités humaines comme le transport, les industries ou le chauffage. Étant donné que l'O₃ peut voyager sur de longues distances et que la vallée du Saint-Laurent est un corridor naturel qui draine les masses d'air depuis le centre du continent, les niveaux d'O₃ au Québec sont en partie imputables aux contaminants émis aux États-Unis et en Ontario, dans la région des Grands Lacs (Gouvernement du Canada, 2016). Les émissions provenant des villes québécoises contribuent aussi à l'augmentation des concentrations d'O₃ observées au Québec. Il existe aussi des sources naturelles d'O₃, comme les transferts de masses d'air entre la stratosphère et la troposphère. Les feux de forêt émettent également de grandes quantités de contaminants précurseurs qui peuvent faire augmenter le niveau d'O₃ à des centaines de kilomètres en aval de ces incendies. Enfin, dans une moindre mesure, les éclairs sont responsables de la production d'une faible quantité d'O₃.

4.10.3. Effets

L'O₃ est un oxydant qui peut occasionner des irritations du nez et de la gorge. À la suite de courtes périodes d'exposition, il peut provoquer des difficultés respiratoires, comme de l'essoufflement, une douleur lors de profondes respirations et de la toux causée notamment par la constriction des bronches. L'exposition à l'O₃ peut causer ou aggraver plusieurs maladies respiratoires telles que l'asthme, l'emphysème ou des bronchites chroniques. Aussi, il peut causer des dommages à la végétation et nuire au rendement des cultures (USEPA, 2023g).

4.10.4. Norme

Le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (MELCCFP, 2023b) prescrit les normes de qualité de l'atmosphère suivantes pour l'ozone :

- 82 ppb (160 µg/m³) sur une période d'une (1) heure;
- 64 ppb (125 µg/m³) pour une période de 8 heures.

4.10.5. Principe de mesure

L'air est acheminé vers une cellule dans l'analyseur, où il sera soumis à une intensité de lumière ultraviolette (UV) connue. Puisque l'ozone absorbe les rayons UV, l'intensité lumineuse, après être passée à travers l'échantillon, sera plus faible. Cette absorption lumineuse est proportionnelle à la concentration d'ozone de l'échantillon, c'est-à-dire que plus la concentration d'ozone est élevée, plus l'absorption augmente. L'absorption est ensuite convertie en concentration d'ozone.

4.11. Le sulfure d'hydrogène

4.11.1. Description et propriétés

Le sulfure d'hydrogène (H₂S) est un gaz incolore possédant une odeur très forte d'œufs pourris.

4.11.2. Origine

Ses émissions atmosphériques proviennent essentiellement d'activités industrielles, comme la fermentation anaérobie de matières organiques dans les dépotoirs et les stations d'épuration, ou bien d'autres procédés chimiques industriels. Il peut aussi être émis lors de la combustion de combustible fossile (CNESST, 2023a).

4.11.3. Effets

Aux concentrations rencontrées dans l'air ambiant, le H₂S est principalement une nuisance olfactive, mais peut aussi irriter les yeux et les voies respiratoires (USEPA, 2003; CNESST, 2023a).

4.11.4. Norme

Le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (MELCCFP, 2023b) prescrit les normes de qualité de l'atmosphère suivantes pour le H₂S :

- 4,3 ppb (6 µg/m³) sur quatre (4) minutes;
- 1,44 ppb (2 µg/m³) sur un (1) an.

4.11.5. Principe de mesure

Les concentrations de H₂S sont mesurées par un appareil de mesure du SO₂, auquel un « convertisseur » a été ajouté. L'échantillon d'air est pompé vers l'analyseur, où il est filtré pour qu'en soient retirées les potentielles interférences. Les molécules de H₂S sont ensuite converties en SO₂.

Les molécules de SO₂ sont ensuite soumises à un rayonnement UV, ce qui fait en sorte qu'elles émettent de l'énergie sous forme de lumière. La quantité de lumière émise par l'échantillon étant proportionnelle à la concentration de SO₂, elle est ensuite convertie en concentration de SO₂, puis en concentration de H₂S.

5. Résultats et analyses

5.1. Concentrations annuelles

Les concentrations annuelles des différents contaminants mesurés par le RSQAQ sont présentées sous la forme de diagrammes en boîte dans cette section. D'une manière générale, les concentrations mesurées en milieu rural et forestier présentent les concentrations les plus faibles, tandis que celles mesurées en milieu urbain ou à proximité de sources de contamination atmosphérique connues présentent les concentrations les plus élevées, à l'exception de l'ozone où l'inverse est observé.

5.1.1. Particules en suspension totales

Les concentrations de PST mesurées en 2021 aux 33 stations de mesure de la qualité de l'air du RSQAQ sont présentées à la figure 5.1 et les statistiques détaillées se trouvent à l'annexe A2. Les PST sont mesurés par un échantillonnage séquentiel d'une durée de 24 heures et généralement réalisé tous les six (6) jours. Le nombre d'échantillons valides est inscrit entre parenthèses à la suite du nom de chacune des stations de la figure suivante.

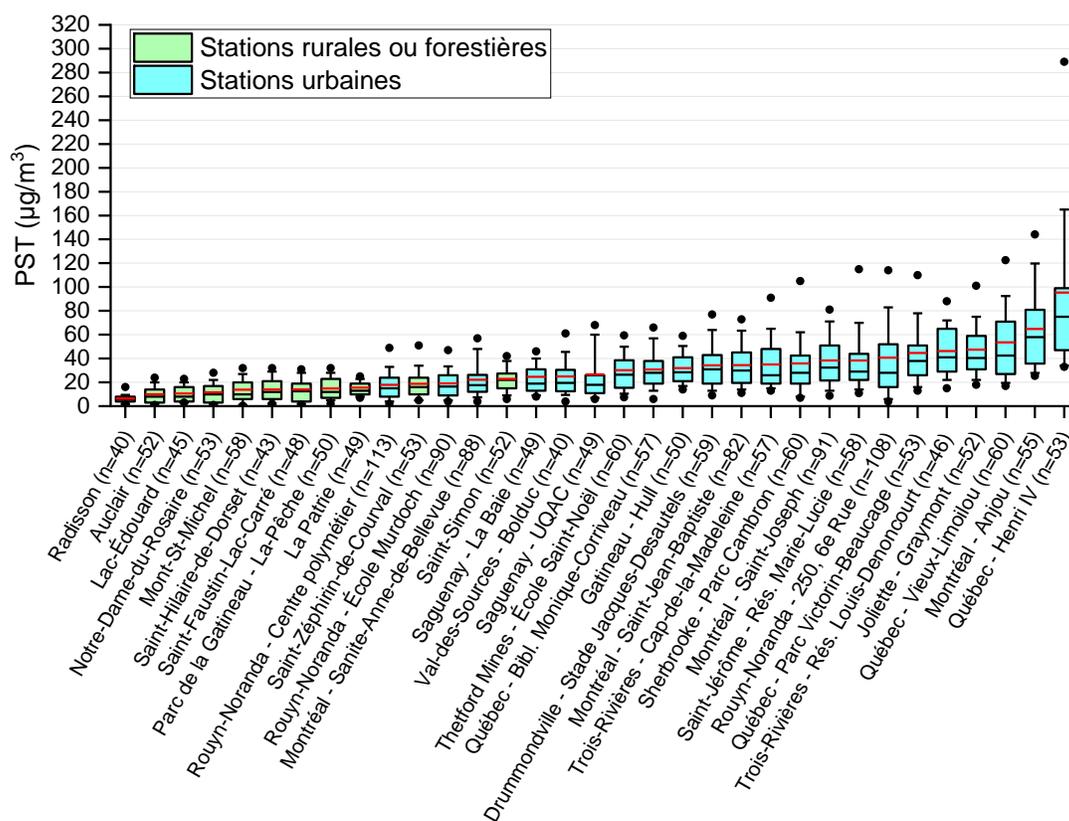


Figure 5.1 Concentrations annuelles de particules en suspension totales aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.

Les concentrations annuelles moyennes de PST ont varié de 6,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à la station Radisson à 95,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à la station Québec – Henri IV. Les concentrations moyennes de PST mesurées aux stations rurales ou forestières, variant de 6,4 à 22,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, sont nettement moins élevées que celles mesurées aux stations urbaines, qui varient de 17,9 à 95,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.1.2. Particules respirables

Les concentrations de PM_{10} mesurées en 2021 aux dix stations de mesure de la qualité de l'air du Québec sont présentées à la figure 5.2 et les statistiques détaillées se trouvent à l'annexe A3. Les PM_{10} sont mesurées de façon séquentielle, soit par un échantillonnage d'une durée de 24 heures, généralement réalisé tous les six (6) jours. Le nombre d'échantillons valides est inscrit entre parenthèses à la suite du nom de chacune des stations de la figure suivante.

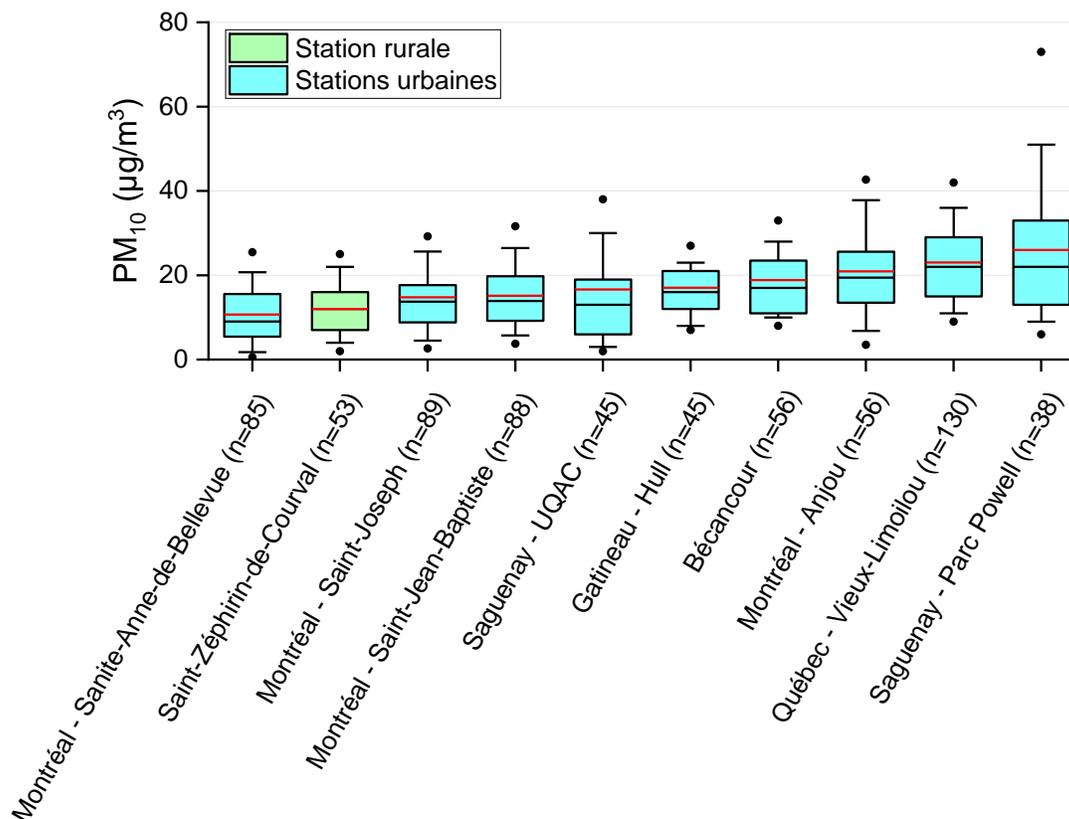


Figure 5.2 Concentrations annuelles de particules respirables aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.

Les concentrations annuelles moyennes de PM_{10} ont varié de $10,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à la station Montréal – Sainte-Anne-de-Bellevue à $26,0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à la station Saguenay – Parc Powell, située à proximité d'un complexe industriel majeur.

5.1.3. Métaux

Le RSQAQ a démarré un projet de suivi des concentrations de 31 métaux dans les PST à 8 stations et dans les PM_{10} à trois stations au cours de l'année 2021. Ce suivi s'ajoute au suivi régulier des concentrations de métaux réalisé par le RSQAQ à sept stations. Le tableau de l'annexe A14 détaille le pourcentage de détection des métaux à chacune des stations pour l'année 2021. Les limites de détection (LD) sont aussi présentées dans ce tableau. D'une manière générale, très peu de métaux sont détectés, c'est-à-dire que leur concentration se retrouve au-dessus des limites de détection de la méthode de mesure des métaux du RSQAQ, signe que leur concentration est très faible. Sur les 31 métaux mesurés, 14 ne sont pas détectés dans plus de 80 % des échantillons de l'année complète, soit l'argent, le béryllium, le bismuth, le bore, le chrome, l'étain, le lithium, le nickel, le sodium, le strontium, le tellure, le thallium, l'uranium et le vanadium.

La figure 5.3 illustre le nombre de métaux mesurés dans les PST, dont le pourcentage des données au-dessus des limites de détection est supérieur à 80 % pour l'année 2021 à toutes les stations de mesure des métaux, à l'exception de la station Joliette où seul le calcium est mesuré.

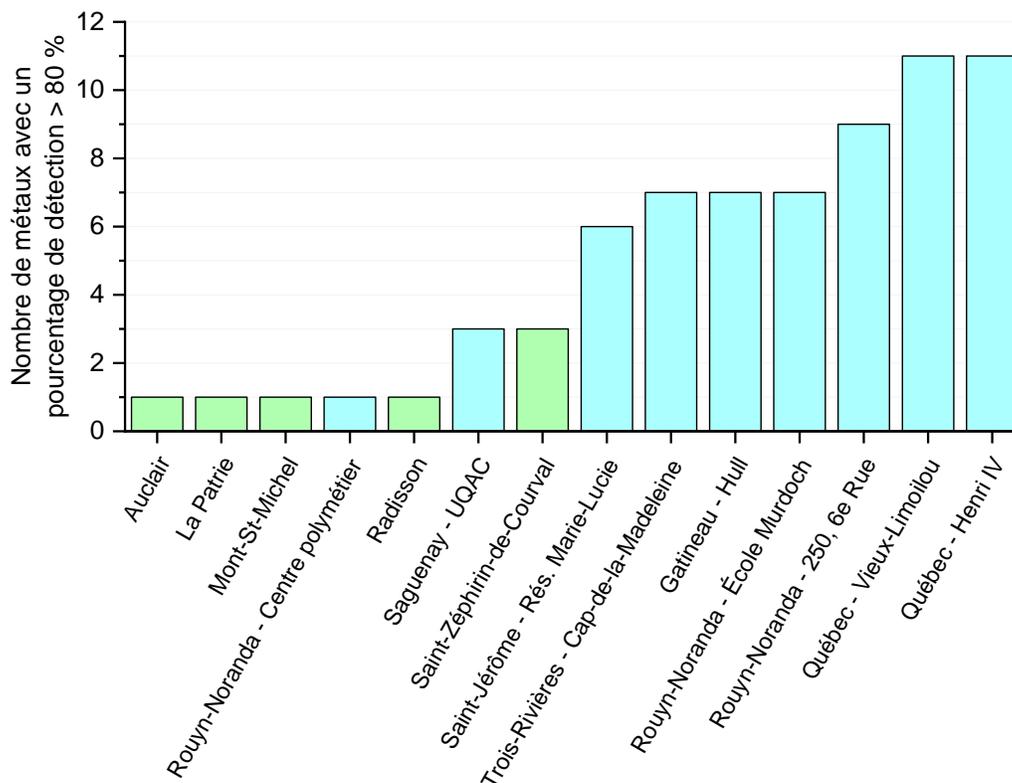


Figure 5.3 Nombre de métaux mesurés dans les particules en suspension totales, sur un total de 31 métaux, dont le pourcentage des données au-dessus des limites de détection est supérieur à 80 % pour l'année 2021.

Les stations qui ont les pourcentages de détection des métaux les plus élevés sont celles situées à proximité de sources de contamination en métaux connues, comme le trafic routier (Québec – Henri IV) ou les activités industrielles (Québec – Vieux-Limoilou, Rouyn-Noranda – 260, 6^e rue). Seulement dix métaux ont été mesurés à la station Rouyn-Noranda – Centre polymétier en 2021, ce qui peut expliquer qu'un seul métal y a été détecté plus de 80 % du temps. D'autre part, les stations situées en milieu rural ou forestier, soit Auclair, Saint-Zéphirin-de-Courval, Mont St-Michel et Radisson, enregistrent le nombre de métaux détectés plus de 80 % du temps parmi les plus bas de toutes les stations de mesure des métaux.

Les métaux les plus fréquemment détectés sont le Ba, le Ca, le Cu, le Fe, le K et le Mn. Le Ba, le Ca, le Fe, le K et le Mn proviennent en partie de l'érosion éolienne des sols (Duce et Tindale, 1991; Gad, 2014; Meszaros, 1966; NAEI, 2023; USEPA, 1984). Dans le cas du Cu, il est détecté dans pratiquement tous les échantillons, une conséquence de la méthode d'échantillonnage qui rééchantillonne l'air évacué par les moteurs des échantillonneurs de particules, qui contiennent des composantes en cuivre, surtout par conditions de vent stagnantes. Ce rééchantillonnage n'a cependant pas d'effet substantiel sur les masses de particules échantillonnées (USEPA, 2016).

5.1.4. Particules fines

Les concentrations de $PM_{2,5}$ mesurées à 49 stations de mesure de la qualité de l'air du Québec en 2021 sont présentées à la figure 5.4 et les statistiques détaillées se trouvent à l'annexe A4. Différents analyseurs en continu des concentrations de particules sont déployés au RSQAQ. Les appareils déployés aux différentes stations de mesure sont détaillés à l'annexe C du Bilan de la qualité de l'air au Québec en 2020 (Laberge, 2023).

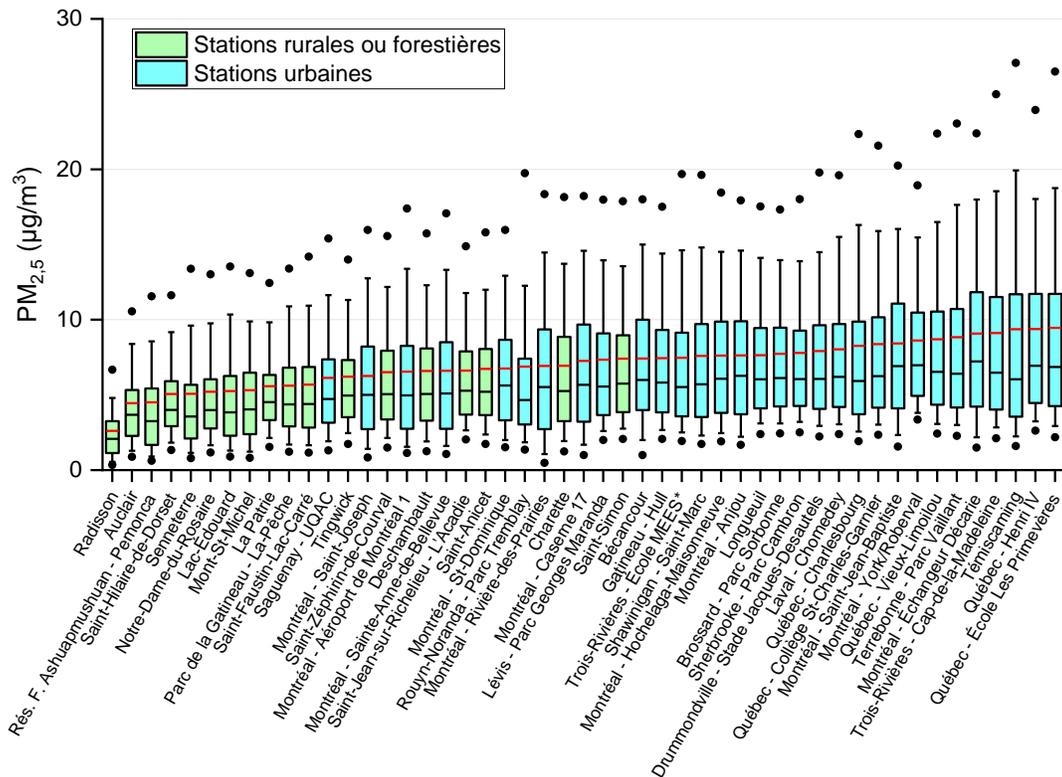


Figure 5.4 Concentrations annuelles de particules fines aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.

Les concentrations annuelles moyennes de $PM_{2,5}$ ont varié de $2,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à la station Radisson, située dans le Nord-du-Québec, à $9,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à la station Québec – École Les Primevères. De façon générale, les concentrations de $PM_{2,5}$ mesurées au Québec sont comparables à celles mesurées ailleurs au Canada (Gouvernement du Canada, 2023a). Comme le démontre la figure précédente, les stations rurales et forestières, et spécialement la station Radisson, seule station située en zone nordique, enregistrent généralement des concentrations moyennes moins élevées ($2,6$ à $7,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) que les stations urbaines ($6,1$ à $9,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ces concentrations sont semblables à celles mesurées en 2020 (Laberge, 2023). Les $PM_{2,5}$ mesurées aux stations urbaines proviennent d'un mélange de sources d'émission différentes (chauffage au bois, industrie, transport, etc.) dont la proportion varie d'une station à l'autre.

D'ailleurs, différentes sources de particules ont influencé les concentrations des trois stations affichant les concentrations de $PM_{2,5}$ les plus élevées au Québec en 2021 : la station Québec – École Les Primevères, dont la moyenne des concentrations est la plus élevée en 2021, se trouve dans un secteur où l'influence du chauffage au bois est très présente (Busque, 2022; Foucreault, 2016; MELCCFP, 2023a); la station Québec – Henri-IV est localisée en bordure d'une autoroute majeure; et la station de mesure de la qualité de l'air de Témiscaming est située à proximité d'une installation industrielle.

5.1.5. Carbone noir

La figure 5.5 illustre les concentrations de carbone noir total, c'est-à-dire la somme du carbone noir provenant de la combustion de carburant fossile et de la combustion de biomasse ($BC_{ff} + BC_{bb}$) aux stations de suivi en 2021, les statistiques détaillées sont présentées à l'annexe A5.

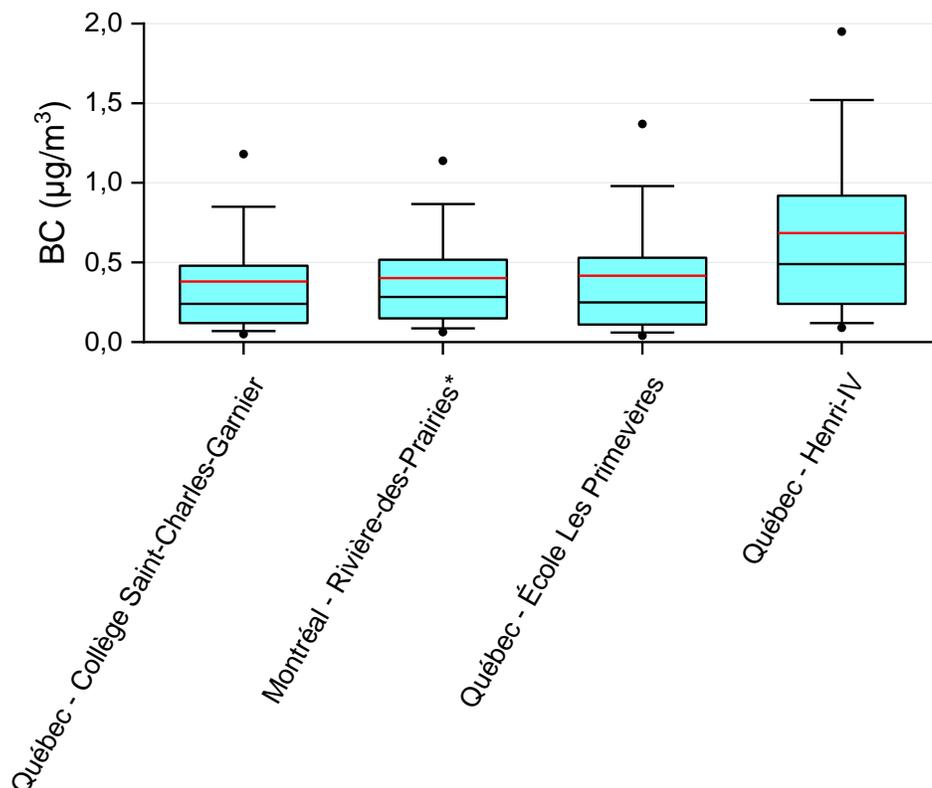


Figure 5.5 Concentrations annuelles de carbone noir aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.

Les concentrations annuelles moyennes les plus élevées et les plus variables ont été mesurées à la station Québec – Henri IV située en bordure d'une autoroute, à $0,69 \mu\text{g}/\text{m}^3$, suivi de celles de Québec – École Les Primevères à $0,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$, puis de celles de Montréal – Rivière-des-Prairies à $0,40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et finalement de celles de la station Québec – Collège St-Charles-Garnier, à $0,38 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

5.1.6. Particules ultrafines

En 2021, les concentrations de $PM_{0,1}$ ont été mesurées à trois stations du RSQAQ, soit Québec – Collège St-Charles-Garnier, Montréal – Rivière-des-Prairies et Québec – Henri IV.

Deux types d'analyseur de particules ultrafines ont été utilisés à ces stations en 2021. Le tableau 5.1 détaille les modèles d'analyseurs de $PM_{0,1}$ utilisé sur le RSQAQ et les périodes où ils ont été déployés à chacune des stations.

Tableau 5.1 Périodes de déploiement des différents analyseurs de PM_{0,1} au RSQAQ.

Période	Station	Modèle
Toute l'année 2021	03028 - Québec - Collège St-Charles-Garnier	PM _{0,1} - CPC
1er au 21 janvier 2021	03052 - Québec - Henri IV	PM _{0,1} - CPC – NPH
22 janvier au 31 décembre 2021	03052 - Québec - Henri IV	PM _{0,1} – CPC
Toute l'année 2021	06055 - Montréal - Rivière-des-Prairies	PM _{0,1} – CPC*

* Modèle « *Environmental Sampling System* » qui limite l'échantillonnage des particules à 1000 nm contrairement à 3000 nm pour les autres modèles PM_{0,1} – CPC.

Le premier modèle effectue un comptage optique de chacune des particules individuelles. Au préalable, la taille des particules est augmentée artificiellement par condensation avec du butanol afin de permettre à l'appareil de les détecter. Cette technologie permet de compter les particules d'une plage de concentration située entre 0 et 200 000 part./cm³. Lorsque les concentrations dépassent cette plage, soit de 200 000 à 2 000 000 part./cm³, un néphélomètre prend le relais et évalue la concentration de PM_{0,1} en analysant la turbidité de l'air. Ce modèle est identifié comme PM_{0,1} – CPC – NPH. Le deuxième modèle effectue un comptage optique de chacune des particules individuelles pour toutes les plages de concentration. Au préalable, la taille des particules est augmentée artificiellement par condensation avec de l'eau afin de permettre à l'appareil de les détecter. Ce modèle est identifié comme PM_{0,1} – CPC.

La figure 5.6 illustre les concentrations de particules ultrafines aux trois stations de suivi en 2021, les statistiques détaillées sont présentées à l'annexe A6.

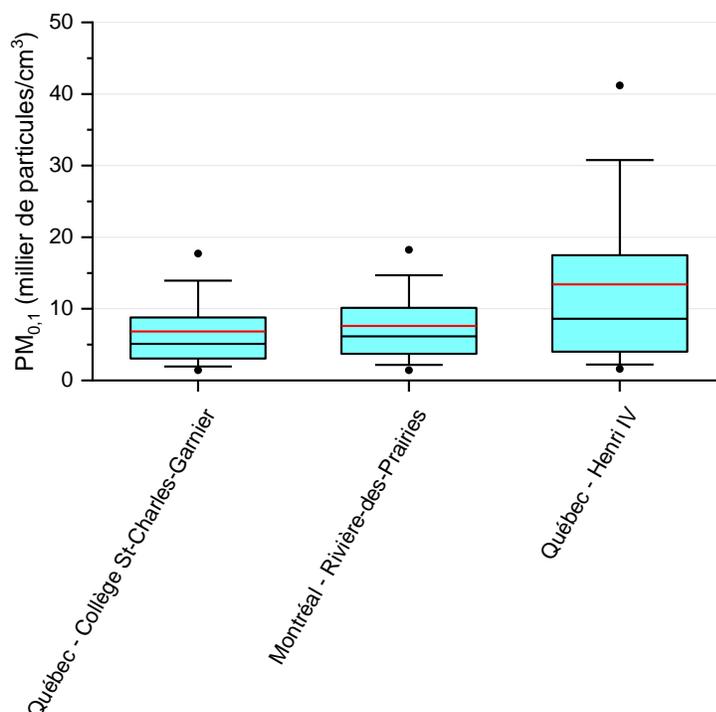


Figure 5.6 Concentrations annuelles de particules ultrafines aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.

Les concentrations annuelles moyennes enregistrées à la station Québec – Henri IV (13 410 particules/cm³) sont nettement plus variables et élevées que celles des stations Montréal – Rivière-des-Prairies (7 630 particules/cm³) et Québec – Collège St-Charles-Garnier (6 840 particules/cm³), une conséquence du trafic routier. Les concentrations de PM_{0,1} mesurées à la station Québec – Henri IV sont comparables à celles observées à proximité d'autoroutes en Europe et à Toronto aux abords de l'autoroute 401. Les concentrations de PM_{0,1} mesurées aux stations Montréal – Rivière-des-Prairies et Québec – Collège St-Charles-Garnier sont les moins élevées parmi celles enregistrées dans différents milieux urbains à travers le monde (De Jesus et al., 2019).

5.1.7. Dioxyde d'azote

Les concentrations de NO₂ qui ont été mesurées à 23 stations de suivi de la qualité de l'air au Québec en 2021 sont présentées à la figure 5.7. Les statistiques détaillées pour le NO₂ se trouvent à l'annexe A7 et celles pour le NO, à l'annexe A9. Les concentrations moyennes annuelles de NO₂ ont varié de 2,1 ppb à la station Saint-Anicet à 11,6 ppb à la station Montréal – Échangeur Décarie. De façon générale, les concentrations de NO₂ mesurées au Québec sont comparables à celles mesurées ailleurs au Canada, à l'exception des Maritimes où elles sont généralement plus faibles (Gouvernement du Canada, 2023a).

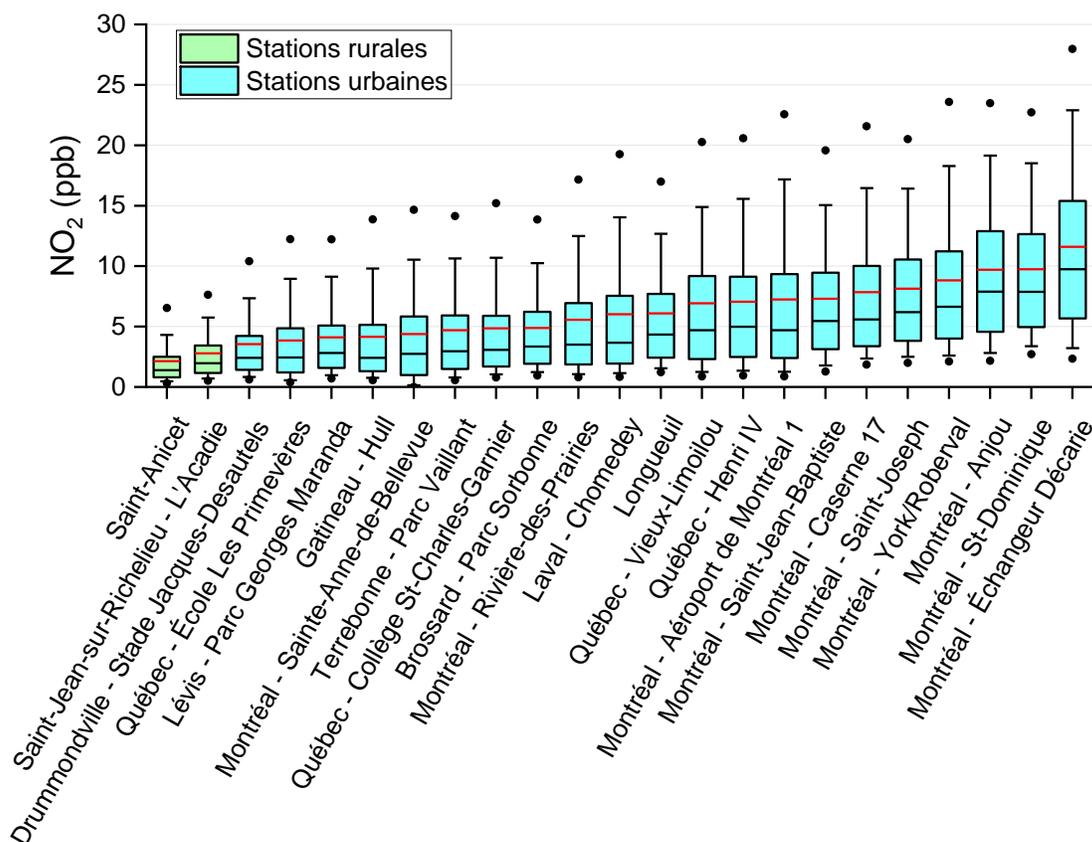


Figure 5.7 Concentrations annuelles de dioxyde d'azote aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.

Les concentrations annuelles moyennes de NO₂ mesurées aux stations de suivi dépendent en bonne partie de la densité de circulation à proximité de celles-ci. Ainsi, au Québec, les concentrations de NO₂ les plus élevées sont observées à la station de Montréal – Échangeur Décarie, située à proximité d'autoroutes très achalandées. À l'opposé, les stations Saint-Anicet et

Saint-Jean-sur-Richelieu – L'Acadie, qui se trouvent en milieu rural, ont enregistré les concentrations les plus faibles. Il est étonnant de constater que la station Québec – Henri IV n'enregistre pas de concentration de NO₂ plus élevées étant donné sa proximité avec une autoroute majeure. Les NO_x sont impliquées dans différentes réactions photochimiques complexes au cours desquelles le NO₂ est formé par l'oxydation du NO provenant du transport. Ainsi, la réaction d'oxydation du NO en NO₂ n'a probablement pas le temps de se produire complètement avant la prise de mesure à la station Québec – Henri IV, qui est positionnée à seulement six (6) mètres de l'autoroute. Les concentrations de NO mesurées à Québec – Henri IV et Montréal – Échangeur Décarie sont toutefois du même ordre de grandeur (annexe 9).

5.1.8. Dioxyde de soufre

Les concentrations de SO₂ mesurées aux 19 stations de mesure de la qualité de l'air du Québec en 2021 sont présentées à la figure 5.8 et les statistiques détaillées se trouvent à l'annexe A8. À noter que l'axe de la partie droite de la figure présente des valeurs dix fois plus élevées que la partie gauche.

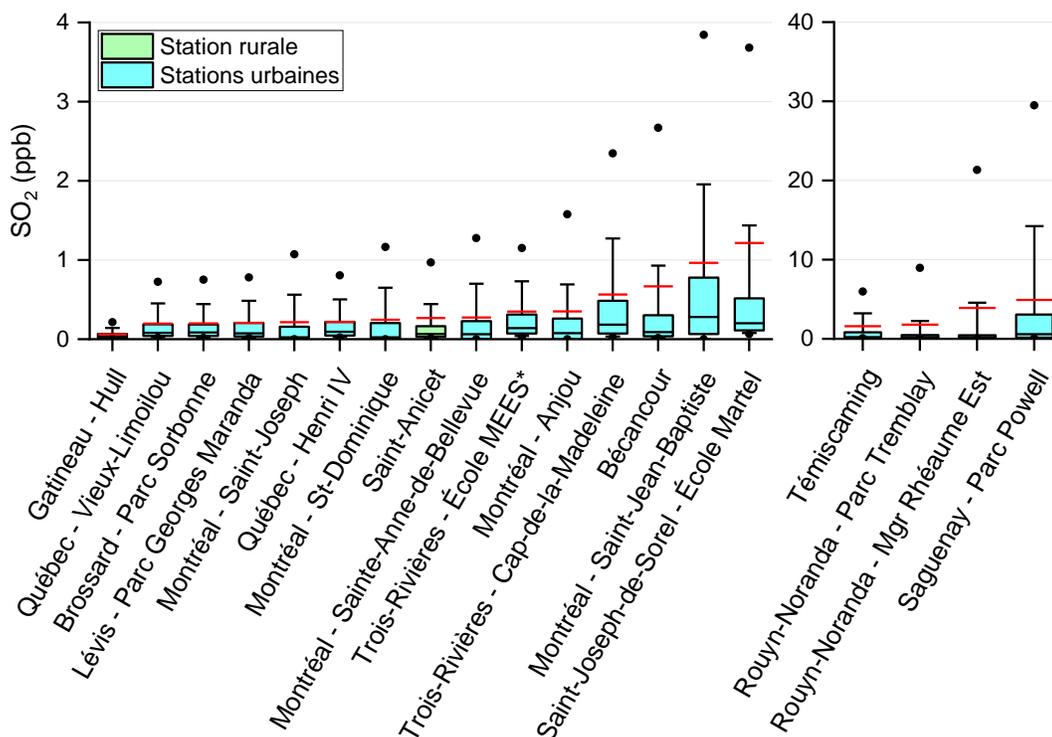


Figure 5.8 Concentrations annuelles de dioxyde de soufre aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.

Les concentrations annuelles moyennes de SO₂ ont varié de 0,1 ppb à la station Gatineau – Hull à 4,9 ppb à la station Saguenay – Parc Powell. Les concentrations mesurées aux stations situées près de sources industrielles de SO₂ connues (Saguenay, Témiscaming, Rouyn-Noranda) sont plus élevées que celles des autres stations du réseau. D'ailleurs, en excluant les stations directement influencées par des sources industrielles, les concentrations de SO₂ mesurées au Québec sont comparables à celles mesurées ailleurs au Canada (Gouvernement du Canada, 2023a).

5.1.9. Monoxyde de carbone

Les concentrations de CO mesurées aux neuf stations de mesure de la qualité de l'air du Québec en 2021 sont présentées à la figure 5.9 et les statistiques détaillées se trouvent à l'annexe A10.

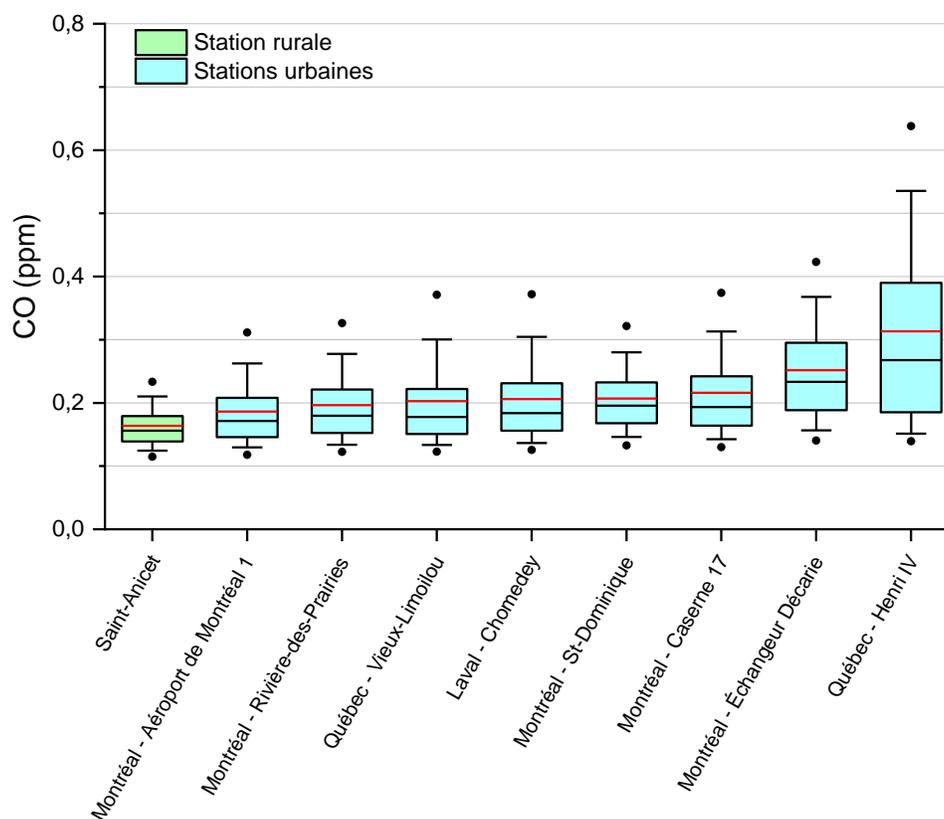


Figure 5.9 Concentrations annuelles de monoxyde de carbone aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.

Les concentrations annuelles moyennes de CO ont varié de 0,16 ppm à la station Saint-Anicet à 0,31 ppm à la station Québec – Henri IV. Les concentrations de CO mesurées aux stations urbaines (Gatineau, Montréal, Laval et Québec) en 2021 sont toutes du même ordre de grandeur et plus élevées que celles mesurées à la station rurale Québec – Saint-Anicet. La proximité des autoroutes majeures explique que les concentrations mesurées aux stations Montréal – Échangeur Décarie et Québec – Henri IV soient plus élevées. Les niveaux de concentrations observés sont toutefois bien en deçà des normes établies pour le CO (voir section 5.3 Comparaison aux normes d'air ambiant).

5.1.10. Ozone

Les concentrations d'O₃ mesurées aux 48 stations de suivi de la qualité de l'air du Québec en 2021 sont présentées à la figure 5.10 et les statistiques détaillées se trouvent à l'annexe A11.

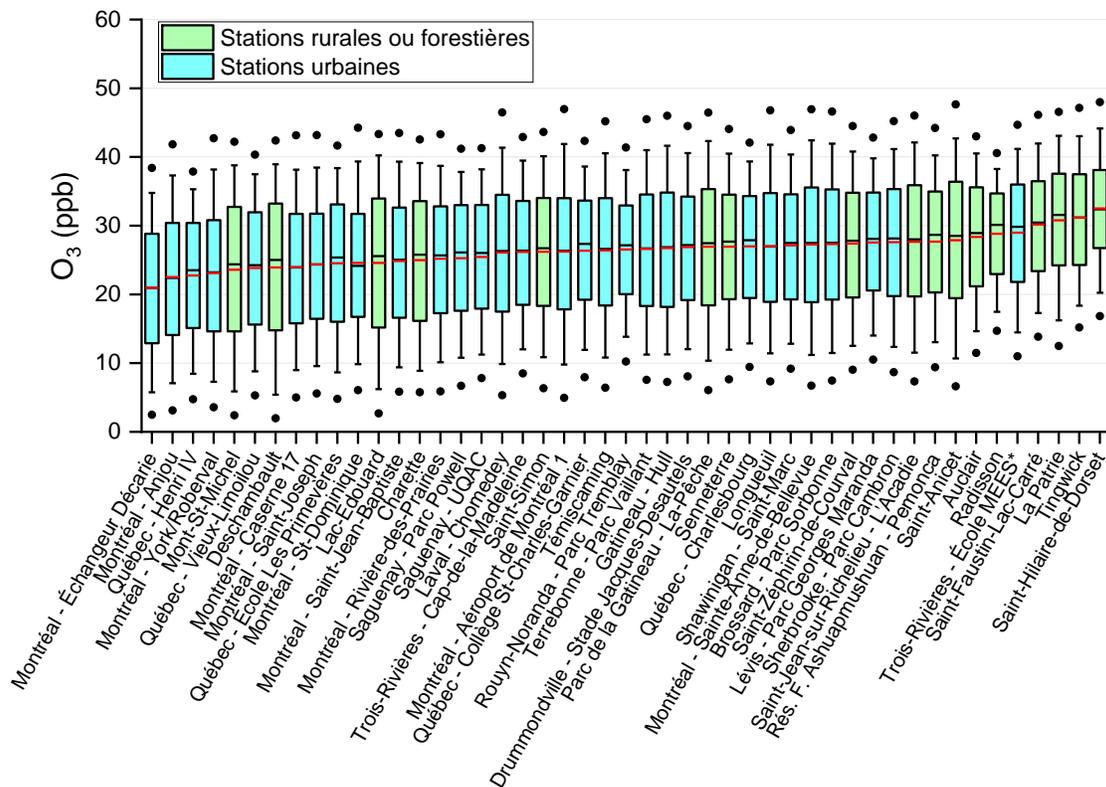


Figure 5.10 Concentrations annuelles d'ozone aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.

Les concentrations annuelles moyennes d'O₃ ont varié de 21,0 ppb à la station Montréal – Échangeur Décarie à 32,5 ppb à la station Saint-Hilaire-de-Dorset. De façon générale, les concentrations d'O₃ mesurées au Québec sont relativement comparables à celles mesurées ailleurs au Canada, bien que supérieures à celles mesurées en Colombie-Britannique et inférieures à celles mesurées dans le sud de l'Ontario (Gouvernement du Canada, 2023a).

Tel que mentionné à la section 4.10, l'O₃ est un contaminant secondaire qui résulte d'une transformation photochimique complexe entre différents contaminants précurseurs, notamment les NO_x. Les NO_x sont un mélange de monoxyde d'azote (NO) et de dioxyde d'azote (NO₂), dont le transport est la principale source d'émission (MELCCFP, 2023g). En présence de rayonnement UV, le NO₂ est réduit par l'oxygène, qui forme de l'O₃. Le NO, quant à lui, titre rapidement l'O₃, diminuant temporairement la concentration d'O₃ dans l'air ambiant. Le résultat net est qu'à proximité d'une zone de grande circulation automobile, les concentrations d'O₃ diminuent (INSPQ, 2012; Couture, 2008). Cependant, loin des sources de NO, les concentrations d'O₃ augmentent de nouveau. Conséquemment, les concentrations d'O₃ sont généralement plus élevées dans les milieux ruraux situés à des dizaines, voire des centaines de kilomètres en aval des points d'émission de ces précurseurs (Künzli et al., 2010). Ainsi en 2021, la concentration moyenne d'O₃ la plus faible est observée à la station Montréal – Échangeur Décarie, située à l'intersection de deux autoroutes majeures, alors que les stations situées plus loin ont enregistré des concentrations plus élevées.

5.1.11. Sulfure d'hydrogène

Les concentrations de H₂S mesurées aux quatre stations du RSQAQ sont illustrées à la figure 5.11, les statistiques détaillées sont présentées à l'annexe A12.

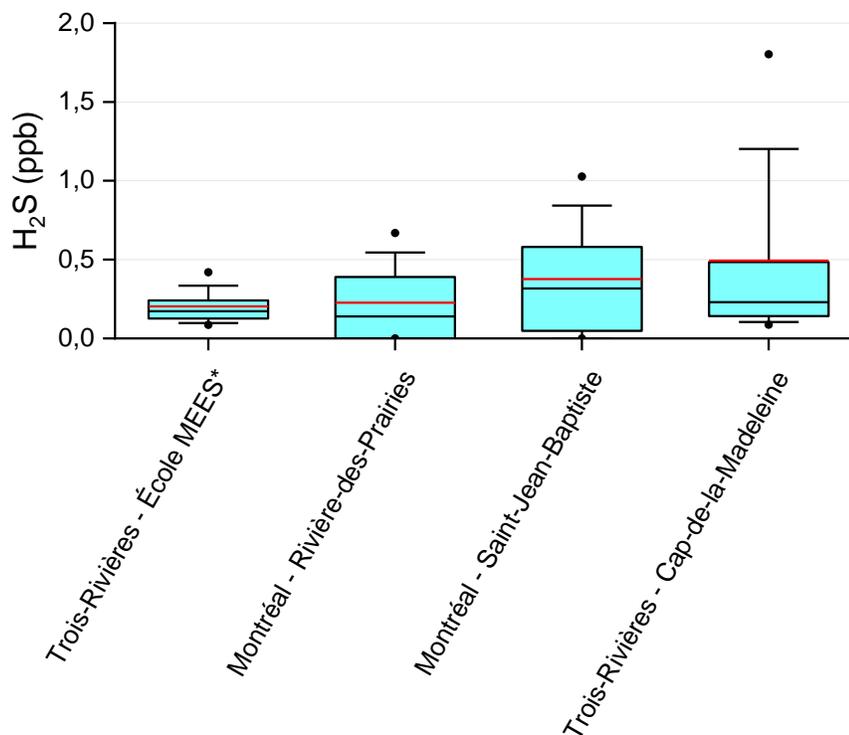


Figure 5.11 Concentrations annuelles de sulfure d'hydrogène aux stations de mesure de la qualité de l'air en 2021.

La concentration annuelle moyenne la plus faible a été mesurée à la station Trois-Rivières – École MEES (0,20 ppb) alors que la plus élevée a été mesurée à la station Trois-Rivières – Cap-de-la-Madeleine (0,49 ppb).

5.2. Tendances des concentrations

Des analyses de tendance des concentrations de tous les contaminants au cours des dix années suivant l'entrée en vigueur du RAA en juin 2011 sont présentées dans cette section, tandis que l'ensemble des figures sont disponibles aux annexes B1 à B10. Ces analyses permettront de vérifier si des tendances sont observables depuis l'entrée en vigueur du RAA et de les comparer avec les tendances historiques présentées dans le bilan de la qualité de l'air au Québec en 2020 (Laberge, 2023). À noter que l'analyse de tendance des concentrations de métaux n'a pas été effectuée puisque le nombre de données historiques est insuffisant.

De manière générale, les tendances des concentrations ont été majoritairement stables ou à la baisse au Québec pour tous les contaminants, à l'exception des concentrations d'ozone en milieu urbain, des concentrations de particules fines aux stations forestières au sud du fleuve St-Laurent et du sulfure d'hydrogène à la station Trois-Rivières-Cap-de-la-Madeleine qui sont en hausse. Par ailleurs, les baisses de concentration observées au cours de la dernière décennie sont généralement moins importantes que celles observées au cours des décennies précédentes.

5.2.1. Particules en suspension totales

L'analyse de tendance des concentrations de PST (voir annexe B1) démontre que les concentrations ont été soit stables ou soit significativement à la baisse les dix années suivant l'entrée en vigueur du RAA à toutes les stations du RSQAQ. La seule exception est la station Montréal – Anjou où une hausse significative a été observée.

De manière générale, en comparaison aux tendances observées depuis le début du suivi des PST au Québec, les tendances des concentrations de PST observées depuis dix ans sont soit demeurées en baisse, soit restées stables (voir tableau 5.2). Les pentes des tendances Theil-Sen écrites en vert démontrent une baisse des concentrations tandis que les pentes écrites en rouge démontrent une hausse des concentrations.

Tableau 5.2 Pente des tendances Theil-Sen des données de particules en suspension totales.

Station	Période	Pente Theil-Sen PST ($\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$) ¹¹	Pente Theil-Sen PST de juin 2011 à mai 2021 ($\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{an}$)
01810 - Auclair	1989-2020	-0,1525 (***)	0,017 (N.S.)
02202 - Saguenay - La Baie	1982-2020	-0,6270 (***)	-0,809 (***)
03006 - Québec - Vieux-Limoilou	1989-2020	-0,1425 (*)	-0,885 (*)
03011 - Québec - Bibl. Monique-Corriveau	2014-2020	0,0905 (N.S.)	0,385 (N.S.)
03020 - Québec - Parc Victorin-Beaucage	1986-2020	-0,6874 (***)	-0,576 (+)
03052 - Québec - Henri IV	2020-2020	16,9129 (N.S.)	38,121 (N.S.)
03123 - Thetford Mines - École Saint-Noël	1975-2020	-0,3974 (***)	-0,846 (*)
03720 - Notre-Dame-du-Rosaire	1989-2020	-0,1174 (***)	-0,044 (N.S.)
03730 - Saint-Hilaire-de-Dorset	1990-2020	-0,1873 (***)	0,060 (N.S.)
04048 - Trois-Rivières - Cap-de-la-Madeleine	1978-2020	-0,8210 (***)	-1,770 (***)
04052 - Trois-Rivières - Rés. Louis-Denoncourt	1985-2020	-0,8354 (***)	-1,354 (**)
04750 - Lac-Édouard	1991-2020	-0,1866 (***)	-0,059 (N.S.)
05018 - Sherbrooke - Parc Cambron	2013-2020	-0,8867 (*)	-0,514 (N.S.)
06003 - Montréal - Saint-Jean-Baptiste	1976-2020	-0,7591 (***)	-0,580 (*)
06006 - Montréal - Anjou	1982-2020	-0,5170 (***)	1,086 (*)
06081 - Montréal - Saint-Joseph	2016-2020	-1,4429 (N.S.)	-0,652 (N.S.)
06099 - Montréal - Sainte-Anne-de-Bellevue	1998-2020	-0,2030 (**)	-0,060 (N.S.)
06329 - Saint-Jérôme - Rés. Marie-Lucie	1993-2020	-0,3407 (***)	0,302 (N.S.)
06355 - Joliette - Graymont	1997-2020	-2,2206 (***)	-1,559 (***)
06501 - Saint-Faustin-Lac-Carré	1989-2020	-0,1026 (***)	-0,204 (+)
06641 - Saint-Simon	1988-2020	0,0470 (N.S.)	0,048 (N.S.)
07002 - Gatineau - Hull	1997-2020	-0,3131 (***)	-0,755 (***)
07200 - Mont-St-Michel	1991-2020	-0,6549 (***)	-0,055 (N.S.)
07400 - Parc de la Gatineau - La-Pêche	1989-2020	-0,2126 (***)	0,163 (N.S.)
08006 - Rouyn-Noranda - 250, 6e Rue	2001-2020	-0,1914 (+)	-0,183 (N.S.)
08045 - Rouyn-Noranda - École Murdoch	1986-2020	-0,5015 (***)	-0,257 (N.S.)
08049 - Rouyn-Noranda - Centre polymétier	2005-2020	-0,5590 (***)	-0,845 (***)
10200 - Radisson	2018-2020	-0,9031 (N.S.)	-0,294 (N.S.)

¹¹ Pentes Theil-Sen tirées de Laberge (2023)

5.2.2. Particules respirables

L'analyse de tendance des concentrations de PM_{10} à toutes les stations démontre qu'elles sont majoritairement stables au cours des dix années suivant l'entrée en vigueur du RAA (voir annexe B2). Cette observation contraste avec les tendances des concentrations de PM_{10} observées depuis le début du suivi de ce contaminant, tel que rapporté dans le Bilan de la qualité de l'air au Québec en 2020 (Laberge, 2023), où elles étaient en baisse à toutes les stations du RSQAQ. La figure 5.12 suivante illustre un exemple à la station Saguenay – Parc Powell.

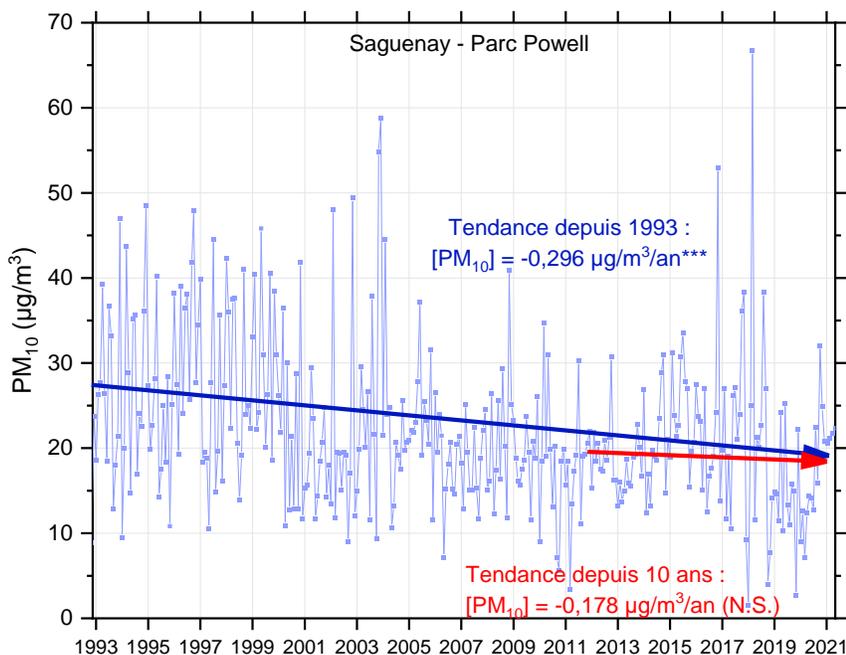


Figure 5.12 Tendance des concentrations moyennes mensuelles de particules respirables à la station urbaine Saguenay – Parc Powell de 1993 à 2021 et de juin 2011 à mai 2021.

Particules fines

L'analyse de tendance des $PM_{2,5}$ est limitée par la courte série chronologique de données. En effet, le suivi des $PM_{2,5}$ est relativement récent, ayant débuté en 1997 dans quelques villes avant d'être généralisé vers la fin de la décennie suivante. De plus, comme le montre le tableau 5.3, plusieurs types d'appareils utilisant des technologies différentes sont ou ont été utilisés. Les appareils de première génération (TEOM-SES) ont progressivement été remplacés par des appareils BAM, puis les T640 aux stations du MELCCFP et principalement par des appareils TEOM-FDMS et SHARP aux stations de la Ville de Montréal.

Tableau 5.3 Types d'appareils de mesure des particules fines en continu utilisés au Québec.

Type d'appareil	Technologie	Utilisateur	Période d'utilisation
API T640	Optique	MELCCFP Ville de Montréal	2017 à 2021
BAM 1020	Absorption de rayonnement bêta	MELCCFP	2001 à 2021
GRIMM 180 et 365	Optique	Ville de Montréal	2007 à 2021
SHARP 5030	Optique et absorption de rayonnement bêta	Ville de Montréal	2013 à 2021
TEOM-FDMS	Gravimétrie	Ville de Montréal	2004 à 2015
TEOM-SES	Gravimétrie	Tous	1997 à 2009

Les tendances des concentrations de particules fines à toutes les stations du RSQAQ depuis l'entrée en vigueur du RAA, par type d'analyseur déployé, sont présentées à l'annexe B3. De manière générale, les tendances des concentrations des particules fines sont significativement à la baisse en milieu urbain, surtout pour les mesures prises avec des appareils BAM. Cependant, certaines tendances calculées à partir des données des appareils T640 aux stations urbaines sont légèrement à la hausse, bien que peu significatives puisque les périodes analysées sont assez courtes, signe d'une probable augmentation des concentrations de $PM_{2,5}$ depuis quelques années. En milieu rural ou forestier, les tendances des concentrations sont généralement stables ou à la baisse, à l'exception de quelques stations où des hausses significatives des concentrations de $PM_{2,5}$ mesurées avec les appareils BAM sont observées.

5.2.3. Carbone noir

Les concentrations de carbone noir ne présentent aucune tendance significative aux quatre stations du RSQAQ, probablement parce que la période de suivi n'est pas assez longue, le suivi de ce paramètre n'ayant débuté qu'à la fin de 2018 (voir annexe B4).

5.2.4. Particules ultrafines

Les concentrations de particules ultrafines ne présentent aucune tendance significative depuis le début du suivi à la station Québec – Henri-IV. Les concentrations ont toutefois été fortement en hausse à la station Québec – Collège St-Charles-Garnier de 2019 à 2021 (voir annexe B5).

5.2.5. Dioxyde d'azote

L'analyse des tendances des concentrations de NO_2 au Québec indique que celles-ci ont diminué significativement au cours des dix années suivant l'entrée en vigueur du RAA à toutes les stations du RSQAQ, tant celles situées en zone rurale que celles situées en zone urbaine, à l'exception de celles où les périodes de suivi sont trop courtes (annexe B6). Cette diminution des concentrations de NO_2 est directement liée aux améliorations des véhicules, notamment les nouveaux systèmes antipollution et à l'amélioration de l'efficacité énergétique, et ce, en dépit de la croissance du parc automobile (MDDEP, 2011).

Les baisses de concentrations observées depuis le début du suivi du NO_2 au RSQAQ, présentées dans le Bilan de la qualité de l'air au Québec en 2020 (Laberge, 2023), sont plus importantes que celles observées depuis dix ans. Autrement dit, les concentrations de NO_2 ont diminué moins rapidement au cours des dix dernières années qu'au cours des décennies précédentes. Les figures 5.13 et 5.14 illustrent un exemple des différences de tendance observée à la station rurale Saint-Jean-sur-Richelieu – L'Acadie et à la station urbaine Québec – Vieux-Limoilou.

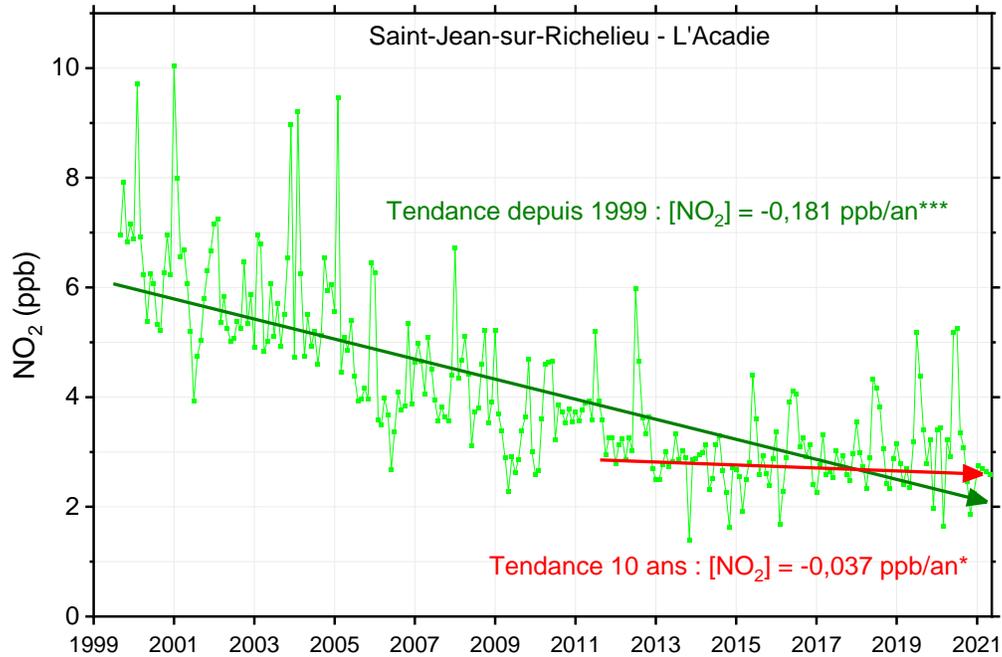


Figure 5.13 Tendances des concentrations moyennes mensuelles de dioxyde d'azote à la station rurale Saint-Jean-sur-Richelieu – L'Acadie de 1999 à 2021 et de juin 2011 à mai 2021.

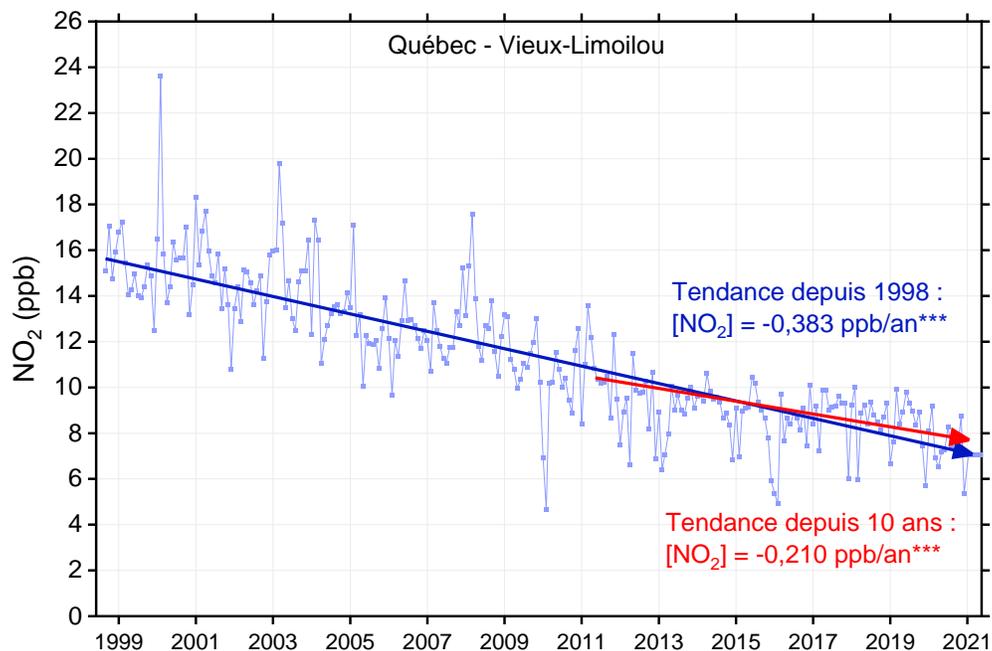


Figure 5.14 Tendances des concentrations moyennes mensuelles de dioxyde d'azote à la station urbaine Québec Vieux-Limoilou de 1998 à 2021 et de juin 2011 à mai 2021.

5.2.6. Dioxyde de soufre

Au cours des dix années suivant l'entrée en vigueur du RAA, les concentrations de SO₂ ont diminué significativement à la majorité des stations, sauf aux stations de la ville de Rouyn-Noranda et à la station Trois-Rivières – École MEES, où aucune tendance n'est observée (voir annexe B7). Ces baisses de concentrations de SO₂ sont attribuables aux efforts d'assainissement de l'ensemble du secteur industriel, aux actions coordonnées par le MELCCFP, ainsi qu'à la diminution des concentrations de soufre dans les carburants (Gouvernement du Canada, 2013). À la station Henri-IV, les concentrations sont significativement en hausse, mais la période de suivi est trop courte pour pouvoir en tirer des conclusions.

À la majorité des stations, les concentrations de SO₂ ont diminué moins rapidement au cours des dix dernières années qu'au cours des décennies précédentes. Les tendances des concentrations de SO₂ depuis le début du suivi de ce contaminant sont présentées dans le Bilan de la qualité de l'air au Québec 2020 (Laberge, 2023).

Toutefois, à la station Saint-Joseph-de-Sorel, la baisse des concentrations s'est accélérée au cours des dix dernières années. L'analyse des tendances lisses démontre une baisse marquée des concentrations à partir de 2016 à cette station, une conséquence de la réduction des émissions de SO₂ dû aux industries à proximité (figure 5.15).

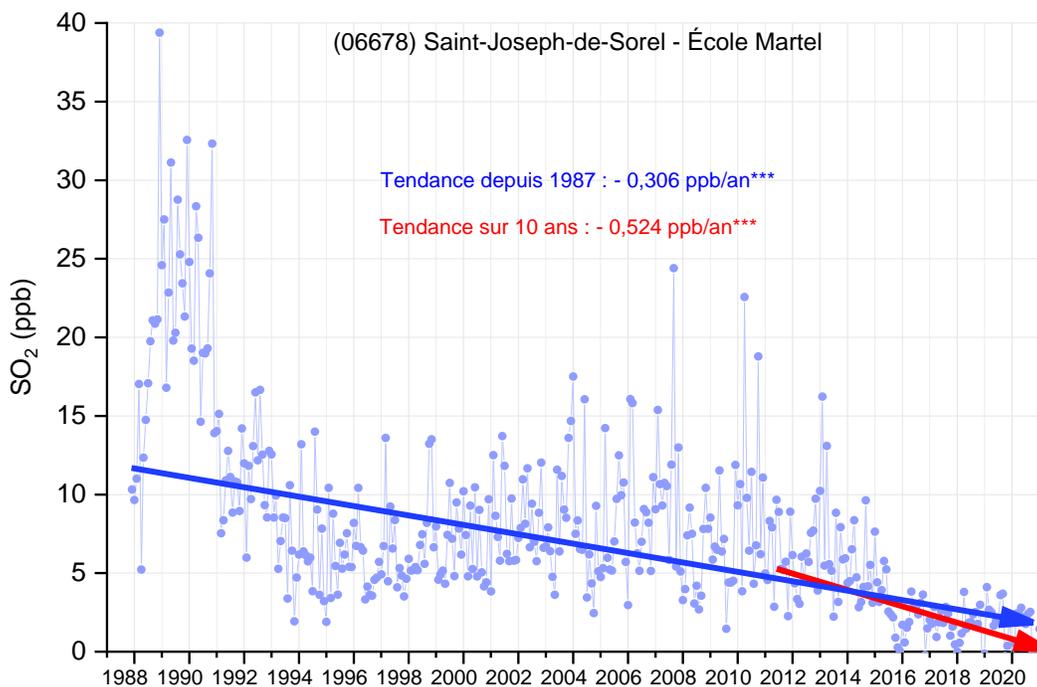


Figure 5.15 Tendance des concentrations moyennes mensuelles de dioxyde de soufre à la station urbaine Saint-Joseph-de-Sorel de 1987 à 2021 et de juin 2011 à mai 2021.

5.2.7. Monoxyde de carbone

Les concentrations de CO ont diminué significativement au cours des dix années suivant l'entrée en vigueur du RAA à toutes les stations du Québec (annexe B8). Comme pour le NO₂, cette diminution est directement associée au perfectionnement des moteurs et des systèmes antipollution des véhicules (MDDEP, 2011).

Les diminutions des concentrations de CO ont été moins importantes au cours des dix dernières années aux stations urbaines en comparaison aux baisses observées depuis le début du suivi de ce contaminant (Laberge, 2023), tandis qu'elles semblent s'être accélérées à la seule station rurale (Saint-Anicet). Les figures 5.16 et 5.17 illustrent bien cette situation à une station rurale (Saint-Anicet) et une station urbaine (Gatineau - Hull).

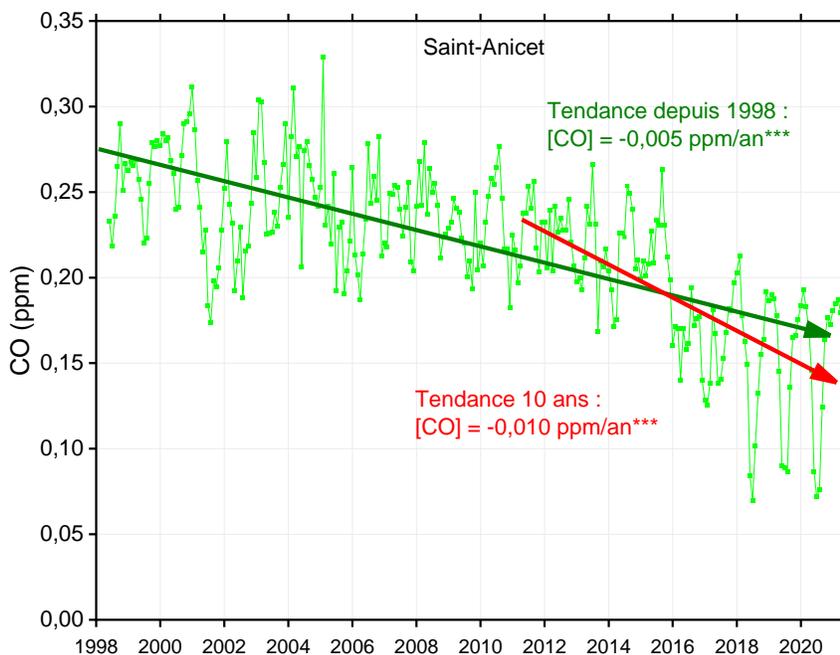


Figure 5.16 Tendance des concentrations moyennes mensuelles de monoxyde de carbone à la station rurale Saint-Anicet de 1998 à 2021 et de juin 2011 à mai 2021.

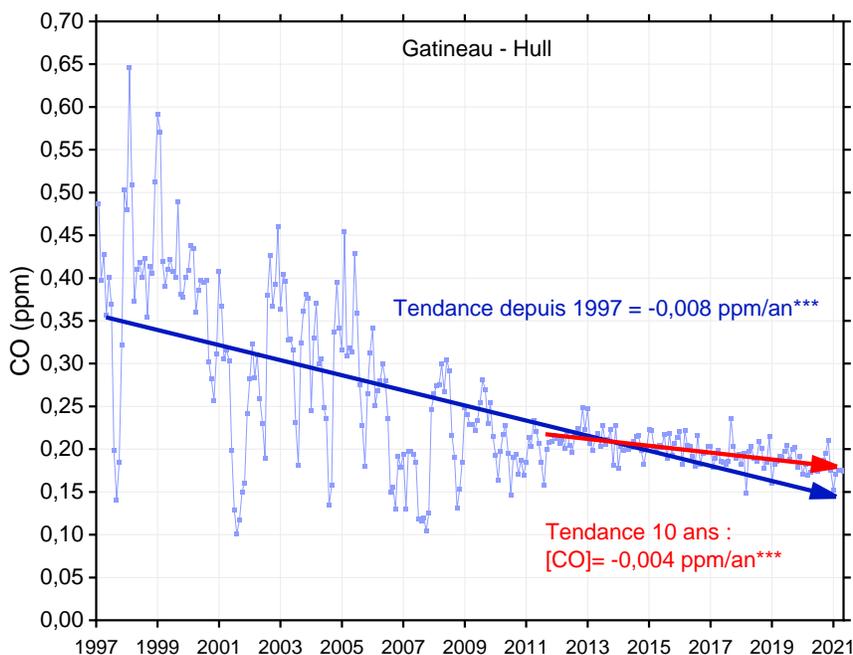


Figure 5.17 Tendance des concentrations moyennes mensuelles de monoxyde de carbone à la station urbaine Gatineau – Hull de 1997 à 2021 et de juin 2011 à mai 2021.

5.2.8. Ozone

De façon générale, l'analyse des tendances des concentrations d'O₃ au Québec indique qu'elles augmentent significativement en milieu urbain (voir annexe B9) comme pour le reste de l'Amérique du Nord (Cooper et al., 2014). La diminution constante des émissions de NO_x liée au secteur du transport (MDDEP, 2011) explique en bonne partie cette tendance à la hausse des concentrations d'O₃ observée aux stations urbaines. Ces hausses des concentrations d'O₃ en milieu urbain depuis l'entrée en vigueur du RAA sont comparables à celles qui ont été observées depuis le début du suivi de ce contaminant au RSQAQ (voir tableau 5.4).

Les tendances des concentrations d'O₃ enregistrées aux stations situées en milieu rural et forestier sont généralement stables, ou affichent de faibles baisses significatives depuis dix ans. Ces observations contrastent avec les tendances des concentrations d'O₃ observées depuis le début du suivi de ce contaminant à chacune des stations du RSQAQ, qui étaient majoritairement en légère hausse significative (voir tableau 5.4). La seule exception est la station Auclair qui enregistre une faible hausse significative de ses concentrations d'ozone depuis dix ans, alors qu'elles étaient plutôt en diminution significative depuis 1990.

Les tableaux 5.4 et 5.5 suivants détaillent les différences entre les tendances des concentrations d'O₃ observées depuis dix ans et celles observées depuis le début du suivi de ce contaminant à chacune des stations du RSQAQ. Les pentes des tendances Theil-Sen écrites en vert démontrent une baisse des concentrations tandis que les pentes écrites en rouge démontrent une hausse des concentrations.

Tableau 5.4 Pente des tendances Theil-Sen des données d'ozone des stations rurales et forestières.

Station	Période	Pente Theil-Sen O ₃ (ppb/an) ¹²	Pente Theil-Sen O ₃ juin 2011 à mai 2021 (ppb/an)
01810 - Auclair	1990-2020	-0,084 (***)	0,180 (*)
02610 - Rés, F, Ashuapmushuan - Pemonca	1990-2020	0,040 (***)	0,066 (N.S.)
03200 - Deschambault	1991-2020	0,057 (***)	0,084 (N.S.)
03720 - Notre-Dame-du-Rosaire	1989-2020	-0,088 (***)	-0,213 (**)
03730 - Saint-Hilaire-de-Dorset	1990-2020	-0,020 (N.S.)	0,022 (N.S.)
04711 - Saint-Zéphirin-de-Courval	1988-2020	0,008 (N.S.)	0,075 (N.S.)
04730 - Tingwick	1989-2020	0,009 (N.S.)	-0,085 (N.S.)
04740 - Charette	1988-2020	0,042 (*)	0,107 (N.S.)
04750 - Lac-Édouard	1991-2020	-0,006 (N.S.)	-0,122 (*)
05810 - La Patrie	1991-2020	-0,034 (+)	0,036 (N.S.)
06501 - Saint-Faustin-Lac-Carré	1989-2020	-0,026 (N.S.)	0,011 (N.S.)
06620 - Saint-Jean-sur-Richelieu - L'Acadie	1999-2020	0,114 (***)	0,100 (N.S.)
06641 - Saint-Simon	1989-2020	0,090 (***)	0,110 (N.S.)
06804 - Saint-Anicet	1994-2020	-0,020 (N.S.)	-0,120 (+)
07200 - Mont-St-Michel	1991-2020	-0,076 (***)	-0,129 (+)
08450 - Senneterre	1992-2020	0,009 (N.S.)	0,053 (N.S.)
10200 - Radisson	2017-2020	-0,723 (**)	-0,680 (***)

¹² Pentes Theil-Sen tirées de Laberge (2023)

Tableau 5.5 Pente des tendances Theil-Sen des données d'ozone des stations urbaines.

Station (suite)	Période	Pente Theil-Sen O ₃ (ppb/an)	Pente Theil-Sen O ₃ de juin 2011 à mai 2021 (ppb/an)
02016 - Saguenay - Parc Powell	2014-2020	-0,026 (N.S.)	-0,073 (N.S.)
02022 - Saguenay - UQAC	2002-2020	0,142 (***)	0,022 (N.S.)
03006 - Québec - Vieux-Limoilou	1998-2020	0,270 (***)	0,326 (***)
03021 - Québec - École Les Primevères	1990-2020	0,248 (***)	0,272 (***)
03028 - Québec - Collège St-Charles-Garnier	2000-2020	0,295 (***)	0,178 (*)
03039 - Québec - Charlesbourg	2020-2020	-19,627 (*)	-1,329 (N.S.)
03052 - Québec - Henri IV	2018-2020	0,708 (N.S.)	-0,346 (N.S.)
03062 - Lévis - Parc Georges Maranda	2013-2020	0,218 (*)	0,224 (*)
04021 - Trois-Rivières - École MEES	2014-2020	0,300 (*)	0,226 (*)
04048 - Trois-Rivières - Cap-de-la-Madeleine	2014-2020	0,138 (N.S.)	0,100 (N.S.)
04130 - Shawinigan - Saint-Marc	2020-2020	-24,604 (N.S.)	5,757 (N.S.)
05018 - Sherbrooke - Parc Cambron	2003-2020	0,330 (***)	0,119 (+)
06003 - Montréal - Saint-Jean-Baptiste	1975-2020	0,208 (***)	0,251 (***)
06006 - Montréal - Anjou	2011-2020	-3,878 (***)	-1,712 (N.S.)
06028 - Montréal - Échangeur Décarie	1975-2020	0,325 (***)	0,357 (***)
06030 - Montréal - Caserne 17	2013-2020	0,117 (N.S.)	0,074 (N.S.)
06031 - Montréal - St-Dominique	2016-2020	0,347 (*)	0,361 (*)
06055 - Montréal - Rivière-des-Prairies	2000-2020	0,114 (***)	0,184 (*)
06066 - Montréal - Aéroport de Montréal 1	1997-2020	0,201 (***)	0,208 (***)
06081 - Montréal - Saint-Joseph	2008-2020	0,262 (***)	0,257 (***)
06099 - Montréal - Sainte-Anne-de-Bellevue	1997-2020	0,242 (***)	0,260 (***)
06103 - Montréal - York/Roberval	2016-2020	0,532 (**)	0,512 (**)
06205 - Laval - Chomedey	1976-2020	0,192 (***)	0,156 (*)
06300 - Terrebonne - Parc Vaillant	2016-2020	-0,149 (N.S.)	-0,155 (N.S.)
06600 - Longueuil	1981-2020	0,305 (***)	0,279 (***)
06603 - Brossard - Parc Sorbonne	2016-2020	0,096 (N.S.)	0,125 (N.S.)
07002 - Gatineau - Hull	1997-2020	0,240 (***)	0,251 (***)
08042 - Rouyn-Noranda - Parc Tremblay	2003-2020	0,075 (*)	-0,122 (*)
08401 - Témiscaming	2005-2020	0,036 (N.S.)	-0,251 (***)

5.2.9. Sulfure d'hydrogène

L'analyse de tendance des concentrations mensuelles des concentrations de H₂S (voir annexe B10) démontre que les concentrations ont été significativement à la hausse à la station Trois-Rivières – École MEES entre 2014 et 2021, tandis qu'elles ont été significativement à la baisse à la station Trois-Rivières – Cap-de-la-Madeleine depuis dix ans.

5.3. Comparaison aux normes d'air ambiant

Les dépassements des normes de qualité de l'atmosphère prescrites dans le *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* (RAA) sont décrits dans cette section et détaillés sous forme de tableau à l'annexe A13. À noter que le RAA ne prescrit pas de normes pour les PM₁₀, les PM_{0,1} et le BC.

Les feux de forêt, le chauffage au bois, les émissions industrielles et la remise en suspension de poussière sont les causes principales des dépassements de norme observés en 2021 au Québec.

5.3.1. Particules en suspension totales

L'analyse de tendance des concentrations de PST (voir annexe B1) démontre que les concentrations ont été soit stables ou soit significativement à la baisse les dix années suivant l'entrée en vigueur du RAA à toutes les stations du RSQAQ. La seule exception est la station Montréal – Anjou où une hausse significative a été observée. Cette station est située à proximité de l'échangeur Anjou et est affectée par le trafic routier.

De manière générale, en comparaison aux tendances observées depuis le début du suivi des PST au Québec, les tendances des concentrations de PST observées depuis dix ans sont soit demeurées en baisse, soit restées stables (voir tableau 5.18). Les pentes des tendances Theil-Sen écrites en vert démontrent une baisse des concentrations tandis que les pentes écrites en rouge démontrent une hausse des concentrations.

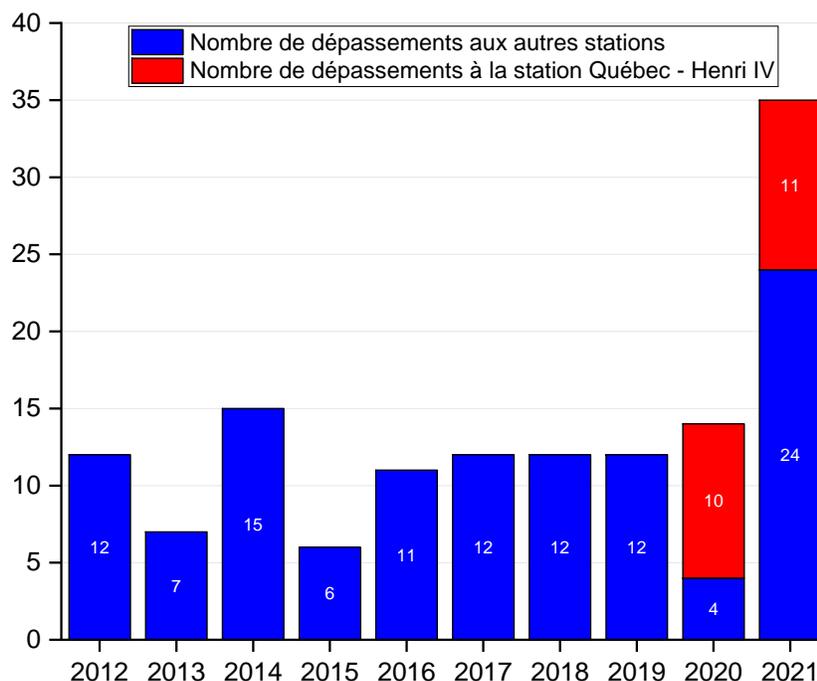


Figure 5.18 Nombre de dépassements de la norme sur les particules en suspension totales au Québec, de 2012 à 2021.

En 2021, 35 dépassements ont été observés au Québec, soit le plus haut total depuis l'entrée de vigueur du RAA. Les dépassements ont été observés en majorité durant les mois les plus froids de l'année (figure 5.19) à plusieurs stations réparties dans tout le Québec et ont probablement été causés par la resuspension de poussière, comme des sels de déglacage et des abrasifs étendus sur les routes. La station Québec – Henri IV, qui est située à seulement 6 mètres d'une autoroute majeure, enregistre le plus grand nombre de dépassements de la norme des PST annuellement, c'est pourquoi ils sont présentés d'une couleur différente dans la figure 5.18.

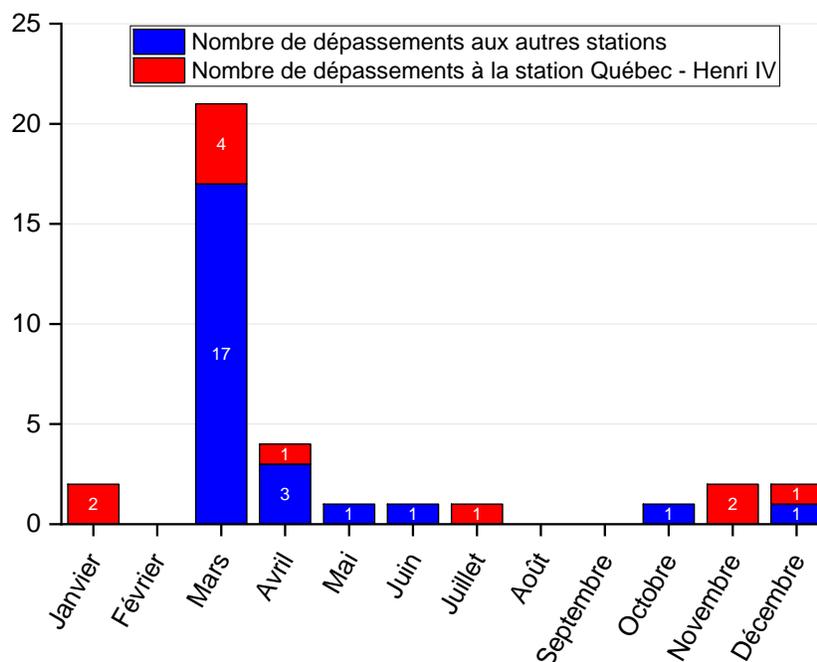


Figure 5.19 Nombre de dépassements mensuels de la norme sur les particules en suspension totales au Québec en 2021.

5.3.2. Métaux

En 2021, le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (MELCCFP, 2023b) prescrit des normes de qualité de l'atmosphère pour les concentrations de métaux dans l'air ambiant. Les valeurs, la période d'application et la fraction des particules pour lesquelles elles sont applicables sont détaillées au tableau 5.8.

Tableau 5.6 Normes du RAA prescrites sur les métaux en 2021.

Nom	Norme ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Fraction des particules
	24 h	1 an	
Antimoine	-	0,17	PST
Argent (composés solubles)	-	0,23	PST
Arsenic, élémentaire et composés inorganiques (sauf l'arsine)	-	0,003	PST
Baryum, métal et composés solubles	-	0,05	PST
Béryllium	-	0,0004	PST
Cadmium	-	0,0036	PST
Chrome trivalent	-	0,1	PST
Chrome hexavalent	-	0,004	PST
Cuivre	2,5	-	PST
Mercure	-	0,005	PST

Nickel¹³	0,014		PM ₁₀
Plomb	-	0,1	PST
Thallium	-	0,25	PST
Vanadium	-	1	PST
Zinc	2,5	-	PST

La CMM dispose de ses propres normes de qualité de l'air¹⁴.

Le nombre de dépassements de tous les métaux normés dans le RAA sont détaillés à l'annexe A13, tandis que le tableau 5.9 suivant détaille le nombre de dépassements des normes quotidiennes des métaux en 2021.

Tableau 5.7 Nombre de dépassements des normes quotidiennes des métaux par station en 2021.

Station	Cuivre (PST)	Nickel (PM ₁₀)	Zinc (PST)
03006 - Québec - Vieux-Limoilou	0	12	0
03052 - Québec - Henri IV	0	0	1
08006 - Rouyn-Noranda - 250, 6e Rue	27	0	2
08045 - Rouyn-Noranda - École Murdoch	2	0	0
08049 - Rouyn-Noranda - Centre polymétier	1	0	0

En 2021, à la station Québec – Henri-IV, la norme annuelle du baryum et la norme quotidienne du Zn ont été dépassées. Le Ba est en effet reconnu pour être émis lors de la combustion de carburant ou de lubrifiant à essence (Gad, 2014), tandis que l'usure des plaquettes de freins et des pneus sont des sources connues de contamination en Ba et en Zn, surtout dans la fraction plus grossière des particules (Evans et al., 2019; OCDE, 2020).

Pour l'année 2021, 12 dépassements de la norme quotidienne du Ni de 0,014 µg/m³ ont été observés à la station Québec – Vieux-Limoilou. Selon Walsh et Brière (2013) et le Groupe de travail sur les contaminants atmosphériques (2023), les concentrations élevées de Ni observées dans l'air ambiant à Limoilou sont attribuables aux activités portuaires.

Les normes de l'As, du Ba, du Cd, du Cu, du Pb et du Zn ont été dépassées à certaines stations de la ville de Rouyn-Noranda en 2021, le détail se trouvant à l'annexe A13. Ces dépassements sont attribuables à la fonderie de cuivre située dans ce secteur.

Il faut cependant nuancer les dépassements de Ba observés, puisque la norme du Ba ne s'applique qu'aux composés de baryum métalliques ainsi qu'aux composés solubles de baryum, les deux formes de Ba les plus préoccupantes pour la santé. Comme la méthode d'échantillonnage et

¹³ Le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère a introduit une nouvelle norme quotidienne de 0,070 µg/m³ ainsi qu'une norme annuelle de 20 µg/m³ pour les concentrations de nickel dans les PM₁₀ le 28 avril 2022. Toutefois, les données de nickel dans les PM₁₀ présentées dans ce bilan ont été mesurées en 2021, elles ont donc été comparées à l'ancienne norme quotidienne du nickel dans les PM₁₀ de 0,014 µg/m³ en vigueur à l'époque.

¹⁴ La CMM dispose de ses propres normes de qualité de l'air qui peuvent être consultées à l'adresse suivante : <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/rsqa-polluants-gazeux>

d'analyse des métaux employée au RSQAQ permet de mesurer les concentrations de tous les composés de Ba, il est possible que les concentrations de certains composés non normés dans le RAA soient inclus dans les concentrations présentées dans ce bilan.

5.3.3. Particules fines

La norme de qualité de l'atmosphère pour les particules fines prescrite dans le RAA est de $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur une période de 24 heures (MELCCFP, 2023b). La CMM dispose de ses propres normes de qualité de l'air¹⁵.

Pour l'ensemble des stations mesurant les $\text{PM}_{2,5}$ au Québec, un total de 100 dépassements de cette norme a été observé en 2021. La figure 5.20 suivante illustre le nombre de dépassements annuels de la norme des $\text{PM}_{2,5}$ de 2012 à 2021.

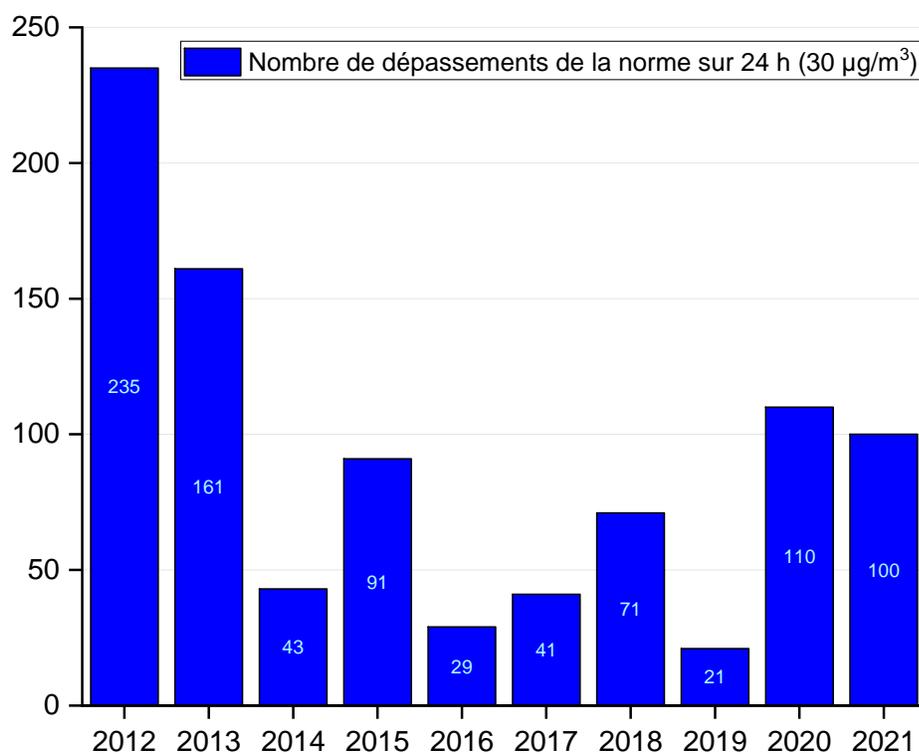


Figure 5.20 Nombre de dépassements annuels de la norme quotidienne des particules fines au Québec entre 2012 et 2021.

¹⁵ Les normes de la CMM peuvent être consultées à l'adresse suivante : <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/rsqa-polluants-gazeux>

La distribution du nombre de dépassements mensuels en 2021 montre que la quasi-totalité des dépassements est survenue durant les mois de juillet et d'août (figure 5.21).

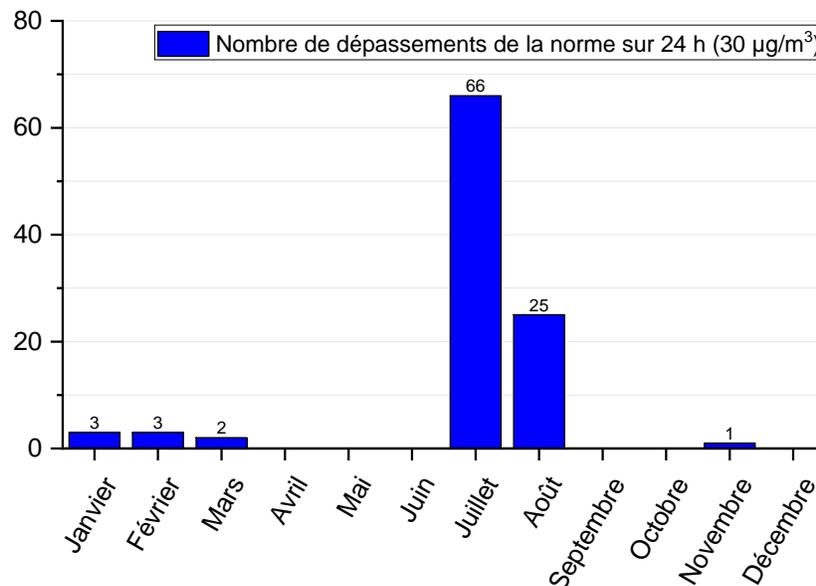


Figure 5.21 Nombre de dépassements de la norme quotidienne des particules fines en 2021, par mois.

Les dépassements observés en juillet et en août ont été causés par la fumée dégagée par les feux de forêt qui ont sévi du nord-ouest de l'Ontario et au Manitoba (MELCCFP, 2023b).

Les autres dépassements observés durant les mois les plus froids de l'année ont probablement été causés par deux phénomènes, soit l'influence du chauffage au bois et de mauvaises conditions de dispersions de contaminants, comme les inversions thermiques, plus fréquentes par temps froid. En condition normale, l'air le plus près du sol est le plus chaud et devient de plus en plus froid en s'éloignant du sol. En condition d'inversion thermique, une couche d'air chaud s'insère au-dessus d'une couche d'air plus froid et plus lourd. Ainsi, la couche d'air près du sol est plus froide et plus lourde et ne peut s'élever et se disperser dans l'atmosphère, emprisonnant ainsi les contaminants au niveau du sol (Gouvernement du Canada, 2015).

5.3.4. Dioxyde d'azote

Le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (MELCCFP, 2023b) prescrit les normes de qualité de l'atmosphère suivantes pour le dioxyde d'azote :

- 220 ppb (414 µg/m³) pour une période d'une (1) heure;
- 110 ppb (207 µg/m³) pour une période de 24 heures;
- 55 ppb (103 µg/m³) pour une période d'un an.

La CMM dispose de ses propres normes de qualité de l'air¹⁶.

¹⁶ Les normes de la CMM peuvent être consultées à l'adresse suivante : <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/rsqa-polluants-gazeux>

En 2021 et depuis l'entrée en vigueur du RAA, aucun dépassement des normes de NO₂ n'a été observé au Québec. En 2021, les concentrations de NO₂ les plus élevées ont été enregistrées à la station 06028 – Montréal – Échangeur Décarie (tableau 5.8).

Tableau 5.8 Concentrations horaires, quotidiennes et annuelles de dioxyde d'azote les plus élevées au Québec en 2021.

Norme	Période	Station	Concentration (ppb)	% de la norme	Date et heure
220 ppb	1 h	Montréal - Échangeur Décarie	160,29	72,9 %	2021-11-18 10:00
110 ppb	24 h	Montréal - Échangeur Décarie	37,74	34,3 %	2020-02-18
55 ppb	1 an	Montréal - Échangeur Décarie	11,61	21,1 %	n/a

5.3.5. Dioxyde de soufre

Le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (MELCCFP, 2023b) prescrit les normes de qualité de l'atmosphère suivantes pour le dioxyde de soufre¹⁷ :

- 400 ppb (1050 µg/m³) pour une période de quatre (4) minutes, celle-ci peut être excédée jusqu'à 0,5 % du temps sur une base annuelle, sans dépasser 500 ppb (1310 µg/m³);
- 110 ppb (288 µg/m³) pour une période de 24 heures et;
- 20 ppb (52 µg/m³) pour une période d'un an.

Pour l'ensemble des stations au Québec en 2021, seule la norme sur 4 minutes a été dépassée.

Normes quotidiennes et annuelles

En 2021, les normes quotidiennes et annuelles du SO₂ n'ont pas été dépassées. Les concentrations quotidiennes et annuelles de SO₂ les plus élevées et conséquemment les plus près des normes ont été enregistrées aux stations Témiscaming et Saguenay – Parc Powell (tableau 5.9).

Tableau 5.9 Concentrations quotidiennes et annuelles de dioxyde de soufre les plus élevées au Québec en 2021.

Norme	Période	Station	Concentration (ppb)	% de la norme	Date
110 ppb	24 h	Témiscaming	87,00	79,1 %	2021-04-04
20 ppb	1 an	Saguenay - Parc Powell	4,93	24,7 %	n/a

Depuis 2012, soit la première année complète depuis l'entrée en vigueur du RAA, seulement 3 dépassements de la norme quotidienne ont été enregistrés au Québec et aucun dépassement de la norme annuelle.

¹⁷ Les normes de la CMM peuvent être consultées à l'adresse suivante : <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/rsqa-polluants-gazeux>

Norme 4 minutes

Entre 2012 et 2021, le nombre de valeurs supérieures à la norme 4 minutes du SO₂ de 400 ppb a considérablement diminué passant de 449 à 57 (figure 5.22), tandis que le nombre de valeurs dépassant le seuil de 500 ppb est passé de 250 à 27.

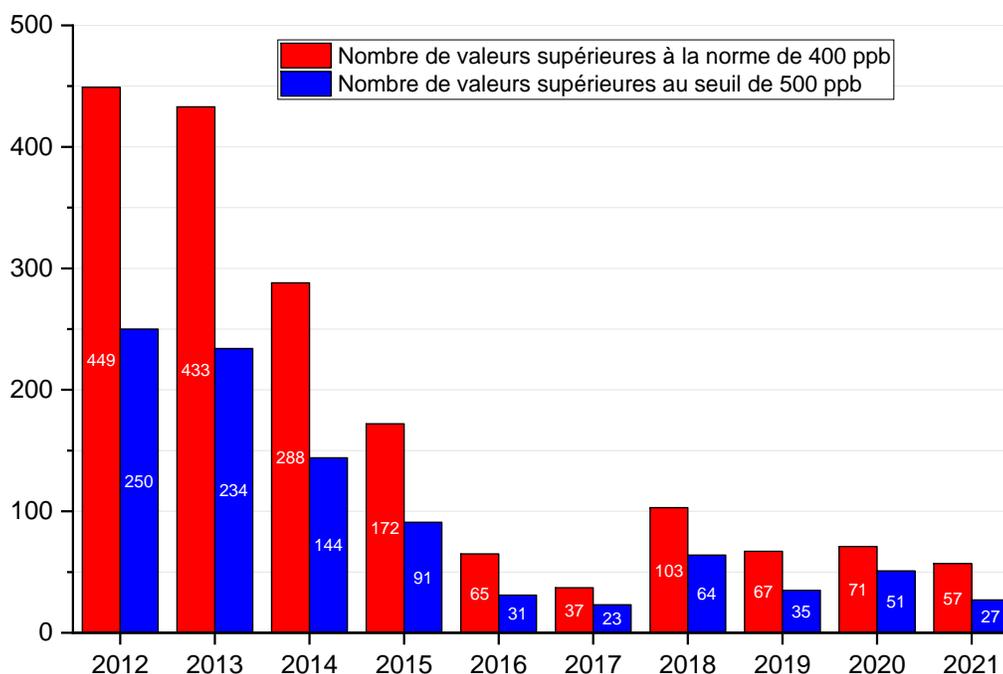


Figure 5.22 Nombre de valeurs supérieures à la norme de 400 ppb et du seuil de 500 ppb sur 4 minutes pour le dioxyde de soufre au Québec, de 2012 à 2021.

Pour l'année 2012, il a été impossible de vérifier la conformité de la norme aux stations de la Ville de Montréal, car les données 4 minutes n'étaient pas disponibles. Cependant, pour la période 2013 à 2021, aucun dépassement n'a été observé aux stations de la Ville de Montréal.

En 2021, les 57 valeurs supérieures à la norme de 400 ppb sur 4 minutes ont été enregistrés à seulement trois (3) stations (tableau 5.10).

Tableau 5.10 Stations ayant enregistré des dépassements des valeurs de 400 ppb et de 500 ppb pour les concentrations de dioxyde de soufre sur 4 minutes en 2021.

Station	Nombre de valeurs supérieures à 400 ppb	Nombre de valeurs supérieures à 500 ppb
Rouyn-Noranda - Parc Tremblay	2	0
Rouyn-Noranda - Mgr Rhéaume Est	40	19
Témiscaming	15	8

Ces stations sont localisées dans les villes Rouyn-Noranda et Témiscaming, à proximité d'émetteurs importants de SO₂. De plus, la topographie à proximité de la station Témiscaming est caractérisée par une vallée étroite qui limite la dispersion des contaminants, canalisant les émissions industrielles vers la station de mesure. Fait à noter, comme le nombre de dépassement

de la norme sur 4 minutes de 400 ppb du SO₂ a été excédée moins de 0,5 % du temps au cours de l'année 2021, seules les 27 valeurs dépassant le seuil de 500 ppb sont considérées comme des dépassements de norme.

5.3.6. Monoxyde de carbone

Deux normes de qualité de l'atmosphère pour le CO sont prescrites dans le RAA (MELCCFP, 2023b) :

- Une première, applicables sur une période d'une (1) heure est fixée à 30 ppm (34 000 µg/m³);
- une deuxième à 11 ppm (12 700 µg/m³) pour une période de 8 heures.

La CMM dispose de ses propres normes de qualité de l'air¹⁸.

Depuis l'entrée en vigueur du RAA, aucun dépassement des normes de CO n'a été observé au Québec. En 2021, les concentrations de CO les plus élevées ont été enregistrées à la station Québec – Henri IV (tableau 5.7).

Tableau 5.11 Concentrations horaires et huit (8) heures de monoxyde de carbone les plus élevées au Québec en 2021.

Norme	Période	Station	Concentration (ppm)	% de la norme	Date et heure
30 ppm	1 h	Québec – Henri IV	1,97	6,6 %	2021-02-01 08:00
11 ppm	8 h	Québec - Henri IV	1,22	11,1 %	2021-03-11 19:00

5.3.7. Ozone

Deux normes de qualité de l'atmosphère pour l'ozone sont prescrites dans le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA) (MELCCFP, 2023b) :

- une première, applicable sur une période d'une (1) heure, est fixée à 82 ppb (160 µg/m³);
- une deuxième à 64 ppb (125 µg/m³) pour une période de huit (8) heures.

En 2021, 327 dépassements de la norme sur 8 h ont été enregistrés, le nombre le plus élevé depuis l'entrée en vigueur du RAA en 2012 (figure 5.23). Aucun dépassement de la norme sur 1 h n'a cependant été enregistré.

¹⁸ Les normes de la CMM peuvent être consultées à l'adresse suivante : <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/rsqa-polluants-gazeux>

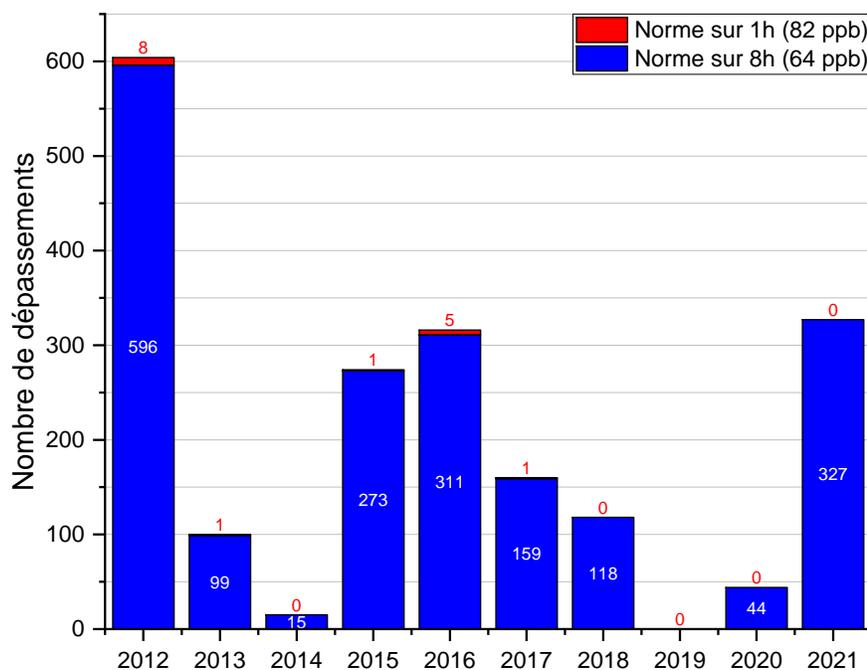


Figure 5.23 Nombre de dépassements des normes sur une (1) heure et sur huit (8) heures pour l'ozone au Québec entre 2012 et 2021.

Deux facteurs principaux expliquent cette variation interannuelle, soit la variation des émissions des contaminants précurseurs d'O₃ et surtout les conditions météorologiques, dont la température. D'ailleurs, la majorité des dépassements de 2021 ont été enregistrés les 6 et 7 juin alors que des conditions propices à l'accumulation d'ozone, dont des températures élevées, ont affecté le nord-est des États-Unis, le sud de l'Ontario et le Québec.

Les concentrations les plus élevées du Québec en 2021 ont été mesurées à la station Québec – Collège St-Charles-Garnier et Tingwick (tableau 5.11).

Tableau 5.12 Concentrations horaires et huit (8) heures de de l'ozone les plus élevées au Québec en 2021.

Norme	Période	Station	Concentration (ppb)	% de la norme	Date et heure
82 ppb	1 h	Québec – Collège St-Charles-Garnier	79,09	96,5 %	2021-06-07 14:00
64 ppb	8 h	Tingwick	72,32	113 %	2021-06-07 18:00

Bien que les stations rurales et forestières enregistrent généralement les concentrations d'ozone les plus élevées, certaines pointes peuvent tout de même être observées aux stations urbaines, tel que démontré par le maximum horaire d'ozone enregistré à la station Québec – Collège St-Charles-Garnier.

5.3.8. Sulfure d'hydrogène

Deux normes de qualité de l'atmosphère pour le sulfure d'hydrogène sont prescrites dans le Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère (RAA) (MELCCFP, 2023b) :

- une première, applicable sur une période de quatre (4) minutes, est fixée à 4,3 ppb (6 µg/m³);
- une deuxième, applicable sur une période d'un (1) an, est fixée à 1,4 ppb (2 µg/m³).

La norme annuelle a été respectée en 2021 aux deux stations de mesure du H₂S. Cependant, 1 162 dépassements de la norme sur 4 minutes ont été enregistrés à la station Trois-Rivières – Cap-de-la-Madeleine en 2021, contrairement à aucun dépassement pour la station Trois-Rivières – École MEES, comme le démontre le tableau 5.12.

Tableau 5.13 Nombre de dépassements et valeurs maximales annuels des concentrations de sulfure d'hydrogène sur quatre (4) minutes entre 2012 et 2021.

Année	Trois-Rivières - École MEES		Trois-Rivières - Cap-de-la-Madeleine	
	Nombre de dépassements	Concentration maximale (ppb)	Nombre de dépassements	Concentration maximale (ppb)
2012	-	-	2633	46,9
2013	-	-	1892	57,3
2014	-	-	491	124,8
2015	10	9,9	1286	43,4
2016	0	3,8	1322	39,7
2017	1	8,5	1302	32,9
2018	5	5,8	3153	93,7
2019	10	11,1	1294	84,1
2020	110	35,2	2705	279,8
2021	0	4,0	1162	37,8

Le nombre de dépassements de la norme et la valeur maximale mesurée sur 4 minutes du sulfure d'hydrogène varie beaucoup d'une année à l'autre aux stations de Trois-Rivières, toutes deux situées à proximité de deux papeteries. Étant donné sa plus grande proximité avec les sources industrielles, la station Trois-Rivières – Cap-de-la-Madeleine enregistre toujours le plus de dépassements et les valeurs les plus élevés.

L'absence de dépassements enregistrés à la station Trois-Rivières – École MEES pourrait en partie s'expliquer par le fait que très peu de données sont disponibles à cette station à partir de la mi-juillet en raison d'un problème instrumental.

5.4. Le chauffage au bois

Le chauffage au bois est une source de contamination importante de l'air ambiant, (MELCCFP, 2023a) émettant plusieurs contaminants, dont les $PM_{2,5}$, le BC, les NO_x , le CO, les composés organiques volatils (COV) et les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP).

Telle que détaillée dans la section 2.3, l'analyse des concentrations de carbone noir permet de différencier si elles proviennent de la combustion de combustible fossile (BC_{ff}), émis principalement par le trafic routier, ou bien de la combustion de biomasse (BC_{bb}), comme le chauffage au bois. L'analyse des concentrations de BC_{bb} permet donc de bien suivre les effets du chauffage au bois sur la qualité de l'air. La figure 5.24 illustre les concentrations mensuelles de BC_{bb} aux quatre stations ayant effectué le suivi des concentrations de BC en 2021, les statistiques annuelles des concentrations sont détaillées à l'annexe A5.

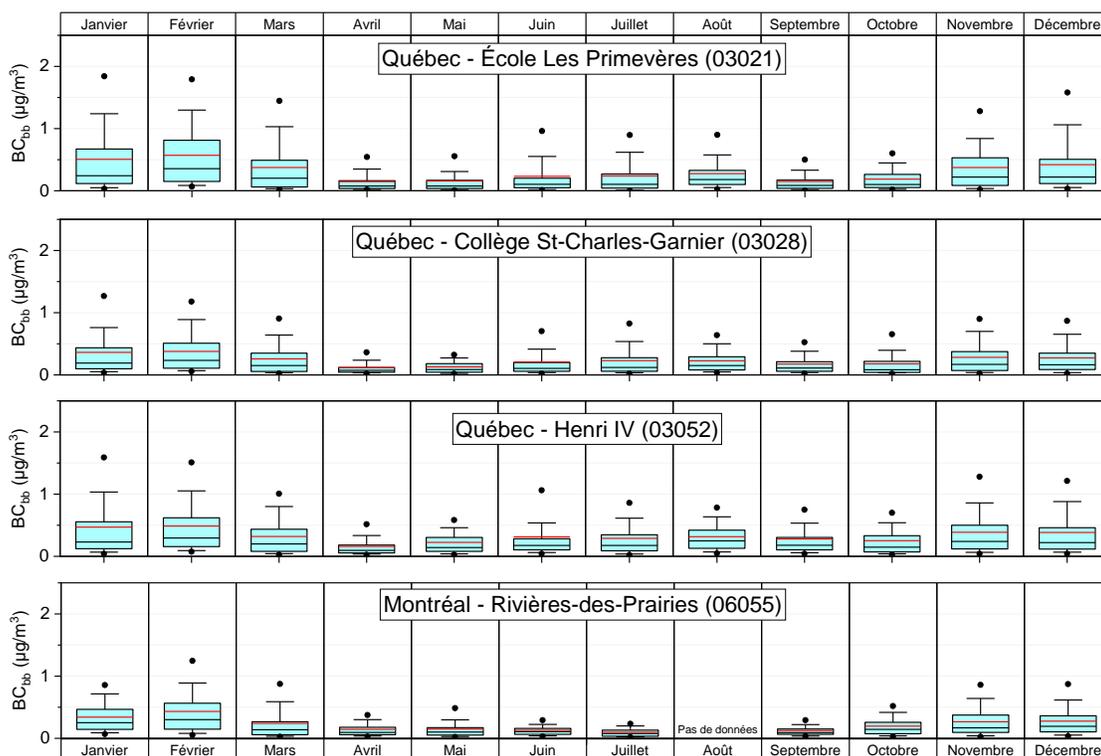


Figure 5.24 Concentrations mensuelles de carbone noir provenant de la combustion de biomasse aux quatre stations mesurant les concentrations de carbone noir en 2021.

Toutes les stations enregistrent des concentrations plus élevées de BC_{bb} entre novembre et mars, soit les mois les plus froids de l'année. Telle que soulignée dans Busque (2022), cette présence de carbone noir dans l'air pendant l'hiver est attribuable au chauffage au bois. Les concentrations semblent aussi augmenter légèrement au cours des mois de juillet et d'août aux trois stations de la ville de Québec. En absence de chauffage au bois en été, cette hausse est en partie attribuable aux feux de plaisance à ciel ouvert (voir section 5.7 – Feux extérieurs), mais aussi des feux de forêt (MELCCFP, 2023b). Les niveaux de BC_{bb} enregistrés aux quatre stations sont nettement plus élevés que ceux enregistrés en Ontario (Healy et al., 2017).

La figure 5.25 illustre les concentrations horaires de BC_{bb} au cours des mois d'hiver (janvier, février et décembre).

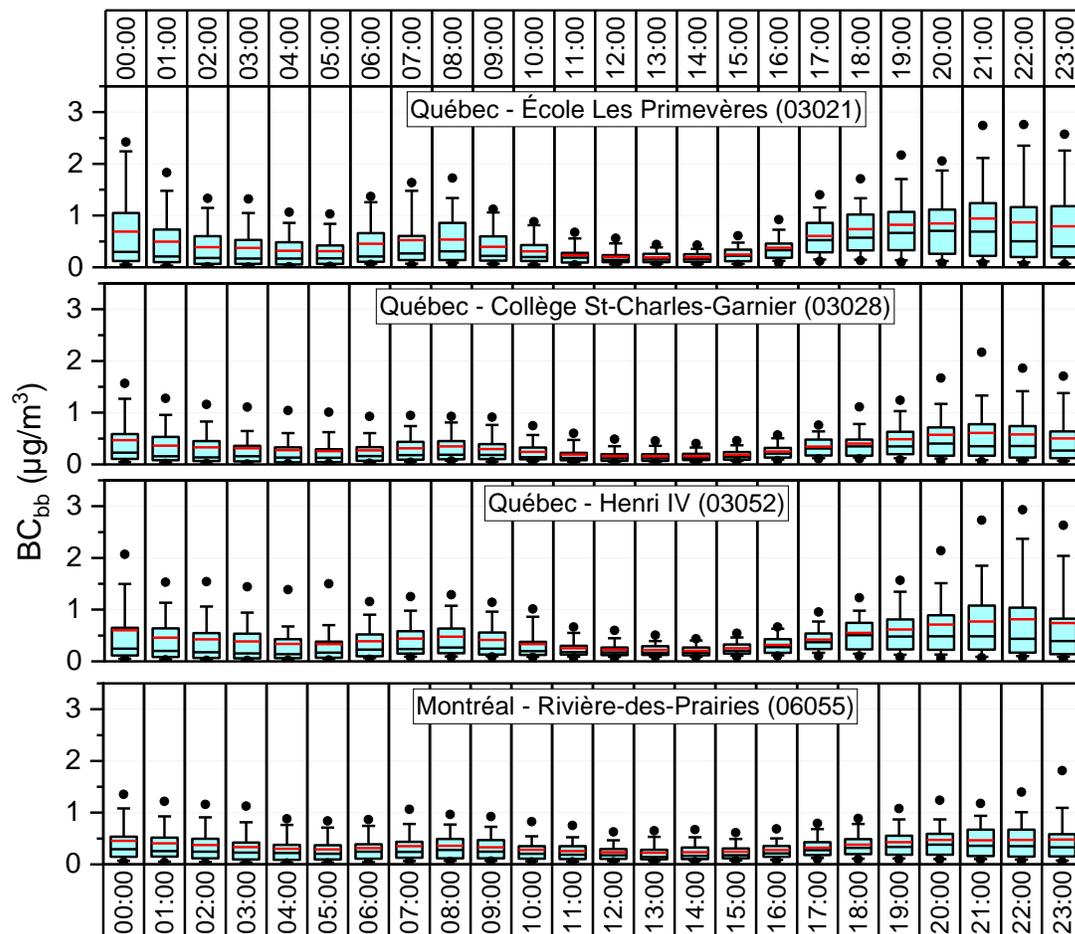


Figure 5.25 Concentrations horaires de carbone noir provenant de la combustion de biomasse durant l'hiver (janvier, février et décembre) aux quatre stations mesurant les concentrations de carbone noir en 2021.

Cette figure démontre que durant l'hiver, les concentrations de BC_{bb} augmentent en début de soirée jusque dans la nuit à toutes les stations. Une deuxième augmentation moins importante est aussi observée en matinée. Ce profil est typique d'une contamination de l'air par le chauffage au bois (MELCCFP, 2023a).

5.5. Le suivi en bordure d'une autoroute

Le trafic routier est une source importante de contamination atmosphérique. La station de suivi Québec – Henri-IV est située en bordure d'une autoroute et permet d'évaluer cette contamination.

Pour l'analyse des données de radar, quatre classes de véhicules, basés sur leur taille, sont présentés, soit :

- C1 : 0 à 4,5 m (petites voitures)
- C2 : 4,5 à 7,6 m (VUS + fourgonnettes)
- C3 : 7,6 à 15 m (petits camions)
- C4 : 15 m et + (gros camions)

La figure 5.26 illustre les concentrations des principaux contaminants émis par le trafic routier, soit le BC_{ff}, le CO, les PM_{0,1}, les PM_{2,5}, le NO et le NO₂, ainsi que le nombre moyen de quatre classes de véhicules mesurés à la station Québec – Henri IV en 2021 à chaque heure.

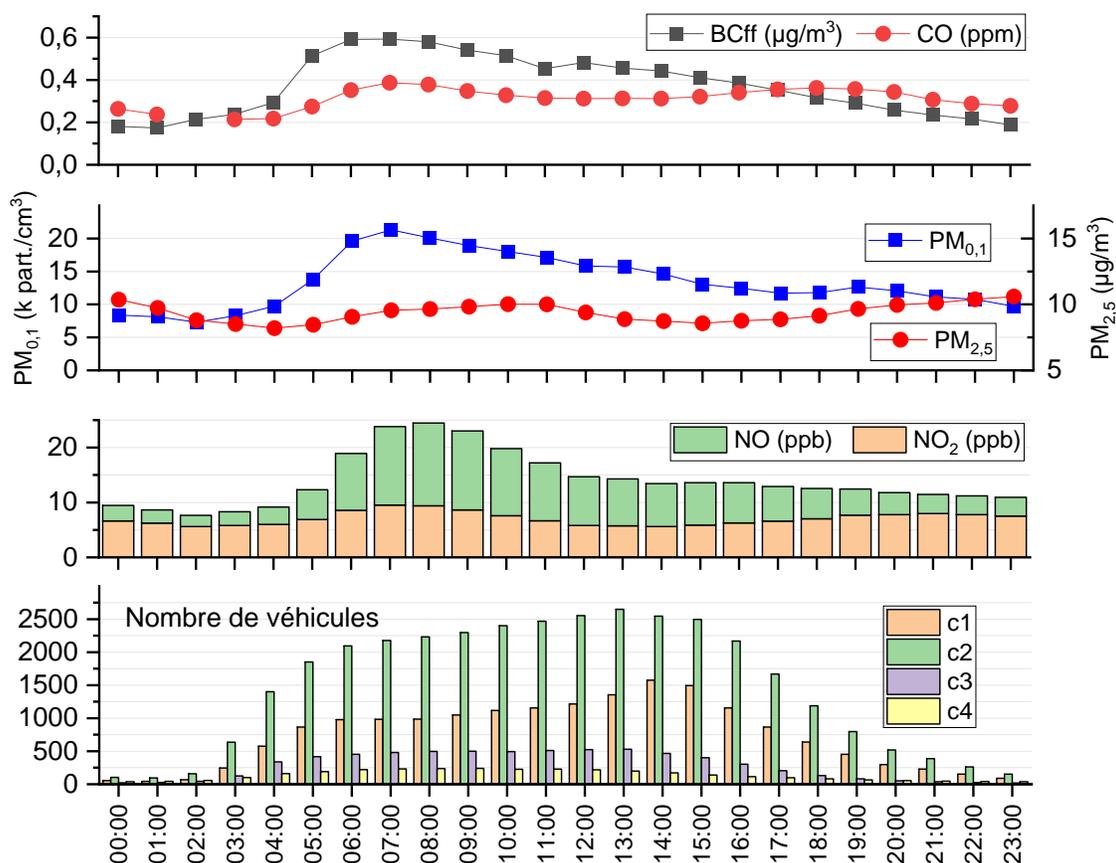


Figure 5.26 Concentrations horaires de carbone noir provenant de la combustion de combustible fossile, de monoxyde de carbone, de particules ultrafines, de particules fines, de monoxyde d'azote et de dioxyde d'azote, ainsi que le nombre moyen horaire de quatre classes de véhicules mesurés à la station Québec – Henri IV en 2021.

Ces niveaux de BC_{ff} observés à Québec - Henri IV sont nettement moins élevés que ceux enregistrés en bordure de l'autoroute 401 à Toronto (Healy et al., 2017), à cause d'une densité de circulation plus faible aux abords de l'autoroute Henri IV.

Un maximum de concentration est observé en matinée pour tous les contaminants, à l'exception des PM_{2,5}, tandis qu'un deuxième maximum d'une intensité plus faible est observé pour certains d'entre eux en soirée. Le nombre de véhicules circulant sur l'autoroute augmente graduellement tôt le matin et atteint un maximum en après-midi. Toutefois, le nombre de poids lourds (C4) circulant sur l'autoroute est plus important en avant-midi. Le profil du nombre de véhicules circulant sur l'autoroute est différent de celui observé en 2020 (Laberge, 2023), notamment en ce qui concerne la pointe du trafic de l'après-midi qui survient un peu plus tôt, une conséquence probable des travaux majeurs qui ont eu lieu en 2021 sur l'autoroute Henri IV.

L'intensité des pointes de concentrations des contaminants ne suit pas celle du nombre de véhicules. D'abord, les vents sont plus forts l'après-midi à la station Québec-Henri IV, ce qui

favorise la dispersion des contaminants. Ensuite, le type de véhicule circulant sur l'autoroute n'est pas le même à chaque heure de la journée. Par exemple, les poids lourds, reconnus pour émettre beaucoup de $PM_{0,1}$ (SOCAAR, 2019), circulent davantage en matinée sur l'autoroute Henri IV. L'augmentation des concentrations de $PM_{2,5}$ en soirée est une conséquence du chauffage au bois (voir section 5.4 – Chauffage au bois).

Le tableau 5.14 détaille le niveau de corrélation entre les données horaires des contaminants et le nombre de véhicule de chaque classe de véhicules circulant sur l'autoroute.

Tableau 5.14 Coefficient des corrélations de Spearman (rho) entre les données horaires des contaminants émis par le trafic routier et le nombre de véhicules circulant sur l'autoroute, par classe de véhicule.

Contaminant	C1	C2	C3	C4	Trafic total
BC_{ff}	0,378 (***)	0,370 (***)	0,464 (***)	0,503 (***)	0,405 (***)
CO	0,253 (***)	0,267 (***)	0,197 (***)	0,213 (***)	0,259 (***)
NO	0,424 (***)	0,444 (***)	0,453 (***)	0,516 (***)	0,456 (***)
NO₂	0,107 (***)	0,110 (***)	0,143 (***)	0,300 (***)	0,123 (***)
PM_{0,1}	0,242 (***)	0,265 (***)	0,278 (***)	0,381 (***)	0,275 (***)
PM_{2,5}	0,049 (***)	0,061 (***)	0,022 (*)	0,085 (***)	0,054 (***)

Plusieurs raisons peuvent expliquer les différences observées sur le plan de la corrélation entre les contaminants et les différentes classes de véhicules. Les contaminants principalement émis par le trafic routier, comme le NO, le BC_{ff}, les $PM_{0,1}$ et le CO présentent les meilleures corrélations avec le nombre total de véhicules circulant sur l'autoroute. Le NO₂ est formé par l'oxydation du NO provenant du transport. Ainsi, la réaction d'oxydation du NO en NO₂ n'a probablement pas le temps de se produire complètement avant la prise de mesure à la station Québec – Henri IV, qui est positionnée à seulement six (6) mètres de l'autoroute, c'est pourquoi la corrélation entre le NO₂ et le trafic est moins bonne que celle du NO. Les concentrations de $PM_{2,5}$ peuvent être influencées par d'autres sources de contamination importantes, comme le chauffage au bois, c'est pourquoi la corrélation avec le trafic routier est moins bonne que pour tous les autres contaminants. Le transport routier est principalement un émetteur de contaminants précurseurs de particules fines secondaires.

L'antimoine (Sb) est aussi un contaminant associé au trafic routier. En effet, l'usure des plaquettes de freins des voitures est une source connue d'émission de Sb, surtout dans la fraction plus grossière des particules (Evans et al., 2019; OCDE, 2020). Une analyse de corrélation de Spearman entre les concentrations quotidiennes de Sb mesuré dans les PST et le nombre total de véhicules circulant sur l'autoroute Henri-IV en 2021 a été effectuée. Le rho de cette corrélation est de 0,628 (***), ce qui indique une bonne corrélation.

L'épandage de sels et d'abrasifs pour déglacer l'autoroute l'hiver a aussi un effet important sur la qualité de l'air. La figure 5.27 illustre les concentrations mensuelles de PST mesurées à la station Québec – Henri IV en 2021.

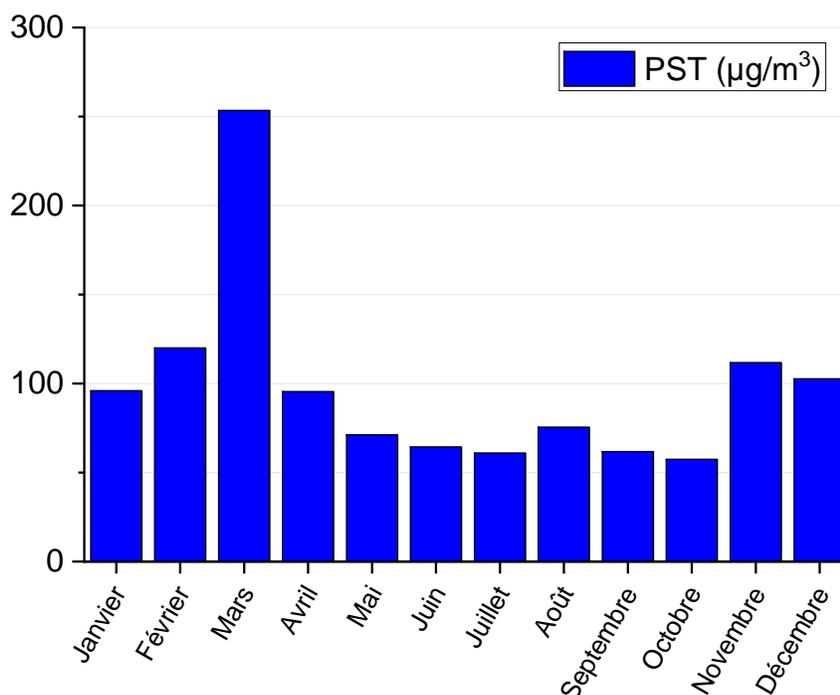


Figure 5.27 Concentrations mensuelles moyenne de particules en suspension totales mesurées à la station Québec – Henri IV en 2021.

La figure 5.27 démontre que les concentrations de PST les plus élevées sont mesurées pendant les mois les plus froids, durant lesquels l'épandage d'abrasifs et de sels de déglacage sur les routes est le plus probable. La forte pointe observée en mars pourrait être causée par une plus forte remise en suspension de poussière en mars lors de la fonte de la neige, contrairement aux mois précédents où la couverture neigeuse et la chaussée mouillée limitent cette remise en suspension. D'ailleurs, telle que mentionnée à la section 5.3 – Comparaison aux normes d'air ambiant, la majorité des dépassements de la norme des PST au Québec en 2021 ont été observés au mois de mars.

Tel que le souligne le paragraphe précédent, l'épandage de sels de déglacage et abrasifs sur les routes l'hiver est une source de contamination atmosphérique. Le produit de déglacage le plus couramment utilisé est le chlorure de sodium, tandis que les abrasifs utilisés sont généralement du sable, du gravier ou des pierres concassées, composés de minerais contenant de la silice, du calcium ou du magnésium. Selon le ministère des Transports et de la Mobilité durable (2019), les proportions de sels et d'abrasifs épandus dépendent de plusieurs facteurs, dont le niveau de trafic circulant sur la route et les conditions météorologiques. La figure 5.28 illustre les concentrations mensuelles de sodium, de calcium et de magnésium dans les PST à la station Québec - Henri-IV.

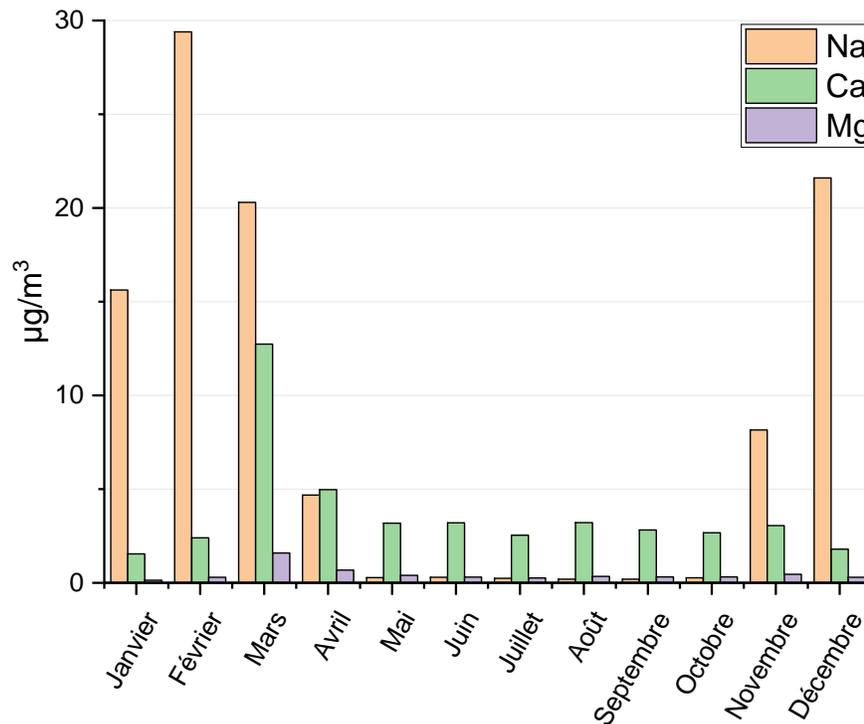


Figure 5.28 Concentrations mensuelles moyenne de sodium, de calcium et de magnésium dans les particules en suspension totales mesurées à la station Québec – Henri-IV en 2021.

Les concentrations de sodium sont nettement plus élevées pendant les mois les plus froids, durant lesquels l'épandage d'abrasifs et de sels de déglacage sur les routes est plus fréquent. Comme les concentrations de sodium ne présentent pas de forte pointe en mars (figure 5.27), il est probable que la forte pointe de PST enregistrée en mars soit davantage associée à la remise en suspension des abrasifs routiers que des sels de déglacage.

De leur côté, les concentrations de calcium et de magnésium sont plus élevées en mars et semblent causées par la remise en suspension des abrasifs accumulés dans la neige lorsqu'elle fond au printemps.

5.6. Feux de forêt de l'été 2021

Des feux de forêt ayant sévi au nord-ouest de l'Ontario et au Manitoba au cours de l'été 2021 ont eu des répercussions sur la qualité de l'air de l'ensemble du Québec (MELCCFP, 2023j). En effet, les importantes quantités de contaminants émis par ces incendies, comme les particules fines, ont été transportées sur de longues distances et ont eu un effet sur la qualité de l'air de l'ensemble des régions du Québec en y provoquant des épisodes de smog. Un épisode de smog estival déployé sur une aussi grande étendue de territoire est un phénomène rarement observé au Québec.

D'ailleurs, le nombre de jours de smog estivaux (juin, juillet et août) enregistrés en 2021 est le plus élevé depuis 2010 au Québec (figure 5.29).

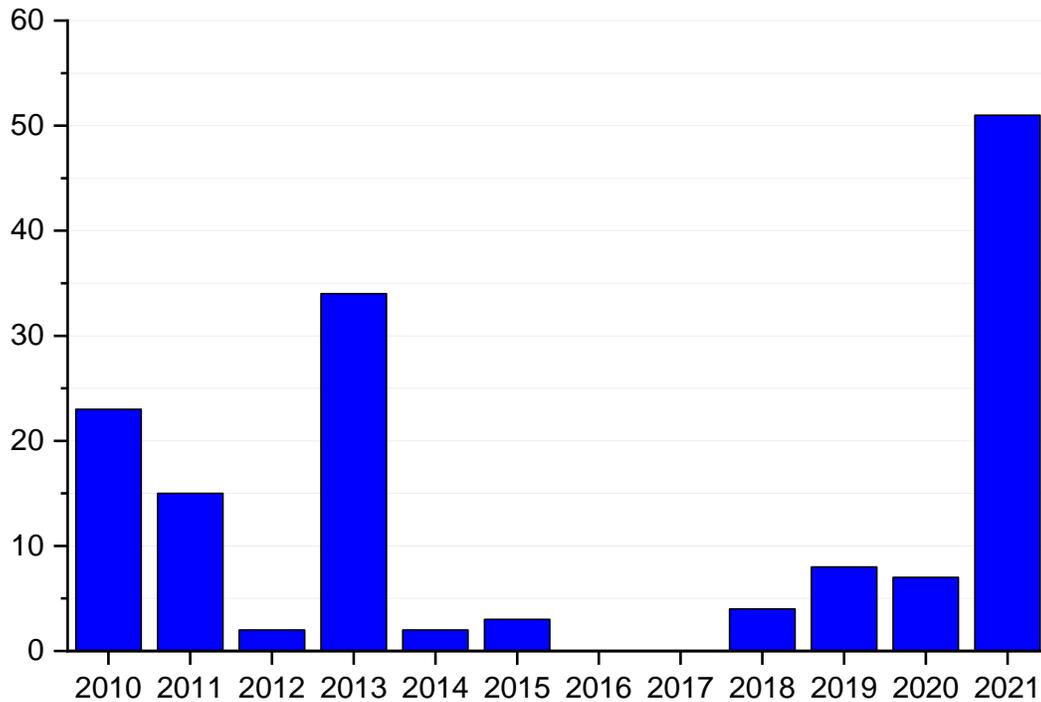


Figure 5.29 Nombre de jours de smog annuels enregistrés au Québec au cours des mois d'été (juin, juillet et août).

Une analyse détaillée a démontré que trois épisodes distincts de feux de forêt ont eu un effet sur la qualité de l'air au Québec au cours de cette période, soit un du 17 au 20 juillet, un du 25 au 27 juillet et un du 3 au 8 août (MELCCFP, 2023j).

L'effet de ces trois épisodes sur les concentrations de $PM_{2,5}$ enregistrées à la station Québec – Collège St-Charles-Garnier est bien visible à la figure 5.30.

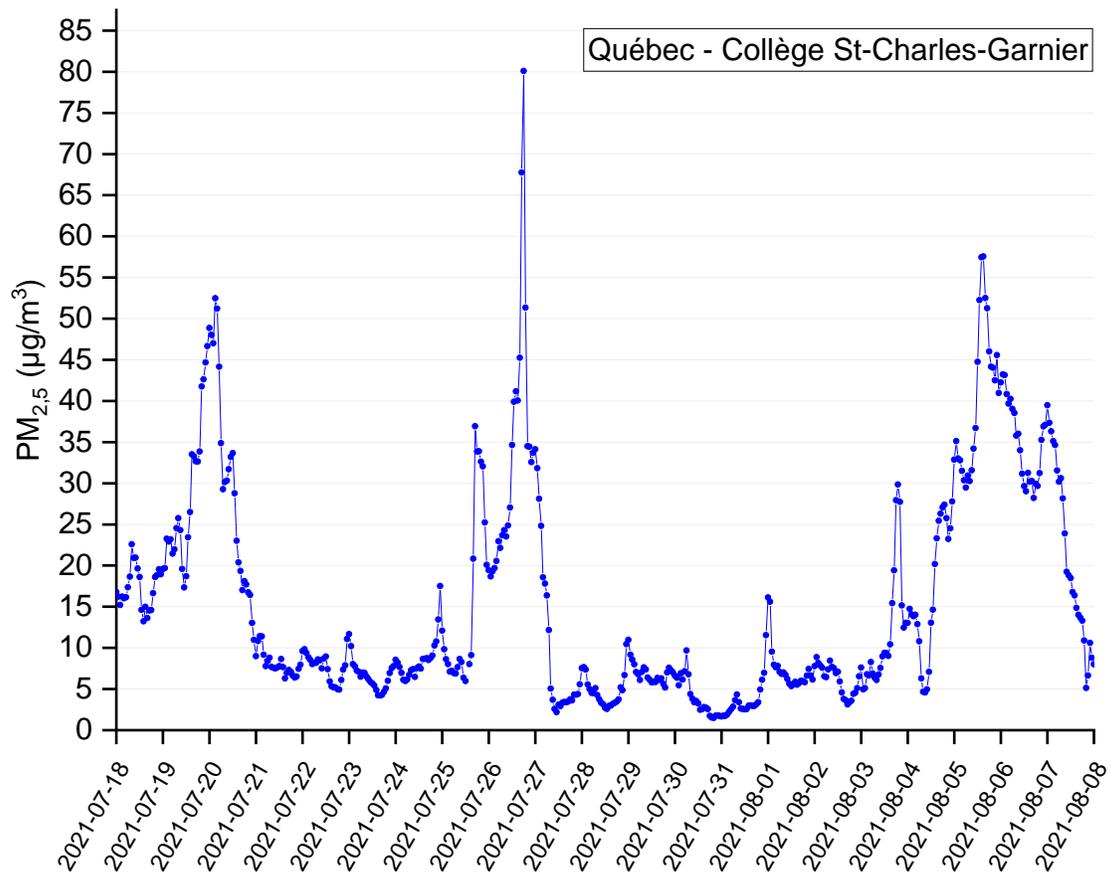


Figure 5.30 Concentrations horaires de particules fines enregistrées à la station Québec – St-Charles-Garnier entre le 18 juillet et le 8 août 2021.

Les concentrations de $PM_{2,5}$ mesurées lors des trois épisodes de contamination ont dépassé les $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ durant plusieurs heures consécutives, provoquant même trois dépassements de norme les 26 juillet, 5 et 6 août.

Par ailleurs, les effets de ces feux de forêt s'est aussi fait sentir sur les concentrations d'autres contaminants. La figure 5.31 illustre la bonne corrélation entre les profils des concentrations horaires de $PM_{2,5}$ et de BC_{bb} , un autre contaminant émis par les feux de forêt, lors du premier épisode de contamination à la station Québec – St-Charles-Garnier.

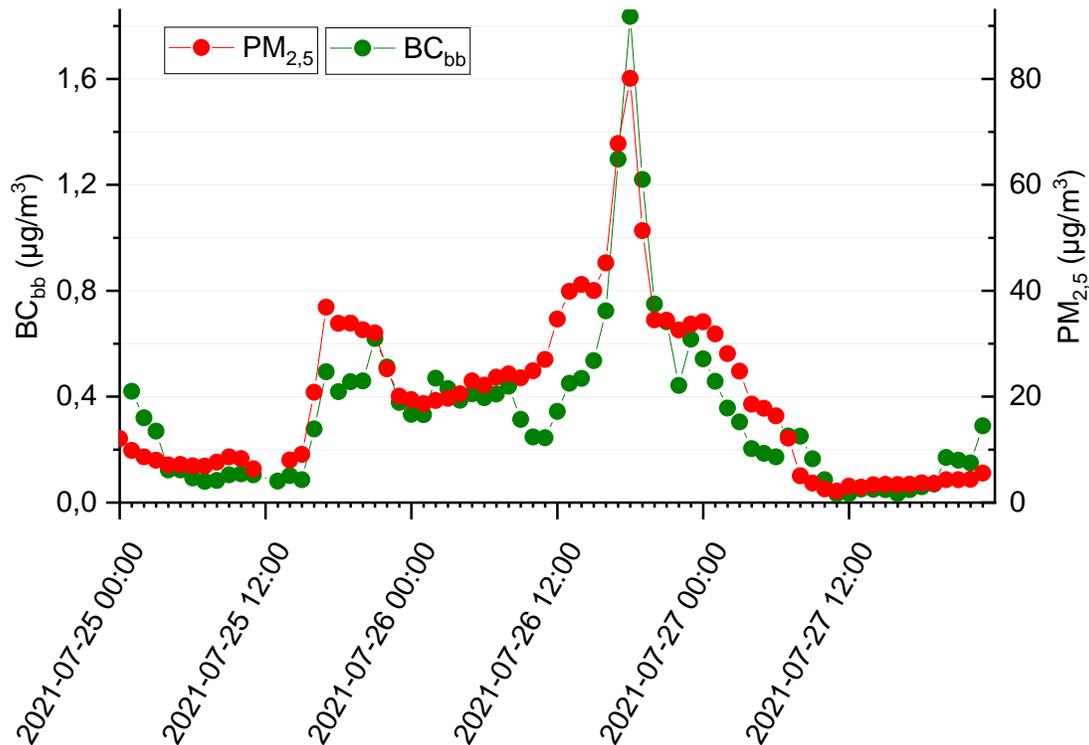


Figure 5.31 Concentrations de particules fines et de carbone noir provenant de la combustion de biomasse à la station Québec – Collège St-Charles-Garnier du 25 au 27 juillet 2021.

5.7. Feux extérieurs

Les études sur la contamination de l'air ambiant par les particules fines ($PM_{2,5}$) se concentrent habituellement sur l'effet du chauffage au bois résidentiel et des feux de forêt en raison des concentrations élevées qu'ils provoquent (Busque, 2022; Foucreault, 2016; MELCCFP, 2023a). Toutefois, une autre source de $PM_{2,5}$ influence aussi les concentrations mesurées. Lors des soirées d'été, une hausse des concentrations de $PM_{2,5}$ est observée dans plusieurs stations urbaines (figure 5.32). Cette augmentation est absente dans les stations régionales correspondantes à ces milieux urbains. La source locale de ces hausses est les feux extérieurs allumés en soirée dans les cours arrière des résidences¹⁹.

¹⁹ Dans cette section, les données de particules fines et de carbone noir des périodes inclusives du 20-06-2020 au 21-06-2020, du 17-07-2021 au 20-07-2021, du 25-07-2021 au 27-07-2021 et du 03-08-2021 au 08-08-2021 n'ont pas été incluses dans les analyses en raison de l'influence des feux de forêt.

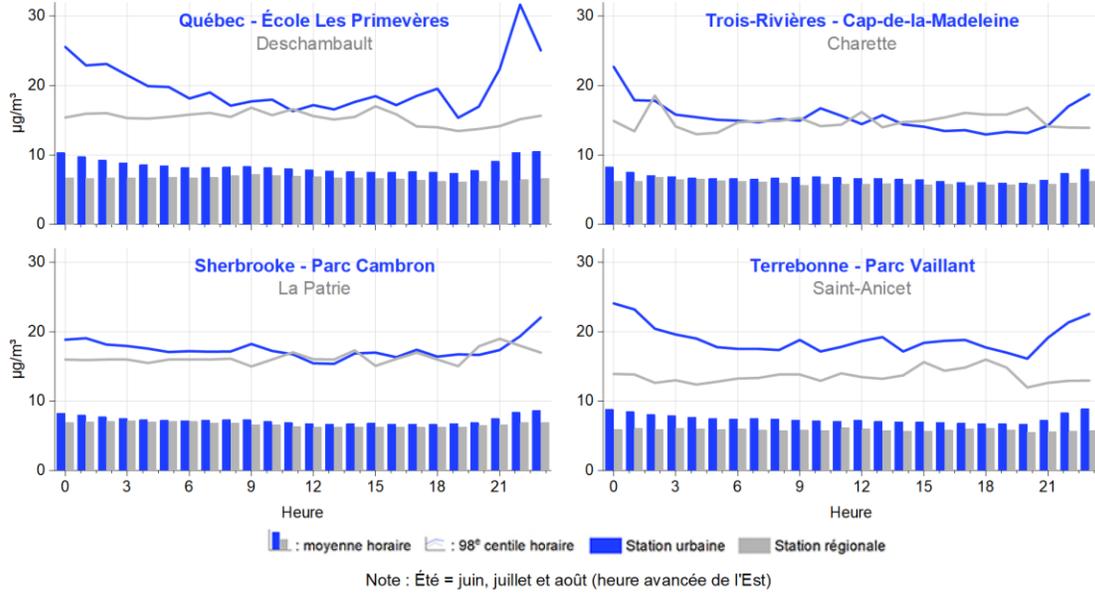


Figure 5.32 Concentrations horaires des particules fines en été en milieu urbain et régional, de 2019 à 2021.

Les concentrations horaires de carbone noir mesurées en été à la station urbaine Québec – École Les Primevères confirment que les feux extérieurs jouent un rôle important dans la hausse des $PM_{2,5}$ (figure 5.33). La hausse des concentrations de carbone noir provenant de la combustion de biomasse (bois) est bien visible en soirée à cette station, comparativement à celles de la combustion de carburant fossile qui demeurent stables.

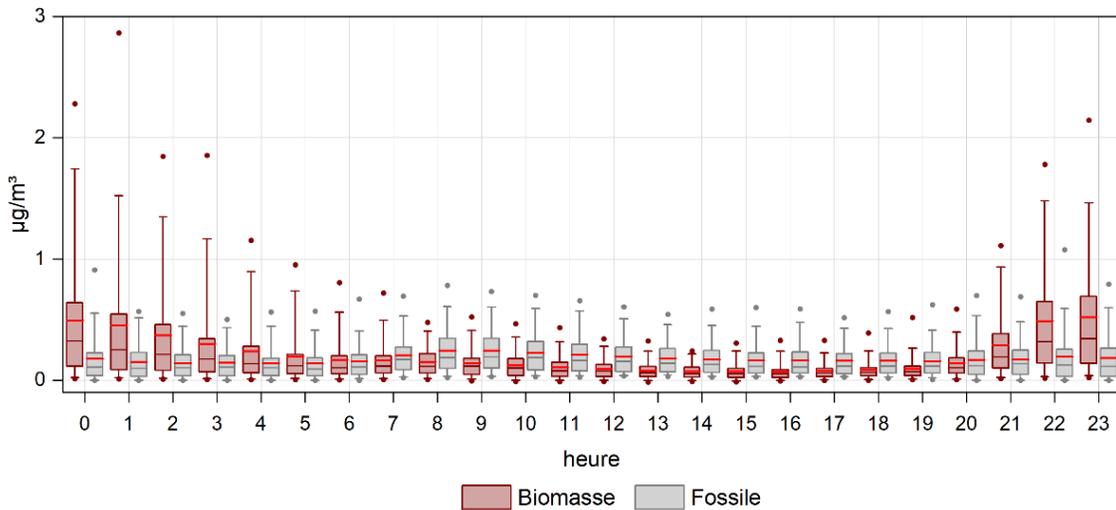


Figure 5.33 Concentrations horaires du carbone noir provenant de la combustion de biomasse et de carburant fossile en été à la station Québec – École Les Primevères, de 2019 à 2021.

L'analyse des données horaires hebdomadaires des PM_{2,5} et du carbone noir (biomasse) mesurées en été démontre que l'influence des feux extérieurs est surtout présente le vendredi et le samedi soir (figure 5.34), ce qui souligne l'aspect essentiellement récréatif de cette habitude. En comparaison, l'usage du chauffage au bois est aussi bien utilitaire que récréatif et l'influence de cette source s'observe tous les jours en hiver. Même si les concentrations de PM_{2,5} mesurés en été sont moins élevées qu'en hiver, les données de carbone noir montrent que la combustion de biomasse (bois) est responsable de l'augmentation des concentrations de PM_{2,5}. De plus, en été, les hausses de concentrations surviennent plus tard dans la soirée, comparativement à celles observées en hiver. Ceci est donc cohérent avec le fait que les feux extérieurs sont habituellement allumés au crépuscule, qui est plus tardif en été.

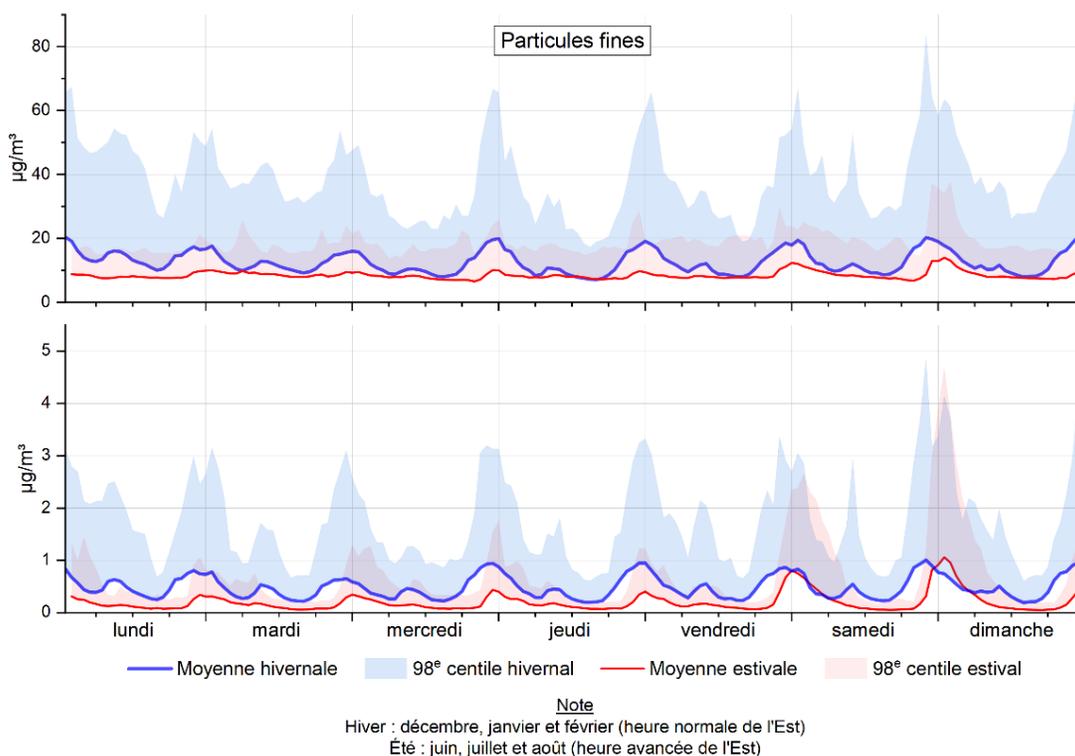


Figure 5.34 Concentrations horaires hebdomadaires estivales et hivernales des particules fines et du carbone noir (biomasse) à la station Québec – Écoles Les Primevères, de 2019 à 2021.

Conclusion

Ce sixième bilan annuel de la qualité de l'air au Québec fait état des concentrations des contaminants les plus couramment mesurés au Québec et confirme que la qualité de l'air y est généralement bonne et que les normes sont habituellement respectées.

Certaines localités subissent toutefois les émissions de certains secteurs d'activités comme ceux du transport ou de l'industrie. Ainsi, les stations de mesure situées à proximité de routes majeures enregistrent les concentrations de contaminants associés au transport, comme le dioxyde d'azote, le monoxyde de carbone, le carbone noir, les particules ultrafines et les métaux les plus élevées au Québec. Pour leur part, les stations qui se trouvent à proximité de complexes industriels mesurent des concentrations de dioxyde de soufre moyennes jusqu'à 78 fois plus élevées que ce qui est mesuré dans les milieux urbains non influencés. Bien que moins influencées par les contaminants liés au transport et à l'industrie, les stations rurales et forestières enregistrent les concentrations les plus élevées d'ozone troposphérique, un contaminant secondaire dont la formation est complexe.

De plus, le chauffage au bois contribue de manière importante aux concentrations de $PM_{2,5}$ plus élevées et enregistrées à plusieurs stations durant l'hiver. Les feux extérieurs allumés en soirée dans les cours arrière des résidences, principalement l'été, contribuent aussi à la hausse des concentrations de $PM_{2,5}$. D'autre part, les feux de forêt peuvent aussi avoir un effet considérable sur les concentrations de particules fines, comme en témoignent les dizaines de dépassements observés en juillet et en août qui ont été causés par la fumée dégagée par les feux de forêt qui ont sévi au nord-ouest de l'Ontario et au Manitoba.

L'étude des tendances des concentrations démontre des tendances majoritairement stables ou à la baisse au Québec pour tous les contaminants, à l'exception des concentrations d'ozone en milieu urbain, des concentrations de particules fines de quelques stations rurales ou forestières et du sulfure d'hydrogène à la station Trois-Rivières-Cap-de-la-Madeleine qui sont en hausse. Par ailleurs, les baisses de concentrations observées au cours de la dernière décennie sont généralement moins importantes que celles observées au cours des décennies précédentes.

Références bibliographiques

- BALDAUF, R.W., DEVLIN, R.B., GEHR, P., GIANNELLI, R., HASSETT-SIPPLE, B., JUNG, H., MARTINI, G., MCDONALD, J., SACKS, J.D., WALKER, K. (2016). « Ultrafine Particle Metrics and Research Considerations: Review of the 2015 UFP Workshop ». *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 13(11). doi : [10.3390/ijerph13111054](https://doi.org/10.3390/ijerph13111054).
- BUSQUE, D. (2022). *Variations spatiotemporelles et saisonnalité des concentrations de particules fines à Québec : 2010-2018*. Québec, ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 49 p. + 5 annexes, [En ligne]. [[Variations spatiotemporelles et saisonnalité des concentrations de particules fines à Québec : 2010-2018 \(gouv.qc.ca\)\].](https://www.gouv.qc.ca/actualites/actualites-2022/actualite-2022-08-10-11-12-13-14-15-16-17-18-19-20-21-22-23-24-25-26-27-28-29-30-31-32-33-34-35-36-37-38-39-40-41-42-43-44-45-46-47-48-49-50-51-52-53-54-55-56-57-58-59-60-61-62-63-64-65-66-67-68-69-70-71-72-73-74-75-76-77-78-79-80-81-82-83-84-85-86-87-88-89-90-91-92-93-94-95-96-97-98-99-100-101-102-103-104-105-106-107-108-109-110-111-112-113-114-115-116-117-118-119-120-121-122-123-124-125-126-127-128-129-130-131-132-133-134-135-136-137-138-139-140-141-142-143-144-145-146-147-148-149-150-151-152-153-154-155-156-157-158-159-160-161-162-163-164-165-166-167-168-169-170-171-172-173-174-175-176-177-178-179-180-181-182-183-184-185-186-187-188-189-190-191-192-193-194-195-196-197-198-199-200-201-202-203-204-205-206-207-208-209-210-211-212-213-214-215-216-217-218-219-220-221-222-223-224-225-226-227-228-229-230-231-232-233-234-235-236-237-238-239-240-241-242-243-244-245-246-247-248-249-250-251-252-253-254-255-256-257-258-259-260-261-262-263-264-265-266-267-268-269-270-271-272-273-274-275-276-277-278-279-280-281-282-283-284-285-286-287-288-289-290-291-292-293-294-295-296-297-298-299-300-301-302-303-304-305-306-307-308-309-310-311-312-313-314-315-316-317-318-319-320-321-322-323-324-325-326-327-328-329-330-331-332-333-334-335-336-337-338-339-340-341-342-343-344-345-346-347-348-349-350-351-352-353-354-355-356-357-358-359-360-361-362-363-364-365-366-367-368-369-370-371-372-373-374-375-376-377-378-379-380-381-382-383-384-385-386-387-388-389-390-391-392-393-394-395-396-397-398-399-400-401-402-403-404-405-406-407-408-409-410-411-412-413-414-415-416-417-418-419-420-421-422-423-424-425-426-427-428-429-430-431-432-433-434-435-436-437-438-439-440-441-442-443-444-445-446-447-448-449-450-451-452-453-454-455-456-457-458-459-460-461-462-463-464-465-466-467-468-469-470-471-472-473-474-475-476-477-478-479-480-481-482-483-484-485-486-487-488-489-490-491-492-493-494-495-496-497-498-499-500-501-502-503-504-505-506-507-508-509-510-511-512-513-514-515-516-517-518-519-520-521-522-523-524-525-526-527-528-529-530-531-532-533-534-535-536-537-538-539-540-541-542-543-544-545-546-547-548-549-550-551-552-553-554-555-556-557-558-559-560-561-562-563-564-565-566-567-568-569-570-571-572-573-574-575-576-577-578-579-580-581-582-583-584-585-586-587-588-589-590-591-592-593-594-595-596-597-598-599-600-601-602-603-604-605-606-607-608-609-610-611-612-613-614-615-616-617-618-619-620-621-622-623-624-625-626-627-628-629-630-631-632-633-634-635-636-637-638-639-640-641-642-643-644-645-646-647-648-649-650-651-652-653-654-655-656-657-658-659-660-661-662-663-664-665-666-667-668-669-670-671-672-673-674-675-676-677-678-679-680-681-682-683-684-685-686-687-688-689-690-691-692-693-694-695-696-697-698-699-700-701-702-703-704-705-706-707-708-709-710-711-712-713-714-715-716-717-718-719-720-721-722-723-724-725-726-727-728-729-730-731-732-733-734-735-736-737-738-739-740-741-742-743-744-745-746-747-748-749-750-751-752-753-754-755-756-757-758-759-760-761-762-763-764-765-766-767-768-769-770-771-772-773-774-775-776-777-778-779-780-781-782-783-784-785-786-787-788-789-790-791-792-793-794-795-796-797-798-799-800-801-802-803-804-805-806-807-808-809-810-811-812-813-814-815-816-817-818-819-820-821-822-823-824-825-826-827-828-829-830-831-832-833-834-835-836-837-838-839-840-841-842-843-844-845-846-847-848-849-850-851-852-853-854-855-856-857-858-859-860-861-862-863-864-865-866-867-868-869-870-871-872-873-874-875-876-877-878-879-880-881-882-883-884-885-886-887-888-889-890-891-892-893-894-895-896-897-898-899-900-901-902-903-904-905-906-907-908-909-910-911-912-913-914-915-916-917-918-919-920-921-922-923-924-925-926-927-928-929-930-931-932-933-934-935-936-937-938-939-940-941-942-943-944-945-946-947-948-949-950-951-952-953-954-955-956-957-958-959-960-961-962-963-964-965-966-967-968-969-970-971-972-973-974-975-976-977-978-979-980-981-982-983-984-985-986-987-988-989-990-991-992-993-994-995-996-997-998-999-1000)
- CARSLAW, D. C. et K. ROPKINS (2012). « *Openair – an R package for air quality data analysis* », *Environmental Modelling & Software*, vol. 27-28, p. 52-61.
- CARSLAW, D. C. (2019). « *The Openair manual – open-source tools for analysing air pollution data* ». Manual for version 2.6-6 », University of York. 224 p. [En ligne]. [<https://davidcarslaw.com/files/openairManual.pdf>]
- CLEVELAND, R. B., W. S. CLEVELAND, J. E. MCRAE et I. TERPENNIG (1990). « Stl: A seasonal-trend decomposition procedure based on Loess », *Journal of Official Statistics*, vol. 6, no 1, p. 3 73.
- COMMISSION DES NORMES, DE L'ÉQUITÉ, DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ AU TRAVAIL (CNESST) (2023a). « Répertoire toxicologique – Numéro CAS : 7439-97-6 », [En ligne], [https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/Pages/fiche-complete.aspx?no_produit=4309].
- COMMISSION DES NORMES, DE L'ÉQUITÉ, DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ AU TRAVAIL (CNESST) (2023b). « Répertoire toxicologique – Numéro CAS : 7440-43-9 », [En ligne], [https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/pages/fiche-complete.aspx?no_produit=4440].
- COMMISSION DES NORMES, DE L'ÉQUITÉ, DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ AU TRAVAIL (CNESST) (2023c). « Répertoire toxicologique – Numéro CAS : 7440-50-8 », [En ligne], [https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/Pages/fiche-complete.aspx?no_produit=3558].
- COMMISSION DES NORMES, DE L'ÉQUITÉ, DE LA SANTÉ ET DE LA SÉCURITÉ AU TRAVAIL (CNESST) (2023d). « Répertoire toxicologique – Numéro CAS : 7783-06-4 », [En ligne], [https://reptox.cnesst.gouv.qc.ca/pages/fiche-complete.aspx?no_produit=4143].
- CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT (CCME) (2023a). *Système de gestion de la qualité de l'air (SGQA)*, [En ligne]. [<https://ccme.ca/fr/qualite-de-lair>], L'air au Canada.
- CONSEIL CANADIEN DES MINISTRES DE L'ENVIRONNEMENT (CCME) (2023b). « *Current Activities – Air* », [En ligne]. [<https://ccme.ca/en/current-activities/air>].
- COUTURE, Y. (2008). *Guide d'estimation de la concentration de dioxyde d'azote (NO₂) dans l'air ambiant lors de l'application des modèles de dispersion atmosphérique*, Québec : ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Direction du suivi de l'état de l'environnement, 7 p. [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/air/criteres/Guide-azote-Aout2008.pdf].

- COOPER, O. R., D. D. PARRISH, J. ZIEMKE, N. V. BALASHOV, M. CUPEIRO, I. E. GALBALLY, S. GILGE, L. HOROWITZ, N. R. JENSEN, J. F. LAMARQUE, V. NAIK, S. J. OLTMANS, J. SCHWAB, D. T. SHINDELL, A. M. THOMPSON, V. THOURET, Y. WANG et R. M. ZBINDEN (2014). « Global distribution and trends of tropospheric ozone: An observation-based review », *Elementa, Science of the Anthropocene*, vol. 2, p. 29. doi : [10.12952/journal.elementa.000029](https://doi.org/10.12952/journal.elementa.000029).
- DE JESUS, A.L. et al. (2019). « Ultrafine particles and PM_{2.5} in the air of cities around the world: Are they representative of each other? », *Environment International*, vol. 129, p. 118-135. doi : [10.1016/j.envint.2019.05.021](https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.05.021).
- DUCE, R.A. and N.W. TINDALE (1991). « Atmospheric transport of iron and its deposition in the ocean », *Limnology and Oceanography*, vol. 36(8), p. 1715-1726.
- EVANS G.J., AUDETTE, C., BADALI, K., CELO, V., DABEK-ZLOTORSZYNKA, E., DEBOSZ, J., DING, L., DOERKSEN, G.N., HEALY, R.M., HENDERSON, D., HEROD, D., HILKER, N., JEONG, C.H., JOHNSON, D., JONES, K., MUNOZ A., NOBLE, M., REID, K., SCHILLER, C., SOFOWOTE, C., SU, Y., WANG, J., WHITE., L. (2019). « Near-Road Air Pollution Pilot Study Final Report - Appendices », Southern Ontario Centre for Atmospheric Aerosol Research, University of Toronto, 139 p. [En ligne]. [<https://tspace.library.utoronto.ca/bitstream/1807/96918/1/Near%20Road%20Study%20Report%20Appendices.pdf>].
- FOUCREULT, M. A. (2016). *Analyse des concentrations de particules fines attribuables au chauffage au bois dans la municipalité de Lac-Beauport*, Québec: ministère du Développement durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, Direction générale du suivi de l'état de l'environnement, 7 p. + 1 annexe. [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/air/Lac-Beauport/lac-Beauport.pdf].
- GAD, S.C. (2014). « Barium », *Encyclopedia of Toxicology (Third Edition)*, p. 368-370.
- GOUVERNEMENT DU CANADA (2013). *Guide concernant le Règlement sur le soufre dans le carburant diesel: questions sur l'article 3*, Environnement et Changement climatique Canada, [En ligne]. [www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/registre-environnemental-loi-canadienne-protection/publications/guide-reglement-soufre-carburant-diesel/questions-article-3.html].
- GOUVERNEMENT DU CANADA (2015). *Smog hivernal*, Environnement et Changement climatique Canada, [En ligne]. [www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/pollution-atmospherique/enjeux/smog-causes-effets/hivernal.html].
- GOUVERNEMENT DU CANADA (2016). *Accord Canada-États-Unis sur la qualité de l'air: Rapport d'étape 2016: Section 2*, Environnement et Changement climatique Canada, [En ligne]. [www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/pollution-atmospherique/publications/qualite-air-canada-etats-unis-rapport-2016/chapitre-2.html].
- GOUVERNEMENT DU CANADA (2023a). *Indicateurs environnementaux – Qualité de l'air*. Environnement et Changement climatique Canada, [En ligne]. [www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/indicateurs-environnementaux/qualite-air.html].
- GOUVERNEMENT DU CANADA (2023b). *Rapport final sur l'état des connaissances scientifiques concernant les effets du plomb sur la santé humaine*, Environnement et Changement climatique Canada, [En ligne]. [www.canada.ca/fr/sante-canada/services/sante-environnement-milieu-travail/rapports-publications/contaminants-environnementaux/rapport-final-etat-connaissances-scientifiques-concernant-effets-plomb-sante-humaine.html].

- GOUVERNEMENT DU CANADA (2023c). *Ébauche d'évaluation préalable – Le zinc et ses composés*, Environnement et Changement climatique Canada, [En ligne]. [www.canada.ca/fr/environnement-changement-climatique/services/evaluation-substances-existantes/ebauche-evaluation-prealable-zinc-composes.html].
- HARREL JR, F.E. et C. DUPONT (2022). « Harrell Miscellaneous », Vanderbilt University, Department of Biostatistics, version 4.7-2, [En ligne]. [<https://hbiostat.org/R/Hmisc/>].
- HEALY, R. M., U. SOFOWOTE, Y. SU, J. DEBOSZ, M. NOBLE, C. H. JEONG, J. M. WANG, N. HILKER, G. J. EVANS, G. DOERKSEN, K. JONES et A. MUNOZ (2017). « Ambient measurements and source apportionment of fossil fuel and biomass burning black carbon in Ontario », *Atmospheric Environment*, vol. 161, p. 34-47.
- INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC (INSPQ) (2012). *Bilan de la qualité de l'air au Québec en lien avec la santé, 1975-2009*, Québec : Institut national de santé publique du Québec, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, [En ligne]. [www.inspq.qc.ca/pdf/publications/1432_BilanQualiteAirQcLienSante1975-2009.pdf].
- KÜNZLI, N., PEREZ, L. et RAPP, R. (2010). *Qualité de l'air et santé*, Suisse : European Respiratory Society, Swiss Tropical and Public Health Institute, 68 p. [En ligne]. [www.aefu.ch/fileadmin/user_upload/aefu-data/b_documents/themen/luft/air_-_qualite_et_sante.pdf].
- LABERGE, A. (2023). *Bilan de la qualité de l'air au Québec 2020*, Québec, ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, Direction de la qualité de l'air et du climat, 64 p. + 31 annexes, [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/air/bilan/qualite-air-quebec-2020.pdf].
- MESZAROS, E. (1966). « On the origin and composition of atmospheric calcium compounds », *Tellus*, vol.18, p.262-265.
- MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS (MDDEP) (2011). *Inventaire des émissions des principaux contaminants atmosphériques au Québec en 2008 et évolution depuis 1990*. Québec : ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/air/inventaire/rapport2008.pdf].
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP) (2023a). *Le chauffage au bois*, Québec : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/air/chauf-bois/index.htm#pollution].
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP) (2023b). *Influence des feux de forêt sur la qualité de l'air au Québec – Été 2021* : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/air/feux-foret/feu-foret-qualite-air-2021.pdf].
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP) (2023c). *Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère* : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/air/atmosphere/raa.htm].
- MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP) (2023d). *Prévision de la qualité de l'air*, Québec : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements

climatiques, [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/air/info-smog/prevision-qualite.htm].

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP) (2023e). *Indice de la qualité de l'air*, Québec : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, [En ligne]. [www.iqua.environnement.gouv.qc.ca/contenu/index.asp].

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP) (2023f). *Smog, Portrait statistique*, Québec : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/air/info-smog/portrait/index.htm].

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP) (2023g). *Rapports de suivi relatif aux normes canadiennes de qualité de l'air ambiant*, Québec : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/air/rapports-qualite-air.htm].

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP) (2023h). *Inventaire québécois des émissions des principaux contaminants atmosphériques au Québec en 2020 et leur évolution depuis 1990*. Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs, [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/air/inventaire/index.htm].

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP) (2023i). *Caractéristiques du smog au Québec*, Québec : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/air/info-smog/caracteristiques-smog.htm].

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT, DE LA LUTTE CONTRE LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES, DE LA FAUNE ET DES PARCS (MELCCFP) (2023j). *Homogénéisation et calcul des tendances des températures*, Québec : ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques, [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/climat/tendances/homogeneisation.htm#methode-calcul].

MINISTÈRE DES TRANSPORTS ET DE LA MOBILITÉ DURABLE (MTQ) (2019). *Guide des bonnes pratiques d'épandage*, [En ligne], [www.transports.gouv.qc.ca/fr/gestion-environnementale-sels-voirie/Documents/GSV/references-utiles/publications_MTQ/guide-bonnes-pratiques-epandage.pdf].

MORAWSKA, L., RISTOVSKI, Z., JAYARATNE, R., KEOGH, D., LING, X. (2008). « Ambient nano and ultrafine particles from motor vehicle emissions: Characteristics, ambient processing and implications on human exposure », *Atmospheric Environment*, vol. 42(35), 67 p. doi : [10.1016/j.atmosenv.2008.07.050](https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.07.050).

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – EARTH OBSERVATORY (NASA Earth Observatory) (2010). « *Ecosystem Effects of Ozone* », NASA Earth Observatory – Aerosols : Tiny Particles, Big Impact, [En ligne]. [<https://earthobservatory.nasa.gov/features/Aerosols>].

NATIONAL ATMOSPHERIC EMISSION INVENTORY (NAEI) (2023). « *Potassium* », NAEI Pollutant information, [En ligne]. [https://naei.beis.gov.uk/overview/pollutants?pollutant_id=116].

- NRIAGU, J.O. (1989). « A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals », *Nature*, vol. 338, p. 47-49.
- ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPPEMENT ÉCONOMIQUES (OCDE) (2020). « Non-exhaust Particulate Emissions from Road Transport: An Ignored Environmental Policy Challenge », OECD Publishing, Paris.
- ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (OMS) (2023a). « *Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans* », Organisation mondiale de la santé, International Agency for Research on Cancer, [En ligne]. [<https://monographs.iarc.who.int/list-of-classifications>].
- ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ (OMS) (2023b). « *Ambient (outdoor) air pollution* », Organisation mondiale de la santé, [En ligne]. [[www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)].
- SANDRADEWI, J., A. S. H. PRÉVÔT, S. SZIDAT, N. PERRON, M. R. ALFARRA, V. A. LANZ, E. WEINGARTNER et U. BALTENSPERGER (2008). « *Using Aerosol Light Absorption Measurements for the Quantitative Determination of Wood Burning and Traffic Emission Contributions to Particulate Matter* », *Environmental Science & Technology*, vol. 42(9), p. 3316- 3323.
- SCHIMMEL, D. et al. (2002). Radiative forcing of climate change, 101 p.
- SCHOLAR CHEMISTRY (2009). « Material Safety Data Sheet – Magnesium Metal », Scholar Chemistry, [En ligne]. [www.mccsd.net/cms/lib/NY02208580/Centricity/Shared/Material%20Safety%20Data%20Sheets%20MSDS_/MSDS%20Sheets_Magnesium_Metal_426_20.pdf]
- SEN, P. K. (1968). « Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau », *Journal of the American Statistical Association*, vol. 63, p. 1379 1389.
- SOLOMON, P. A. (2012). « An Overview of Ultrafine Particles in Ambient Air », *Air and Waste Management Association's Magazine for Environmental Managers*. Air & Waste Management Association, Pittsburgh, PA, vol. 5, p.18-27.
- SOUTHERN ONTARIO CENTRE FOR ATMOSPHERIC AEROSOL RESEARCH (SOCAAR) (2019). « *Near-Road Air Pollution Pilot Study – Summary Report* », University of Toronto, [En ligne]. [www.socaar.utoronto.ca/wp-content/uploads/2019/10/SOCAAR-Near-Road-Air-Pollution-Pilot-Study-Summary-Report-Fall-2019-web-Final.pdf].
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) (1984). « *Health Assessment Document for Manganese* », United States Environmental Protection Agency, (Report No. EPA-600/8-83-013F).
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) (2003). « *Toxicological Review of Hydrogen Sulfide* », Integrated Risk Information System – United States Environmental Protection Agency, [En ligne]. [https://cfpub.epa.gov/ncea/iris/iris_documents/documents/toxreviews/0061tr.pdf].
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) (2011). « *Black carbon research and future strategies* », United States Environmental Protection Agency, [En ligne]. [www.epa.gov/sites/default/files/2013-12/documents/black-carbon-fact-sheet_0.pdf].
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) (2016). « 40 CFR 50 - NATIONAL PRIMARY AND SECONDARY AMBIENT AIR QUALITY STANDARDS », United States Environmental Protection Agency - Subchapter C - AIR PROGRAMS (36 FR 22384).

- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) (2023a). « *Particle Pollution Exposure* », United States Environmental Protection Agency, [En ligne]. [www.epa.gov/pmcourse/particle-pollution-exposure].
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) (2023b). « *Health and Environmental Effects of Particulate Matter (PM)* », United States Environmental Protection Agency, [En ligne]. [www.epa.gov/pm-pollution/health-and-environmental-effects-particulate-matter-pm].
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) (2023c). « *Particle Pollution Exposure* », United States Environmental Protection Agency, [En ligne]. [www.epa.gov/pmcourse/particle-pollution-exposure].
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) (2023d). « *Basic Information about NO₂* », United States Environmental Protection Agency, [En ligne]. [www.epa.gov/no2-pollution/basic-information-about-no2#Effects].
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) (2023e). « *Sulfur Dioxide Basics* », United States Environmental Protection Agency, [En ligne]. [www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#effects].
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) (2023f). « *Basic Information about Carbon Monoxide (CO) Outdoor Air Pollution* », United States Environmental Protection Agency, [En ligne]. [www.epa.gov/co-pollution/basic-information-about-carbon-monoxide-co-outdoor-air-pollution#Effects].
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA) (2023g). « *Ecosystem Effects of Ozone* », United States Environmental Protection Agency, [En ligne]. [www.epa.gov/ozone-pollution/ecosystem-effects-ozone-pollution].
- VILLE DE MONTRÉAL (2023a). RSQA - *Bilans annuels de la qualité de l'air*, [En ligne]. [<https://donnees.montreal.ca/dataset/rsqa-bilans-annuels-qualite-air>].
- VILLE DE MONTRÉAL (2023b). *Indice de la qualité de l'air*, [En ligne]. [<https://vuesurlesdonnees.montreal.ca/pub/single/?appid=ad792c1a-d3aa-47ff-9cc3-35c11af83ea2&sheet=3c47ae81-622d-4096-84b3-8c1c435999b7&opt=ctxmenu,cursel>].
- WALSH, P. et J.F. BRIÈRE (2013). *Origine des concentrations élevées de nickel dans l'air ambiant à Limoilou*, Québec : ministère de l'Environnement, du Développement durable et de la Lutte contre les changements climatiques, [En ligne]. [www.environnement.gouv.qc.ca/air/ambiant/nickel-limoilou/concentrations-nickel-air-Limoilou.pdf].
- ZOTTER, P., H. HERICH, M. GYSEL, I. EL-HADDAD, Y. ZHANG, G. MOČNIK, C. HÜGLIN, U. BALTENSBERGER, S. SZIDAT et A. S. H. PRÉVÔT (2017). « *Evaluation of the absorption Ångström exponents for traffic and wood burning in the Aethalometer-based source apportionment using radiocarbon measurements of ambient aerosol* », *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 17(6), p. 4229- 4249.

Annexe A1. Répartition des stations du Réseau de surveillance de la qualité de l'air au Québec, par régions administratives – 2021

Station		Mesure en continu									Mesure séquentielle					Latitude	Longitude	IQA ¹	
Número	Nom	O ₃	PM _{2,5}	NO	NO ₂	SO ₂	CO	H ₂ S	BC	PM _{0,1}	PST	PM ₁₀	PM _{2,5}	Dichot	Métaux				COV
01 Bas-Saint-Laurent																			
01810	Auclair	x	x								x					x	47,733522	-68,706991	x
02 Saguenay-Lac-Saint-Jean																			
02016	Saguenay – Parc Powell	x				x						x					48,433895	-71,184586	x
02022	Saguenay – UQAC	x	x								x	x			x		48,41638889	-71,0525	x
02202	Saguenay – La Baie										x						48,340227	-70,881237	
02610	Rés. Faun. Ashuapmushuan – Pemonca	x	x														48,8097229	-72,7388916	x
03 Capitale-Nationale																			
03006	Québec – Vieux-Limoilou	x	x	x	x	x	x				x	x	x	x	x	x	46,8211	-71,2208	x
03011	Québec – Bibl. Monique-Corriveau										x						46,769977	-71,29475	
03020	Québec – Parc Victorin-Beaucage										x						46,813524	-71,266546	
03021	Québec – École Les Primevères	x	x	x	x					x							46,77416667	-71,36972222	x
03028	Québec – Collège St-Charles-Garnier	x	x	x	x					x							46,79472222	-71,24638889	x
03039	Québec – Charlesbourg	x	x														46,8615	-71,2572	x
03052	Québec – Henri IV	x	x	x	x	x	x			x					x		46,781331	-71,308711	x
03200	Deschambault	x	x														46,682381	-71,965895	x
04 Mauricie																			
04021	Trois-Rivières – École MEES	x	x			x		x									46,357211	-72,54612	x
04048	Trois-Rivières – Cap-de-la-Madeleine	x	x			x		x			x				x		46,3625	-72,51	x
04052	Trois-Rivières – Rés. Louis-Denoncourt										x				x		46,34	-72,54611111	
04130	Shawinigan – Saint-Marc	x	x			x											46,55444444	-72,73555556	x
04740	Charette	x	x														46,441525	-72,892414	x
04750	Lac-Édouard	x	x								x						47,64726	-72,290508	x
05 Estrie																			
05018	Sherbrooke – Parc Cambron	x	x								x				x		45,4125	-71,87444444	x
05211	Val-des-Sources – Bolduc										x						45,77511	-71,93746	
05810	La Patrie	x	x								x				x		45,373304	-71,250166	x

Station		Mesure en continu									Mesure séquentielle						Latitude	Longitude	IQA ¹
Numéro	Nom	O ₃	PM _{2,5}	NO	NO ₂	SO ₂	CO	H ₂ S	BC	PM _{0,1}	PST	PM ₁₀	PM _{2,5}	Dichot	Métaux	COV			
06 Montréal²																			
06003	Montréal – Saint-Jean-Baptiste	x	x	x	x	x		x			x	x			x		45,64083333 -73,49972222		
06006	Montréal – Anjou	x	x	x	x						x	x	x			x	45,60277778 -73,55833333		
06028	Montréal – Échangeur Décarie	x	x	x	x			x									45,5025 -73,66388889		
06030	Montréal – Caserne 17	x	x	x	x	x	x										45,593416 -73,637618		
06031	Montréal – St-Dominique	x	x	x	x	x	x									x	45,512217 -73,566938		
06054	Montréal – Hochelaga-Maisonneuve		x														45,53944444 -73,54083333		
06055	Montréal – Rivière-des-Prairies	x	x	x	x		x	x	x	x			x	x	x	x	45,65166667 -73,57333333		
06066	Montréal – Aéroport de Montréal 1	x	x	x	x		x									x	45,46805556 -73,74111111		
06081	Montréal – Saint-Joseph	x	x	x	x	x					x	x	x		x	x	45,54277778 -73,57166667		
06099	Montréal – Sainte-Anne-de-Bellevue	x	x	x	x	x					x	x			x	x	45,426542 -73,928929		
06103	Montréal – York/Roberval	x	x	x	x												45,46455833 -73,58275		
07 Outaouais																			
07002	Gatineau – Hull	x	x	x	x	x	x				x	x			x		45,43611111 -75,72333333		
07400	Parc de la Gatineau – La-Pêche	x	x								x						45,62222229 -76,01777649		
08 Abitibi-Témiscamingue																			
08006	Rouyn-Noranda – 250, 6 ^e Rue										x				x		48,25034 -79,014109		
08042	Rouyn-Noranda – Parc Tremblay	x	x			x											48,234092 -78,982753		
08044	Rouyn-Noranda – Mgr Rhéaume Est					x											48,235738 -79,019808		
08045	Rouyn-Noranda – École Murdoch														x		48,246126 -79,013348		
08049	Rouyn-Noranda – Centre polymétier										x				x		48,24494 -79,023149		
08401	Témiscaming	x	x			x					x						46,721691 -79,099003		
08450	Senneterre	x	x														48,4317 -77,1967		
10 Nord-du-Québec																			
10200	Radisson	x	x								x				x		53,692071 -77,741918		
12 Chaudière-Appalaches																			
03062	Lévis – Parc George-Maranda	x	x	x	x	x											46,806029 -71,167506		
03123	Thetford Mines – École Saint-Noël										x						46,10361111 -71,28666667		
03720	Notre-Dame-du-Rosaire	x	x								x						46,84916667 -70,45388889		
03730	Saint-Hilaire-de-Dorset	x	x								x						45,82482 -70,85644		

Station		Mesure en continu								Mesure séquentielle					Latitude	Longitude	IQA ¹		
Numéro	Nom	O ₃	PM _{2,5}	NO	NO ₂	SO ₂	CO	H ₂ S	BC	PM _{0,1}	PST	PM ₁₀	PM _{2,5}	Dichot				Métaux	COV
13 Laval																			
06205	Laval – Chomedey	x	x	x	x		x										45,5475	-73,748333	x
14 Lanaudière																			
06300	Terrebonne - Parc Vaillant	x	x	x	x								x				45,704754	-73,657777	x
06355	Joliette – Graymont										x				x		46,01111111	-73,45444444	
15 Laurentides																			
06329	Saint-Jérôme – Rés. Marie-Lucie										x				x		45,776125	-74,009531	
06501	Saint-Faustin – Lac-Carré	x	x								x						46,03499985	-74,48083496	x
07200	Mont-St-Michel	x	x								x				x		46,7687	-75,4326	x
16 Montérégie																			
06600	Longueuil	x	x	x	x												45,522068	-73,488099	x
06603	Brossard – Parc Sorbonne	x	x	x	x	x										x	45,448663	-73,480819	x
06620	Saint-Jean-sur-Richelieu – L'Acadie	x	x	x	x								x				45,29416667	-73,34888889	x
06641	Saint-Simon	x	x								x						45,715539	-72,840411	x
06678	Saint-Joseph-de-Sorel – École Martel															x	46,044796	-73,129868	x
06804	Saint-Anicet	x	x	x	x	x	x						x	x	x	x	45,12055556	-74,28944444	x
17 Centre-du-Québec																			
04203	Drummondville - Stade Jacques-Desautels	x	x	x	x						x						45,871301	-72,503182	x
04504	Bécancour		x				x					x					46,348525	-72,432152	x
04711	Saint-Zéphirin-de-Courval	x	x								x	x			x		46,042277	-72,660133	x
04730	Tingwick	x	x														45,90583333	-71,94888889	x

Nombre de stations par paramètre	48	49	23	23	19	10	4	4	3	33	10	7	3	19	9
Nombre total de stations	63														

¹ IQA : station utilisée pour l'indice de la qualité de l'air

² Réseau exploité par la Ville de Montréal

Annexe A2. Statistiques annuelles des particules en suspension totales – 2021*

Numéro – Nom de station	N ¹	Concentration moyenne	Écart-type	Min	Centiles									Max
					5 ^e	10 ^e	25 ^e	50 ^e	75 ^e	90 ^e	95 ^e	98 ^e	99 ^e	
01810 - Auclair	52	10,04	9,81	0,5	1	2	3	8	14	20	22,9	44,58	46,96	49
02022 - Saguenay - UQAC	49	26,71	32,3	4	6,4	7	11	18	26	47,2	67,6	110,9	157,4	204
02202 - Saguenay - La Baie	49	24,67	20,9	7	8,4	10,6	13	19	31	37,6	44,4	65,28	104,6	144
03006 - Québec - Vieux-Limoilou	60	53,53	33,7	15	17	19,9	27	42,5	71	91,3	107,7	144,7	156,7	172
03011 - Québec - Bibl. Monique-Corriveau	57	30,76	17,3	0,5	9,2	13	19	28	38	56,4	65,2	72,16	73,88	75
03020 - Québec - Parc Victorin-Beaucage	53	44,68	32,9	3	14,2	16,8	26	38	51	76,2	105,2	147,4	167,7	188
03052 - Québec - Henri IV	53	95,38	78	21	33	34,4	47	75	99	163,2	278,8	292,8	366,9	447
03123 - Thetford Mines - École Saint-Noël	60	30,23	20,4	3	7,95	11,7	15,75	26,5	38,25	50	54,55	93,7	107,4	118
03720 - Notre-Dame-du-Rosaire	53	11,67	10,6	0,5	1	2	3	10	17	22	26,8	28,96	43,88	60
03730 - Saint-Hilaire-de-Dorset	43	13,95	11	0,5	2	2,2	6	12	19,5	28,4	31,9	38,4	44,7	51
04048 - Trois-Rivières - Cap-de-la-Madeleine	57	35,11	21,9	8	13	15	19	26	48	64,4	71,8	91,88	99,04	108
04052 - Trois-Rivières - Rés. Louis-Denoncourt	46	46,35	24	10	16,5	22	29	41	63,75	72	85,25	97,4	108,2	119
04203 - Drummondville - Stade Jacques-Desautels	59	34,39	20,7	7	11,7	13,8	19	31	42,5	63,2	73,4	95,48	99,42	100
04711 - Saint-Zéphirin-de-Courval	53	18,91	13,1	4	5	5	10	16	24	34	42,6	56,76	58,92	61
04750 - Lac-Édouard	45	10,61	8,03	0,5	3	3	4	8	16	18,8	22,8	32,08	36,04	40
05018 - Sherbrooke - Parc Cambron	60	35,88	31,8	4	7,9	8	19	28	42,25	60,4	88,8	154,2	164,7	170
05211 - Val-des-Sources - Bolduc	40	24,98	18,1	2	4,9	9,9	12,75	19,5	30,25	45,1	55,6	72,72	82,86	93
05810 - La Patrie	49	15,67	9,23	6	7	8	10	13	19	23	24,6	43,64	51,32	59
06003 - Montréal - Saint-Jean-Baptiste	82	34,41	19,5	5,6	11,15	13,99	19,76	29,93	44,79	63,09	72,51	83,12	91,8	93,25
06006 - Montréal - Anjou	55	64,78	35,0	14,4	26,36	28,38	36,41	58,01	79,28	114,2	135,0	147,6	160,4	175,0
06081 - Montréal - Saint-Joseph	91	38,39	23,9	3,0	9,40	13,07	22,23	32,38	50,08	71,13	78,35	99,01	105,3	142,4
06099 - Montréal - Sainte-Anne-de-bellevue	88	22,16	15,3	2,5	4,04	7,48	12,17	17,64	26,26	47,38	55,06	60,87	65,11	70,34
06329 - Saint-Jérôme - Rés. Marie-Lucie	58	38,41	29,7	4	11	16,8	22,25	29	44	66,5	91,2	133,9	152,9	174
06355 - Joliette - Graymont	52	47,44	28	5	18	22,2	31	40,5	59	74,2	97,15	112,8	140	168
06501 - Saint-Faustin-Lac-Carré	48	13,96	13,5	0,5	1,35	2	4	12,5	19	26,6	29,95	46,92	61,96	77
06641 - Saint-Simon	52	22,94	12,3	5	7,1	9	15	22	27,25	37,9	41,45	44,94	58,72	73
07002 - Gatineau - Hull	50	31,98	16	10	14,45	17	21,25	28,5	40,75	49,3	57,65	61,84	82,42	103
07200 - Mont-St-Michel	58	13,89	13,3	0,5	0,925	1	6	10	20	26,3	31,15	34,58	56,93	86
07400 - Parc de la Gatineau - La-Pêche	50	14,95	9,51	0,5	2,9	5	7,25	12	22,75	27,2	30,65	32,24	38,12	44
08006 - Rouyn-Noranda - 250, 6e Rue	108	40,74	42,7	0,5	4	6,7	16	28	51,5	83	113	162,6	211,5	272
08045 - Rouyn-Noranda - École Murdoch	90	19,08	15	0,5	4	5	9	16,5	26	33,1	43,4	61,42	71,87	87
08049 - Rouyn-Noranda - Centre polymétier	113	17,93	13,5	0,5	2,6	4	8	15	24	32,8	47,2	55,04	60,4	68
10200 - Radisson	40	6,38	4,09	0,5	1,925	2	4	6	8	9,1	16	17,1	19,05	21

*Notes : Les concentrations du tableau sont exprimées en microgramme par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

Les données valides historiques sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset?organization=&q=rsqag>;

¹ n : nombre de mesures quotidiennes; Min : concentration minimale; 5^e, 10^e, 25^e, 50^e, 75^e, 90^e, 95^e, 98^e et 99^e : centiles des concentrations quotidiennes; Max : concentration maximale

Annexe A3. Statistiques annuelles des particules respirables – 2021*

Numéro - Nom de station	N ¹	Concentration moyenne	Écart-type	Min	Centiles									Max
					5 ^e	10 ^e	25 ^e	50 ^e	75 ^e	90 ^e	95 ^e	98 ^e	99 ^e	
02016 - Saguenay - Parc Powell	38	26,01	17,41	0,5	8,55	9	14	22	32,5	46,8	60,25	74,82	77,41	80
02022 - Saguenay - UQAC	45	16,66	18,14	0,5	2,2	3	6	13	19	29,2	37,2	72,56	89,28	106
03006 - Québec - Vieux-Limoilou	130	23,04	11,73	4	9	11	15	22	29	36	40,65	53,36	60,84	88
04504 - Bécancour	56	18,88	11,51	6	8,75	10	11	17	23,25	26,5	32,25	40,2	60,35	84
04711 - Saint-Zéphirin-de-Courval	53	12,00	6,84	1	2,6	4	7	12	16	21,8	23,8	25	27,4	30
06003 - Montréal - Saint-Jean-Baptiste	88	15,13	8,9	1,2	3,8	5,76	9,35	13,90	19,74	24,53	31,09	40,47	43,69	48,35
06006 - Montréal - Anjou	56	20,93	12,1	2	4,4	7,19	13,50	19,46	25,24	36,09	41,50	51,74	57,79	63,95
06081 - Montréal - Saint-Joseph	89	14,77	9,4	0	3,2	5,27	8,82	13,73	17,65	24,85	29,19	36,77	43,72	61,18
06099 - Montréal - Sainte-Anne-de-Bellevue	85	10,69	7,9	0,06	0,6	1,87	5,43	9,04	15,56	20,31	25,28	28,07	31,76	44,12
07002 - Gatineau - Hull	45	17,07	9,26	2	7	8,4	12	16	21	22,6	26,4	36,6	49,8	63

*Notes : Les concentrations du tableau sont exprimées en microgramme par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

Les données valides historiques sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset?organization=&q=rsqag>;

¹n : nombre de mesures quotidiennes; Min : concentration minimale; 5^e, 10^e, 25^e, 50^e, 75^e, 90^e, 95^e, 98^e et 99^e : centiles des concentrations quotidiennes; Max : concentration maximale

Annexe A4. Statistiques annuelles des particules fines – 2021*

Numéro - Nom de station	N ¹	Concentration moyenne	Écart-type	Min	Centiles									Max
					5 ^e	10 ^e	25 ^e	50 ^e	75 ^e	90 ^e	95 ^e	98 ^e	99 ^e	
01810 - Auclair	8740	4,46	3,71	0,077	0,891	1,289	2,276	3,681	5,335	8,395	10,55	13,32	19,81	64,39
02022 - Saguenay - UQAC	8356	6,14	5,21	0,195	1,317	1,925	3,158	4,733	7,367	11,63	15,4	21,34	27,67	55,74
02610 - Rés. F. Ashuapmushuan - Pemonca	8297	4,51	5,35	0,078	0,627	0,912	1,685	3,254	5,439	8,559	11,51	19,69	32,78	71,3
03006 - Québec - Vieux-Limoilou	8101	8,70	7,33	0,581	2,427	3,071	4,351	6,537	10,54	16,5	22,37	30,81	36,89	104,8
03021 - Québec - École Les Primevères	8659	9,46	8,32	0,294	2,193	2,93	4,258	6,857	11,72	18,75	26,49	35,27	41,76	96,66
03028 - Québec - Collège St-Charles-Garnier	8555	8,38	6,9	0,316	2,356	3,025	4,156	6,254	10,17	15,89	21,51	30,74	36,5	80,11
03039 - Québec - Charlesbourg	8731	8,27	7,81	0,169	1,922	2,57	3,724	5,932	9,875	16,31	22,34	32,46	39,32	120,2
03052 - Québec - Henri IV	8726	9,38	7,65	0,644	2,624	3,249	4,465	6,946	11,72	18,03	23,94	32,61	39,19	91,94
03062 - Lévis - Parc Georges Maranda	8661	7,35	5,93	0,425	2,008	2,6	3,657	5,556	9,095	13,95	17,99	25,57	31,2	78,22
03200 - Deschambault	8572	6,60	7,09	0,132	1,251	1,911	3,295	5,062	8,097	12,3	15,72	23,63	28,71	279,2
03720 - Notre-Dame-du-Rosaire	7738	5,22	4,78	0,082	1,176	1,654	2,772	3,994	6,039	9,756	13,02	17,65	28,58	70,47
03730 - Saint-Hilaire-de-Dorset	8707	5,06	4,45	0,157	1,331	1,827	2,924	4,01	5,919	9,17	11,63	14,72	20,1	103,4
04021 - Trois-Rivières - École MEES *	5295	7,47	6,33	0,334	1,933	2,509	3,582	5,525	9,135	14,62	19,64	27,02	31,24	95,1
04048 - Trois-Rivières - Cap-de-la-Madeleine	8725	9,11	7,89	0,398	2,117	2,839	4,03	6,482	11,51	18,55	25	32,5	38,45	105,3
04130 - Shawinigan - Saint-Marc	8013	7,60	6,29	0,431	1,746	2,302	3,54	5,707	9,717	14,8	19,62	26,12	32,57	75,94
04203 - Drummondville - Stade Jacques-Desautels	8752	7,92	6,39	0,482	2,234	2,95	4,079	6,067	9,637	14,5	19,78	28,64	33,71	103,3
04504 - Bécancour	8585	7,43	5,91	0	1	2	4	6	10	15	18	24	29	72
04711 - Saint-Zéphirin-de-Courval	8757	6,51	5,36	0,33	1,493	2,142	3,368	5,056	7,94	12,18	15,53	22,81	28,18	97,76
04730 - Tingwick	8613	6,22	5,03	0,4	1,744	2,465	3,528	4,965	7,324	11,32	13,99	20,08	25,86	108,1
04740 - Charette	8757	6,94	5,83	0,272	1,251	1,93	3,257	5,265	8,864	13,73	18,15	24,49	29,16	72,21
04750 - Lac-Édouard	7471	5,26	5,35	0,102	0,897	1,305	2,293	3,843	6,266	10,35	13,54	20,74	29,04	63,92
05018 - Sherbrooke - Parc Cambron	8745	7,79	6,24	0,568	2,509	3,215	4,27	6,052	9,281	13,89	18,02	26,04	34,31	112,6
05810 - La Patrie	8501	5,58	4,95	0,098	1,54	2,136	3,322	4,529	6,337	9,837	12,44	16,69	25,01	116,7
06003 - Montréal - Saint-Jean-Baptiste	8336	8,43	6,32	0	1,564	2,334	4,111	6,922	11,07	16,04	20,22	26,29	30,92	91,03
06006 - Montréal - Anjou	8601	7,63	5,73	0	1,68	2,223	3,717	6,274	9,904	14,59	17,94	23,57	27,87	98,64
06028 - Montréal - Échangeur Décarie	8507	9,08	7,37	0	1,5	2,19	4,224	7,235	11,83	17,99	22,38	29,4	34,69	183,9
06030 - Montréal - Caserne 17	8514	7,26	6,07	0	1,007	1,691	3,221	5,674	9,685	14,58	18,22	24,2	28,94	93,46
06031 - Montréal - St-Dominique	8666	6,76	5,05	0	1,525	1,999	3,317	5,625	8,666	12,93	15,97	21,05	25,32	71,12
06054 - Montréal - Hochelaga-Maisonneuve	8347	7,62	5,56	0,34	1,909	2,468	3,806	6,074	9,879	14,52	18,45	23,4	27,38	69,85

*Notes : Les concentrations du tableau sont exprimées en microgramme par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

Les données valides historiques sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset?organization=&q=rsgaq>;

Les stations identifiées par un astérisque (*) ne respectent pas le critère de complétude des données continues, soit un minimum de 75 % de données valides pour une année.

Les données des stations de la Ville de Montréal depuis 1990 sont disponibles à l'adresse suivante : <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/rsqa-polluants-gazeux>

¹ n : nombre de mesures horaires; Min : concentration minimale; 5^e, 10^e, 25^e, 50^e, 75^e, 90^e, 95^e, 98^e et 99^e : centiles des concentrations horaires; Max : concentration maximale

(Suite) Annexe A4. Statistiques annuelles des particules fines – 2021*

Numéro – Nom de station	N ¹	Concentration moyenne	Écart-type	Min	Centiles									Max
					5 ^e	10 ^e	25 ^e	50 ^e	75 ^e	90 ^e	95 ^e	98 ^e	99 ^e	
06055 - Montréal - Rivière-des-Prairies	8621	6,93	6,04	0	0,478	1,075	2,724	5,522	9,364	14,47	18,35	23,7	28,12	76,1
06066 - Montréal - Aéroport de Montréal 1	8705	6,54	5,75	0	1,144	1,551	2,754	4,974	8,264	13,38	17,4	23,59	28,46	71,15
06081 - Montréal - Saint-Joseph	8740	6,26	5,1	0	0,839	1,415	2,728	5,006	8,214	12,76	15,96	20,46	24,51	57,29
06099 - Montréal - Sainte-Anne-de-Bellevue	8678	6,60	5,72	0	1,075	1,613	2,747	5,095	8,505	13,32	17,06	23,44	27,77	73,3
06103 - Montréal - York/Roberval	8632	8,62	5,77	1,039	3,366	3,81	4,939	6,971	10,47	15,47	18,94	25,36	29,52	89,83
06205 - Laval - Chomedey	8736	8,03	6,12	0,384	2,39	3,05	4,208	6,21	9,713	15,5	19,59	25,88	32,4	82,28
06300 - Terrebonne - Parc Vaillant	8431	8,84	7,7	0,255	2,275	3,002	4,17	6,409	10,72	17,63	23,03	31,8	39,69	91,41
06501 - Saint-Faustin-Lac-Carré	8693	5,69	5,2	0,29	1,163	1,657	2,835	4,396	6,865	10,94	14,2	19,89	25,38	67,09
06600 - Longueuil	8736	7,65	5,58	0,452	2,393	3,107	4,115	6,041	9,454	14,11	17,53	23,94	29,73	84,85
06603 - Brossard - Parc Sorbonne	8208	7,74	5,92	0,507	2,44	3,113	4,24	6,128	9,47	13,95	17,33	24,37	31,6	107,2
06620 - Saint-Jean-sur-Richelieu - L'Acadie	8748	6,61	5,12	0,405	2,044	2,649	3,7	5,28	7,897	11,77	14,87	21,44	26,53	111,4
06641 - Saint-Simon	7403	7,41	6,01	0,467	2,069	2,758	3,854	5,76	8,967	13,57	17,88	26,33	32,9	107,1
06804 - Saint-Anicet	8655	6,73	5,71	0,357	1,737	2,377	3,658	5,218	8,06	11,99	15,73	23,85	29,78	76,37
07002 - Gatineau - Hull	8722	7,45	5,77	0,349	2,074	2,669	3,847	5,831	9,32	14,4	17,51	22,11	27,13	65,3
07200 - Mont-St-Michel	8706	5,32	5,42	0,183	0,817	1,23	2,398	4,04	6,482	9,885	13,09	18,76	33,2	71,91
07400 - Parc de la Gatineau - La-Pêche	8248	5,62	4,81	0,126	1,22	1,706	2,912	4,371	6,817	10,88	13,39	17,82	22,44	63,53
08042 - Rouyn-Noranda - Parc Tremblay	8754	6,89	8,94	0,125	1,354	1,854	3,041	4,659	7,407	12,26	19,72	35,39	46,03	249,8
08401 - Témiscaming	8609	9,37	10,1	0,216	1,596	2,242	3,561	6,047	11,7	19,92	27,07	39,93	48,42	177,8
08450 - Senneterre	8740	5,07	6,03	0,149	0,8	1,155	2,102	3,568	5,672	9,615	13,37	23,37	36,55	100,9
10200 - Radisson	8734	2,61	2,76	0,016	0,345	0,556	1,135	2,079	3,254	4,799	6,67	9,254	11,82	79,81

*Notes : Les concentrations du tableau sont exprimées en microgramme par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

Les données valides historiques sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset?organization=&q=rsqag>;

Les données des stations de la Ville de Montréal depuis 1990 sont disponibles à l'adresse suivante : <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/rsqa-polluants-gazeux>

Les stations identifiées par un astérisque (*) ne respectent pas le critère de complétude des données continues, soit un minimum de 75 % de données valides pour une année.

¹n : nombre de mesures horaires; Min : concentration minimale; 5^e, 10^e, 25^e, 50^e, 75^e, 90^e, 95^e, 98^e et 99^e : centiles des concentrations horaires; Max : concentration maximale

Annexe A5. Statistiques annuelles du carbone noir – 2021*

Numéro - Nom de station	n ¹	Concentration moyenne	Écart-type	Min	Centiles										Max
					5 ^e	10 ^e	25 ^e	50 ^e	75 ^e	90 ^e	95 ^e	98 ^e	99 ^e		
[BC]_{bb}															
03021 - Québec - École Les Primevères	8645	0,30	0,44	0	0,02	0,02	0,06	0,14	0,35	0,78	1,154	1,74	2,169	4,91	
03028 - Québec - Collège St-Charles-Garnier	8715	0,23	0,32	0	0,02	0,04	0,06	0,12	0,28	0,55	0,803	1,195	1,601	4,15	
03052 - Québec - Henri IV	8717	0,32	0,43	0	0,04	0,05	0,09	0,19	0,38	0,69	1,01	1,588	2,164	6,76	
06055 - Montréal - Rivière-des-Prairies	6394	0,24	0,27	0	0,03	0,04	0,08	0,15	0,29	0,54	0,77	1,034	1,288	3,31	
[BC]_{fr}															
03021 - Québec - École Les Primevères	8645	0,11	0,16	0	0	0	0,02	0,06	0,15	0,31	0,43	0,60	0,76	1,67	
03028 - Québec - Collège St-Charles-Garnier	8715	0,15	0,19	0	0	0,01	0,04	0,08	0,19	0,36	0,50	0,72	0,90	2,63	
03052 - Québec - Henri IV	8717	0,37	0,42	0	0,02	0,04	0,09	0,23	0,51	0,89	1,21	1,57	1,85	7,61	
06055 - Montréal - Rivière-des-Prairies	6394	0,17	0,2	0	0	0,02	0,05	0,11	0,23	0,39	0,55	0,78	0,99	2,07	
[BC]_{total}²															
03021 - Québec - École Les Primevères	8650	0,42	0,49	0,00	0,04	0,06	0,11	0,25	0,53	0,98	1,37	1,97	2,44	5,46	
03028 - Québec - Collège St-Charles-Garnier	8716	0,38	0,42	0,00	0,05	0,07	0,12	0,24	0,48	0,85	1,18	1,62	2,03	5,74	
03052 - Québec - Henri IV	8717	0,69	0,65	0,02	0,09	0,12	0,24	0,49	0,92	1,52	1,95	2,49	3,02	9,66	
06055 - Montréal - Rivière-des-Prairies	6404	0,40	0,38	0,00	0,06	0,09	0,15	0,28	0,52	0,87	1,14	1,55	1,86	3,27	

*Notes : Les concentrations du tableau sont exprimées en microgramme par mètre cube ($\mu\text{g}/\text{m}^3$);

Les données valides historiques sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset?organization=&q=rsgag>;

Les stations identifiées par un astérisque (*) ne respectent pas le critère de complétude des données continues, soit un minimum de 75 % de données valides pour une année.

¹n : nombre de mesures horaires; Min : concentration minimale; 5^e, 10^e, 25^e, 50^e, 75^e, 90^e, 95^e, 98^e et 99^e : centiles des concentrations horaires; Max : concentration maximale

²Concentration basée sur la mesure de la longueur d'onde à 880 nm

Annexe A6. Statistiques annuelles des particules ultrafines – 2021*

Numéro - Nom de station	n ¹	Concentration moyenne	Écart-type	Min	Centiles									Max
					5 ^e	10 ^e	25 ^e	50 ^e	75 ^e	90 ^e	95 ^e	98 ^e	99 ^e	
03028 - Québec - Collège St-Charles-Garnier	7123	6,84	5,66	0,32	1,44	1,95	3,08	5,11	8,81	13,94	17,72	23,43	28,88	51,49
03052 - Québec - Henri IV	8041	13,41	14,35	0,24	1,62	2,23	4,02	8,62	17,49	30,78	41,20	55,58	71,01	124,41
06055 - Montréal - Rivière-des-Prairies	7512	7,63	5,71	0,21	1,44	2,18	3,73	6,17	10,14	14,69	18,23	23,11	27,28	69,39

*Notes : Les concentrations du tableau sont exprimées en millier de particules par centimètre cube (k part./cm³);

Les données valides historiques sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset?organization=&q=rsgaq>;

Les stations identifiées par un astérisque (*) ne respectent pas le critère de complétude des données continues, soit un minimum de 75 % de données valides pour une année.

¹n : nombre de mesures horaires; Min : concentration minimale; 5^e, 10^e, 25^e, 50^e, 75^e, 90^e, 95^e, 98^e et 99^e : centiles des concentrations horaires; Max : concentration maximale

Annexe A7. Statistiques annuelles de dioxyde d'azote – 2021*

Numéro - Nom de station	n ¹	Concentration moyenne	Écart-type	Min	Centiles									Max
					5 ^e	10 ^e	25 ^e	50 ^e	75 ^e	90 ^e	95 ^e	98 ^e	99 ^e	
03006 - Québec - Vieux-Limoilou	8582	6,93	6,96	0,03	0,88	1,25	2,31	4,70	9,18	14,90	20,27	29,21	35,31	69,45
03021 - Québec - École Les Primevères	8300	3,85	4,25	0,03	0,38	0,57	1,20	2,44	4,85	8,96	12,23	17,25	20,87	51,73
03028 - Québec - Collège St-Charles-Garnier	8684	4,86	5,29	0,07	0,78	1,05	1,70	3,07	5,89	10,69	15,21	22,06	26,61	51,38
03052 - Québec - Henri IV	7938	7,06	6,84	0,00	0,94	1,35	2,49	4,98	9,13	15,57	20,59	28,66	33,25	56,89
03062 - Lévis - Parc Georges Maranda	8265	4,11	3,95	0,03	0,70	0,97	1,57	2,81	5,09	9,14	12,22	16,45	19,73	37,63
04203 - Drummondville - Stade Jacques-Desautels	8742	3,55	3,71	0,11	0,61	0,83	1,42	2,41	4,23	7,34	10,40	15,50	19,60	42,18
06003 - Montréal - Saint-Jean-Baptiste	8603	7,31	6,20	0,12	1,29	1,79	3,14	5,47	9,46	15,05	19,58	26,12	31,61	44,76
06006 - Montréal - Anjou	8482	9,71	7,04	0,50	2,17	2,82	4,57	7,89	12,90	19,15	23,49	30,26	34,93	47,75
06028 - Montréal - Échangeur Décarie	8553	11,61	8,07	0,00	2,34	3,22	5,68	9,75	15,39	22,90	27,97	33,73	38,11	51,62
06030 - Montréal - Caserne 17	8173	7,85	6,68	0,31	1,85	2,36	3,38	5,60	10,02	16,47	21,58	28,78	33,66	54,16
06031 - Montréal - St-Dominique	8616	9,75	6,71	0,82	2,72	3,38	4,96	7,87	12,65	18,51	22,73	28,71	34,49	53,05
06055 - Montréal - Rivière-des-Prairies	8623	5,57	5,93	0,13	0,81	1,06	1,87	3,50	6,95	12,49	17,17	24,81	30,30	48,07
06066 - Montréal - Aéroport de Montréal 1	8420	7,24	7,33	0,00	0,87	1,26	2,40	4,71	9,35	17,18	22,56	29,44	34,80	58,77
06081 - Montréal - Saint-Joseph	8616	8,14	6,20	0,77	2,00	2,50	3,83	6,20	10,55	16,41	20,51	26,24	30,82	47,91
06099 - Montréal - Sainte-Anne-de-Bellevue	8566	4,38	5,10	0,00	0,00	0,15	0,99	2,74	5,83	10,53	14,67	21,00	24,84	44,05
06103 - Montréal - York/Roberval	8672	8,82	6,97	0,91	2,12	2,61	4,01	6,65	11,23	18,28	23,60	30,28	34,26	44,57
06205 - Laval - Chomedey	8741	6,03	6,52	0,14	0,84	1,14	1,94	3,67	7,55	14,05	19,27	26,55	33,18	52,59
06300 - Terrebonne - Parc Vaillant	8687	4,69	5,16	0,05	0,56	0,79	1,50	2,96	5,93	10,63	14,15	20,74	26,60	50,58
06600 - Longueuil	8185	6,10	5,64	0,23	1,22	1,56	2,43	4,34	7,70	12,68	16,99	23,50	30,72	46,27
06603 - Brossard - Parc Sorbonne	8718	4,89	4,71	0,01	0,94	1,24	1,93	3,35	6,23	10,25	13,86	18,84	24,03	49,84
06620 - Saint-Jean-sur-Richelieu - L'Acadie	8542	2,79	2,65	0,01	0,51	0,71	1,17	1,97	3,44	5,75	7,63	11,08	13,94	30,20
06804 - Saint-Anicet	8637	2,14	2,54	0,02	0,32	0,47	0,80	1,40	2,50	4,32	6,54	10,24	13,09	29,78
07002 - Gatineau - Hull	8450	4,16	4,64	0,04	0,57	0,77	1,31	2,41	5,14	9,80	13,88	19,05	22,75	38,92

*Notes : Les concentrations du tableau sont exprimées en partie par milliard (ppb);

Les données valides historiques sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset?organization=&q=rsgag>;

Les données des stations de la Ville de Montréal depuis 1990 sont disponibles à l'adresse suivante : <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/rsqa-polluants-gazeux>

Les stations identifiées par un astérisque (*) ne respectent pas le critère de complétude des données continues, soit un minimum de 75 % de données valides pour une année.

¹n : nombre de mesures horaires; Min : concentration minimale; 5^e, 10^e, 25^e, 50^e, 75^e, 90^e, 95^e, 98^e et 99^e : centiles des concentrations horaires; Max : concentration maximale

Annexe A8. Statistiques annuelles de dioxyde de soufre – 2021*

Numéro - Nom de station	n ¹	Concentration moyenne	Écart-type	Min	Centiles									Max
					5 ^e	10 ^e	25 ^e	50 ^e	75 ^e	90 ^e	95 ^e	98 ^e	99 ^e	
02016 - Saguenay - Parc Powell	8587	4,93	11,49	0,03	0,08	0,10	0,16	0,59	3,08	14,24	29,50	46,85	58,03	184,35
03006 - Québec - Vieux-Limoilou	8686	0,20	0,46	0,00	0,02	0,03	0,04	0,08	0,19	0,45	0,73	1,20	1,79	16,91
03052 - Québec - Henri IV	8366	0,22	0,45	0,01	0,02	0,03	0,05	0,10	0,22	0,50	0,81	1,30	1,76	21,45
03062 - Lévis - Parc Georges Maranda	8680	0,21	0,49	0,00	0,02	0,02	0,03	0,07	0,21	0,49	0,78	1,26	1,76	18,38
04021 - Trois-Rivières - École MEES *	4648	0,35	0,89	0,01	0,03	0,04	0,07	0,14	0,31	0,73	1,15	2,24	3,58	24,59
04048 - Trois-Rivières - Cap-de-la-Madeleine	8699	0,56	1,37	0,003	0,02	0,04	0,07	0,19	0,49	1,27	2,35	4,29	5,88	36,09
04504 - Bécancour	8534	0,67	2,56	0,003	0,02	0,02	0,04	0,09	0,30	0,93	2,67	7,53	12,62	60,83
06003 - Montréal - Saint-Jean-Baptiste	8656	0,96	2,65	0,00	0,00	0,00	0,07	0,28	0,78	1,96	3,85	8,50	12,41	51,60
06006 - Montréal - Anjou	8607	0,35	1,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,26	0,69	1,58	3,43	5,23	22,62
06031 - Montréal - St-Dominique	8753	0,25	0,67	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,21	0,65	1,17	2,15	3,11	11,19
06081 - Montréal - Saint-Joseph	8750	0,22	0,64	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,16	0,56	1,07	1,93	2,78	16,62
06099 - Montréal - Sainte-Anne-de-Bellevue	8740	0,27	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,23	0,70	1,28	2,29	3,14	12,92
06603 - Brossard - Parc Sorbonne	8455	0,20	0,40	0,003	0,02	0,02	0,04	0,09	0,19	0,44	0,75	1,32	1,92	8,11
06678 - Saint-Joseph-de-Sorel - École Martel	8101	1,22	5,72	0,01	0,06	0,08	0,11	0,20	0,52	1,44	3,68	12,22	25,20	199,22
06804 - Saint-Anicet	8467	0,27	0,92	0,000	0,01	0,02	0,03	0,07	0,16	0,44	0,97	2,40	4,16	22,03
07002 - Gatineau - Hull	8627	0,06	0,09	0,000	0,01	0,01	0,02	0,04	0,07	0,14	0,22	0,33	0,42	1,59
08042 - Rouyn-Noranda - Parc Tremblay	8744	1,79	6,84	0,00	0,05	0,07	0,11	0,21	0,49	2,26	8,97	23,83	36,18	161,37
08044 - Rouyn-Noranda - Mgr Rhéaume Est	7721	3,92	16,67	0,03	0,09	0,10	0,14	0,20	0,47	4,58	21,35	54,04	83,85	288,56
08401 - Témiscaming	8276	1,60	20,72	0,04	0,08	0,10	0,13	0,22	0,84	3,23	5,98	11,35	15,86	1832,30

*Notes : Les concentrations du tableau sont exprimées en partie par milliard (ppb);

Les données valides historiques sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset?organization=&q=rsgag>;

Les données des stations de la Ville de Montréal depuis 1990 sont disponibles à l'adresse suivante : <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/rsqa-polluants-gazeux>

Les stations identifiées par un astérisque (*) ne respectent pas le critère de complétude des données continues, soit un minimum de 75 % de données valides pour une année.

¹n : nombre de mesures horaires; Min : concentration minimale; 5^e, 10^e, 25^e, 50^e, 75^e, 90^e, 95^e, 98^e et 99^e : centiles des concentrations horaires; Max : concentration maximale

Annexe A9. Statistiques annuelles de monoxyde d'azote – 2021*

Numéro – Nom de station	n ¹	Concentration moyenne	Écart-type	Min	Centiles									Max
					5 ^e	10 ^e	25 ^e	50 ^e	75 ^e	90 ^e	95 ^e	98 ^e	99 ^e	
03006 - Québec - Vieux-Limoilou	8582	2,40	5,65	0,00	0,06	0,09	0,18	0,63	2,20	6,16	9,97	17,53	25,73	99,82
03021 - Québec - École Les Primevères	8300	0,70	2,01	0,00	0,03	0,05	0,08	0,17	0,51	1,39	2,76	6,15	9,59	45,03
03028 - Québec - Collège St-Charles-Garnier	8684	0,98	3,13	0,01	0,06	0,08	0,12	0,24	0,70	1,77	3,60	8,58	14,76	88,40
03052 - Québec - Henri IV	8013	6,91	10,09	0,01	0,16	0,29	0,78	3,12	9,03	17,97	25,39	37,66	48,01	118,37
03062 - Lévis - Parc Georges Maranda	8265	0,63	1,36	0,00	0,03	0,04	0,08	0,24	0,61	1,40	2,49	4,73	6,91	22,51
04203 - Drummondville - Stade Jacques-Desautels	8742	0,72	2,25	0,00	0,02	0,03	0,07	0,23	0,62	1,48	2,60	4,91	7,62	77,70
06003 - Montréal - Saint-Jean-Baptiste	8603	1,57	3,82	0,00	0,00	0,00	0,14	0,46	1,41	3,74	6,48	12,13	17,33	82,63
06006 - Montréal - Anjou	8482	4,19	7,92	0,00	0,00	0,04	0,44	1,55	4,45	10,67	16,45	28,81	41,32	126,28
06028 - Montréal - Échangeur Décarie	8553	7,58	11,75	0,00	0,03	0,32	1,13	3,43	9,34	19,21	27,48	42,42	59,34	160,29
06030 - Montréal - Caserne 17	8173	3,62	7,07	0,00	0,09	0,20	0,57	1,57	3,80	8,23	13,33	22,62	33,66	120,78
06031 - Montréal - St-Dominique	8616	2,70	5,46	0,00	0,00	0,00	0,31	1,18	2,87	6,24	10,02	17,61	24,76	114,93
06055 - Montréal - Rivière-des-Prairies	8623	0,93	3,34	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,53	1,96	4,01	9,37	15,67	95,38
06066 - Montréal - Aéroport de Montréal 1	8420	2,33	6,91	0,00	0,00	0,00	0,20	0,40	1,42	5,26	11,25	22,15	31,11	156,98
06081 - Montréal - Saint-Joseph	8616	2,66	4,68	0,00	0,06	0,20	0,75	1,08	2,60	6,70	10,66	16,29	22,05	87,43
06099 - Montréal - Sainte-Anne-de-Bellevue	8566	0,97	3,17	0,00	0,02	0,09	0,20	0,26	0,40	1,73	3,92	9,42	14,57	91,74
06103 - Montréal - York/Roberval	8672	3,19	6,75	0,00	0,00	0,02	0,25	0,95	3,15	8,11	13,38	23,67	34,35	121,50
06205 - Laval - Chomedey	8741	1,34	4,33	0,00	0,05	0,06	0,11	0,27	0,72	2,44	5,81	13,64	22,80	74,03
06300 - Terrebonne - Parc Vaillant	8687	1,02	2,84	0,00	0,02	0,03	0,08	0,26	0,84	2,23	3,98	8,44	13,32	73,07
06600 - Longueuil	8185	1,34	3,93	0,00	0,03	0,04	0,09	0,30	1,04	2,96	5,34	10,92	19,62	78,33
06603 - Brossard - Parc Sorbonne	8718	0,93	2,99	0,00	0,03	0,04	0,07	0,20	0,62	1,92	3,88	8,01	12,82	67,53
06620 - Saint-Jean-sur-Richelieu - L'Acadie	8542	0,62	2,61	0,00	0,02	0,03	0,05	0,14	0,46	1,11	2,05	4,27	7,56	86,34
06804 - Saint-Anicet	8637	0,70	3,73	0,00	0,02	0,03	0,05	0,11	0,34	0,93	2,00	5,76	11,05	100,93
07002 - Gatineau - Hull	8450	0,77	2,25	0,00	0,03	0,04	0,07	0,20	0,57	1,52	3,03	6,32	11,20	43,55

*Notes : Les concentrations du tableau sont exprimées en partie par milliard (ppb);

Les données valides historiques sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset?organization=&q=rsgag>;

Les données des stations de la Ville de Montréal depuis 1990 sont disponibles à l'adresse suivante : <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/rsqa-polluants-gazeux>

Les stations identifiées par un astérisque (*) ne respectent pas le critère de complétude des données continues, soit un minimum de 75 % de données valides pour une année.

¹n : nombre de mesures horaires; Min : concentration minimale; 5^e, 10^e, 25^e, 50^e, 75^e, 90^e, 95^e, 98^e et 99^e : centiles des concentrations horaires; Max : concentration maximale

Annexe A10. Statistiques annuelles de monoxyde de carbone – 2021*

Numéro - Nom de station	n ¹	Concentration moyenne	Écart-type	Min	Centiles									Max
					5 ^e	10 ^e	25 ^e	50 ^e	75 ^e	90 ^e	95 ^e	98 ^e	99 ^e	
03006 - Québec - Vieux-Limoilou	8175	0,20	0,09	0,08	0,12	0,13	0,15	0,18	0,22	0,30	0,37	0,47	0,55	1,79
03052 - Québec - Henri IV	8143	0,31	0,17	0,08	0,14	0,15	0,19	0,27	0,39	0,54	0,64	0,79	0,91	1,97
06028 - Montréal - Échangeur Décarie	8740	0,25	0,09	0,08	0,14	0,16	0,19	0,23	0,30	0,37	0,42	0,50	0,56	1,08
06030 - Montréal - Caserne 17	8716	0,22	0,09	0,08	0,13	0,14	0,16	0,19	0,24	0,31	0,37	0,46	0,55	1,37
06031 - Montréal - St-Dominique	8717	0,21	0,06	0,08	0,13	0,15	0,17	0,20	0,23	0,28	0,32	0,37	0,42	0,71
06055 - Montréal - Rivière-des-Prairies	8673	0,20	0,07	0,08	0,12	0,13	0,15	0,18	0,22	0,28	0,33	0,40	0,46	1,07
06066 - Montréal - Aéroport de Montréal 1	8731	0,19	0,06	0,08	0,12	0,13	0,15	0,17	0,21	0,26	0,31	0,37	0,40	0,69
06205 - Laval - Chomedey	8371	0,21	0,08	0,07	0,13	0,14	0,16	0,18	0,23	0,30	0,37	0,44	0,49	1,01
06804 - Saint-Anicet	7615	0,16	0,04	0,08	0,11	0,12	0,14	0,16	0,18	0,21	0,23	0,27	0,31	0,55
07002 - Gatineau - Hull	8185	0,19	0,06	0,08	0,12	0,13	0,15	0,17	0,21	0,27	0,31	0,39	0,43	0,73

*Notes : Les concentrations du tableau sont exprimées en partie par million (ppm);

Les données valides historiques sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset?organization=&q=rsqag>;

Les données des stations de la Ville de Montréal depuis 1990 sont disponibles à l'adresse suivante : <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/rsqa-polluants-gazeux>

Les stations identifiées par un astérisque (*) ne respectent pas le critère de complétude des données continues, soit un minimum de 75 % de données valides pour une année.

¹n : nombre de mesures horaires; Min : concentration minimale; 5^e, 10^e, 25^e, 50^e, 75^e, 90^e, 95^e, 98^e et 99^e : centiles des concentrations horaires; Max : concentration maximale

Annexe A11. Statistiques annuelles d'ozone – 2021*

Numéro - Nom de station	n ¹	Concentration moyenne	Écart-type	Min	Centiles									Max
					5 ^e	10 ^e	25 ^e	50 ^e	75 ^e	90 ^e	95 ^e	98 ^e	99 ^e	
01810 - Auclair	8573	28,38	9,93	1,87	11,49	14,65	21,19	28,94	35,59	40,51	43,00	47,38	51,28	72,80
02016 - Saguenay - Parc Powell	8723	25,28	10,50	0,60	6,70	10,81	17,64	26,13	33,00	37,84	41,20	44,85	48,04	60,61
02022 - Saguenay - UQAC	8732	25,45	10,32	0,58	7,83	11,25	17,93	26,04	33,03	38,19	41,28	45,09	47,87	61,04
02610 - Rés. F. Ashuapmushuan - Pemonca	8355	27,70	10,55	0,60	9,40	13,05	20,30	28,68	34,98	40,25	44,23	49,37	52,11	68,33
03006 - Québec - Vieux-Limoilou	8406	23,86	11,06	0,58	5,30	8,82	15,62	24,27	31,96	37,49	40,33	45,51	50,26	74,45
03021 - Québec - École Les Primevères	8582	24,55	11,45	0,10	4,79	8,65	16,03	25,38	33,09	38,39	41,66	46,07	50,84	75,60
03028 - Québec - Collège St-Charles-Garnier	8744	26,37	10,67	0,15	7,96	11,94	19,22	27,36	33,65	38,61	42,34	48,26	52,70	79,09
03039 - Québec - Charlesbourg	8720	27,00	10,34	1,24	9,44	12,88	19,48	27,89	34,31	39,35	42,10	47,42	51,78	77,16
03052 - Québec - Henri IV	8736	22,76	10,21	0,42	4,75	8,46	15,10	23,53	30,40	35,31	37,88	41,56	44,39	59,57
03062 - Lévis - Parc Georges Maranda	8668	27,57	10,12	1,30	10,51	14,02	20,58	28,08	34,82	39,81	42,83	46,85	50,91	75,53
03200 - Deschambault	8554	23,93	12,44	0,06	1,97	5,42	14,78	25,01	33,24	38,94	42,41	46,95	51,63	75,56
03720 - Notre-Dame-du-Rosaire *	4238	29,40	9,21	2,03	12,61	16,86	23,64	29,95	35,52	40,84	43,02	47,69	50,21	58,50
03730 - Saint-Hilaire-de-Dorset	8617	32,52	9,31	6,37	16,83	20,24	26,74	32,38	38,10	44,14	47,99	53,68	57,76	73,44
04021 - Trois-Rivières - École MEES *	5279	29,00	10,66	0,22	10,99	14,47	21,81	29,85	35,99	41,17	44,69	50,67	55,86	72,93
04048 - Trois-Rivières - Cap-de-la-Madeleine	8731	26,19	10,80	0,19	8,50	12,01	18,49	26,36	33,60	39,47	42,91	49,00	53,50	73,97
04130 - Shawinigan - Saint-Marc	8587	27,15	10,77	1,07	9,19	12,82	19,28	27,50	34,58	40,36	43,93	49,51	54,18	69,18
04203 - Drummondville - Stade Jacques-Desautels	8738	26,91	11,20	0,47	8,08	12,04	19,18	27,17	34,25	40,56	44,51	50,49	55,75	74,33
04711 - Saint-Zéphirin-de-Courval	8742	27,42	11,15	0,43	9,05	12,54	19,57	27,82	34,80	40,80	44,51	51,36	56,68	78,08
04730 - Tingwick	8621	31,16	9,83	3,49	15,20	18,37	24,29	31,19	37,51	43,03	47,16	52,91	57,48	76,95
04740 - Charette	8709	25,01	11,47	0,03	5,76	8,90	16,15	25,79	33,59	39,13	42,54	46,89	51,20	63,62
04750 - Lac-Édouard	7423	24,58	12,47	0,13	2,69	6,23	15,20	25,59	33,96	40,23	43,34	47,35	52,15	64,95
05018 - Sherbrooke - Parc Cambron	8596	27,62	11,21	0,66	8,69	12,38	19,76	28,15	35,33	41,15	45,23	50,82	55,32	69,29
05810 - La Patrie	8669	30,78	10,28	2,34	12,49	16,24	24,24	31,57	37,57	43,08	46,56	51,77	55,37	66,37
06003 - Montréal - Saint-Jean-Baptiste	8633	24,87	11,58	0,00	5,84	9,41	16,62	25,06	32,65	39,33	43,50	49,55	54,12	71,86
06006 - Montréal - Anjou	8446	22,54	11,65	0,00	3,11	7,08	14,09	22,41	30,41	37,31	41,83	48,15	52,32	69,73
06028 - Montréal - Échangeur Décarie	8674	20,97	11,01	0,00	2,49	5,78	12,90	20,95	28,84	34,79	38,41	43,80	47,90	64,19
06030 - Montréal - Caserne 17	8688	23,98	11,46	0,38	5,00	8,99	15,80	23,93	31,73	38,16	43,15	48,79	53,50	69,22
06031 - Montréal - St-Dominique	8722	24,58	11,55	0,00	6,08	9,86	16,73	24,15	31,72	39,34	44,24	51,20	55,49	71,44
06055 - Montréal - Rivière-des-Prairies	8649	25,20	11,25	0,00	5,90	10,15	17,28	25,68	32,82	38,71	43,32	48,79	53,42	67,48

*Notes : Les concentrations du tableau sont exprimées en partie par milliard (ppb);

Les données valides historiques sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset?organization=&q=rsqag>;

Les données des stations de la Ville de Montréal depuis 1990 sont disponibles à l'adresse suivante : <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/rsqa-polluants-gazeux>

Les stations identifiées par un astérisque (*) ne respectent pas le critère de complétude des données continues, soit un minimum de 75 % de données valides pour une année.

¹n : nombre de mesures horaires; Min : concentration minimale; 5^e, 10^e, 25^e, 50^e, 75^e, 90^e, 95^e, 98^e et 99^e : centiles des concentrations horaires; Max : concentration maximale

(Suite) Annexe A11. Statistiques annuelles d'ozone – 2021*

Numéro - Nom de station	n ¹	Concentration moyenne	Écart-type	Min	Centiles									Max
					5°	10°	25°	50°	75°	90°	95°	98°	99°	
06066 - Montréal - Aéroport de Montréal 1	8706	26,25	12,39	0,09	4,95	9,80	17,84	26,35	34,01	41,88	46,98	53,41	57,67	72,21
06081 - Montréal - Saint-Joseph	8687	24,38	11,36	0,00	5,60	9,58	16,46	24,36	31,76	38,46	43,18	49,02	53,64	70,35
06099 - Montréal - Sainte-Anne-de-Bellevue	8427	27,28	12,29	0,00	6,72	11,19	18,87	27,47	35,56	42,43	46,94	54,01	58,13	71,75
06103 - Montréal - York/Roberval	8683	23,12	11,86	0,00	3,57	7,28	14,62	23,22	30,82	38,19	42,72	49,39	53,58	67,82
06205 - Laval - Chomedey	8733	26,12	12,33	0,03	5,32	9,87	17,51	26,31	34,50	41,35	46,49	52,31	56,33	72,67
06300 - Terrebonne - Parc Vaillant	8681	26,63	11,72	0,63	7,58	11,25	18,31	26,70	34,55	41,01	45,49	52,23	57,26	72,06
06501 - Saint-Faustin-Lac-Carré	8630	30,18	9,77	2,96	13,85	17,30	23,40	30,47	36,48	41,96	46,14	51,54	55,48	70,03
06600 - Longueuil	8571	27,02	11,93	0,30	7,33	11,42	18,92	26,99	34,75	41,78	46,79	52,95	57,57	74,11
06603 - Brossard - Parc Sorbonne	8235	27,33	11,93	0,45	7,46	11,49	19,27	27,51	35,29	41,93	46,61	53,26	58,04	71,34
06620 - Saint-Jean-sur-Richelieu - L'Acadie	8670	27,67	11,85	0,05	7,34	11,52	19,72	28,02	35,88	42,10	46,02	52,11	56,62	73,36
06641 - Saint-Simon	8710	26,22	11,45	0,42	6,35	10,87	18,33	26,71	34,04	40,11	43,64	49,70	55,31	69,15
06804 - Saint-Anicet	8464	27,89	12,34	0,35	6,64	10,69	19,46	28,52	36,39	42,70	47,65	53,85	57,28	71,65
07002 - Gatineau - Hull	7976	26,76	11,81	0,65	7,25	11,29	18,20	26,86	34,83	41,64	46,01	51,29	56,93	72,32
07200 - Mont-St-Michel	8663	23,61	12,19	0,01	2,42	5,90	14,62	24,39	32,73	38,78	42,22	47,83	51,01	61,85
07400 - Parc de la Gatineau - La-Pêche	8301	26,94	12,25	0,10	6,07	10,36	18,41	27,46	35,32	42,33	46,47	52,72	57,08	71,49
08042 - Rouyn-Noranda - Parc Tremblay	8731	26,54	9,63	0,24	10,23	13,84	20,05	27,16	32,95	38,11	41,37	46,46	48,65	65,09
08401 - Témiscaming	8478	26,41	11,67	0,07	6,43	10,83	18,39	26,63	34,02	40,55	45,20	52,54	56,39	72,89
08450 - Senneterre	8714	26,95	10,97	0,23	7,65	11,95	19,31	27,67	34,53	40,49	44,07	49,14	52,73	65,29
10200 - Radisson	8651	28,84	8,21	1,53	14,71	17,48	22,96	30,13	34,70	38,26	40,57	44,18	47,06	57,98

Notes : Les concentrations du tableau sont exprimées en partie par milliard (ppb);

Les données valides historiques sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset?organization=&q=rsgaq>;

Les données des stations de la Ville de Montréal depuis 1990 sont disponibles à l'adresse suivante : <https://donnees.montreal.ca/ville-de-montreal/rsqa-polluants-gazeux>

Les stations identifiées par un astérisque (*) ne respectent pas le critère de complétude des données continues, soit un minimum de 75 % de données valides pour une année.

¹n : nombre de mesures horaires; Min : concentration minimale; 5°, 10°, 25°, 50°, 75°, 90°, 95°, 98° et 99° : centiles des concentrations horaires; Max : concentration maximale

Annexe A12. Statistiques annuelles du sulfure d'hydrogène – 2021*

Numéro - Nom de station	n ¹	Concentration moyenne	Écart-type	Min	Centiles									Max
					5 ^e	10 ^e	25 ^e	50 ^e	75 ^e	90 ^e	95 ^e	98 ^e	99 ^e	
04021 - Trois-Rivières - École MEES *	5237	0,20	0,13	0,03	0,09	0,10	0,13	0,17	0,24	0,34	0,42	0,54	0,65	2,46
04048 - Trois-Rivières - Cap-de-la-Madeleine	8595	0,49	0,78	0,01	0,09	0,10	0,14	0,23	0,48	1,20	1,80	2,66	3,58	16,27
06003 - Montréal - Saint-Jean-Baptiste	8245	0,38	0,37	0,00	0,00	0,00	0,05	0,32	0,58	0,84	1,03	1,27	1,46	5,64
06055 - Montréal - Rivière-des-Prairies	8480	0,23	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,39	0,55	0,67	0,93	1,18	4,62

*Notes : Les concentrations du tableau sont exprimées en partie par milliard (ppb);

Les données valides historiques sont disponibles à l'adresse suivante : <https://www.donneesquebec.ca/recherche/dataset?organization=&q=rsgaq>;

Les stations identifiées par un astérisque (*) ne respectent pas le critère de complétude des données continues, soit un minimum de 75 % de données valides pour une année.

¹n : nombre de mesures horaires; Min : concentration minimale; 5^e, 10^e, 25^e, 50^e, 75^e, 90^e, 95^e, 98^e et 99^e : centiles des concentrations horaires; Max : concentration maximale

Annexe A13. Dépassements des normes du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère*

Numéro	Nom station	NO ₂		SO ₂			CO		O ₃		PM _{2,5}	PST	H ₂ S		
		220 ppb (1 h)	110 ppb (24 h)	55 ppb (1 an)	400 ppb (4 min)**	110 ppb (24 h)	20 ppb (1 an)	30 ppm (1 h)	13 ppm (8h)	82 ppb (1 h)	64 ppb (8 h)	30 µg/m ³ (24 h)	120 µg/m ³ (24 h)	4,3 ppb (4 min)	1,4 ppb (1 an)
01810	Auclair									0	6	0	0		
02016	Saguenay - Parc Powell				0	0	0			0	0		0		
02022	Saguenay - UQAC									0	0	2	1		
02202	Saguenay - La Baie												1		
02610	Rés. F. Ashuapmushuan - Pemonca									0	0	3			
03006	Québec - Vieux-Limoilou	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5	3		
03011	Québec - Bibl. Monique-Corriveau												0		
03020	Québec - Parc Victorin-Beaucage												2		
03021	Québec - École Les Primevères	0	0	0						0	6	4			
03028	Québec - Collège St-Charles-Garnier	0	0	0						0	8	3	0		
03039	Québec - Charlesbourg									0	7	3			
03052	Québec - Henri IV	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	11		
03062	Lévis - Parc Georges Maranda	0	0	0	0	0	0			0	6	3			
03123	Thetford Mines - École Saint-Noël												0		
03200	Deschambault									0	6	3			
03720	Notre-Dame-du-Rosaire									0	0	3	0		
03730	Saint-Hilaire-de-Dorset									0	7	1	0		
04021	Trois-Rivières - École MEES *				0	0	0			0	10	0		0	0
04048	Trois-Rivières - Cap-de-la-Madeleine									0	10	2	0	1162	0
04052	Trois-Rivières - Rés. Louis-Denoncourt												0		
04130	Shawinigan - Saint-Marc									0	0	2			
04203	Drummondville - Stade Jacques-Desautels	0	0	0						0	14	1	0		
04504	Bécancour				0	0	0					0			
04711	Saint-Zéphirin-de-Courval									0	14	1	0		
04730	Tingwick									0	17	1			
04740	Charette									0	0	2			
04750	Lac-Édouard									0	0	4	0		
05018	Sherbrooke - Parc Cambron									0	6	1	3		
05211	Val-des-Sources - Bolduc												0		
05810	La Patrie									0	0	2	0		

* L'absence de valeurs signifie qu'aucun suivi n'a été effectué.

Numéro	Nom station	NO ₂				SO ₂		CO		O ₃		PM _{2,5}	PST	H ₂ S	
		220 ppb (1 h)	110 ppb (24 h)	55 ppb (1 an)	400 ppb (4 min)**	110 ppb (24 h)	20 ppb (1 an)	30 ppm (1 h)	13 ppm (8h)	82 ppb (1 h)	64 ppb (8 h)	30 µg/m ³ (24 h)	120 µg/m ³ (24 h)	4,3 ppb (4 min)	1,4 ppb (1 an)
06003	Montréal - Saint-Jean-Baptiste	0	0	0	0	0	0			0	7	1	0	0	0
06006	Montréal - Anjou	0	0	0	0	0	0			0	5	1	5		
06028	Montréal - Échangeur Décarie	0	0	0				0	0	0	0	2			
06030	Montréal - Caserne 17	0	0	0				0	0	0	4	0			
06031	Montréal - St-Dominique	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0			
06054	Montréal - Hochelaga-Maisonneuve										0	1			
06055	Montréal - Rivière-des-Prairies	0	0	0				0	0	0	3	0		0	0
06066	Montréal - Aéroport de Montréal 1	0	0	0				0	0	0	18	0			
06081	Montréal - Saint-Joseph	0	0	0	0	0	0			0	5	0	1		
06099	Montréal - Sainte-Anne-de-Bellevue	0	0	0	0	0	0			0	17	1	0		
06103	Montréal - York/Roberval	0	0	0						0	1	2	0		
06205	Laval - Chomedey	0	0	0				0	0	0	13	2			
06300	Terrebonne - Parc Vaillant	0	0	0						0	13	3			
06329	Saint-Jérôme - Rés. Marie-Lucie												2		
06355	Joliette - Graymont												1		
06501	Saint-Faustin-Lac-Carré									0	3	3	0		
06600	Longueuil	0	0	0						0	16	2			
06603	Brossard - Parc Sorbonne	0	0	0	0	0	0			0	16	2			
06620	Saint-Jean-sur-Richelieu - L'Acadie	0	0	0						0	14	2			
06641	Saint-Simon									0	8	2	0		
06678	Saint-Joseph-de-Sorel - École Martel				0	0	0								
06804	Saint-Anicet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13	2			
07002	Gatineau - Hull	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18	3	0		
07200	Mont-St-Michel									0	0	2	0		
07400	Parc de la Gatineau - La-Pêche									0	8	2	0		
08006	Rouyn-Noranda - 250, 6e Rue												5		
08042	Rouyn-Noranda - Parc Tremblay				0	0	0			0	0	4			
08044	Rouyn-Noranda - Mgr Rhéaume Est				19	0	0								
08045	Rouyn-Noranda - École Murdoch												0		
08049	Rouyn-Noranda - Centre polymétier												0		
08401	Témiscaming				8	0	0			0	13	10			
08450	Senneterre									0	0	3			
10200	Radisson									0	0	0	0		
	Total :	0	0	0	27	0	0	0	0	0	327	100	35	1162	0

* L'absence de valeurs signifie qu'aucun suivi n'a été effectué

** Comme la norme de 400 ppb du SO₂ a été dépassée moins de 0,5 % du temps en 2021, ces valeurs représentent les dépassements du seuil de 500 ppb.

Station	Sb	Ag*	As	Ba*	Be	Cd	Cr	Cu	Hg	Ni (PM ₁₀)	Pb	Tl	V	Zn
	0,17 µg/m ³ (1 an)	0,23 µg/m ³ (1 an)	0,003 µg/m ³ (1 an)	0,05 µg/m ³ (1 an)	0,0004 µg/m ³ (1 an)	0,0036 µg/m ³ (1 an)	0,1 µg/m ³ (1 an)	2,5 µg/m ³ (24 h)	0,005 µg/m ³ (1 an)	0,014 µg/m ³ (24 h)	0,1 µg/m ³ (1 an)	0,25 µg/m ³ (1 an)	1 µg/m ³ (1 an)	2,5 µg/m ³ (24 h)
01810 - Auclair	0	0	0	0	0	0	0	0	-		0	0	0	0
02022 - Saguenay - UQAC	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
03006 - Québec - Vieux-Limoilou	0		0	0	0	0	0	0	-	12	0	0	0	0
03052 - Québec - Henri IV	0	0	0	1	0	0	0	0	-		0	0	0	1
04048 - Trois-Rivières - Cap-de-la-Madeleine	0	0	0	0	0	0	0	0	-		0	0	0	0
04711 - Saint-Zéphirin-de-Courval	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
05810 - La Patrie	0	0	0	0	0	0	0	0	-		0	0	0	0
06329 - Saint-Jérôme - Rés. Marie-Lucie	0	0	0	0	0	0	0	0	-		0	0	0	0
07002 - Gatineau - Hull	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
07200 - Mont-St-Michel	0	0	0	0	0	0	0	0	-		0	0	0	0
08006 - Rouyn-Noranda - 250, 6e Rue	0	0	1	1	0	1	0	27	-		1	0	0	2
08045 - Rouyn-Noranda - École Murdoch	0	0	1	0	0	1	0	2	-		1	0	0	0
08049 - Rouyn-Noranda - Centre polymétier	0		1		0	0		1	-		0			
10200 - Radisson	0	0	0	0	0	0	0	0	-		0	0	0	0

Sauf en cas d'indication contraire, les normes du Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère prescrites pour les métaux s'appliquent dans les particules en suspension totales.

* Le RAA prescrit une norme sur les composés solubles d'argent, ainsi que les composés métalliques et solubles de baryum, tandis que la méthode d'échantillonnage et d'analyse des métaux au RSQAQ mesure les concentrations totales d'argent et de baryum.

Annexe A14. Pourcentage de détection des métaux

Métal	LD (µg/m ³)	01810 - Auclair		02022 - Saguenay – UQAC		03006 - Québec - Vieux-Limoilou		03052 - Québec - Henri IV		04048 - Trois-Rivières - Cap-de-la-Madeleine		04711 - Saint-Zéphirin-de-Courval		05810 - La Patrie		06329 - Saint-Jérôme - Rés. Marie-Lucie		06355 - Joliette - Graymont		07002 - Gatineau - Hull		07200 - Mont-St-Michel		08006 - Rouyn-Noranda - 250, 6e Rue		08045 - Rouyn-Noranda - École Murdoch		08049 - Rouyn-Noranda - Centre polymétier		10200 - Radisson	
		PST	PM ₁₀	PST	PM ₁₀	PST	PST	PST	PST	PST	PM ₁₀	PST	PST	PST	PST	PST	PM ₁₀	PST	PST	PST	PST	PST	PST	PST	PST	PST	PST	PST	PST	PST	PST
Aluminium	0,1	4%	62%	71%	74%	83%	98%	61%	22%	34%	16%	40%		42%	66%	30%	69%	40%												5%	
Antimoine	0,001	2%	18%	20%	37%	45%	81%	30%	0%	2%	8%	40%		33%	50%	0%	76%	47%											34%	0%	
Argent	0,001	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	25%	0%	72%	44%												0%	
Arsenic	0,001	0%	33%	35%	36%	50%	49%	60%	22%	23%	8%	58%		24%	32%	5%	99%	87%											72%	2%	
Baryum	0,001	38%	93%	98%	100%	100%	98%	98%	74%	89%	80%	100%		98%	100%	70%	100%	100%												15%	
Béryllium	0,0002	2%	0%	2%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	1%	0%											0%	0%	
Bismuth	0,005	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	57%	32%											19%	0%	
Bore	0,2	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		2%	0%	0%	0%	0%												0%	
Cadmium	0,0002	2%	27%	24%	45%	55%	30%	86%	20%	21%	10%	24%		22%	14%	15%	97%	83%											65%	0%	
Calcium	0,5	2%	33%	59%	76%	93%	98%	86%	13%	40%	18%	80%		100%	82%	100%	3%	31%												0%	
Chrome	0,003	0%	4%	2%	7%	12%	49%	7%	0%	4%	12%	2%		2%	4%	0%	47%	11%												0%	
Cobalt	0,0002	2%	18%	22%	46%	85%	91%	42%	6%	23%	20%	60%		9%	44%	13%	91%	64%												0%	
Cuivre	0,002	100%	100%	100%	100%	100%	98%	100%	100%	100%	100%	100%		98%	100%	98%	98%	99%											97%	100%	
Étain	0,003	0%	2%	0%	3%	7%	55%	0%	0%	0%	8%	0%		0%	0%	0%	76%	56%												0%	
Fer	0,1	15%	49%	67%	90%	97%	100%	84%	31%	57%	37%	100%		82%	94%	30%	92%	82%												5%	
Lithium	0,005	0%	0%	2%	0%	0%	2%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	1%	0%												0%	
Magnésium	0,2	0%	11%	12%	20%	100%	72%	25%	0%	17%	10%	100%		7%	54%	5%	42%	13%												2%	
Manganèse	0,002	35%	89%	96%	93%	100%	98%	98%	74%	85%	78%	100%		82%	96%	73%	93%	76%												5%	
Molybdène	0,001	0%	0%	0%	30%	0%	36%	11%	0%	0%	33%	20%		0%	30%	0%	70%	100%												0%	
Nickel	0,003	0%	2%	4%	21%	47%	21%	16%	0%	0%	0%	0%		0%	2%	0%		44%												0%	
Plomb	0,002	4%	0%	31%	56%	73%	60%	63%	41%	57%	18%	63%		24%	44%	12%	99%	89%											77%	0%	
Potassium	0,06	33%	62%	67%	100%	100%	98%	89%	52%	74%	43%	100%		62%	96%	68%	65%	31%												7%	
Sélénium	0,0005	4%	9%	8%	10%	12%	13%	16%	24%	28%	16%	20%		16%	18%	5%	95%	73%												56%	0%
Sodium	0,4	6%	40%	51%	30%	0%	45%	56%	4%	11%	10%	80%		16%	30%	3%	19%	16%												17%	
Strontium	0,06	0%	0%	0%	0%	50%	8%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%	0%												0%	
Tellure	0,005	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	40%	13%												6%	0%
Thallium	0,005	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%	0%													0%
Titane	0,005	2%	31%	51%	80%	100%	98%	65%	20%	32%	16%	60%		53%	88%	35%	54%	29%												2%	
Uranium	0,001	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%	0%												0%	
Vanadium	0,007	0%	0%	0%	1%	3%	6%	0%	0%	0%	0%	0%		0%	0%	0%	0%	0%												0%	
Zinc	0,06	0%	9%	14%	65%	85%	87%	28%	2%	4%	8%	5%		4%	16%	0%	69%	40%												26%	0%

Annexe B. Calcul des tendances

Les tendances sont évaluées à l'aide de la méthode de Theil-Sen (Sen, 1968), une méthode non paramétrique basée sur la pente médiane. Cette dernière étant moins sensible aux valeurs aberrantes que les méthodes de régression traditionnelles, elle permet une évaluation plus fiable de la tendance (MELCCFP, 2023i).

Les tendances lisses (*smooth trend*) sont évaluées en ajustant le tracé d'une ligne à travers les moyennes mensuelles, à l'aide du modèle additif généralisé contenu dans le progiciel (*package*) mgcv. Des bornes inférieures et supérieures de la tendance sont aussi calculées et représentent l'intervalle de confiance de 95 % pour l'ajustement.

Les analyses de tendance Theil-Sen et de tendance lisse ont été réalisées avec le logiciel R et le progiciel (*package*) Openair (Carslaw et Ropkins, 2012; Carslaw, 2019).

La statistique servant au calcul des tendances est la moyenne mensuelle, laquelle a été calculée en utilisant un critère de complétude de 75 % de données horaires valides dans le cas des contaminants mesurés en continu, tandis qu'aucun critère de complétude n'a été utilisé dans le cas des mesures séquentielles.

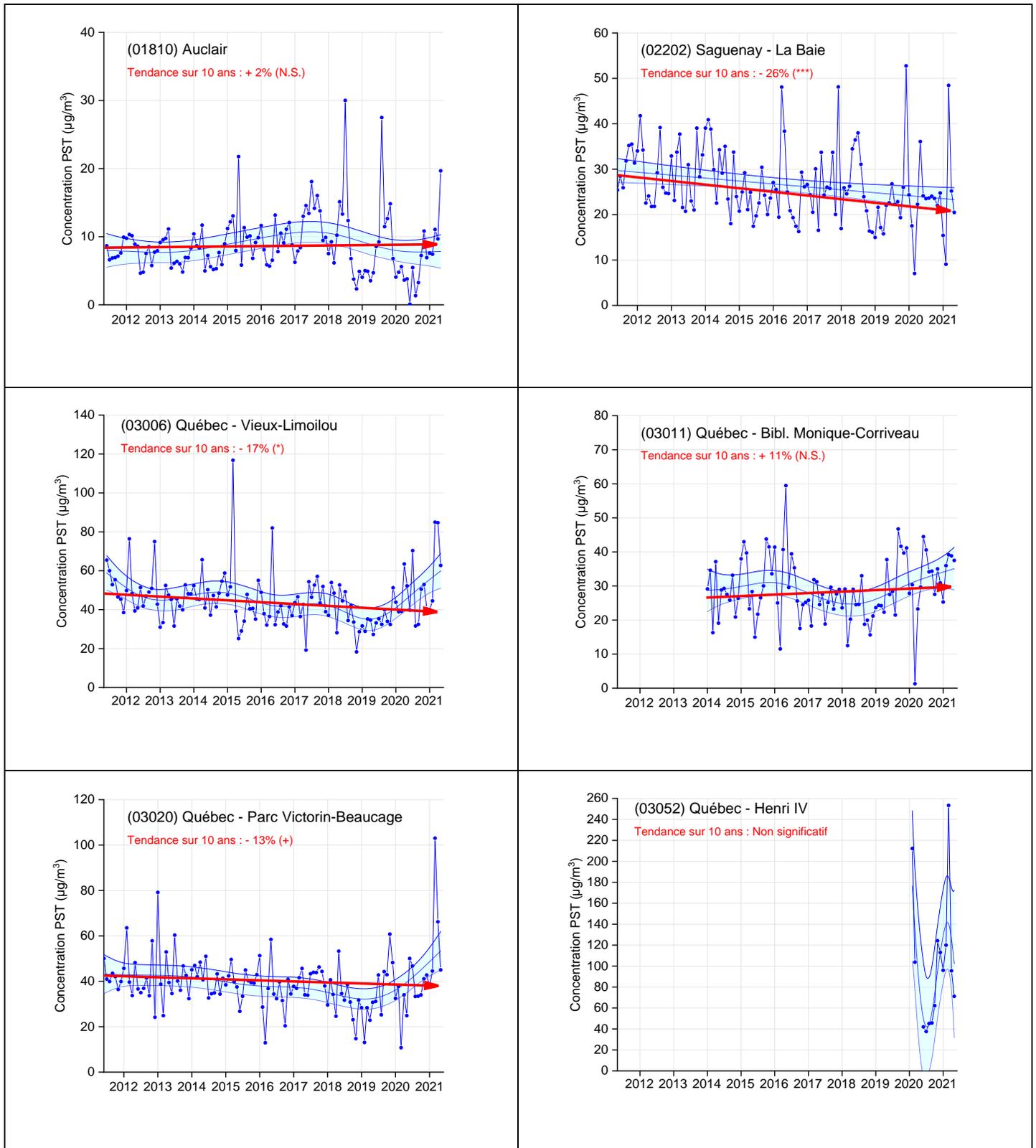
La probabilité (p), ou p-value, donne une indication sur le niveau de significativité de la tendance. D'une manière générale, les probabilités peuvent être interprétées de cette façon :

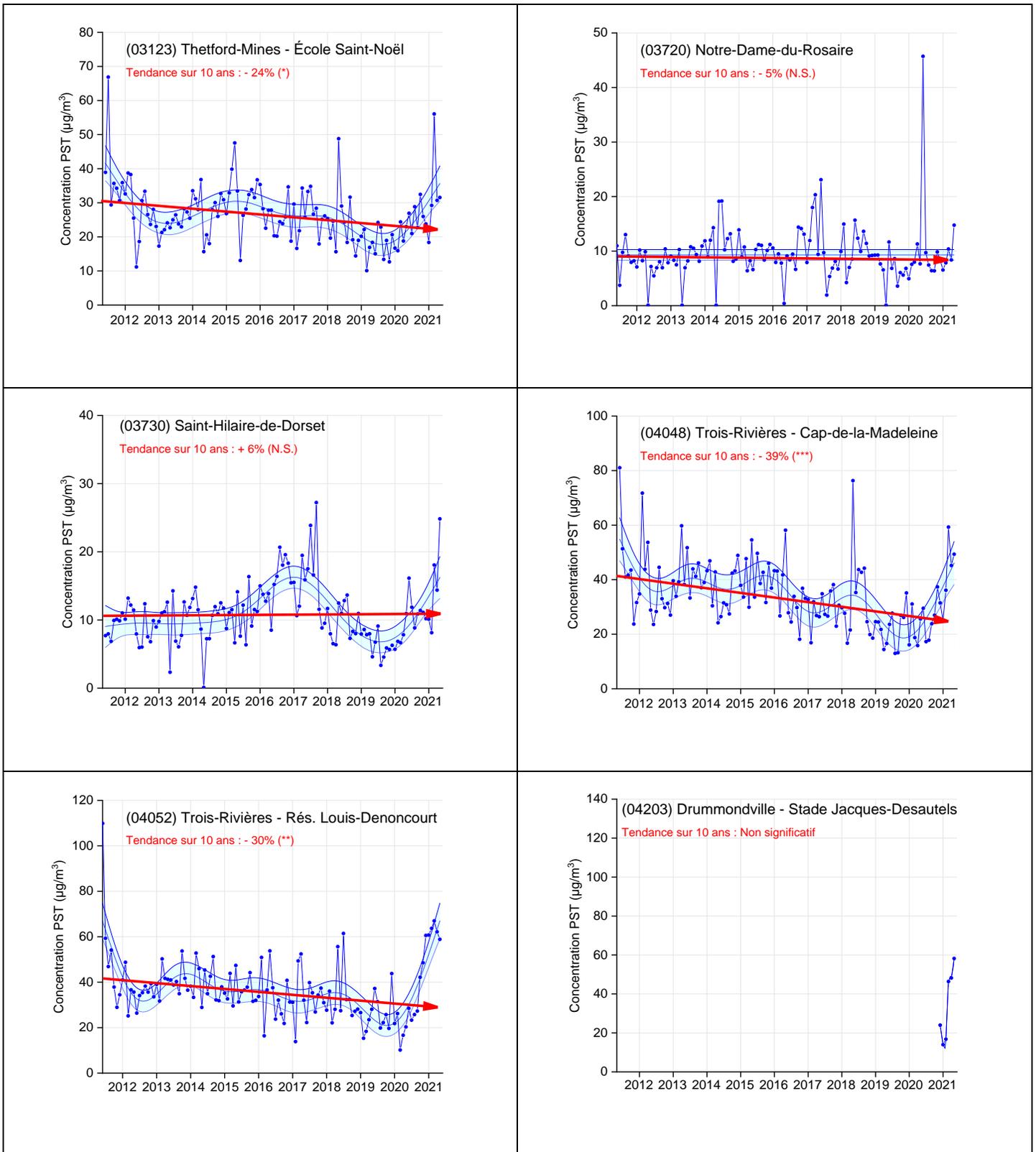
- Très significatif : *** = $p < 0,001$;
- Significatif : ** = $0,001 \leq p < 0,01$;
- Moyennement significatif : * = $0,01 \leq p < 0,05$;
- Peu significatif : + = $0,05 \leq p < 0,1$;
- Non significatif : N.S. = $p \geq 0,1$.

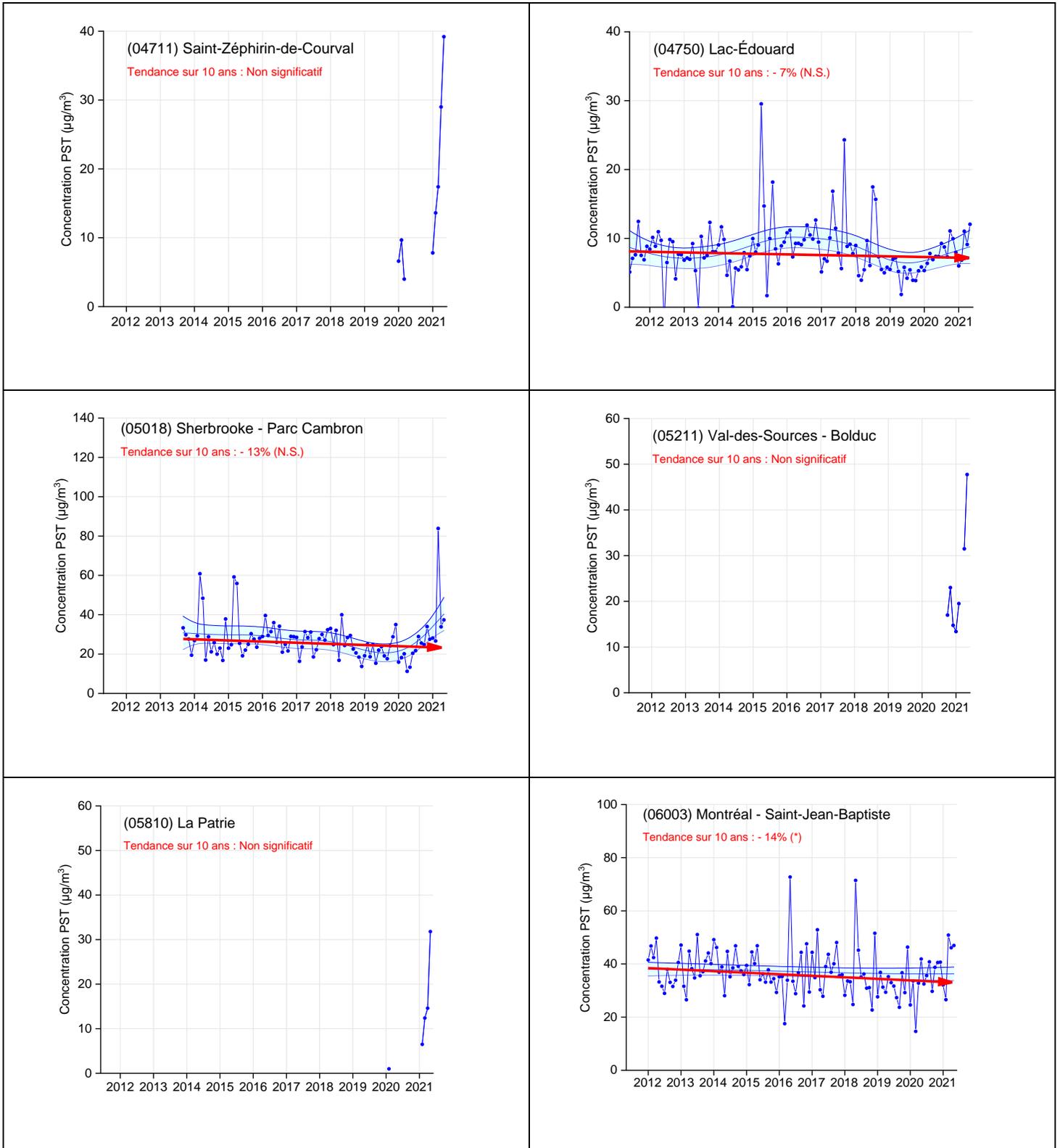
Les figures contenant les résultats des calculs des tendances Theil-Sen et lisses pour tous les contaminants sont présentées dans les annexes B1 à B10 suivantes.

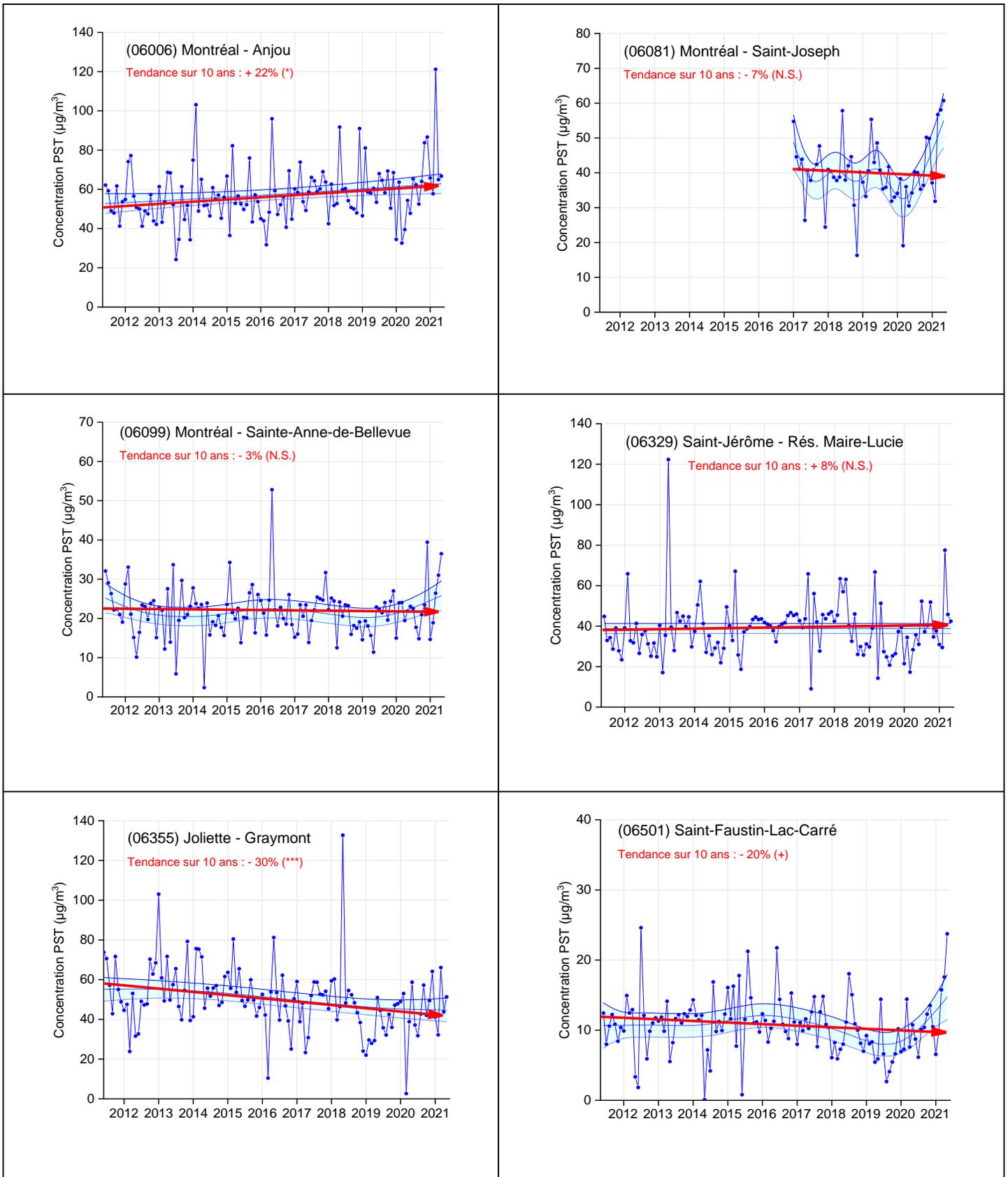
Annexe B1. Tendence 2011-2021 des particules en suspension totales

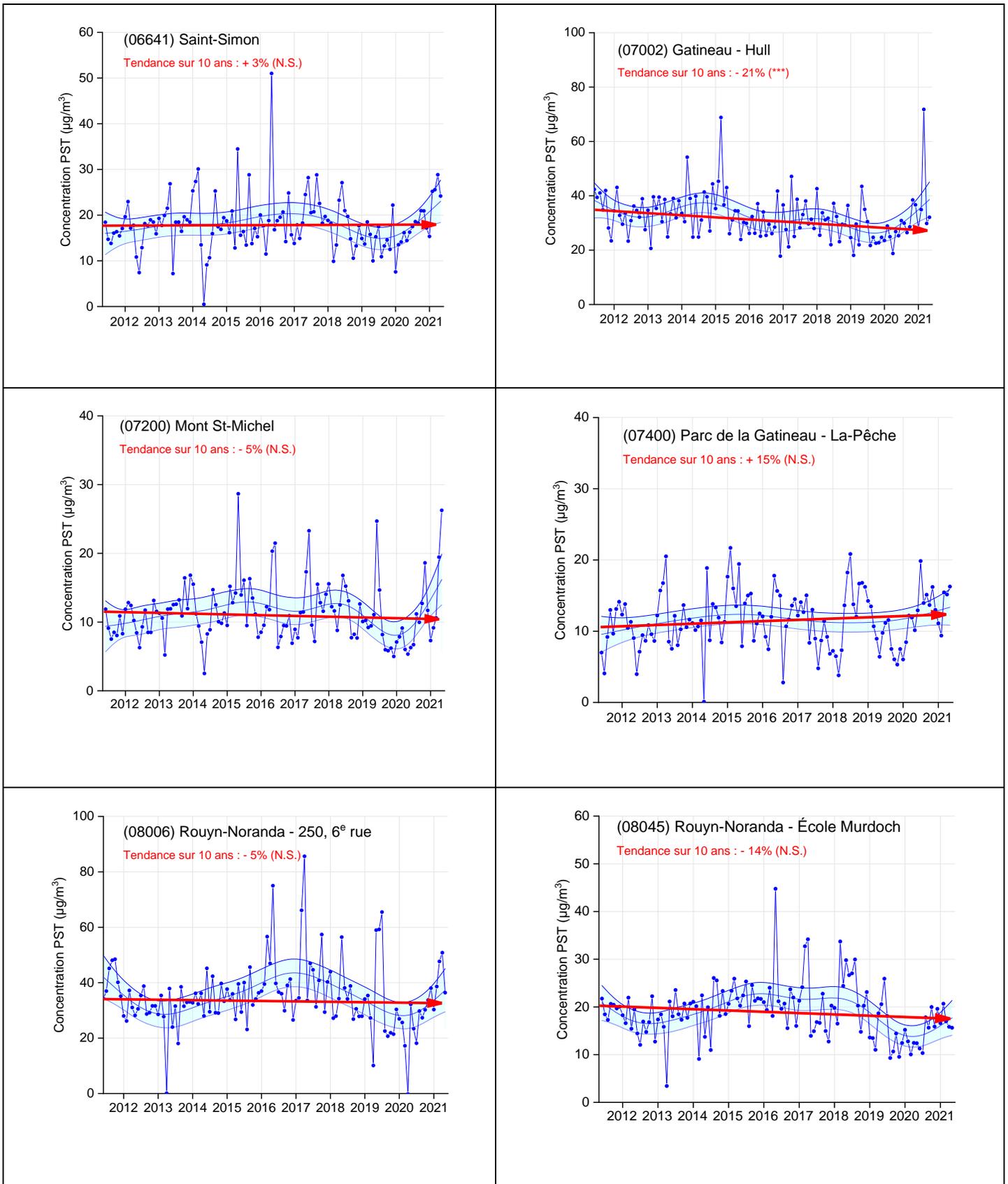
Tendance des moyennes mensuelles des concentrations de particules en suspension totales aux stations du RSQAQ et RSQA actives en 2021.

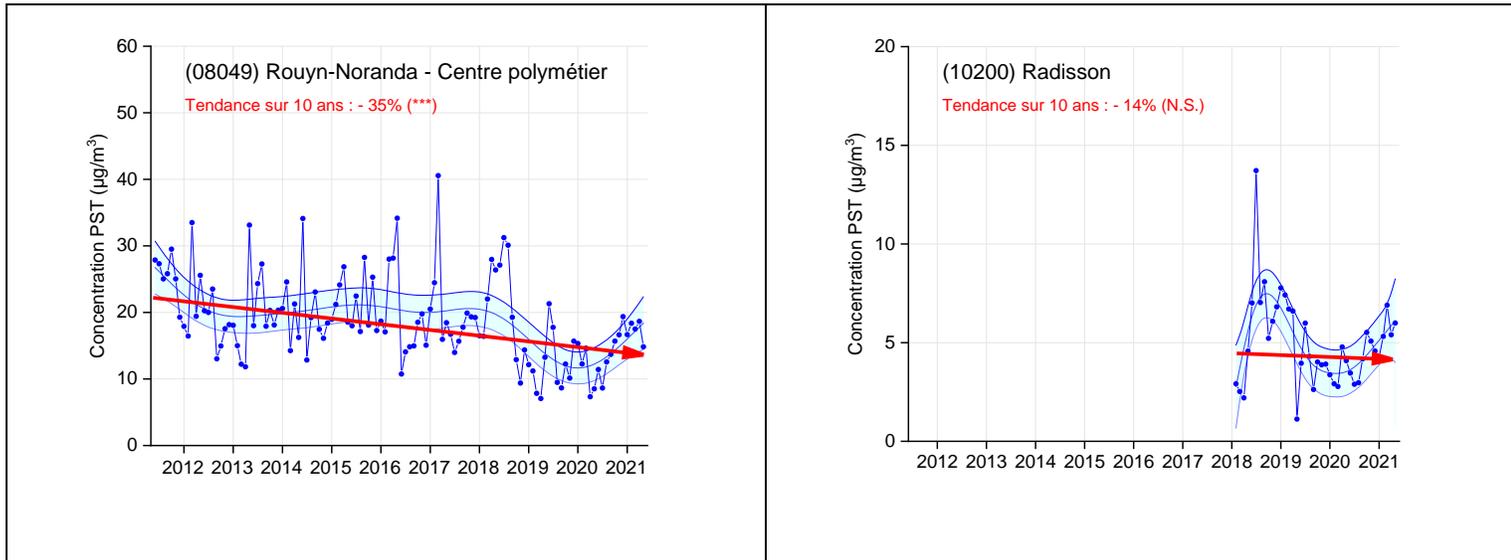






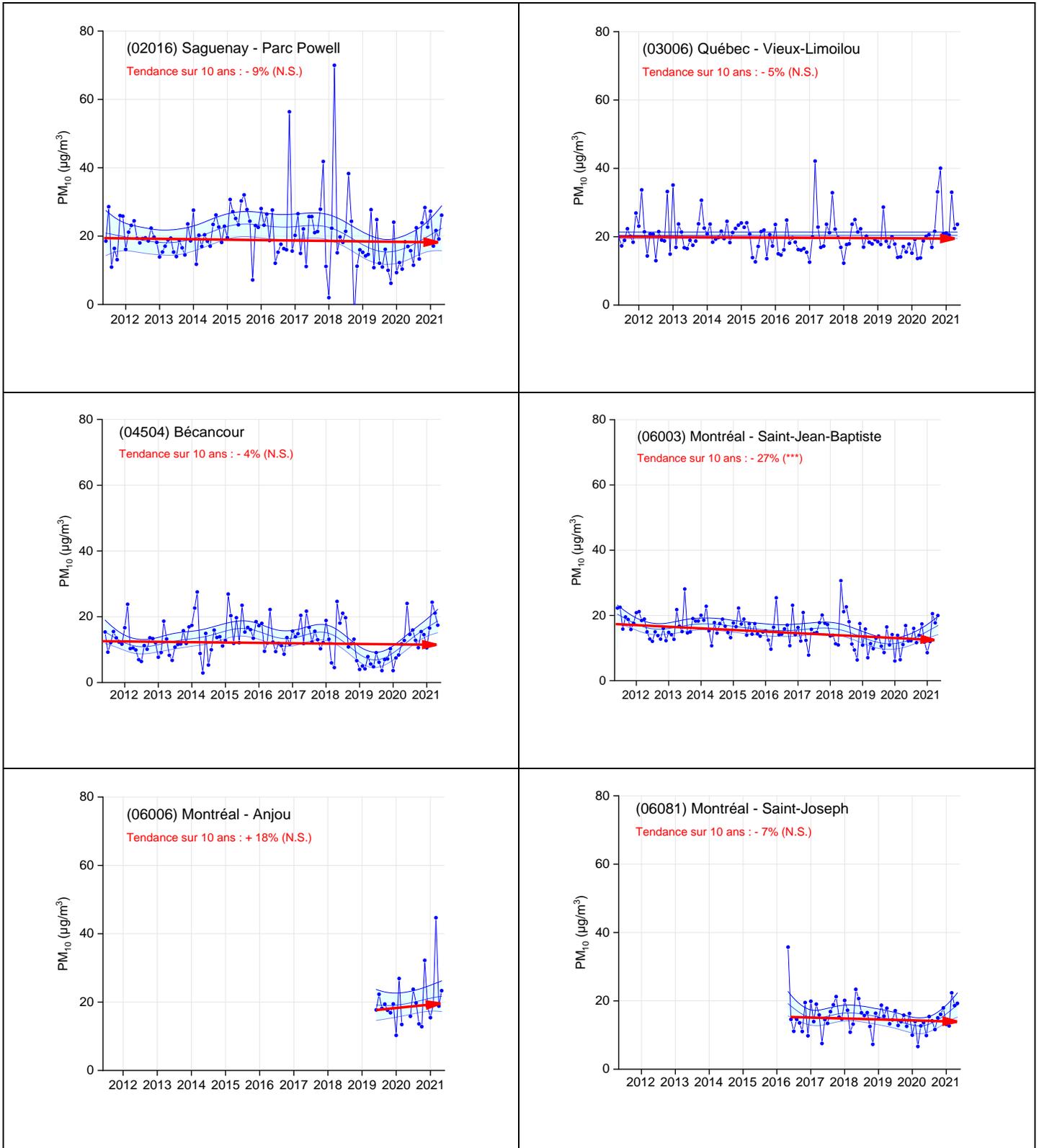


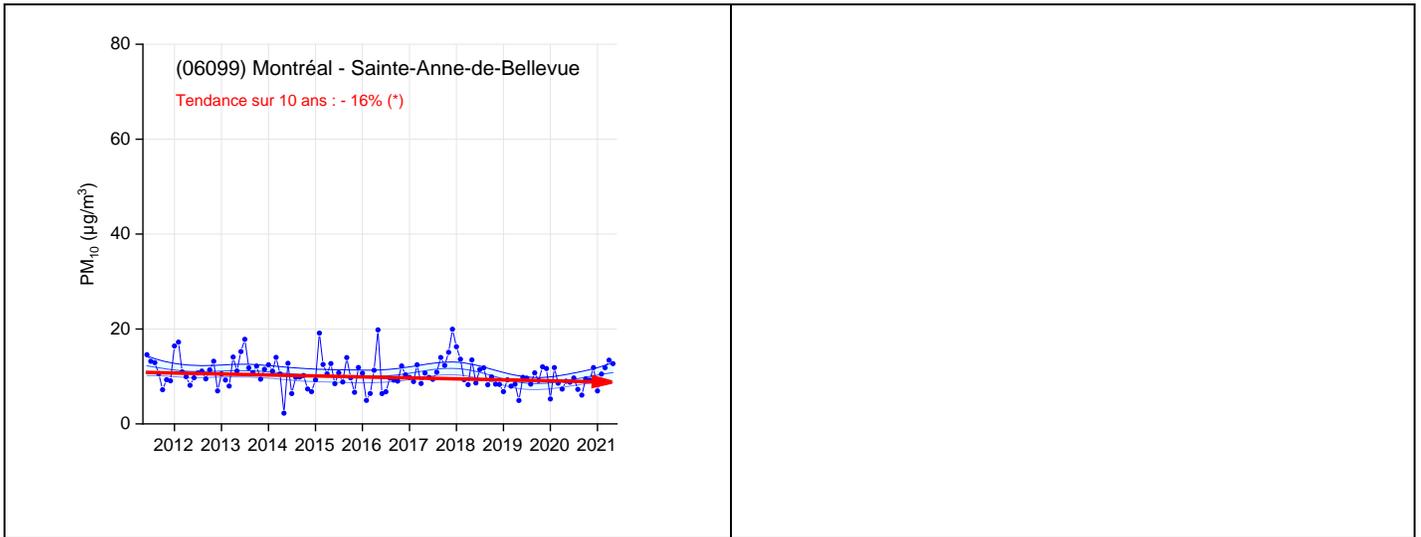




Annexe B2. Tendence 2011-2021 des particules respirables

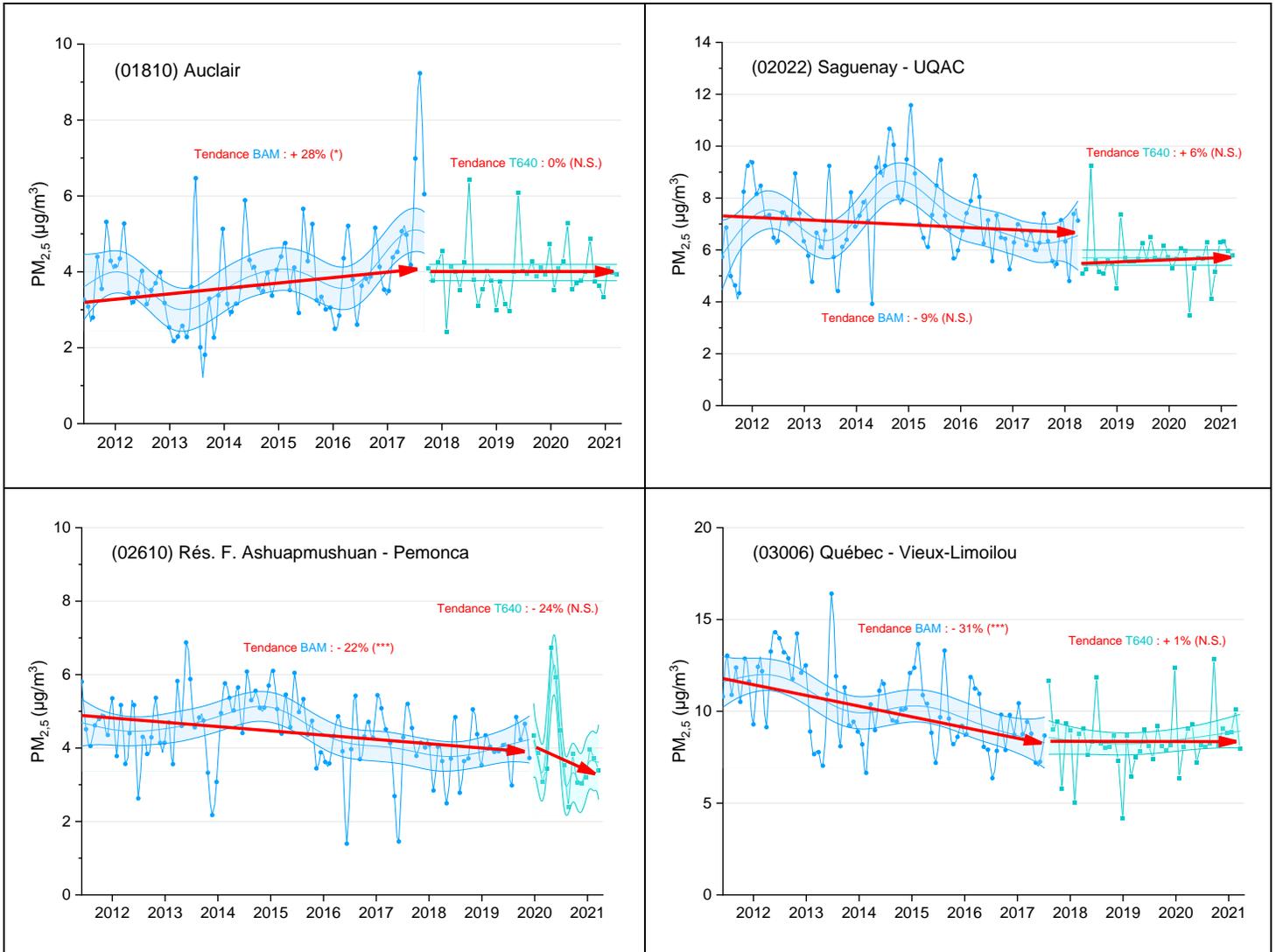
Tendance des moyennes mensuelles des concentrations de particules respirables aux stations du RSQAQ et RSQA actives en 2021.

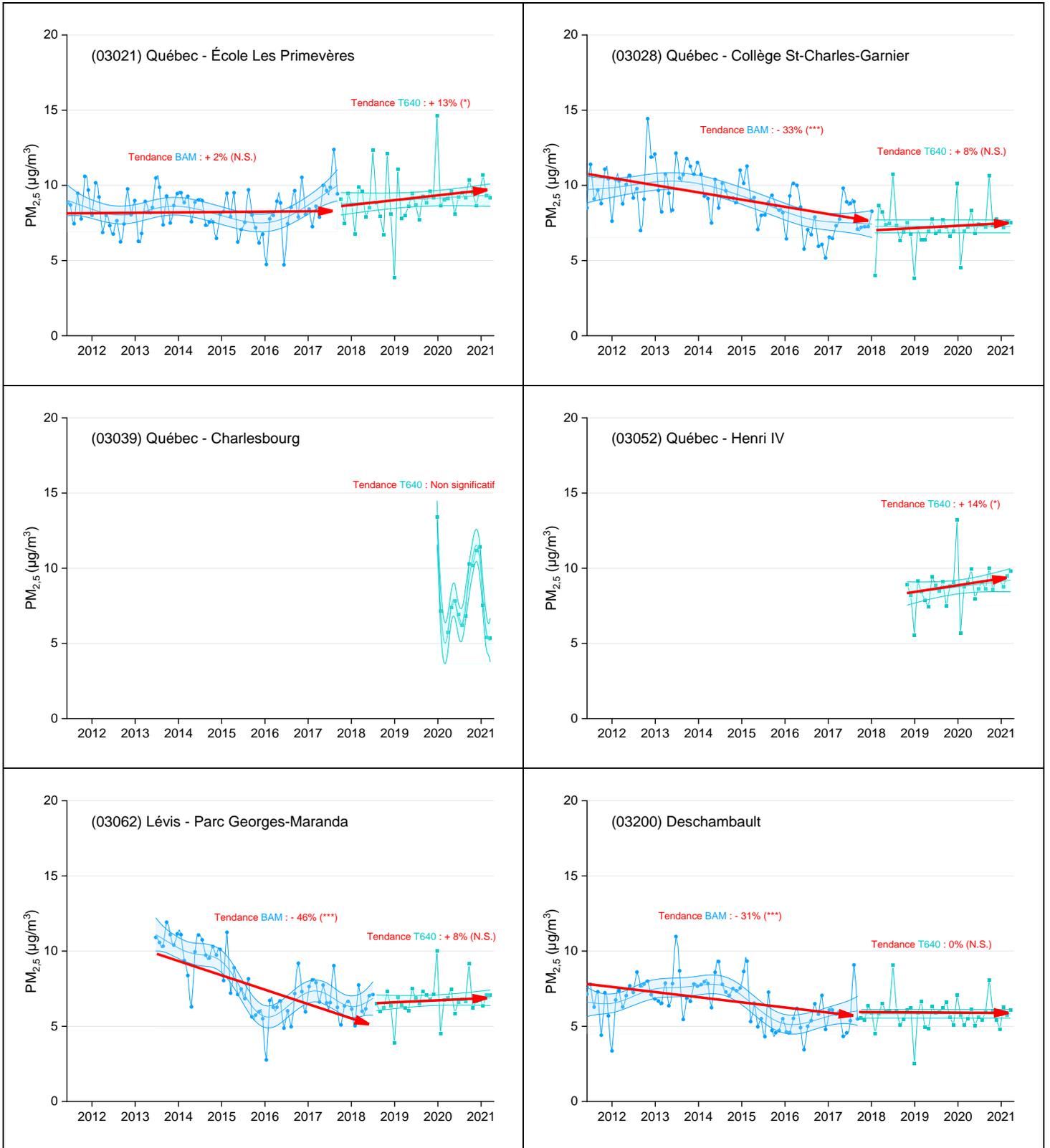


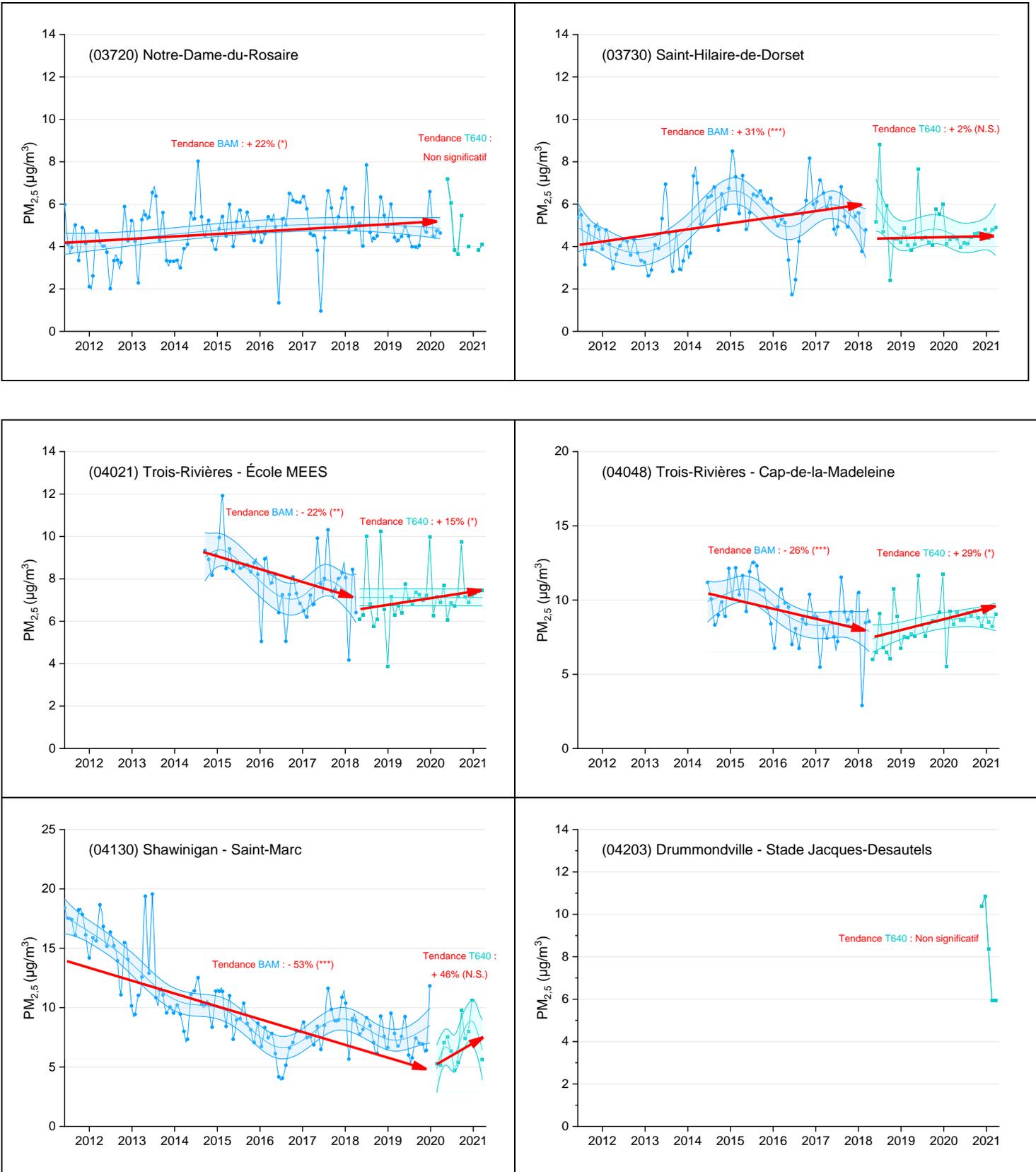


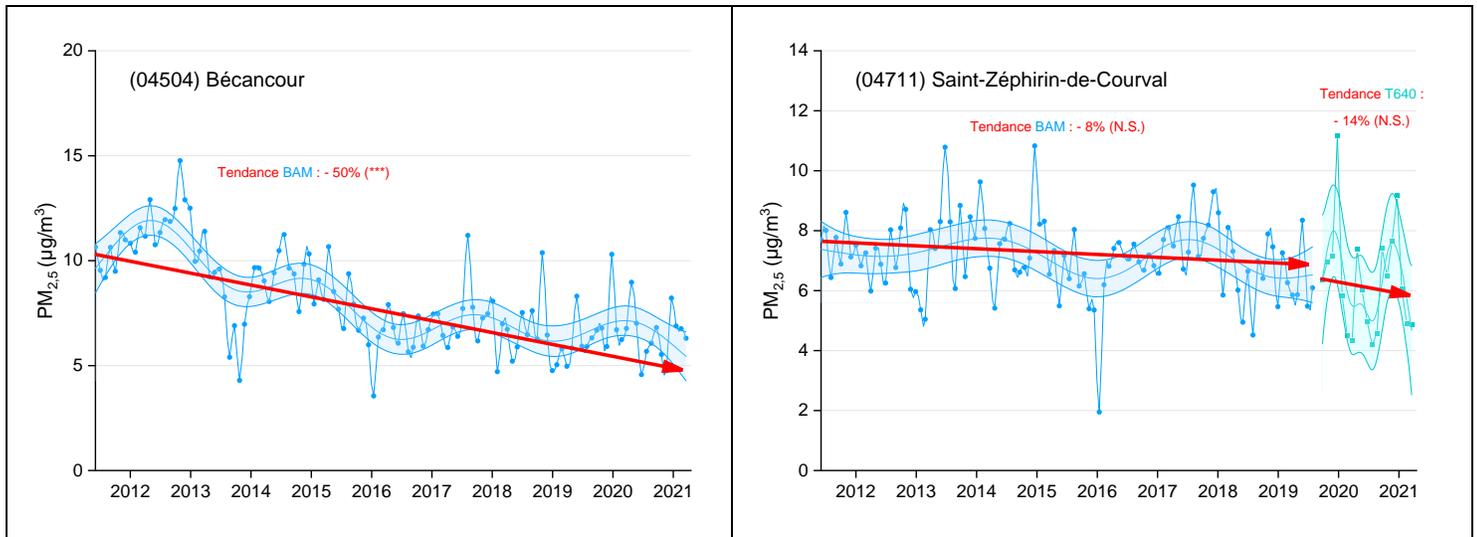
Annexe B3. Tendence 2011-2021 des particules fines

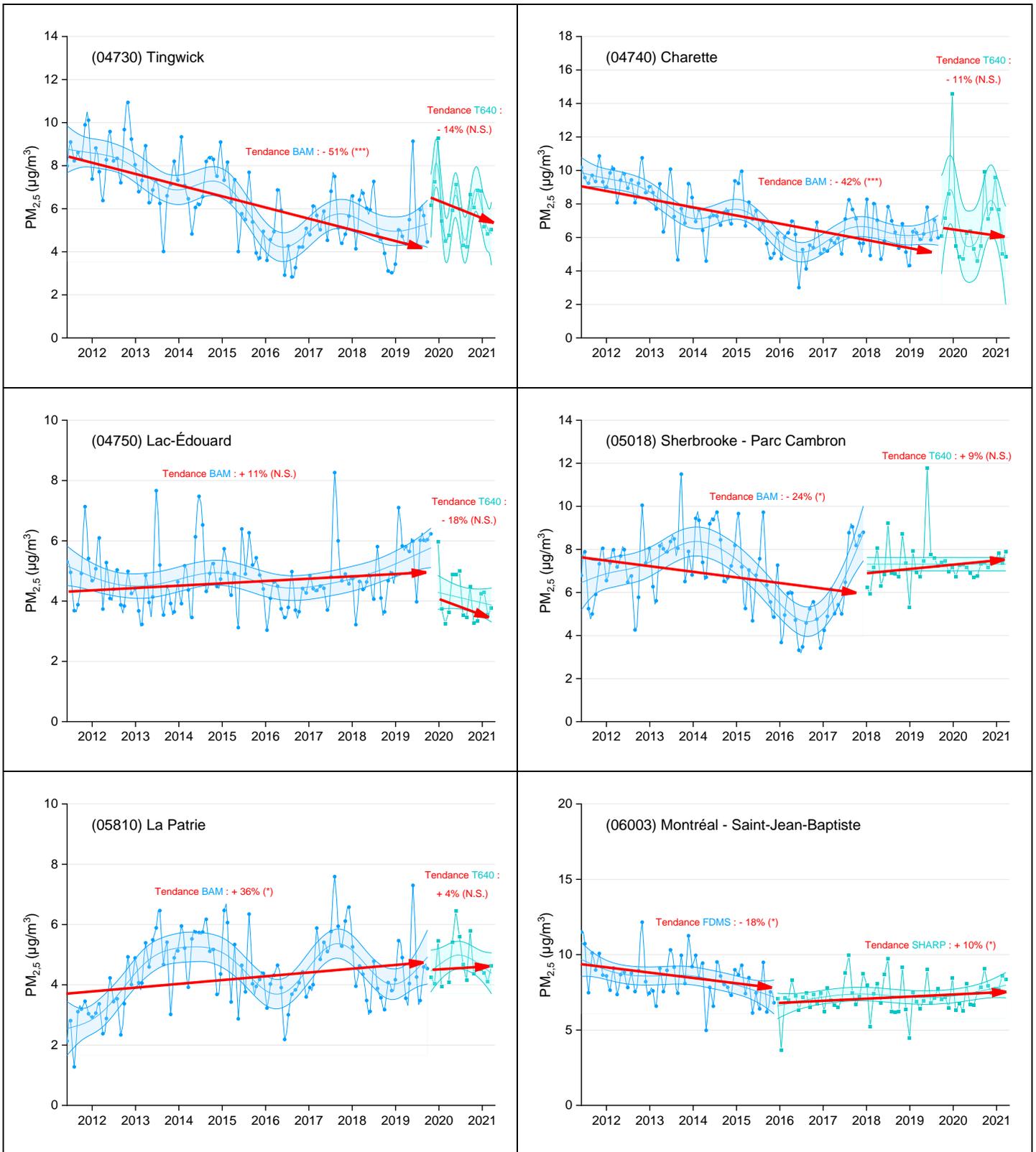
Tendance des moyennes mensuelles des concentrations de particules fines aux stations du RSQAQ et RSQA actives en 2021.

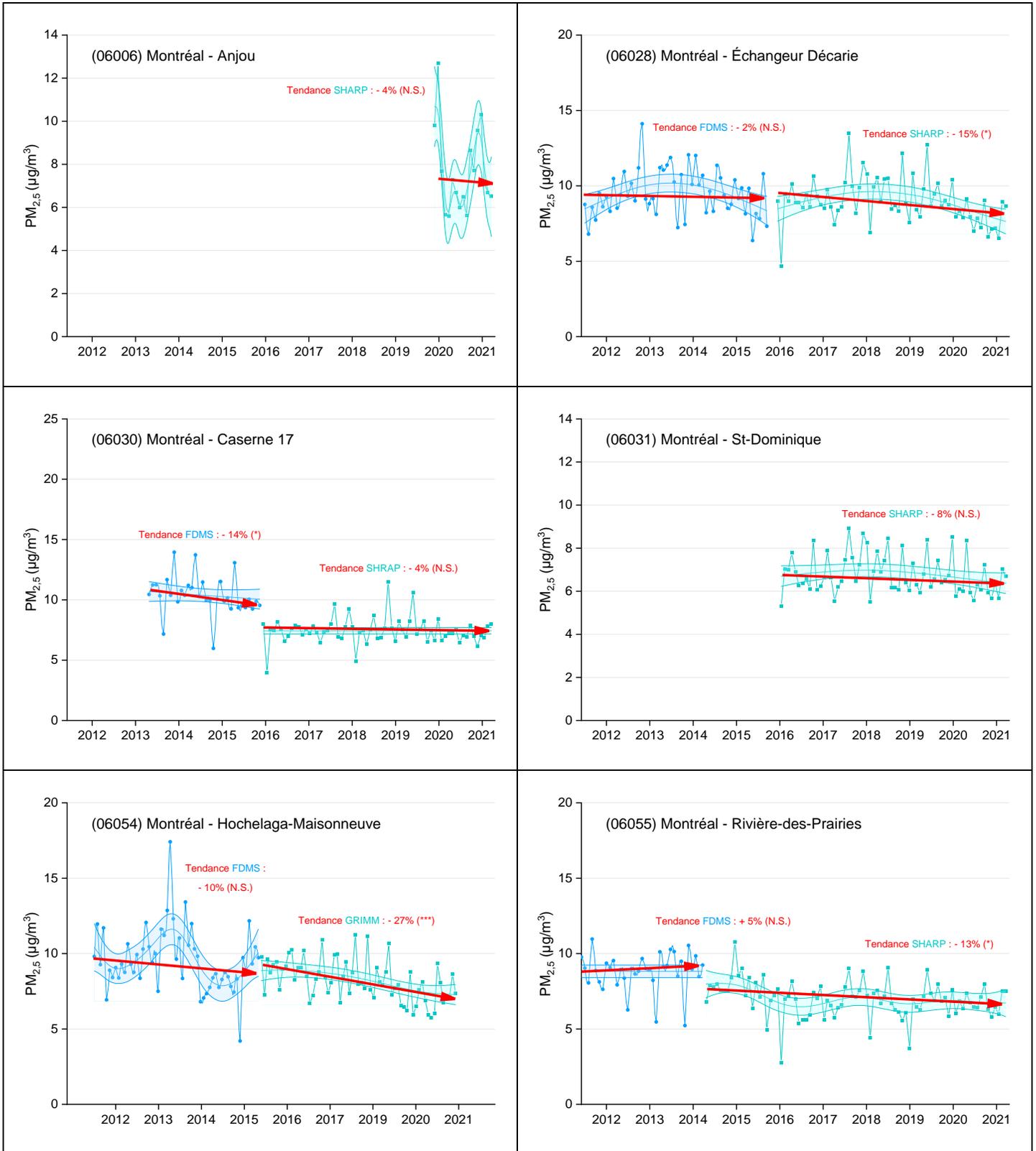


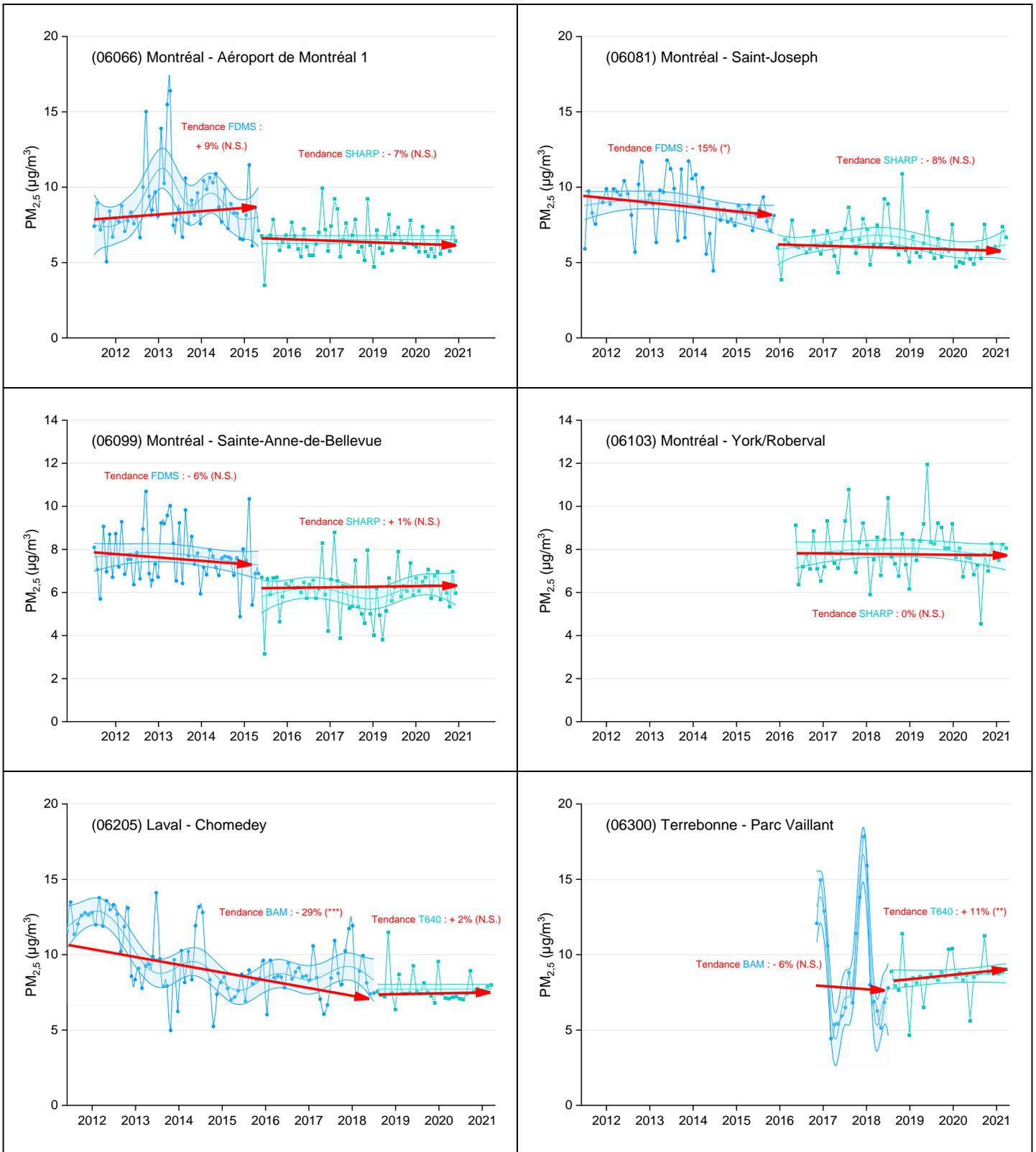


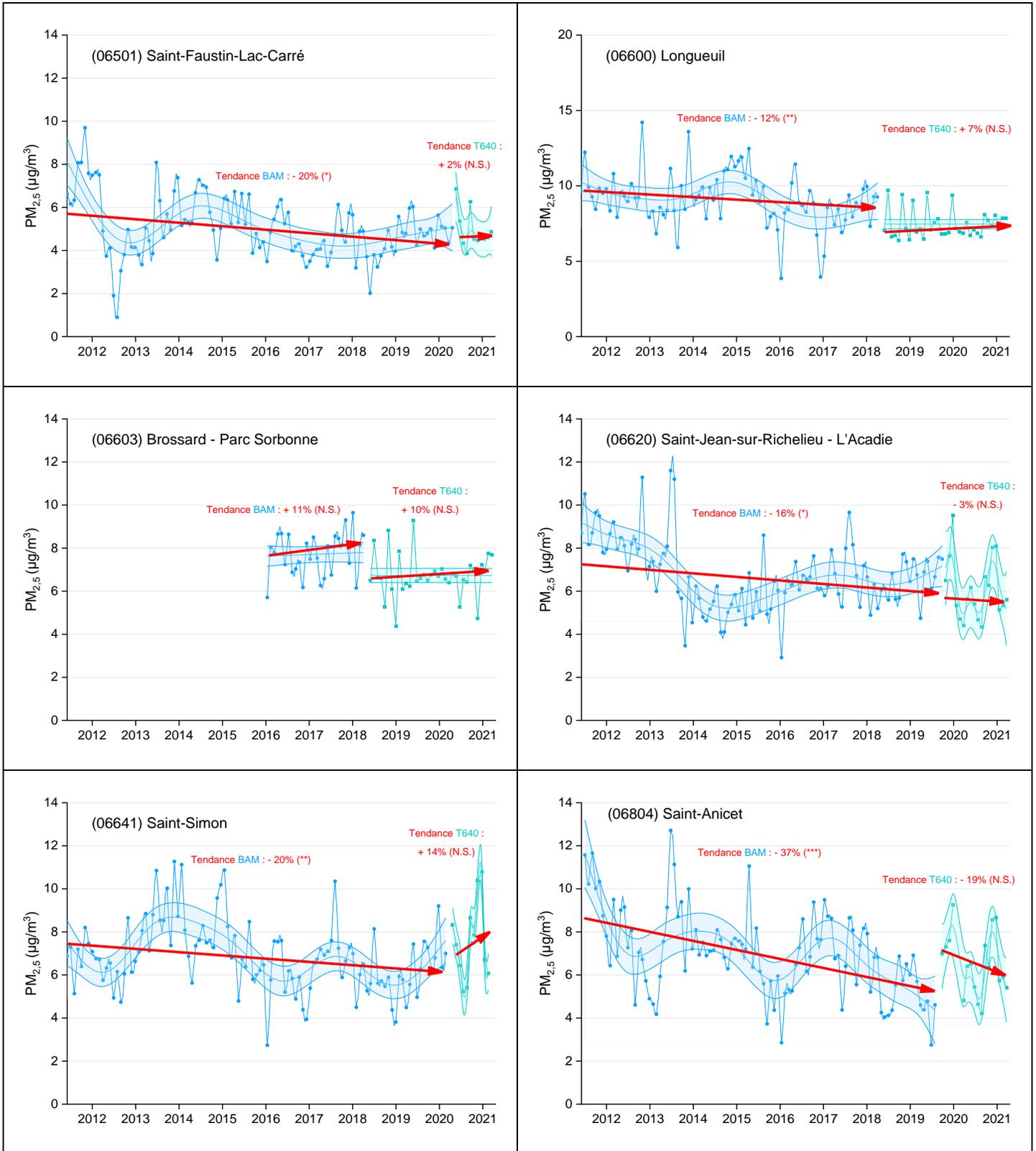


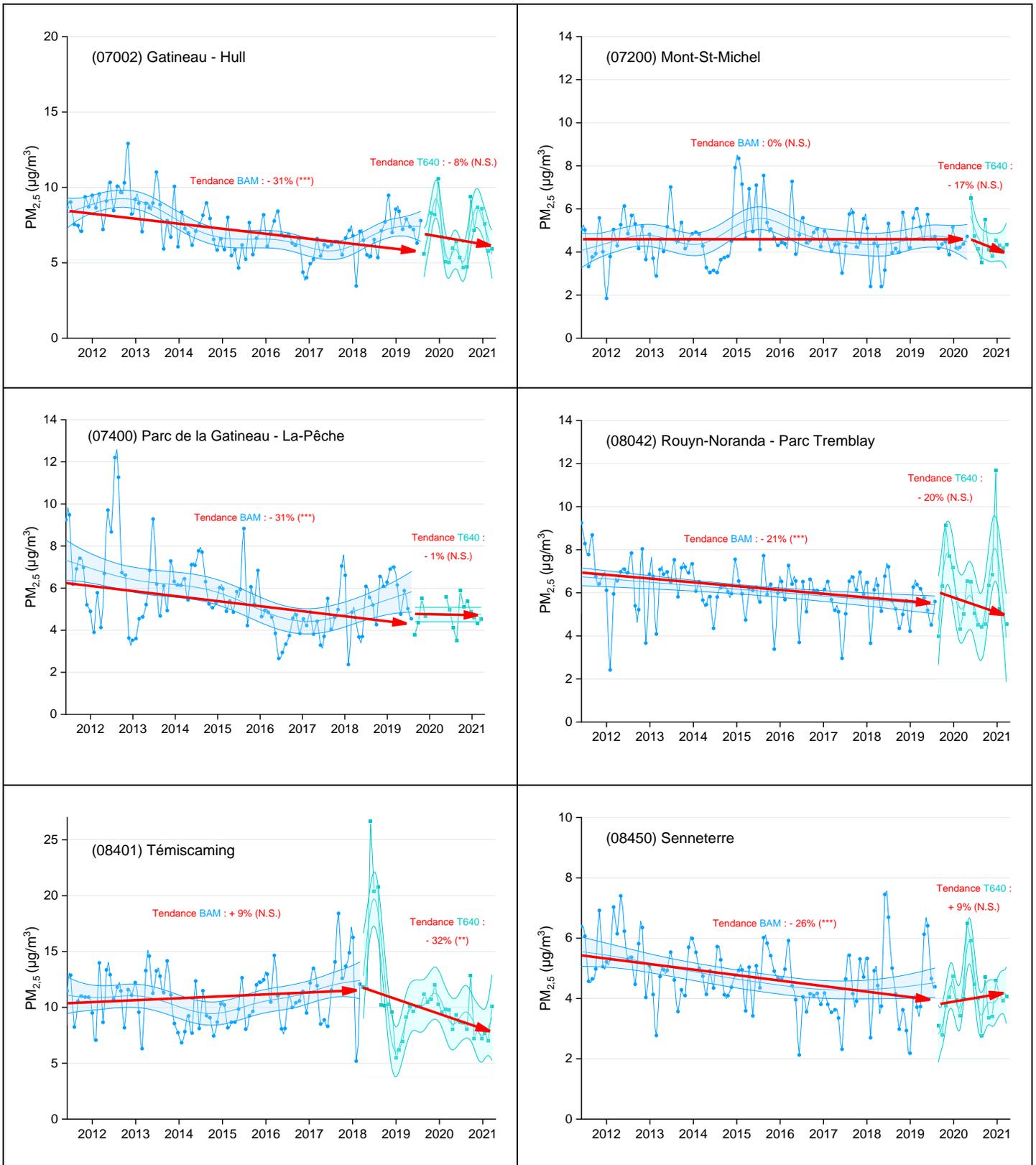


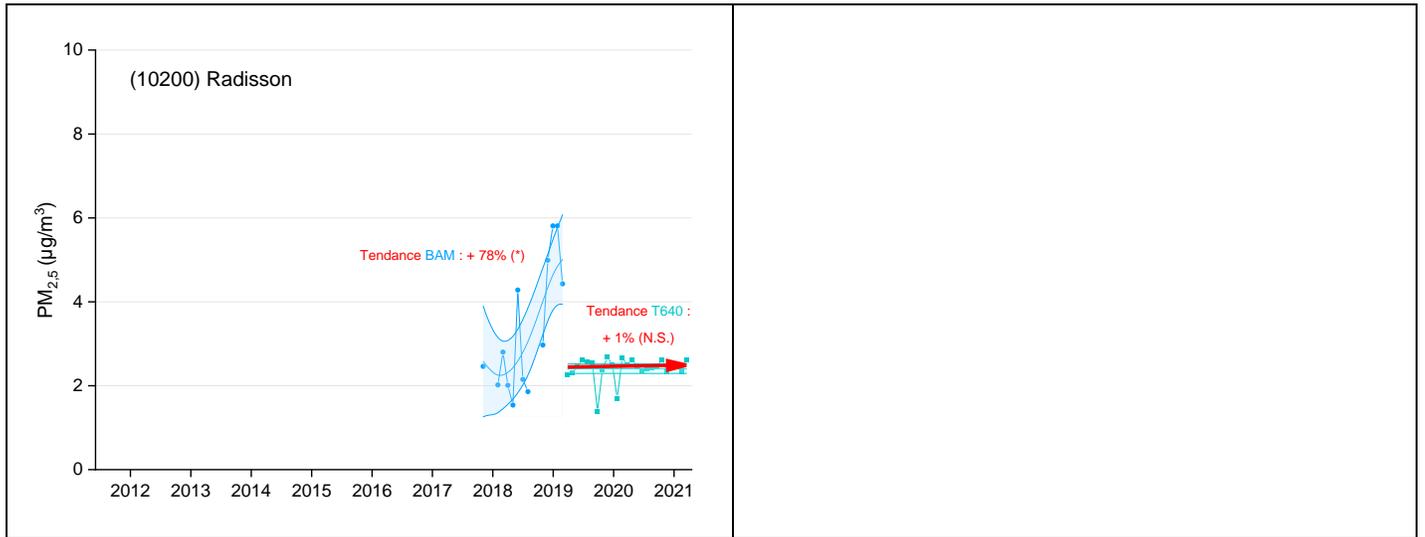






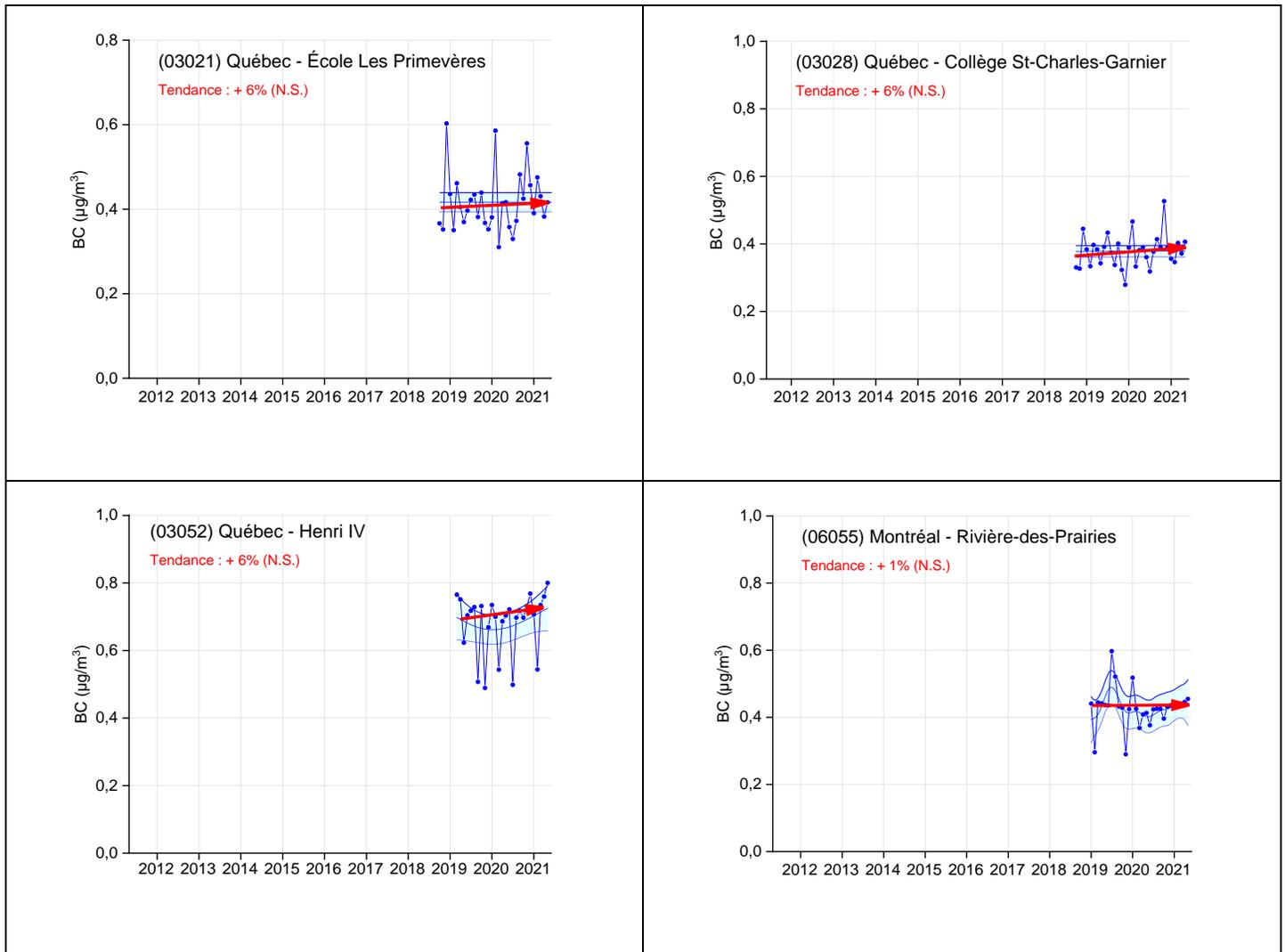






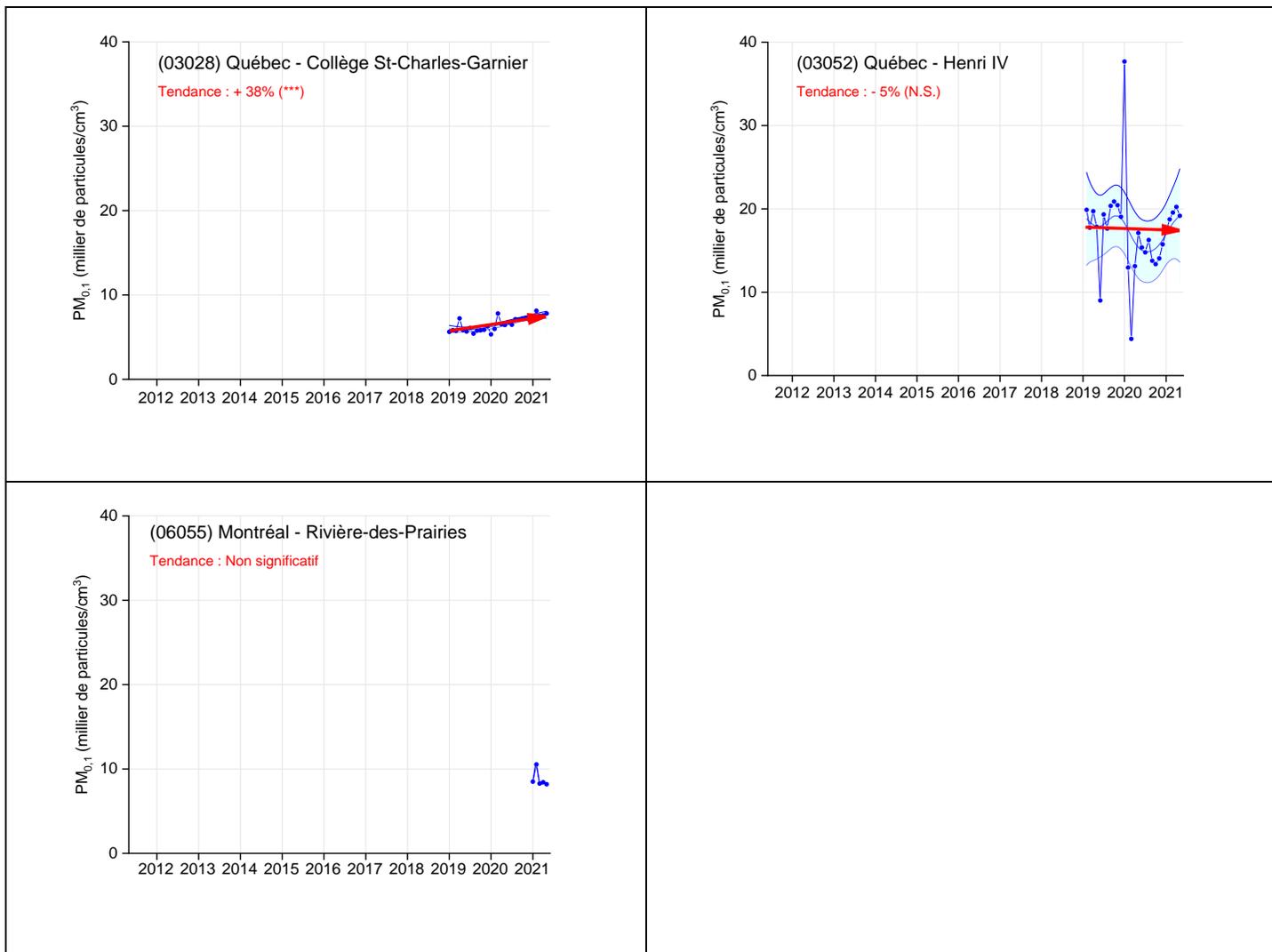
Annexe B4. Tendence 2011-2021 du carbone noir

Tendance des moyennes mensuelles des concentrations de carbone noir aux stations du RSQAQ et RSQA actives en 2021.



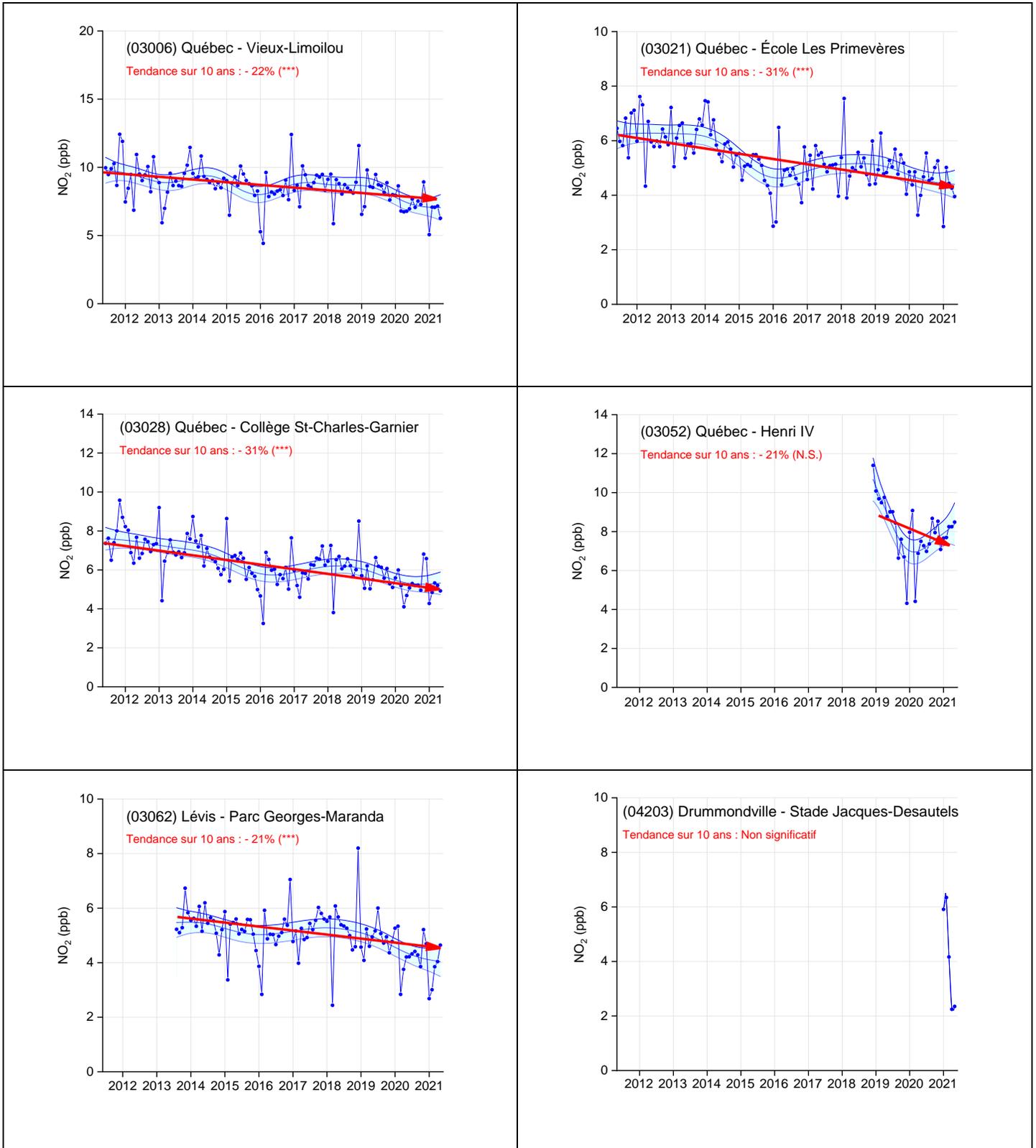
Annexe B5. Tendance 2011-2021 des particules ultrafines

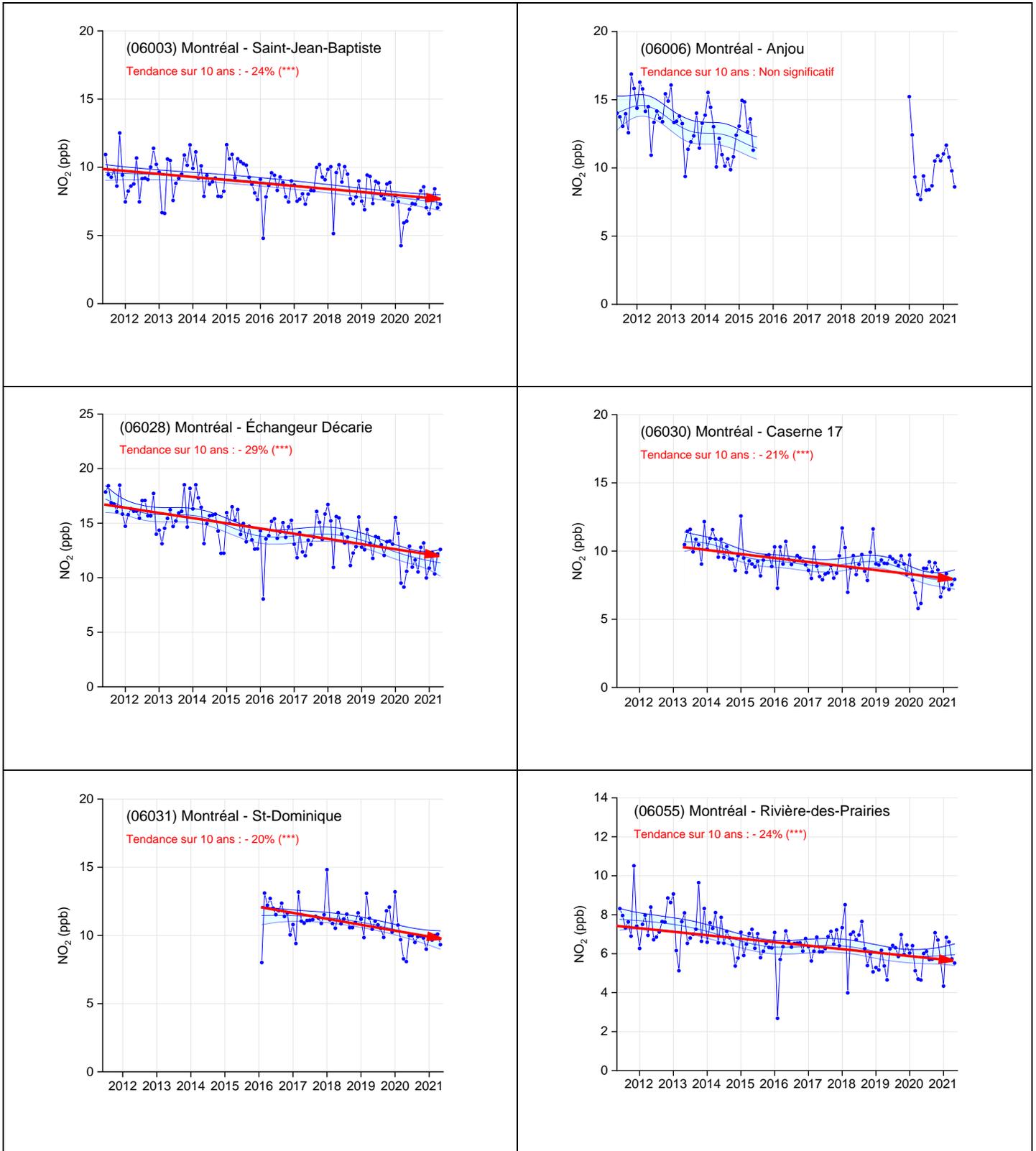
Tendance des moyennes mensuelles des concentrations de particules ultrafines aux stations du RSQAQ et RSQA actives en 2021.

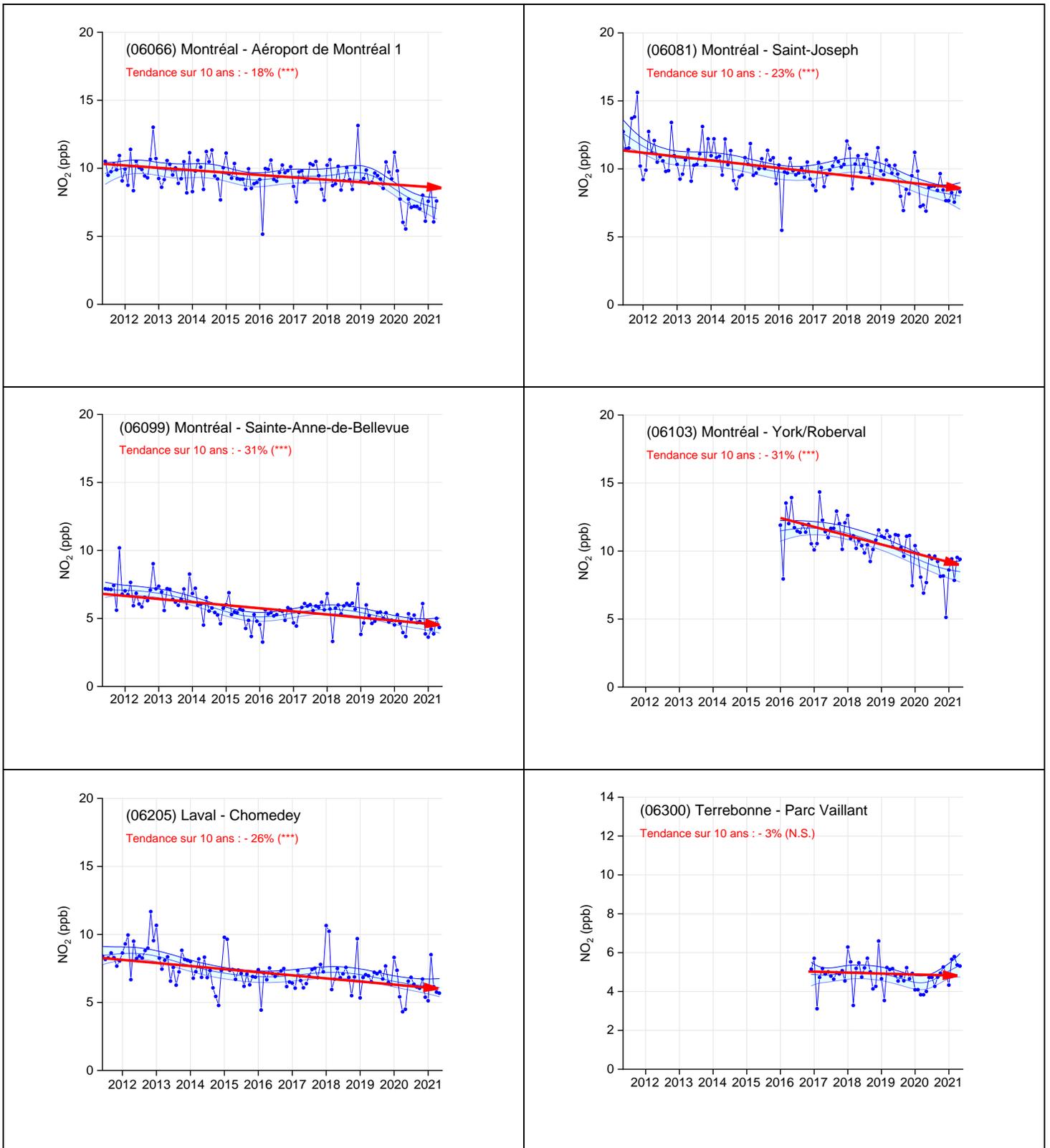


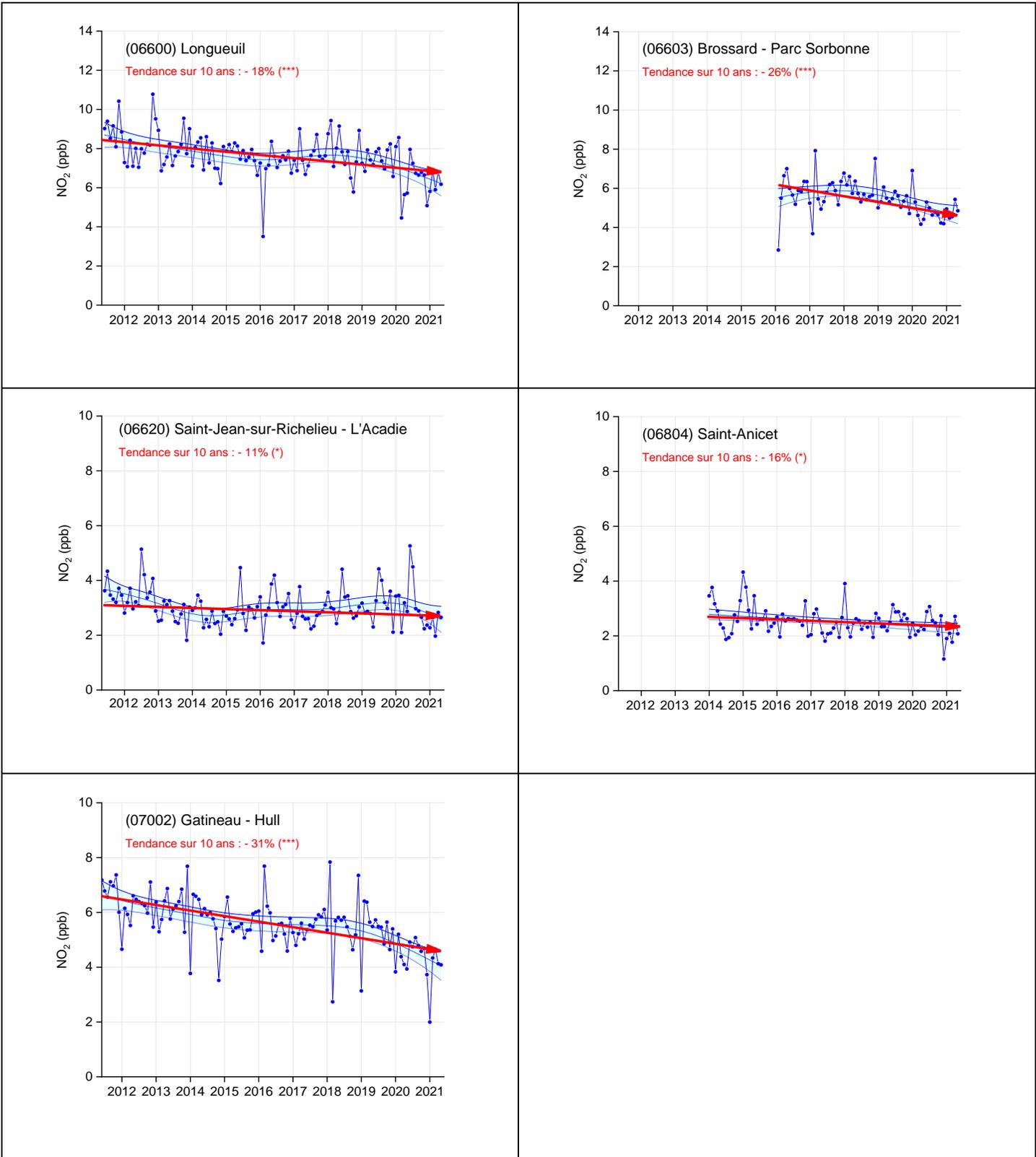
Annexe B6. Tendance 2011-2021 du dioxyde d'azote

Tendance des moyennes mensuelles des concentrations de dioxyde d'azote aux stations du RSQAQ et RSQA actives en 2021.



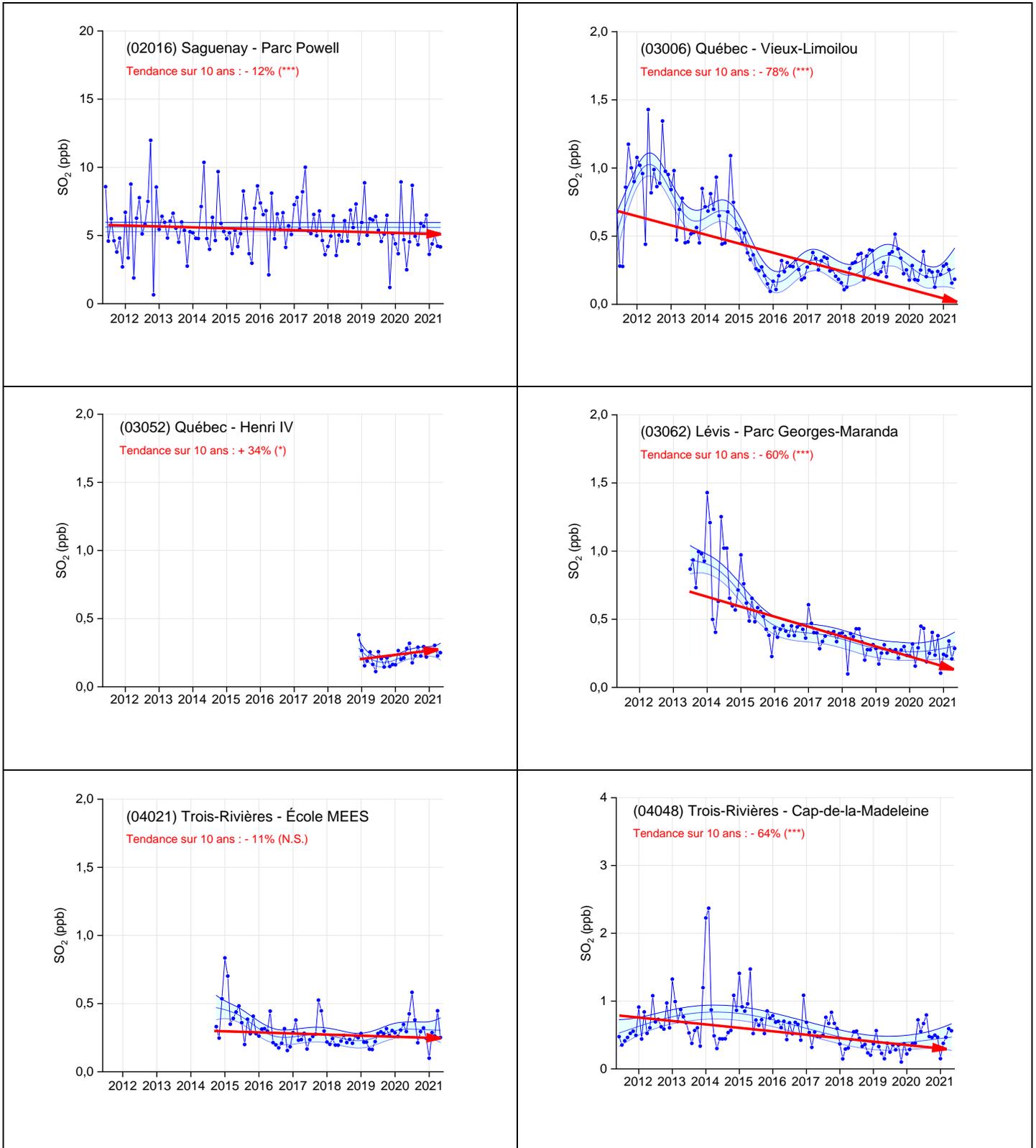


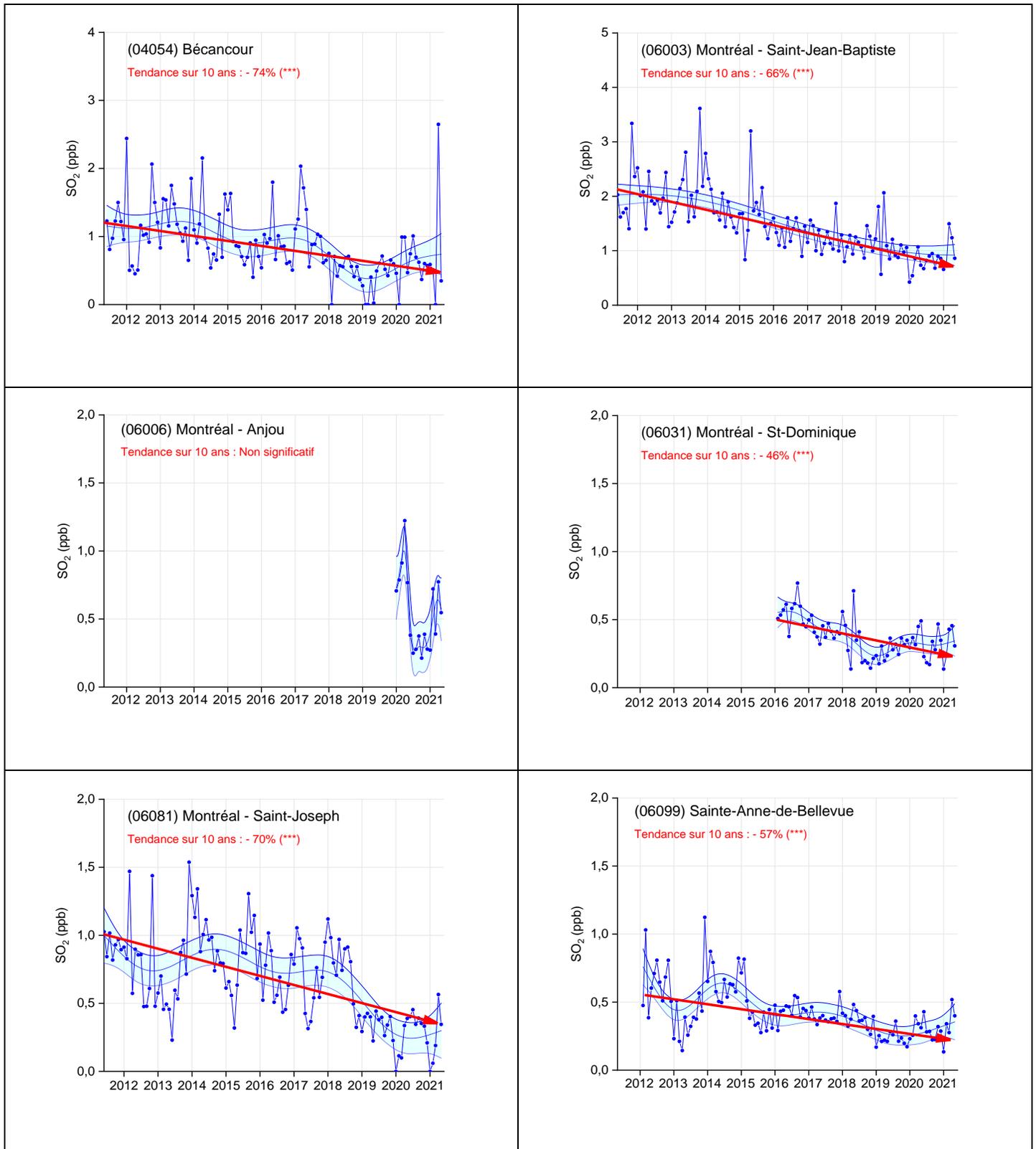


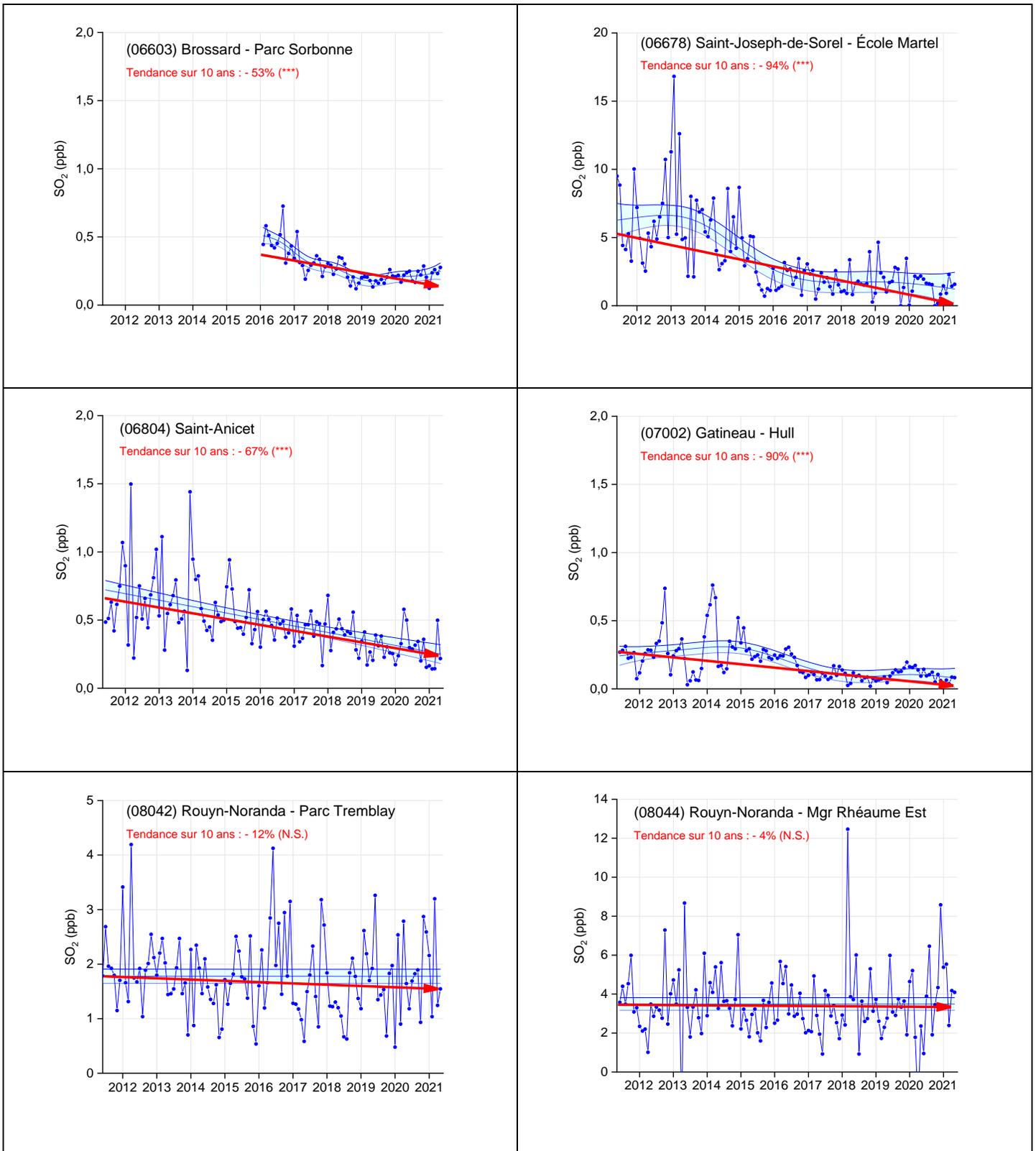


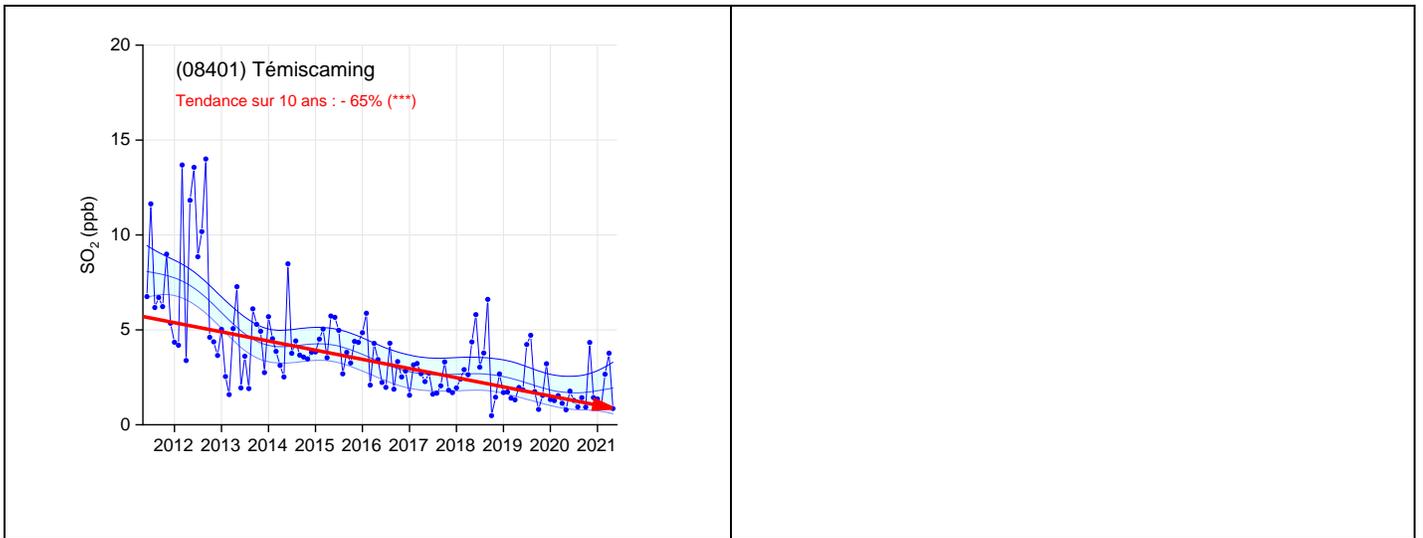
Annexe B7. Tendence 2011-2021 du dioxyde de soufre

Tendance des moyennes mensuelles des concentrations de dioxyde de soufre aux stations du RSQAQ et RSQA actives en 2021.



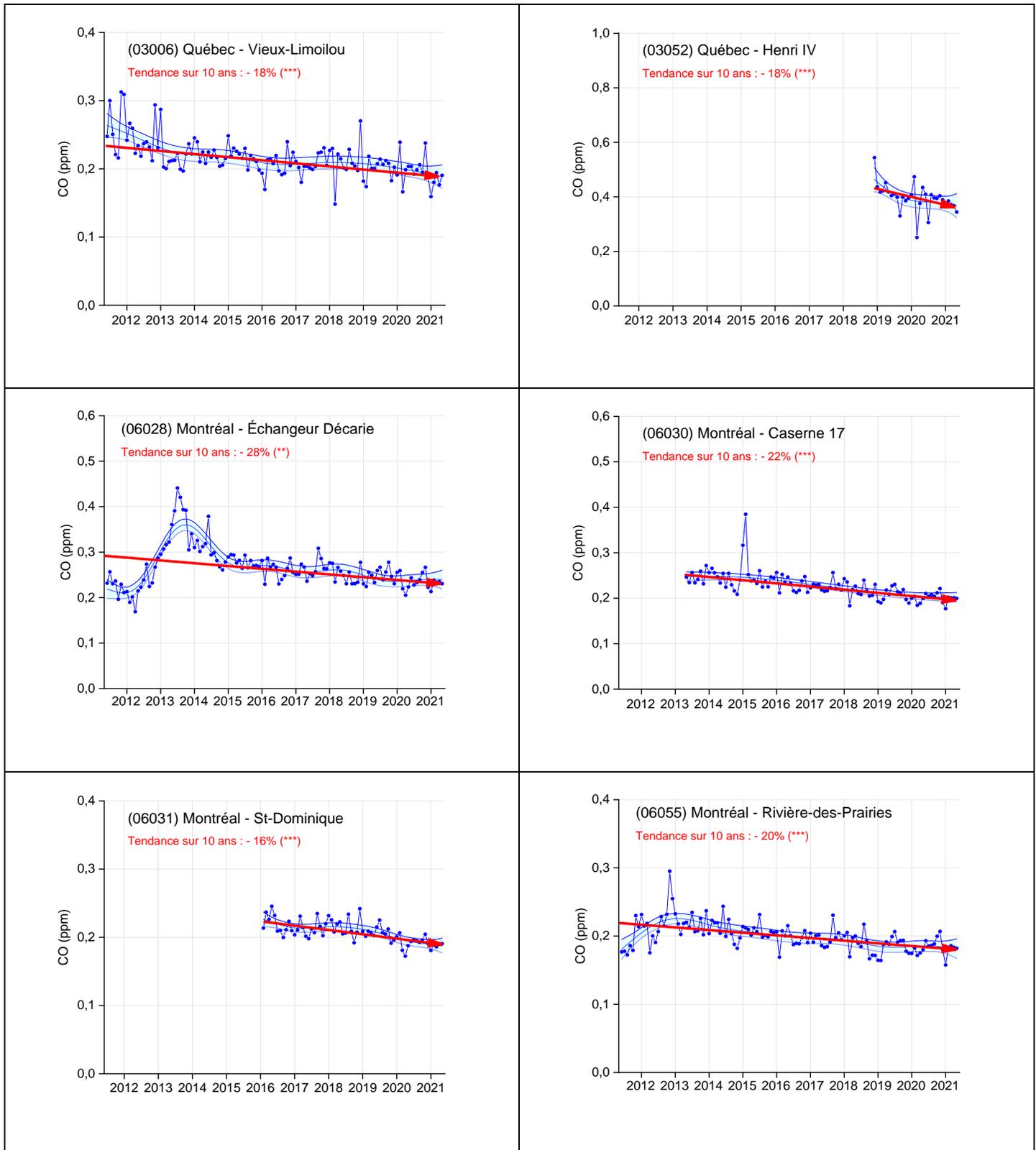


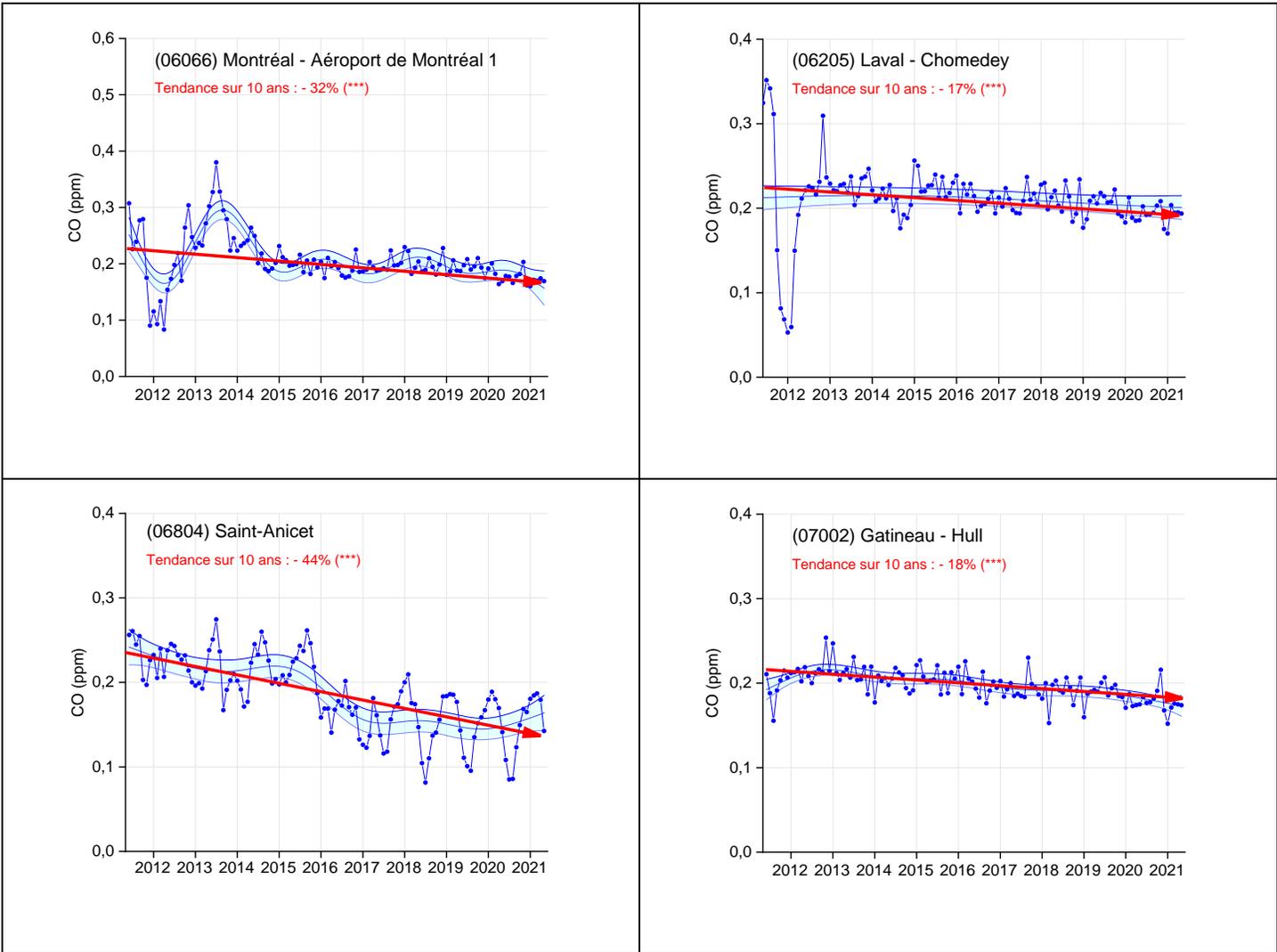




Annexe B8. Tendence 2011-2021 du monoxyde de carbone

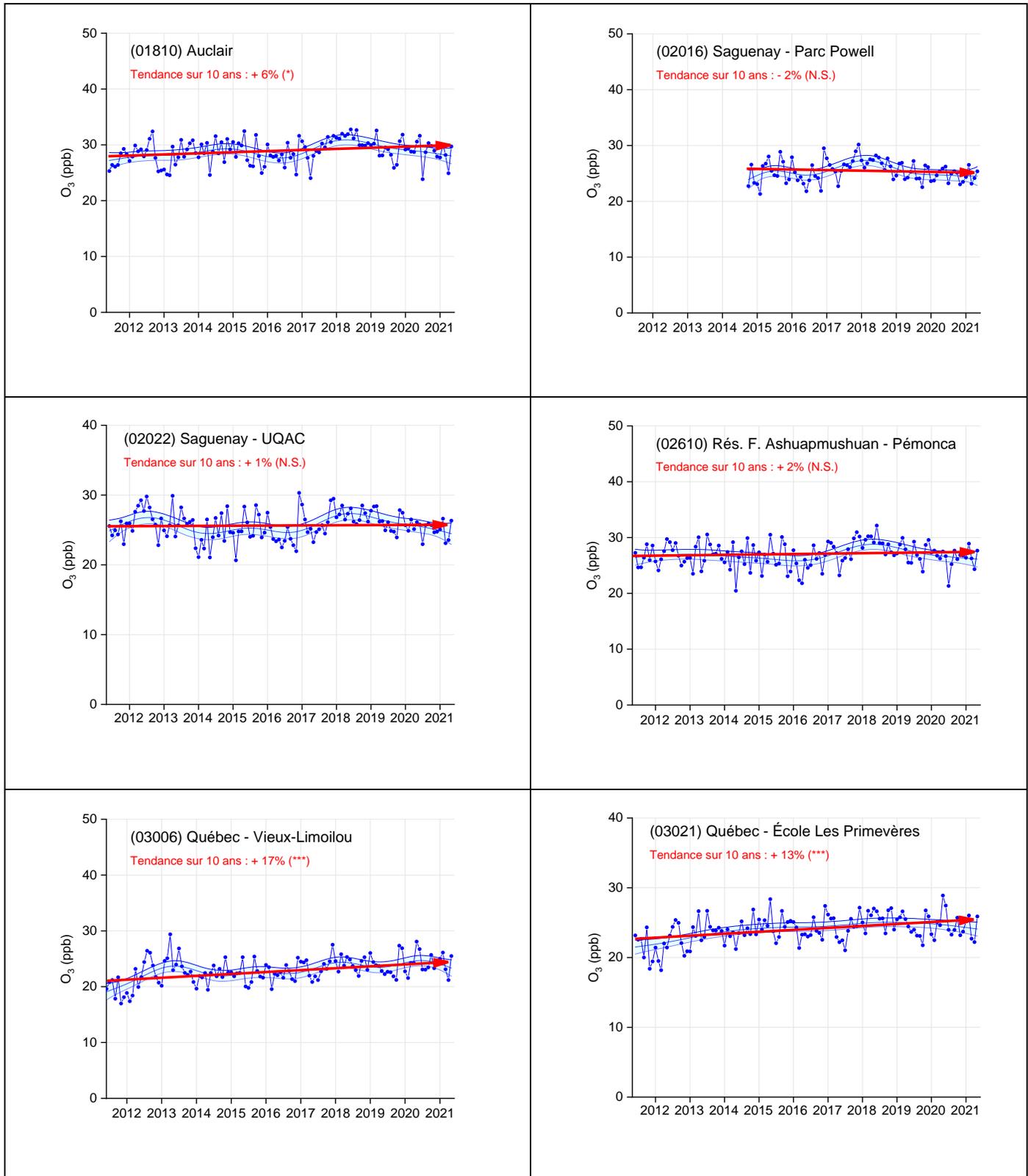
Tendance des moyennes mensuelles des concentrations de monoxyde de carbone aux stations du RSQAQ et RSQA actives en 2021.

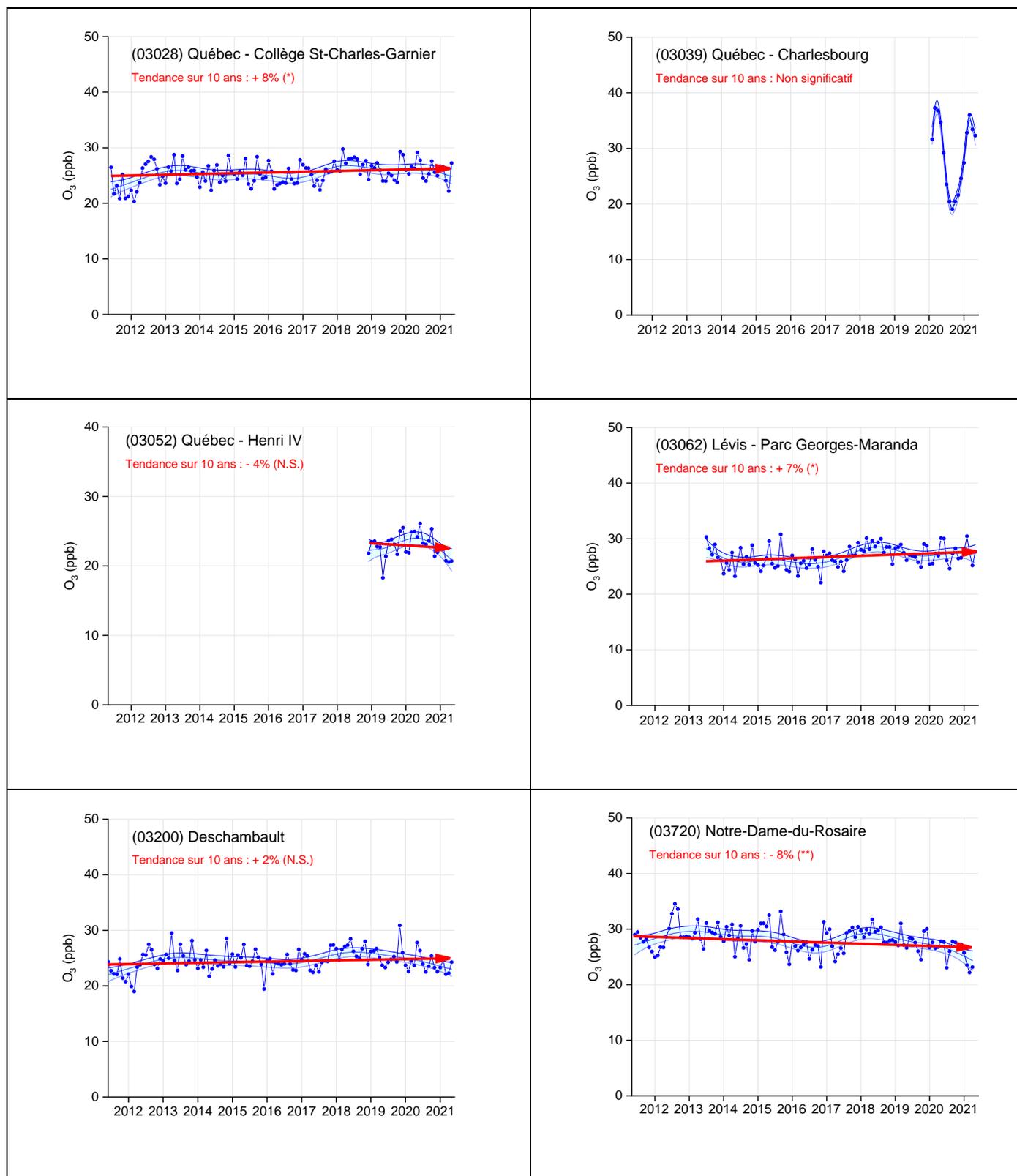


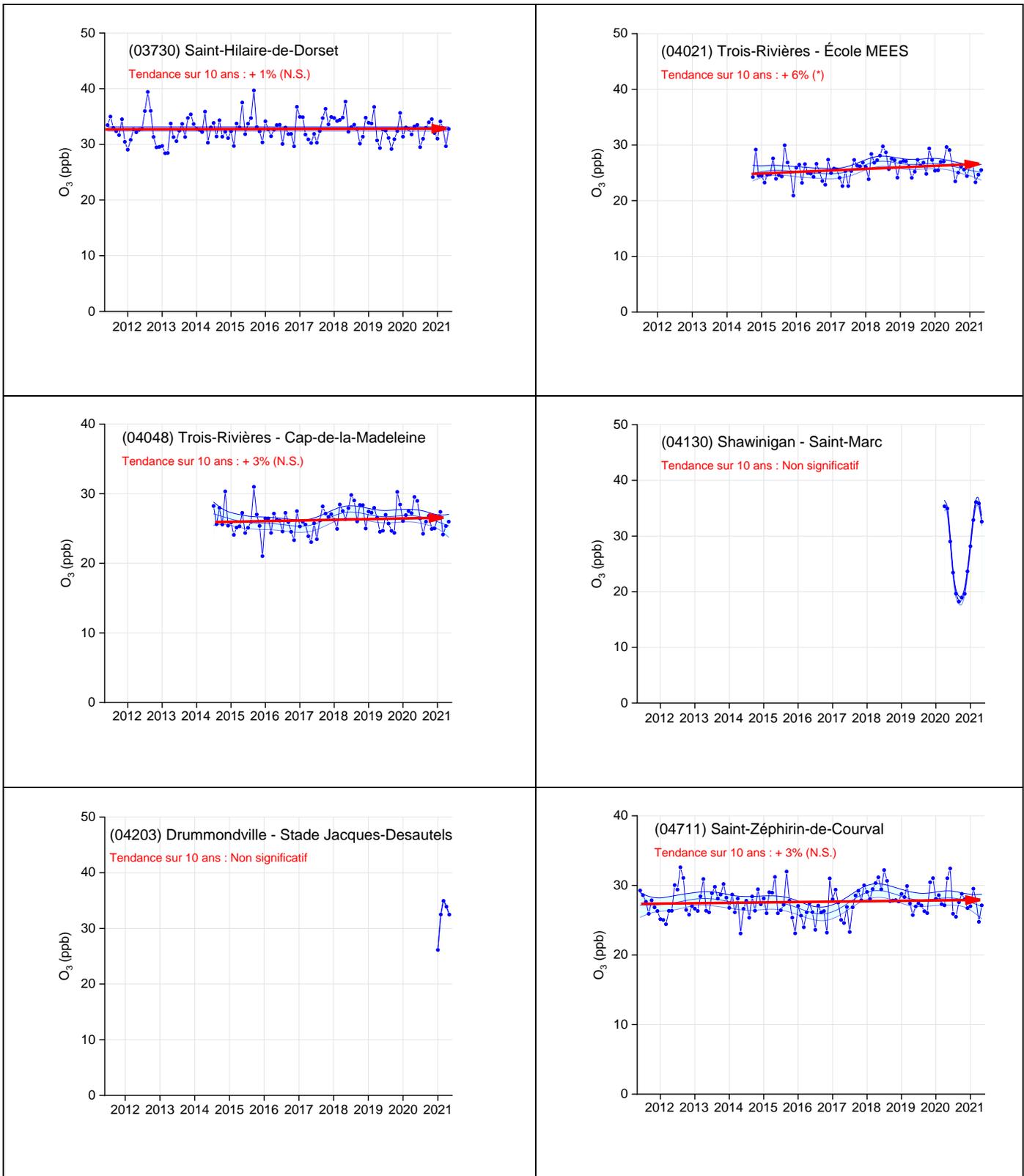


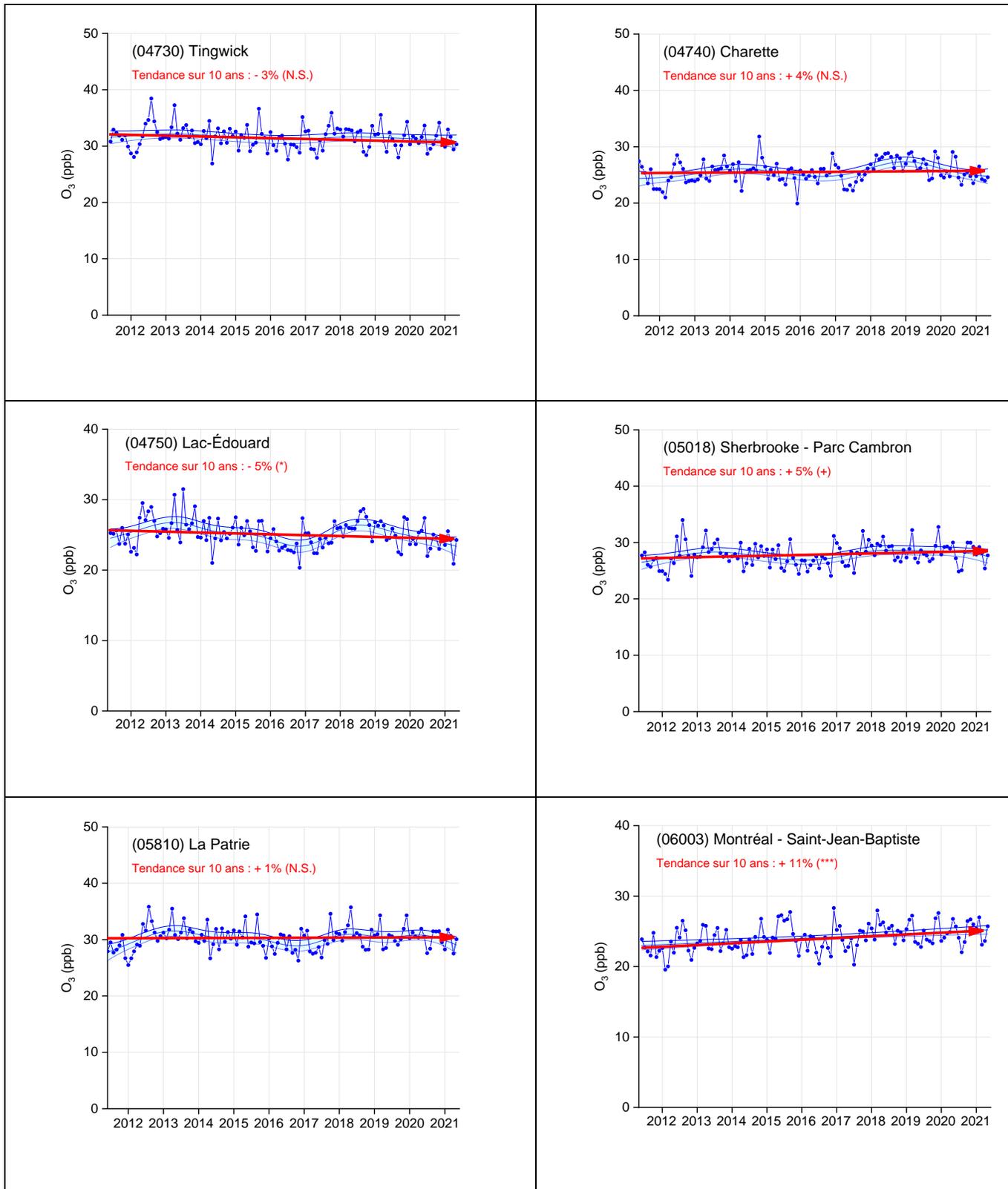
Annexe B9. Tendance 2011-2021 de l'ozone

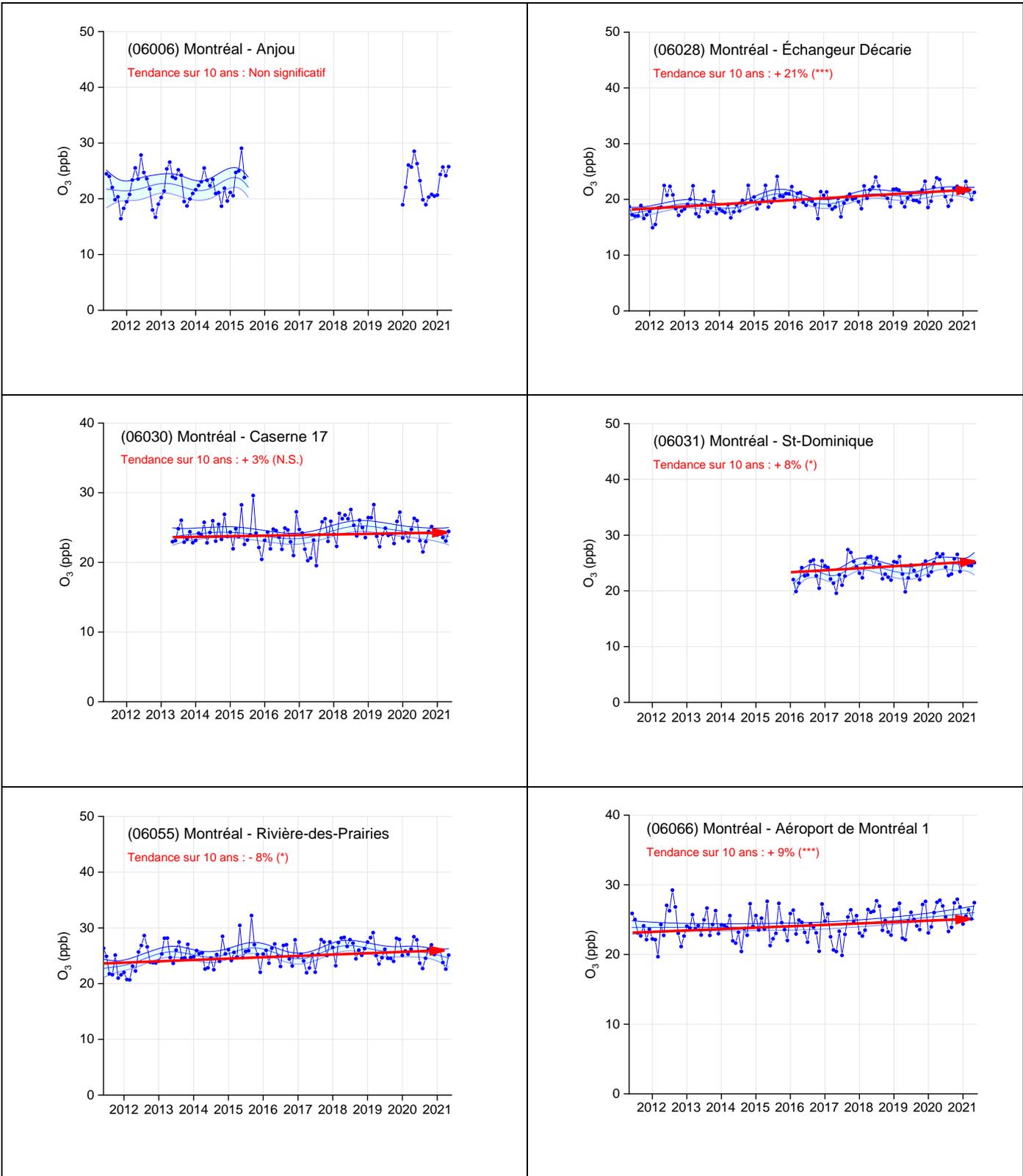
Tendance des moyennes mensuelles des concentrations d'ozone aux stations du RSQAQ et RSQA actives en 2021.

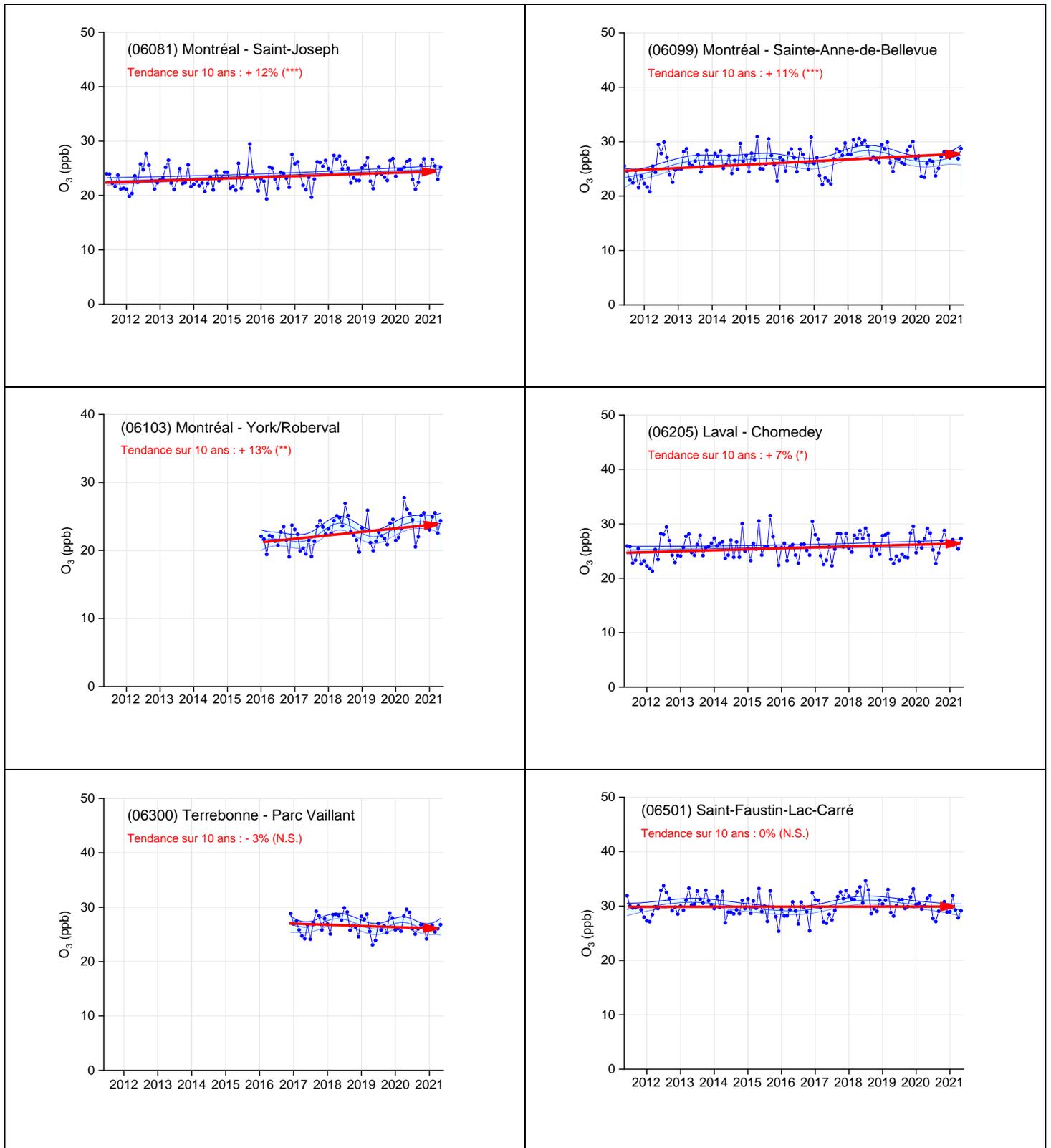


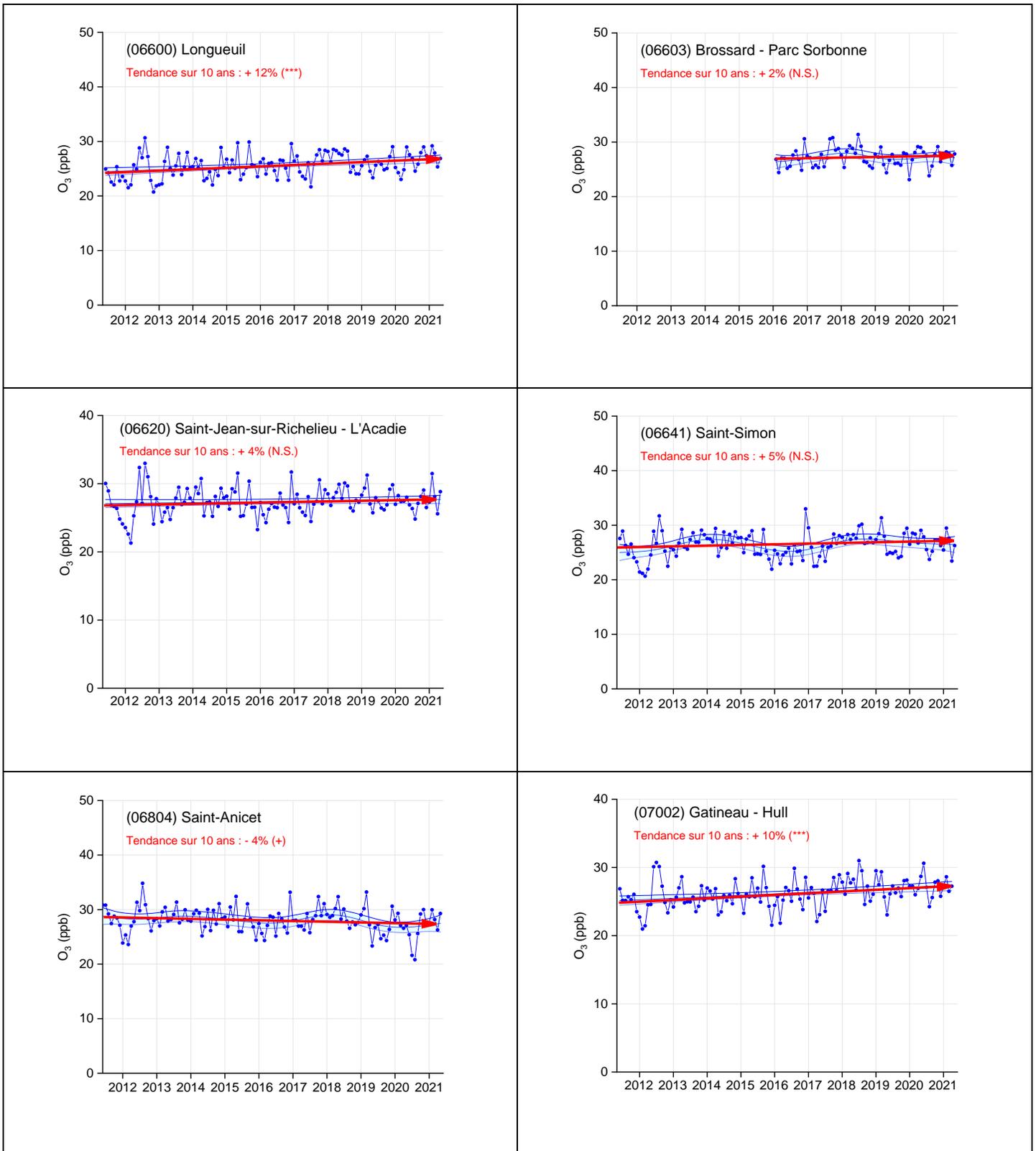


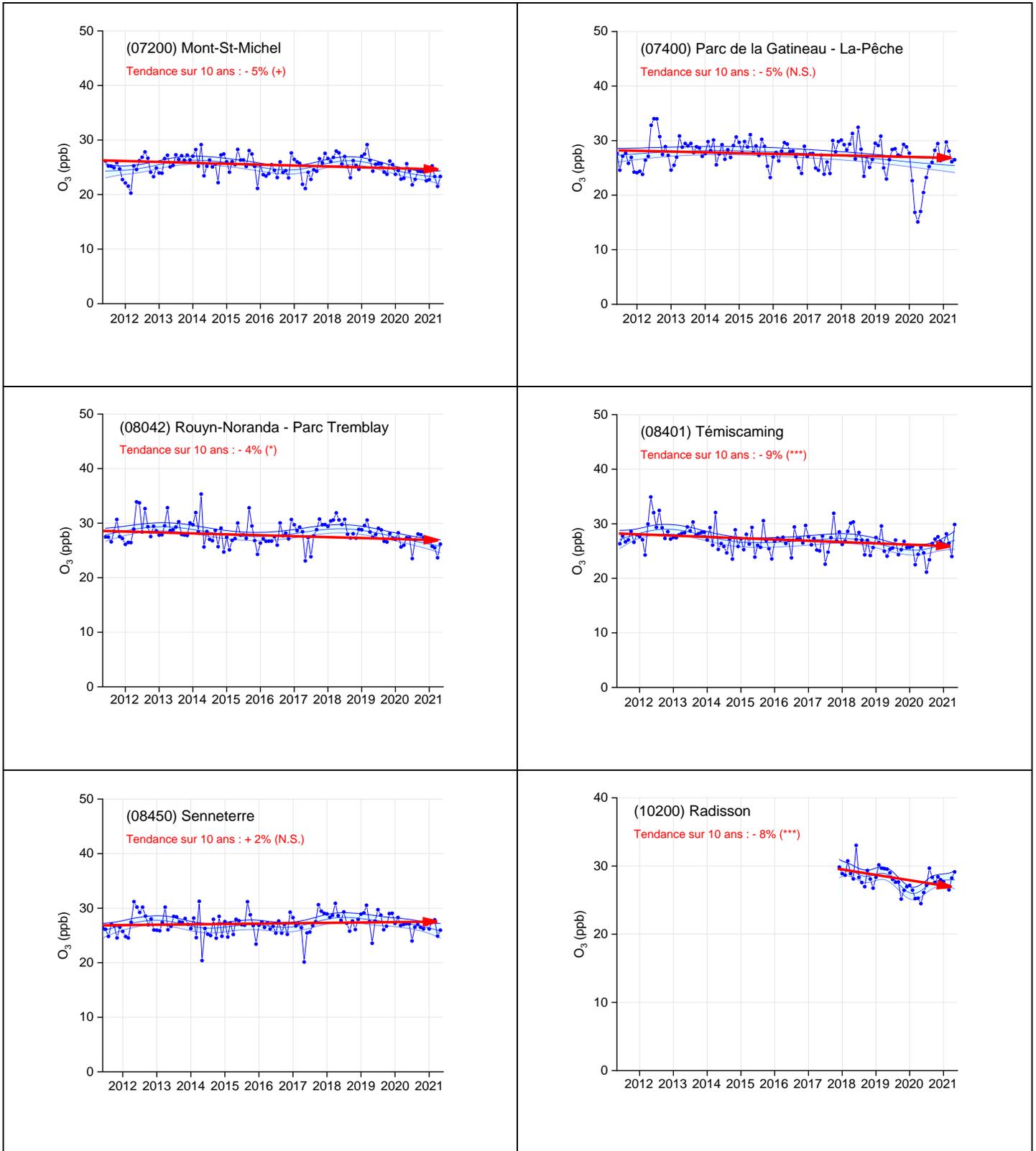






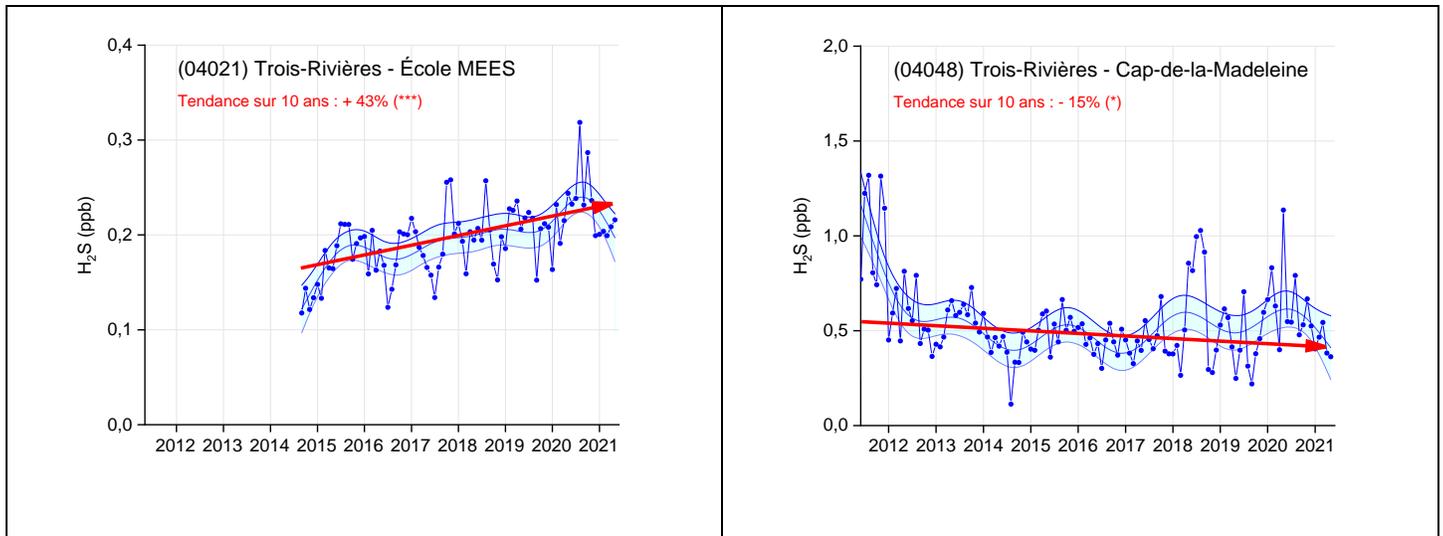






Annexe B10. Tendence 2011-2021 du sulfure d'hydrogène

Tendance des moyennes mensuelles des concentrations de sulfure d'hydrogène aux stations du RSQAQ actives en 2021.





**Environnement,
Lutte contre
les changements
climatiques,
Faune et Parcs**

Québec 