

Circulation et qualité de l'air Parachèvement de l'Autoroute 25

RAPPORT FINAL Rapport général, période : 2011- 2014



Version finale

Janvier 2017

AVERTISSEMENT

La présente étude a été réalisée à la demande du Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports, qui l'a également financée. Le Ministère n'est pas responsable de l'exactitude, de l'actualité et de la fiabilité du contenu de l'ensemble des rapports réalisés dans le cadre de ce mandat. Les points de vue exprimés dans ces rapports émanent des auteurs et ne coïncident pas nécessairement avec ceux du Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports.

ÉQUIPE DE PROJET

Chercheurs

Marianne Hatzopoulou¹

Luis Miranda-Moreno¹

Catherine Morency²

Nicolas Saunier²

Zachary Patterson³

Martin Trépanier⁴

Autres collaborateurs

Maryam Shekarrizfard¹

Joshua Stipancic¹

Ahsan Alam¹

Adham Badran¹

Julien Faucher²

Philippe Gaudette²

Christopher Harding³

Amir Zahabi³

¹ Département de génie civil et de mécanique appliquée
Université McGill

² Département des génies civil, géologique et des mines
Polytechnique Montréal

³ Département de géographie, de planification et d'environnement
Université Concordia

⁴ Département de mathématiques et génie industriel
Polytechnique Montréal



McGill



**POLYTECHNIQUE
MONTRÉAL**

LE GÉNIE
EN PREMIÈRE CLASSE



UNIVERSITÉ
Concordia
UNIVERSITY

Remerciements

L'équipe de recherche souhaite remercier les professionnels du Ministère des Transports, de la Mobilité durable et de l'Électrification des transports pour leur contribution au projet de recherche et les nombreux efforts qu'ils ont déployés afin d'en assurer la bonne réalisation, en soulignant plus particulièrement l'implication de Ronald Collette, ing. M.Sc., Pierre Tremblay, ing., Calin Vintila, ing. et Martine Freedman, Ph.D.

Synthèse

Ce document fournit un résumé des résultats du projet de recherche « Circulation et qualité de l'air : Parachèvement de l'autoroute 25 ». L'un des objectifs principaux de ce projet était l'étude avant et après l'ouverture du pont et le parachèvement de l'autoroute de l'évolution de la qualité de l'air, de la circulation, de l'occupation du sol et de la mobilité. Les données de la qualité de l'air proviennent des six stations du MTMDET installés aux abords de l'autoroute et de trois stations appartenant à la ville de Montréal. Chaque station mesure un groupe de polluants incluant le dioxyde de soufre (SO₂), le monoxyde de carbone (CO), l'ozone (O₃), le dioxyde d'azote (NO₂), le monoxyde d'azote (NO), les particules en suspension (PM₁₀, PM_{2.5}) et des composés organiques volatils (COV). Pour l'analyse de la mobilité dans la zone d'influence, les enquêtes origine-destination de la grande région de Montréal de 2008 et 2013 ont été utilisées pour identifier le bassin d'attraction et les grandes lignes de désir pour lesquelles le nouveau pont fait partie du trajet. Il a été donc possible, grâce à ces deux enquêtes, d'étudier les changements de mobilité avant et après l'ouverture du pont. Pour étudier l'évolution du trafic sur les ponts reliant Laval et Montréal, des données de comptages recueillies au cours de quatre années ont été analysées. L'analyse de l'évolution de l'occupation du sol pour caractériser les aires d'influence des stations et la zone d'influence du corridor de l'A25 proviennent des produits de DMTI Spatial. En plus des données d'occupation du sol, nous avons analysé des données provenant du rôle d'évaluation foncière, notamment le nombre de logements, et la valeur moyenne des logements par unité d'évaluation. Le nombre de logements construits est analysé pour les années 2006 et 2013 (les plus récentes disponibles).

Les résultats de la qualité de l'air couvrent l'année de référence et les trois années après l'ouverture du pont et comprennent l'analyse des dépassements aux différentes stations le long du corridor. De ces analyses, nous observons qu'en général les concentrations moyennes sont similaires sauf pour le CO et NO₂ qui ont des concentrations plus élevées aux stations périphériques. Nous observons aussi que les différences entre les moyennes de NO_x à la paire de stations S1 et S2 sont notablement plus élevées quand le vent est orthogonal. L'influence des conditions de circulation a aussi été identifiée après la prise en compte des facteurs météorologiques. Les résultats sont cohérents avec l'analyse par paires de stations. De plus, les concentrations NO et NO₂ augmentent avec le débit. Finalement, les dépassements sont classés en deux catégories : 1) les dépassements qui se produisent aux six stations de l'axe et aux trois stations périphériques et 2) les dépassements qui se produisent seulement aux stations de l'axe. La deuxième catégorie est d'une importance particulière du fait du lien à la circulation. Les fréquences de chaque catégorie de dépassement sont quantifiées et ne sont pas négligeables. Pour les PST, la fréquence des dépassements qui ont lieu uniquement sur l'axe est plus élevée dans les années d'opération que dans l'année de référence.

En ce qui concerne l'évolution de la mobilité dans le bassin d'attraction, de façon générale, indépendamment de la délimitation du bassin d'attraction, les résultats démontrent que l'ouverture du pont de l'A25 a coïncidé avec la réduction du nombre de déplacements sur le pont Pie IX et la réduction de la part des déplacements circulant en direction sud et nord sur les ponts reliant Montréal à Laval et à la Couronne Nord et empruntant ce pont. Les données disponibles ne permettent pas d'attribuer cette baisse à l'ouverture du pont de l'A25, surtout que des travaux ont pu avoir un effet sur l'utilisation du pont Pie IX. L'utilisation des autres ponts a subi moins de variation entre 2008 et 2013. Un second type d'analyse s'est intéressé à la variation des parts modales pour certaines paires origine-destination dont certains déplacements empruntent le pont de l'A25. Les analyses ne permettent pas de tirer de conclusion générale puisque les différences observées pour la majorité des situations ne sont pas statistiquement significatives. Les seuls cas où les différences sont significatives indiquent

une augmentation de la part des déplacements bimodaux et une diminution des déplacements faits en automobile comme passager (déplacements provenant de Terrebonne et se destinant vers le sud), une augmentation de la part de l'automobile comme conducteur pour les déplacements vers le Nord et une diminution de la part du transport en commun pour les déplacements provenant de Montréal-Nord et se destinant vers le Nord. De façon générale, les distances moyennes des déplacements faits en automobile conducteur, ont diminué sauf pour certains secteurs d'origine, en pointe du matin, pour l'emprunt des ponts en direction sud. Les ordres de grandeur sont toutefois maintenus pour l'ensemble des cas. Finalement, l'étude des distributions temporelles indique une concentration des déplacements automobile-conducteur aux deux blocs centraux des périodes de pointe.

En ce qui concerne les changements dans les débits de circulation pour les neuf ponts étudiés entre Laval et Montréal, nous avons aussi identifié le Pont Pie IX comme celui sur lequel la circulation a été la plus touchée après l'ouverture du pont de l'A25. Sur ce pont, les débits ont largement diminué après l'ouverture sur la période 2011-2014. En moyenne la réduction du nombre de véhicules circulant sur ce pont est d'environ 36 % entre 2010 et 2014 (une réduction de 27 000 véhicules par jour en moyenne). Pour le pont CDG (A40), les comptages montrent aussi une diminution sur la période 2011-2014 par rapport à l'année 2010. Cependant, on observe une certaine stabilité dans la réduction du trafic pour les années 2013 et 2014 (avec une réduction de 13 000 véhicules par jour en moyenne). Pour l'A25, une augmentation constante a été observée au cours des trois années après le début de ses opérations. Nous pouvons estimer une croissance générale du trafic quotidien moyen de 55 % entre 2011 et 2014 (le débit journalier moyen a dépassé les 53 000 véhicules par jour en 2014). Le débit journalier moyen sur les autres ponts étudiés est demeuré plutôt stable ou présente des variations diffuses au fil des ans sans qu'une tendance puisse être identifiée.

En ce qui concerne l'occupation du sol, les analyses incluent une caractérisation avant-après de l'occupation du sol, de l'offre routière et des données immobilières. En général, les changements observés de l'occupation du sol sont petits et autant dus aux changements légers dans la délimitation des types d'occupation qu'à des changements réels sur le terrain, bien qu'il y ait une légère augmentation dans l'occupation résidentielle dans presque tous les secteurs. De la caractérisation routière, les plus grands changements sont observés naturellement dans les secteurs où la construction d'infrastructures routières liées au prolongement de l'A25 lui-même a augmenté le nombre de segments et la longueur des autoroutes. Finalement, de l'analyse de l'évolution du nombre de logements entre 2005 et 2013, nous observons que la plus forte croissance est localisée dans le secteur le plus loin du pont. Il faut conclure que l'augmentation du nombre de logements dans ce secteur n'est probablement pas fortement influencée par la construction du pont étant donnée la distance qui les sépare.

Table des matières

Équipe de projet.....	ii
Remerciements.....	iii
Synthèse.....	iv
Table des matières	vi
Liste des figures.....	viii
Liste des tableaux.....	xi
Liste des acronymes.....	xiii
1 Introduction	1
1.1 Contexte général	1
1.2 Objectifs de ce projet.....	1
1.3 Contenu du rapport.....	2
2 Sources de données utilisées.....	2
2.1 Données d'occupation du sol.....	2
2.2 Données sur la demande en transport : enquêtes OD	4
2.3 Données de circulation	5
2.4 Données de qualité de l'air	5
2.5 Données sur les conditions météorologiques.....	7
3 Résumé des méthodologies.....	10
3.1 Méthodologie de caractérisation de l'occupation du sol dans le corridor de l'A25	10
3.2 Méthodologie d'analyse de l'évolution de la mobilité dans le bassin d'attraction	13
3.3 Méthodologie pour l'analyse de la circulation avant et après la construction du pont.....	15
3.4 Méthodologie d'analyse de la qualité de l'air avec les données météorologiques	16
3.4.1 Analyses de l'évolution de la qualité de l'air au cours des quatre années	16
3.4.2 Analyse de l'influence de la circulation sur la qualité de l'air dans l'axe	17
3.4.3 Analyse d'autres facteurs explicatifs de la qualité de l'air pour chacune des stations	18
3.4.4 Analyse des dépassements	18
4 Résultats.....	18
4.1 Résumé de caractérisation avant-après de l'occupation du sol dans le corridor	18
4.2 Résumé de l'analyse de l'évolution de la mobilité dans le bassin d'attraction	25
4.2.1 Évolution de l'utilisation des différents ponts dans chaque région.....	25
4.2.2 Évolution des caractéristiques des déplacements impliquant le pont	31
4.2.3 Synthèse.....	39

4.3	Analyse de la circulation durant la période d'observation.....	40
4.4	Analyses de l'évolution de la qualité de l'air au cours des quatre années	45
4.4.1	Analyse de l'influence de la circulation sur la qualité de l'air dans l'axe	53
4.4.2	Analyse d'autres facteurs explicatifs	62
4.4.3	Analyse des dépassements	65
5	Conclusions	83
	Références	85
6	Annexes	89
6.1	Condition 8 : Qualité de l'air, décret 1243-2005	89
6.2	Analyses proposées dans le projet global.....	90
6.3	Les indicateurs des débits véhiculaires.....	93
6.4	Facteurs qui influencent la qualité de l'air en milieu urbain	95

Liste des figures

Figure 1: Carte du corridor, des sections et des stations d'échantillonnage	4
Figure 2: Illustration du corridor de l'A25 (a), de la zone d'influence de l'A25 (b) et des aires d'influence des stations d'échantillonnage (c)	11
Figure 3 : Méthodologie d'analyse de l'évolution des comportements de mobilité dans le bassin d'attraction de l'A25	14
Figure 4 : Emplacement des neuf ponts inclus dans l'analyse (dont le nom est surligné en jaune).....	16
Figure 5 : Nombre de logements dans la section A (MTMDET, 2015).....	21
Figure 6 : Nombre de logements dans la section B (MTMDET, 2015).....	21
Figure 7 : Nombre de logements dans la section C (MTMDET, 2015).....	22
Figure 8 : Nombre cumulé de logements dans la section D (MTMDET, 2015)	22
Figure 9 : Différence en valeurs moyennes d'immeubles (et terrain) entre 2010 et 2014 selon les sections du corridor de l'A25 (MTMDET, 2015; MTMDET, 2011)	23
Figure 10 : Augmentation relative moyenne (%) de la valeur des logements entre 2010 et 2013 selon secteur du corridor de l'A25 (MTMDET, 2015 ; MAMROT, 2011)	24
Figure 11 : Bassin d'attraction (origine) en direction SUD – 10 observations minimum	26
Figure 12 : Bassin d'attraction (origine) en direction SUD – 15 observations minimum	26
Figure 13 : Bassin d'attraction (origine) en direction NORD – 10 observations minimum	27
Figure 14 : Bassin d'attraction (origine) en direction NORD – 15 observations minimum	27
Figure 15 : Ponts impliqués dans l'analyse de l'évolution de l'utilisation des ponts	28
Figure 16: Principales paires de secteurs impliquant des déplacements utilisant le pont de l'A25 en direction sud.....	32
Figure 17: Principales paires de secteurs impliquant des déplacements utilisant le pont de l'A25 en direction nord	32
Figure 18: Lignes de désir interceptées aux ponts pour les déplacements entre les secteurs Laval-Saint-François (408) et Montréal-Nord (118) en 2008 et 2013.....	37
Figure 19: Distribution temporelle des déplacements faits en automobile conducteur – Bassin d'emprunt du pont en direction sud	39
Figure 20 : Distribution temporelle des déplacements faits en automobile conducteur – Bassin d'emprunt du pont en direction nord.....	39
Figure 21 : Évolution de la circulation sur le pont du boulevard Pie IX	42
Figure 22 : Distribution journalière de la circulation sur le pont du boulevard Pie IX.....	42
Figure 23 : Évolution de la circulation sur le pont Charles-de Gaulle (A40)	43
Figure 24 : Distribution journalière de la circulation sur le pont Charles-de Gaulle (A40).....	43
Figure 25 : Évolution de la circulation sur le pont A25	44
Figure 26: Distribution journalière de la circulation sur le pont A25	44

Figure 27 : Débit journalier moyen pour novembre de 2010 à 2013	45
Figure 28: Comparaison CO (moyenne 1 h).....	46
Figure 29: Comparaison CO (moyenne 8 h).....	46
Figure 30: Comparaison NO ₂ (moyenne 1 h)	46
Figure 31: Comparaison NO ₂ (moyenne 24 h)	46
Figure 32 : Comparaison O ₃ (moyenne 1 h).....	46
Figure 33: Comparaison O ₃ (moyenne 8 h).....	46
Figure 34: Comparaison O ₃ (moyenne 24 h).....	47
Figure 35: Comparaison PM ₁₀ (GRIMM) (moyenne 24 h).....	47
Figure 36: Comparaison PM _{2.5} (FDMS) (moyenne 24 h).....	47
Figure 37: Comparaison PM _{2.5} (GRIMM) (moyenne 24 h)	47
Figure 38: Comparaison PST (GRIMM) (moyenne 24 h).....	47
Figure 39 : Comparaison SO ₂ (moyenne 1 h).....	48
Figure 40: Comparaison SO ₂ (moyenne 24 h).....	48
Figure 41: Directions des vents pour les cas où la valeur absolue de [NOx (S1) – NOx(S2)] est supérieure au 95ème centile (l’axe approximatif de l’autoroute est marqué en noir)	58
Figure 42: Directions des vents pour les cas où la valeur absolue de [NOx (C1) – NOx(C2)] est supérieure au 95ème centile (l’axe approximatif de l’autoroute est marqué en noir)	60
Figure 43: Directions des vents pour les cas où la valeur absolue de [NOx (N1) – NOx(N2)] est supérieure au 95ème centile (l’axe approximatif de l’autoroute est marqué en noir).....	62
Figure 44 : Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM ₁₀ , données fournies par analyseur Grimm (Troisième année d’opération)	67
Figure 45: Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM ₁₀ , données fournies par analyseur Grimm (Deuxième année d’opération).....	68
Figure 46: Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM ₁₀ , données fournies par analyseur Grimm (Première année d’opération)	69
Figure 47 : Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM ₁₀ , données fournies par analyseur Grimm (Période de référence).....	70
Figure 48: Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM _{2.5} (Troisième année d’opération)	71
Figure 49 : Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM _{2.5} (Deuxième année d’opération)...	72
Figure 50 : Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM _{2.5} (Première année d’opération)	73
Figure 51 : Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM _{2.5} (Période de référence)	74
Figure 52 : Dépassements de la moyenne 24 h pour les PST (Troisième année d’opération)...	75
Figure 53 : Dépassements de la moyenne 24 h pour les PST (Deuxième année d’opération) ..	76
Figure 54 : Dépassements de la moyenne 24 h pour les PST (Première année d’opération)....	77
Figure 55 : Dépassements de la moyenne 24 h pour les PST (Période de référence)	78

Figure 56 : Dépassements de la moyenne 24 h pour l’ozone (Troisième année d’opération)	79
Figure 57 : Dépassements de la moyenne 24 h pour l’ozone (Deuxième année d’opération) ...	80
Figure 58 : Dépassements de la moyenne 24 h pour l’ozone (Première année d’opération)	81
Figure 59 : Dépassements de la moyenne 24 h pour l’ozone (Période de référence).....	82

Liste des tableaux

Tableau 1 : Sections de la zone d'influence de l'axe de l'A25.....	3
Tableau 2: Sources des données de circulation.....	5
Tableau 3: Liste des stations et des polluants mesurés	6
Tableau 4: Critères de dépassement des polluants du programme de suivi découlant du décret. Entre parenthèse sont les seuils du RSQA ajoutés	7
Tableau 5 : Sources des données météorologiques.....	8
Tableau 6 : Données météorologiques de la station C1 (corridor A25).....	8
Tableau 7 : Indicateurs de l'occupation du sol, des infrastructures et de la population	12
Tableau 8 : Caractérisation de la zone d'influence du corridor de l'A25 (750 m), état de référence.....	20
Tableau 9 : Caractérisation de la zone d'influence du corridor de l'A25 (750 m), 2014.....	20
Tableau 10: Évolution 2008-2013 de l'utilisation des ponts en direction SUD – bassin 10 observations	29
Tableau 11: Évolution 2008-2013 de l'utilisation des ponts en direction SUD – bassin 15 observations	29
Tableau 12: Évolution 2008-2013 de l'utilisation des ponts en direction NORD – bassin 10 observations	30
Tableau 13: Évolution 2008-2013 de l'utilisation des ponts en direction NORD – bassin 15 observations	31
Tableau 14 : Évolution 2008-2013 des parts modales (paires OD de l'emprunt du pont en direction sud) – toutes origines confondues	33
Tableau 15 : Évolution 2008-2013 des parts modales (paires OD de l'emprunt du pont en direction sud) – Déplacements provenant de Laval-Saint-François (secteur 408)	34
Tableau 16: Évolution 2008-2013 des parts modales (paires OD de l'emprunt du pont en direction sud) – Déplacements provenant de Terrebonne (secteur 622)	34
Tableau 17: Évolution 2008-2013 des parts modales (paires OD de l'emprunt du pont en direction sud) – Déplacements provenant de Mascouche (secteur 623)	35
Tableau 18 : Évolution 2008-2013 des parts modales (paires OD de l'emprunt du pont en direction nord) – toutes origines confondues.....	35
Tableau 19 : Évolution 2008-2013 des parts modales (paires OD de l'emprunt du pont en direction nord) – déplacements provenant de Montréal-Anjou (secteur 116).....	36
Tableau 20 : Évolution 2008-2013 des parts modales (paires OD de l'emprunt du pont en direction nord) – déplacements provenant de Montréal-Nord (secteur 118)	36
Tableau 21: Évolution 2008-2013 des distances moyennes des déplacements faits en automobile conducteur et empruntant un pont en direction sud ou nord	38
Tableau 22: Changements relatifs significatifs dans les moyennes aux neuf stations entre la période de référence et la première année d'opération	49

Tableau 23: Changements relatifs significatifs dans les moyennes aux neuf stations entre la deuxième et la première année d'opération	50
Tableau 24: Changements relatifs significatifs dans les moyennes aux neuf stations entre la troisième et la deuxième année d'opération	51
Tableau 25: Fréquence des dépassements pour la période de référence	52
Tableau 26: Fréquence des dépassements pour la première année d'opération.....	52
Tableau 27: Fréquence des dépassements pour la seconde année d'opération	53
Tableau 28: Fréquence des dépassements pour la troisième année d'opération	53
Tableau 29: Régression linéaire du $\ln(\text{NO})$ aux stations N1, N2, C1, C2 (Troisième année d'opération).....	63
Tableau 30: Régression linéaire du $\ln(\text{NO})$ aux stations N1, N2, C1, C2 (Deuxième année d'opération).....	63
Tableau 31: Régression linéaire du $\ln(\text{NO}_2)$ aux stations N1, N2, C1, C2 (Troisième année d'opération).....	64
Tableau 32: Régression linéaire du $\ln(\text{NO}_2)$ aux stations N1, N2, C1, C2 (Deuxième année d'opération).....	64
Tableau 33: Régression linéaire du $\ln(\text{O}_3)$ aux stations N1, N2, C1, C2 (Troisième année d'opération).....	64
Tableau 34: Régression linéaire du $\ln(\text{O}_3)$ aux stations N1, N2, C1, C2 (Deuxième année d'opération).....	65

Liste des acronymes

A25	Autoroute 25
AMT	Agence métropolitaine de transport
CO	monoxyde de carbone
COV	composés organiques volatils
DJMA	débit journalier moyen annuel
MAMROT	Ministère des Affaires Municipales, des Régions et de l'Occupations du Territoire (maintenant le Ministère des Affaires municipales et de l'Occupation du Territoire - MAMOT)
MDDEFP	Ministère du Développement Durable, de l'Environnement, de la Faune et des Parcs (actuellement le Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et de la Lutte contre les Changements Climatiques – MDDELCC)
MTQ	Ministère des Transports du Québec
MTMDET	Ministère des Transports, de la Mobilité Durable et de l'Électrification des Transports (anciennement MTQ)
NO	monoxyde d'azote
NO ₂	dioxyde d'azote
O ₃	ozone
OD	origine-destination
PM ₁₀	particules en suspension respirables
PM _{2.5}	particules fines
PST	particules en suspension totales
SO ₂	dioxyde de soufre

1 Introduction

1.1 Contexte général

Depuis septembre 2007, le Ministère des Transports, de la Mobilité Durable et de l'Électrification des Transports (MTMDET auparavant MTQ) gère une entente de partenariat public-privé pour le prolongement de l'autoroute 25 entre Montréal et Laval. Ce projet autoroutier a fait l'objet d'une évaluation environnementale en vertu de la Loi sur la qualité de l'environnement du Québec. Au terme de celle-ci, le gouvernement a émis le décret n°1243-2005, qui souligne dans la Condition 8 que le Ministre « doit élaborer et réaliser un programme de suivi de la qualité de l'air dans l'axe de l'autoroute 25 actuelle et projetée, soit de la jonction des autoroutes 440 et 25 (Laval) jusqu'au pont-tunnel Louis-Hyppolite Lafontaine (Montréal). Le programme de suivi, accompagné d'un état de référence, doit permettre de connaître la contribution du transport routier à la dégradation de la qualité de l'air ambiant » - voir aussi annexe 6.1. Ce nouveau tronçon autoroutier a été ouvert officiellement le samedi 21 mai 2011 et son objectif principal est, tel que formulé par le MTMDET, de « *soulager les ponts de la rivière des Prairies d'une partie de la congestion quotidienne qu'ils subissent, à faciliter le transport des personnes et des marchandises ainsi qu'à assurer la continuité du réseau autoroutier métropolitain dans l'axe nord-sud* ».

Dans ce contexte, ce rapport fournit un portrait de travaux réalisés durant les quatre années du projet de recherche 2011-2014 touchant principalement la circulation et la qualité de l'air suite au parachèvement de l'autoroute 25, mais aussi l'occupation du sol et la mobilité. Plus particulièrement, ce rapport résume les résultats de l'analyse de la qualité de l'air sur la période qui s'étale du 24 mai 2011 au 23 mai 2014, soit les trois années après son ouverture, ainsi que l'année de référence avant son ouverture, du 24 mai 2010 au 23 mai 2011.

1.2 Objectifs de ce projet

Spécifiquement, l'objectif principal du projet de recherche est de fournir au MTMDET des analyses des données et des interprétations produites dans le cadre du programme de suivi de la qualité de l'air exigé par la condition 8 du décret 1243-2005. Quatre catégories de données ont été mises à disposition : 1) des données météo et de qualité de l'air tirées des équipements d'échantillonnage et d'analyse d'air ambiant; 2) des comptages de circulation provenant de stations permanentes et d'opérations de collectes ponctuelles dans le corridor de l'autoroute 25 (ou axe de l'A25); 3) des données de l'occupation du sol et du rôle d'évaluation foncière dans le corridor de l'A25; et 4) des données sur la mobilité provenant des enquêtes origine-destination de la grande région de Montréal.

Afin de satisfaire aux exigences de la condition 8 du décret 1243-2005, le programme de suivi mis en place vise quatre objectifs, ventilés selon six grandes tâches d'analyse spécifiées dans le devis du contrat de recherche (voir l'annexe 6.2) :

1. Évolution globale de la qualité de l'air. Il s'agit ici d'exploiter les données disponibles afin d'établir l'état de référence de la qualité de l'air avant la mise en service du nouveau lien routier et de suivre l'évolution de cet état de référence lors des trois premières années d'exploitation du nouveau tronçon autoroutier.
2. Relever les occurrences de dépassements. Cet objectif vise à identifier les épisodes de dépassements des indicateurs de qualité de l'air aux six stations de mesure situées le

long du corridor, et de contextualiser ces dépassements à l'aide de données de stations de suivi de la qualité de l'air de la Ville de Montréal situées à proximité.

3. Déterminer la contribution du transport aux dépassements. Cette tâche consiste à examiner la contribution potentielle du transport routier à chacun des dépassements enregistrés à l'une ou l'autre des six stations de l'axe ainsi qu'aux stations en périphérie.
4. Évolution dans le bassin d'attraction. Cet élément vise la discussion sur les impacts d'une nouvelle distribution des déplacements, suite à l'ouverture du nouveau corridor routier, sur la qualité de l'air dans la région.

Quatre rapports d'étape ont été préparés au cours de projet pour répondre à ces objectifs et comparer la situation avant et après l'ouverture du pont. Ce rapport final présente un résumé des résultats et conclusions des quatre rapports précédents.

1.3 Contenu du rapport

Ce rapport final se compose de six sections. La section 2 présente un résumé des différentes sources de données qui ont été utilisées pour préparer les rapports annuels et ce document final. La section 3 présente un résumé des méthodologies adoptées dans ce projet pour l'élaboration des rapports annuels. Ensuite, la section 4 présente un résumé général des analyses des différents indicateurs de suivi caractérisant l'occupation du sol dans le corridor, la mobilité, la circulation sur les ponts et la qualité de l'air durant l'année de référence et les trois premières années d'opération du pont. Le rapport conclut (section 5) par une brève synthèse des tendances générales sur les quatre années de l'étude.

2 Sources de données utilisées

Cette section présente un bref résumé des différentes sources de données utilisées pendant la réalisation de ce projet. Ces données concernent l'occupation du sol, la qualité de l'air (source principale des données), les conditions météorologiques, la circulation motorisée et la mobilité (enquêtes origine-destination). Les données ont été décrites de façon plus détaillée dans les rapports d'étape.

2.1 Données d'occupation du sol

Les données sur l'occupation du sol utilisées pour caractériser les aires d'influence des stations de mesure de la qualité de l'air et la zone d'influence du corridor de l'A25 proviennent du produit de DMTI Spatial au nom de « CanMap Streetfiles ». Streetfiles comprend de l'information géographique sur les routes, mais aussi sur l'occupation du sol. Pour ce qui est des routes, la classification des routes utilisée est celle de DMTI. Cette classification correspond en général à la classification fonctionnelle du MTMDET. Il se peut que dans certains cas, la correspondance ne soit pas exacte. Par contre, la correspondance est exacte pour les autoroutes, le seul type de routes utilisé dans les modèles de régression linéaire visant à modéliser les émissions autour des stations d'échantillonnage. Les données sur les routes datent des années 2010 et 2014.

Six différents types d'occupation du sol sont identifiés : résidentiel, commercial, industriel, institutionnel, parcs, inoccupé. Le type « inoccupé » comprend non-seulement les terrains

vacants, mais aussi des routes de grandes surfaces, par exemple les autoroutes. Les données datent des années 2007 et 2014.

En plus des données d'occupation du sol, nous avons analysé des données provenant du rôle d'évaluation foncière, notamment le nombre de logements, et la valeur d'immeubles (et terrain). Le nombre de logements construits est analysé pour les années 2006 et 2013 (les plus récentes disponibles). Le MTMDET a fourni les données sur le nombre, la valeur et l'année de construction des logis pour chacune des unités du rôle d'évaluation en 2014¹. Les valeurs d'immeubles pour 2010 proviennent du rôle d'évaluation de 2011 fourni directement par le MAMROT².

À cause de la nature hétérogène de l'occupation du sol de la zone d'influence du corridor, la zone a été divisée en quatre sections décrites dans le Tableau 1 et la Figure 1.

Tableau 1 : Sections de la zone d'influence de l'axe de l'A25

Section	Description
A	Boulevard Roger Lortie, entre la jonction des autoroutes 440 et 25, et la Rivière des Prairies (à Laval)
B	Boulevard Louis-H Lafontaine entre Henri-Bourassa et la Rivière des Prairies (à Montréal)
C	Boulevard Louis-H Lafontaine entre Henri-Bourassa et la Métropolitaine (40)
D	Segment du Boulevard Louis-H Lafontaine reliant la Métropolitaine au pont-tunnel

¹ Données du rôle foncier 2015 dans le bassin d'influence du parachèvement de l'Autoroute-25. [Fichier_Final_A25_RF15.TAB], Montréal, Québec : ministère des Transports du Québec., [2015].

² Données du rôle foncier 2011 dans la CMM. [CMM_role2011_shp], Québec, Québec : MAMROT., [2011].

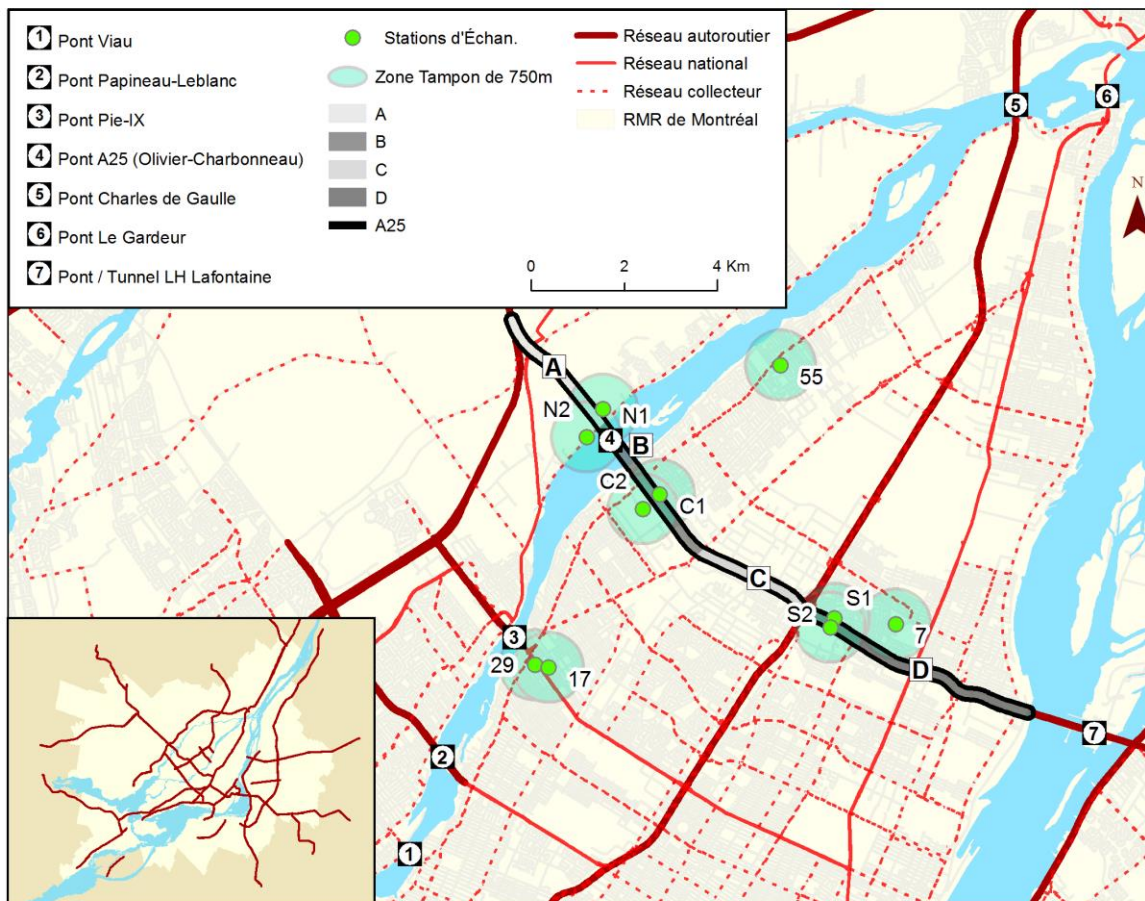


Figure 1: Carte du corridor, des sections et des stations d'échantillonnage

2.2 Données sur la demande en transport : enquêtes OD

La grande région de Montréal dispose d'un riche bagage de données sur la mobilité quotidienne des résidents. Environ tous les 5 ans depuis 1970, une enquête régionale Origine-Destination (OD) est réalisée dans la région en vue de recueillir des données sur la mobilité quotidienne de près de 5 % de la population. La plus récente enquête de ce type a été réalisée à l'automne 2013 par un consortium d'institutions de transport de la région. Cette enquête a permis de recueillir des données auprès de quelque 188 700 personnes, appartenant à plus de 78 800 ménages. Des détails sur cette grande enquête sont disponibles ici : <https://www.amt.qc.ca/fr/a-propos/portrait-mobilite/enquete-od-2013>.

Dans le cadre de ce projet de recherche, les données de l'enquête OD 2013 sont utilisées afin d'analyser l'utilisation du pont de l'Autoroute 25. En effet, cette enquête a été réalisée après l'ouverture du pont et, grâce à l'exploitation d'une variable portant sur le pont utilisé dans les déplacements faits en automobile conducteur, il est possible d'identifier les grandes lignes de désir pour lesquelles le nouveau pont fait partie du trajet.

Les données de l'enquête précédente, celle de 2008, sont aussi exploitées pour mettre en perspective l'utilisation de l'ensemble des ponts permettant de relier Montréal à l'île de Laval. Des détails sur cette enquête, dont la méthodologie est similaire à celle de 2013, sont disponibles ici : <https://www.amt.qc.ca/fr/a-propos/portrait-mobilite/enquetes-precedentes/o-d->

[2008](#). Il est donc possible, grâce à ces deux enquêtes, d'observer l'évolution de l'utilisation de ces différents ponts. Bien que la variable permettant d'identifier le (ou les) pont utilisé(s) lors des déplacements faits comme automobile-conducteur ne fasse pas partie des variables distribuées dans les fichiers d'analyse (fichier dit de niveau 2), cette variable a été rendue disponible à l'équipe de recherche pour exploitation dans le cadre spécifique du présent projet.

2.3 Données de circulation

Comme dans les rapports d'étape, les données de circulation proviennent de neuf stations permanentes sur les ponts les plus proches de l'axe de l'A25 et sur l'A25 même. Les données de circulation couvrent les années 2010 à 2014. Les ponts considérés pour cette étude sont: 1) Louis Bisson (A13), 2) Lachapelle, 3) Médéric-Martin (A15), 4) Viau, 5) Papineau-Leblanc (A19), 6) Pie-IX, 7) Charles de Gaulle (CDG) (A40), 8) Le Gardeur et évidemment, 9) Olivier Charbonneau (A25). Les sources de données pour le pont de l'A25 sont de deux types : des données de transactions au péage et des données de sites permanents de comptage pour les années 2011 à 2014.

Tableau 2: Sources des données de circulation

Source	Description	Couverture	Commentaires
MTMDET	9 sites permanents MTMDET de comptage aux ponts	Annuelle : 2008 à 2014 (sauf les ponts Lachapelle et Viau) Annuelle : 2011 à 2014 pour le pont de l'A25	Comptages horaires
Concessionnaire	Transactions au péage	Annuelle : 2011 à 2014 pour le pont de l'A25	Agrégation des données de transaction aux 15 min

2.4 Données de qualité de l'air

Les données de qualité de l'air sont enregistrées aux six stations du MTMDET (N1, N2, C1, C2, S1 et S2) et aux trois stations de la ville de Montréal (29, 55 et 7). La station 29 est devenue station 17 (caserne des pompiers) en avril 2013. La Figure 1 présente aussi la localisation des stations. Chaque station mesure un groupe de polluants :

1. le dioxyde de soufre (SO₂) ;
2. le monoxyde de carbone (CO) ;
3. l'ozone (O₃) ;
4. le dioxyde d'azote (NO₂) ;
5. le monoxyde d'azote (NO) ;
6. les particules en suspension totales (PST) ;

7. les particules en suspension respirables (PM₁₀) ;
8. les particules fines (PM_{2.5}) ;
9. plusieurs composés organiques volatils (COV).

Tableau 3: Liste des stations et des polluants mesurés

Station	SO ₂	CO	O ₃	NO ₂	NO	PST	PM ₁₀	PM _{2.5}	COV
6005 (S2)			X	X	X	X	X ^g	X ^g	
6006 (S1)			X	X	X	X	X ^g	X ^g	
6056 (C1)	X	X	X*	X	X	X	X ^g	X ^g	X
6057 (C2)	X	X	X	X	X	X	X ^g	X ^g	X
6208 (N1)			X	X	X	X	X ^g	X ^g	
6209 (N2)			X	X	X	X	X ^g	X ^g	
7	X			X	X			X ^f	X
29/17		X	X	X	X	X	X ^g	X ^{g,f}	
55		X	X	X	X		X ^p	X ^f	X

(*) Non-fourni actuellement pour l'an 1

(p) Données Dichotomus Partisol, analyseur séquentiel résultats aux 24h

(g) Données fournies par un analyseur Grimm

(f) Données fournies par un analyseur FDMS

Le Tableau 4 présente les critères de la qualité de l'air du MDDELCC. L'unité d'agrégation temporelle pour chaque polluant est dictée par la présence de normes pour le polluant et l'unité d'agrégation temporelle en question. Certains seuils ont également été ajoutés à titre d'éléments de comparaison. Les seuils sont tirés des normes et critères du réseau de surveillance de la qualité de l'air (RSQA) opéré par la Ville de Montréal (Règlement 2001-10 CMM (90 ex-CUM)). Les unités d'agrégation temporelle considérées pour chaque polluant sont les suivantes :

1. **SO₂** : Moyenne horaire (RSQA), moyenne mobile sur 24 h, et moyenne annuelle
2. **CO** : Moyenne horaire et moyenne mobile sur 8 h
3. **O₃** : Moyenne horaire, moyenne mobile sur 8 h, moyenne mobile sur 24 h (RSQA) et moyenne annuelle (RSQA)
4. **NO₂** : Moyenne horaire, moyenne mobile sur 24 h, et moyenne annuelle
5. **PST** : Moyenne mobile sur 24 h et moyenne annuelle

6. **PM_{2.5}** : Moyenne mobile sur 24 h
7. **PM₁₀** : Moyenne mobile sur 24 h (RSQA)
8. **COV** : Moyenne annuelle. La moyenne annuelle est la moyenne arithmétique de toutes les valeurs de l'année

Tableau 4: Critères de dépassement des polluants du programme de suivi découlant du décret. Entre parenthèse sont les seuils du RSQA ajoutés

Polluant	Critère				
	Unité	1 h	8 h	24 h	An
SO ₂	µg/m ³	(1,300)		288	52
CO	µg/m ³	34,000	12,700		
O ₃	µg/m ³	160	125	(50)	(30)
NO ₂	µg/m ³	414		207	103
PST	µg/m ³			120	
PM ₁₀	µg/m ³			(50)	
PM _{2.5}	µg/m ³			30	

2.5 Données sur les conditions météorologiques

Les données météorologiques proviennent des stations d'Environnement Canada et d'une des stations de suivi de la qualité de l'air du MTMDET (Tableau 5). Cette station C1 est située le long du corridor de l'A25 : c'est la source principale de données, et la station McTavish d'Environnement Canada est utilisée de façon complémentaire. Un résumé des données sur les différentes années de l'étude est présenté dans le Tableau 6.

Tableau 5 : Sources des données météorologiques

Source	Description	Couverture	Commentaires
Environnement Canada	Stations McTavish et Aéroport Trudeau	Annuelle	Données journalières de température et précipitation, entre autres
MTMDET	Station C1	Annuelle	Pas de données de précipitation Données enregistrées dans la base de données de qualité de l'air du MDDEFP
Autres sources (payantes)	Stations McTavish et Aéroport Trudeau	Annuelle	Données horaires de précipitation

Tableau 6 : Données météorologiques de la station C1 (corridor A25)

Mois	Température moyenne (°C)		Humidité relative (%)		Vitesse du vent (km/h)	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Mars 2010	2.30	5.17	61.48	24.66	11.42	6.56
Avril 2010	10.00	5.42	56.16	23.09	9.18	5.70
Mai 2010	16.81	7.10	51.21	19.81	7.84	5.22
Juin 2010	19.13	4.33	66.61	19.14	7.04	4.03
Juillet 2010	23.63	4.66	63.24	16.75	7.85	4.96
Août 2010	21.15	4.13	68.50	16.79	7.43	4.16
Septembre 2010	16.47	5.06	71.72	15.88	7.49	4.59
Octobre 2010	8.64	4.32	67.76	17.61	8.05	4.53
Novembre 2010	2.53	3.84	72.31	15.65	7.55	4.95
Décembre 2010	-5.13	5.06	80.52	10.06	7.16	4.40
Janvier 2011	-8.98	5.90	74.19	12.31	7.06	3.67
Février 2011	-6.91	5.37	68.46	16.02	8.46	4.92
Mars 2011	-1.48	5.43	64.75	19.09	8.25	5.13
Avril 2011	6.72	4.98	59.81	22.55	9.68	5.94
Mai 2011	13.92	5.35	69.71	19.77	8.71	4.62
Juin 2011	20.06	4.76	60.72	20.26	7.13	4.68
Juillet 2011	24.03	4.23	58.12	17.34	6.80	4.10
Août 2011	21.34	3.73	66.94	15.87	7.07	4.61

Septembre 2011	17.94	4.65	71.50	15.91	5.83	3.68
Octobre 2011	10.30	5.06	70.08	16.48	7.35	4.47
Novembre 2011	5.80	4.98	70.15	15.55	7.82	4.42
Décembre 2011	-2.42	6.36	77.39	13.36	7.94	4.77
Janvier 2012	-7.63	6.54	75.48	12.81	9.15	5.46
Février 2012	-4.16	5.22	71.15	14.51	7.61	4.48
Mars 2012	3.24	8.06	64.98	21.79	7.90	5.00
Avril 2012	7.49	5.21	54.92	22.19	9.80	5.73
Mai 2012	16.57	5.49	62.12	22.24	6.90	4.47
Juin 2012	20.44	5.37	61.16	18.18	7.22	4.22
Juillet 2012	23.29	4.29	56.30	17.45	6.27	3.95
Août 2012	22.29	3.93	64.89	16.91	6.90	4.09
Septembre 2012	16.62	5.45	66.64	17.64	6.93	4.75
Octobre 2012	10.81	4.23	73.53	16.09	7.51	5.02
Novembre 2012	1.03	5.10	68.55	14.20	6.81	5.13
Décembre 2012	-3.59	5.60	81.64	10.84	8.26	4.99
Janvier 2013	-7.89	8.80	71.53	14.40	8.62	5.93
Février 2013	-6.56	6.66	72.10	15.77	8.56	5.45
Mars 2013	0.18	4.84	67.78	17.39	8.03	4.50
Avril 2013	6.67	6.33	55.42	19.47	10.31	6.06
Mai 2013	15.85	6.14	59.17	22.43	7.07	4.77
Juin 2013	18.23	4.56	69.14	19.48	6.49	4.18
Juillet 2013	22.67	4.68	64.55	15.95	6.35	4.16
Août 2013	20.70	3.80	67.37	16.18	6.78	4.14
Septembre 2013	15.68	4.68	71.27	17.67	6.19	4.13
Octobre 2013	11.28	5.80	71.89	16.68	6.86	5.27
Novembre 2013	1.36	6.40	68.32	16.00	10.19	6.78
Décembre 2013	-8.32	6.73	78.25	13.93	8.20	4.87
Janvier 2014	-9.79	8.67	69.71	13.87	9.88	5.75
Février 2014	-8.24	5.45	69.04	14.08	8.40	5.13
Mars 2014	-5.44	6.20	61.81	18.64	9.36	5.64
Avril 2014	6.17	4.90	60.49	22.67	9.81	5.32
Mai 2014	14.63	5.00	61.08	20.20	9.05	5.04

3 Résumé des méthodologies

Cette section présente un résumé de chacune des méthodologies utilisées dans ce projet pour suivre l'évolution de différents indicateurs. Ces méthodes ont été présentées plus en détail dans le premier rapport d'étape : État de référence.

3.1 Méthodologie de caractérisation de l'occupation du sol dans le corridor de l'A25

La méthodologie de caractérisation du corridor de l'A25 comprend deux aspects. Le premier aspect tourne autour de la caractérisation géographique (l'emplacement) de l'aire d'étude. Le deuxième concerne l'occupation du sol aux alentours du corridor. Il est nécessaire de prendre en compte l'occupation du sol autour du corridor dans l'analyse d'effets éventuels sur la qualité de l'air. Si l'occupation du sol n'est pas prise en compte, il y aurait un risque d'attribuer à la circulation de véhicules des effets sur la qualité de l'air dus aux caractéristiques de l'occupation du sol. Les différentes mesures décrites dans la deuxième partie de cette section, et testées dans les analyses (voir modèles), sont reconnues dans la littérature comme étant des facteurs importants influençant la qualité de l'air (Crouse et al., 2009).

Par rapport à la caractérisation géographique, plusieurs définitions sont utilisées. La Figure 2 illustre les trois différentes définitions géographiques empruntées pour décrire le corridor. Le corridor de l'A25 fait référence à l'infrastructure sujette au Décret 1243-2005 (annexe 6.1), à savoir l'Autoroute 25 entre la jonction de l'A25 et de la 440 à Laval et le Tunnel Louis-Hippolyte Lafontaine à Montréal (carte a). La carte b) montre une zone tampon de 750 m autour du corridor, appelée la zone d'influence du corridor. La carte c) présente les zones tampons de 750 m autour du corridor (zone d'influence du corridor) ainsi que les zones tampons de 750 m autour des stations d'échantillonnage appelées les aires d'influence des stations. Des zones tampon de 750 m ont été choisies (et utilisées dans l'interprétation de la qualité de l'air) car selon la littérature scientifique, ce sont les plus appropriées pour prendre en compte les effets de l'occupation du sol autour d'infrastructures et de stations d'échantillonnage sur la qualité de l'air (Crouse et al., 2009).

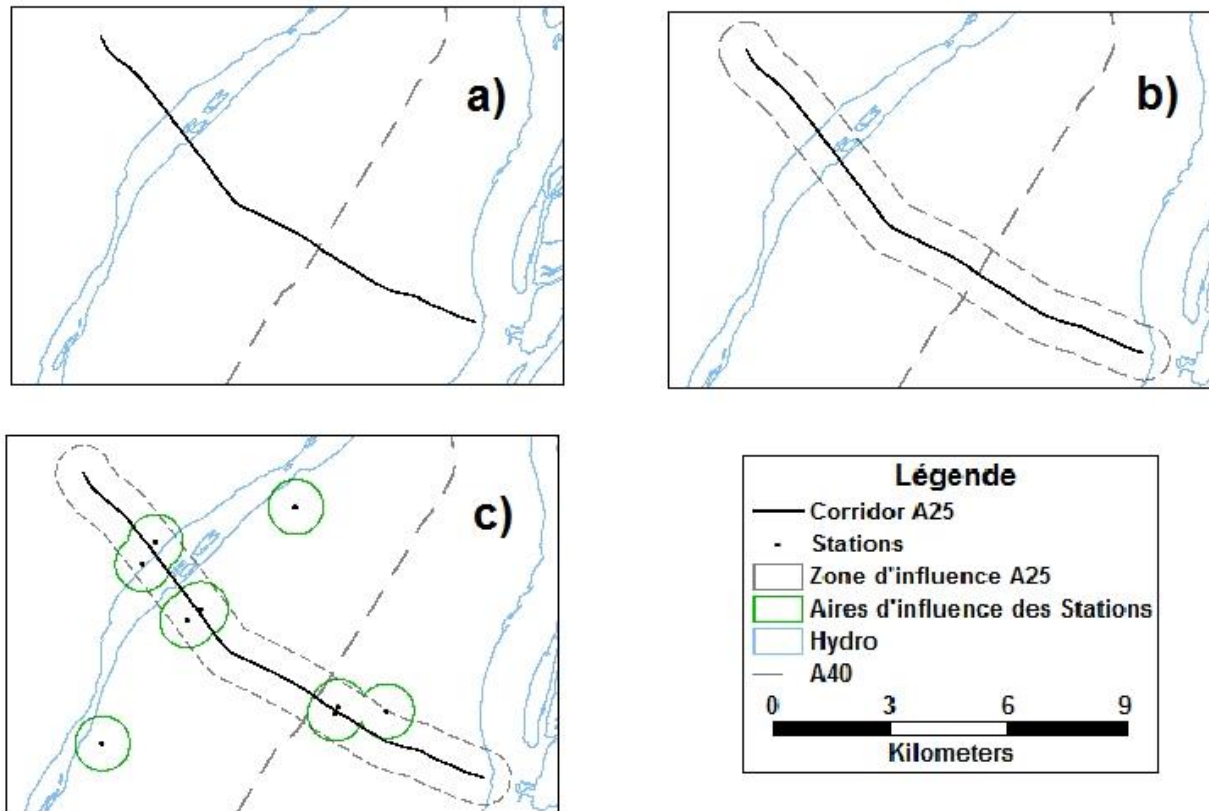


Figure 2: Illustration du corridor de l'A25 (a), de la zone d'influence de l'A25 (b) et des aires d'influence des stations d'échantillonnage (c)

Pour le deuxième aspect, l'occupation du sol, plusieurs indicateurs ont été utilisés. La définition de « l'occupation du sol » utilisée comprend le nombre de personnes et d'emplois, les différents usages de sol ainsi que la mixité d'usages, la configuration et quantité d'infrastructure routière. Tandis que l'analyse présentée dans l'état de référence, incluait des statistiques concernant la densité de population et d'emplois, les plus récentes données sur la population et les emplois datent d'avant l'ouverture du pont (recensement du printemps 2011). Nous ne les incluons donc pas dans ce rapport.

Il est nécessaire de prendre en compte l'occupation du sol autour du corridor dans l'analyse d'effets éventuels sur la qualité de l'air. Si l'occupation du sol n'est pas prise en compte, il y aurait un risque d'attribuer à la circulation de véhicules des effets sur la qualité de l'air dus aux caractéristiques de l'occupation du sol. Les différentes mesures décrites dans la deuxième partie de cette section, et testées dans les analyses (voir modèles), sont reconnues dans la littérature comme étant des facteurs importants influençant la qualité de l'air (Crouse et al., 2009).

En tout, quinze indicateurs sont utilisés. Leur description se trouve au Tableau 7.

Tableau 7 : Indicateurs de l'occupation du sol, des infrastructures et de la population

Variable	Définition
Occupation du sol	
Entropie (Ent)	Mesure d'entropie (mesure de mixité d'usages – voir description ci-dessous)
% Commercial (Comm)	% de surface commerciale
% Résidentiel (Rés)	% de surface résidentielle
% Industriel (Ind)	% de surface industrielle
% Inoccupé (Inocc)	% de surface inoccupée
% Parcs et aires récréatifs (Parcs)	% de parcs et aires récréatives
% Institutionnel (Inst)	% de surface institutionnelle
Densité d'intersections	Nombre d'intersections par km ²
Densité de segments	Nombre de segments routiers par km ²
Densité des routes*	
Toutes routes	km linéaires de routes par km ²
Autoroutes	km linéaires d'autoroutes par km ²
Routes nationales	km linéaires de routes nationales par km ²
Routes régionales	km linéaires de routes régionales par km ²
Routes collectrices	km linéaires de routes collectrices par km ²
Routes locales	km linéaires de routes locales par km ²

* Selon longueur de la section de route (non-directionnelle).

La vaste majorité des variables n'a pas besoin d'explication supplémentaire. Ceci dit, certaines précisions sont utiles, et certaines variables demandent plus d'explication. Pour les mesures de densité ainsi que celles décrivant le pourcentage de différents types d'occupation du sol, la surface sur laquelle la mesure est basée dépend de la taille de la zone tampon. Par exemple, la zone tampon de 750 m autour d'une station d'échantillonnage résulte en une surface totale (s'il n'y a pas d'eau) de 1.8 km².

Un indicateur nécessitant plus d'explication est la mesure de mixité entropique. L'occupation du sol est normalement divisée parmi différents types d'usage (par ex. résidentiel vs agricole, etc.), typiquement moins de douze. En plus de connaître le(s) type(s) d'occupation du sol, il y a aussi souvent un intérêt à connaître à quel point l'occupation du sol est mixte sur un territoire. La mixité est typiquement d'intérêt pour les urbanistes et géographes parce qu'elle est souvent liée aux comportements de transport des gens. En particulier, les territoires qui sont mixtes sont aussi souvent des territoires où les gens se déplacent plus souvent en transport collectif ou en empruntant des modes actifs.

Il y a différentes méthodes pour quantifier la mixité d'occupation du sol. Dans cette analyse, un indicateur entropique est emprunté pour quantifier la mixité d'occupation du sol. L'indicateur est calculé selon la formule suivante.

$$E_j = - \sum_{i=1}^n \frac{\left[\left(\frac{A_{ij}}{D_j} \right) \ln \left(\frac{A_{ij}}{D_j} \right) \right]}{\ln(n)} \quad (3)$$

Où

- A_{ij} est la superficie du type d'occupation i sur le territoire j
- D_j : est la superficie du territoire j (en excluant l'eau)
- n : est le nombre de types d'occupation.

La valeur de cet indicateur peut varier entre 0 et 1. Une valeur de 0 n'implique aucune mixité (un seul type d'usage) et une valeur de 1 implique une mixité (ou hétérogénéité) maximale (parties égales de tous les types présents).

En plus d'une analyse de l'occupation du sol, une analyse de la construction résidentielle et de la valeur d'immeubles (et terrain). Premièrement, les unités du rôle d'évaluation de 2011 à 2015 ont été associées spatialement aux différentes sections permettant d'attribuer les données d'une unité du rôle d'évaluation à une section de l'A25. Les données de 2013 sur la construction des logements ont été agrégées par année de construction et par section permettant de déterminer le nombre de logements dans chacun des groupes.

Les unités du rôle d'évaluation représentant des immeubles codifiés comme étant des immeubles résidentiels sont incluses dans les analyses (util = 1000). De plus, certains immeubles répertoriés sur la période d'étude sont codifiés comme étant des résidences pour personnes âgées de même que des maisons de chambres et de pension (util = 1511, 1541, 1543). Ces bâtiments ont également été inclus dans les analyses.

Par la suite, les données du rôle d'évaluation foncière de 2011 et de 2015 ont été agrégées de manière à fournir la valeur moyenne des immeubles (et terrains) de même que le taux d'augmentation de la valeur des immeubles entre 2010 et 2013 pour chacune des sections.

3.2 Méthodologie d'analyse de l'évolution de la mobilité dans le bassin d'attraction

La méthodologie d'analyse de l'évolution de la mobilité dans le bassin d'attraction du pont de l'A25 est illustrée dans la Figure 3. L'analyse se concentre sur l'utilisation des différents ponts permettant de relier Montréal à Laval et sur les impacts de l'ouverture du nouveau pont sur la redistribution de la demande. L'analyse des parts modales et de la distribution temporelle pour les principales paires OD (origine-destination) desservies par le pont de l'A25 est aussi conduite.

La méthodologie développée s'articule autour des étapes suivantes. D'abord, les données de l'enquête OD 2013³ sont utilisées pour identifier le bassin d'attraction observé du pont de l'A25. Il faut noter qu'au début du projet, les données de l'enquête Origine-Destination expérimentale en continu avaient été utilisées pour proposer une première hypothèse de bassin d'attraction. Maintenant que les données de l'enquête de 2013 sont disponibles, il est possible de mieux délimiter le bassin avec un meilleur échantillon de données.

Les déplacements impliquant l'utilisation de ce pont sont extraits et segmentés selon la direction d'emprunt du pont. Ces données sont ensuite exploitées selon deux grandes perspectives : 1) l'analyse de l'évolution de l'utilisation des différents ponts reliant Montréal à Laval et 2) l'évolution des comportements pour les principales paires origine-destination touchées par l'ouverture du pont.

La première analyse consiste à mesurer l'évolution de l'utilisation des différents ponts. C'est l'analyse la plus pertinente et celle qui est la plus significative puisque directement reliée à l'ouverture du pont et ciblant directement les déplacements faits par les automobilistes conducteurs. Pour cette analyse, les déplacements sont segmentés selon la direction d'utilisation du pont (vers le Nord, vers le Sud) et associés à un secteur d'origine qui agira comme référence pour la fixation de seuils minimums de déplacements observés empruntant le

³ Les enquêtes OD fournissent un portrait pour un jour ouvrable moyen d'automne. On utilise ici la variable correspondant à la déclaration des « ponts empruntés », telle que fournie par les participants à l'Enquête, sans validation.

pont de l'A25. Différents seuils sont utilisés pour délimiter le bassin d'attraction de l'A25 et procéder à l'analyse de l'évolution de l'utilisation des différents ponts. Pour chaque bassin-direction, les données de l'OD 2008 sont également extraites (le seuil est appliqué sur le nombre de déplacements provenant d'un secteur et empruntant le pont de l'A25 en 2013, nonobstant le secteur de destination) et la distribution de l'utilisation des différents ponts par secteur d'origine est conduite.

La seconde analyse s'intéresse aux comportements de mobilité dans les principales paires Origine-Destination (approche par secteur) touchées par l'ouverture du pont de l'A25. Cette analyse est moins directe puisque plusieurs phénomènes peuvent être à la source de changements de comportement (tous modes). Pour cette analyse, un seuil de nombre minimum d'observations par paire origine-destination est fixé et deux indicateurs sont examinés : la distribution temporelle des déplacements, la répartition modale et la distance moyenne des déplacements faits en automobile comme conducteur.

Pour les deux types d'analyse, l'objectif est d'observer des différences entre 2008 (avant l'ouverture) et 2013 (après l'ouverture).

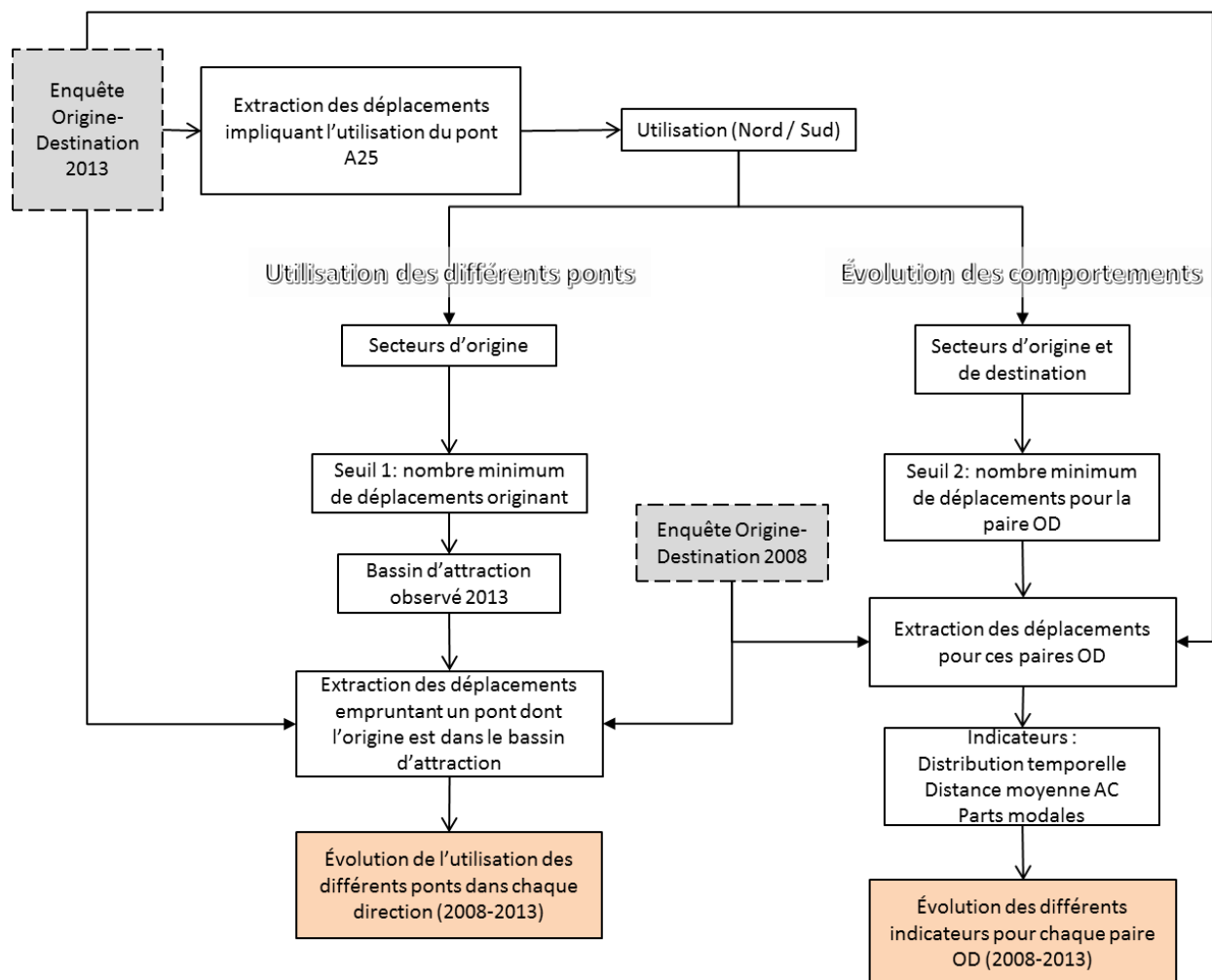


Figure 3 : Méthodologie d'analyse de l'évolution des comportements de mobilité dans le bassin d'attraction de l'A25

3.3 Méthodologie pour l'analyse de la circulation avant et après la construction du pont

La méthodologie proposée pour cette étude a comme objectif l'analyse détaillée des données de circulation avant et après l'ouverture du pont de l'A25 afin de mesurer l'évolution des débits sur chacun des ponts étudiés. Seul un résumé de la méthodologie est présenté ici (voir le second rapport d'étape sur l'année suivant l'ouverture du pont de l'A25 pour l'exposé général de la méthodologie). À partir de données de comptages automatiques fournies par le MTMDET, l'analyse est réalisée en trois étapes :

Étape 1. Intégration des données horaires collectées entre 2008 et 2014 pour chacun des neuf ponts étudiés entre Montréal et Laval ou la Couronne Nord. La Figure 4 illustre l'emplacement de ces ponts. Les données de comptage ont été collectées par des stations permanentes (boucles à induction magnétique). Bien que ces stations, qui fournissent des comptages horaires de véhicules circulant dans chaque direction, aient été installées de façon permanente, il est possible que des données ne soient pas disponibles pour des périodes spécifiques.

Étape 2. Identification d'une période (un mois) durant laquelle des données sont disponibles avant et après l'ouverture du pont, pour chacune des années, de 2008 à 2013 et pour chacun des ponts. L'année 2010 représente la situation du réseau sans le pont de l'A25 (pré-construction), tandis que l'année 2012 représente celle correspondant au réseau avec le pont (post-construction). Comme indiqué dans les rapports d'étape, malheureusement, les séries de comptages horaires sont loin d'être complètes pour un mois spécifique pour les différentes années.

Étape 3. Calcul de statistiques et d'indicateurs servant à l'analyse comparative. Les indicateurs en question sont définis à l'annexe 6.3. L'impact global (variation des débits de circulation) et la redistribution de la circulation résultant de la construction du pont sont estimés. Des cartes facilitant la visualisation des résultats obtenus sont présentées pour faciliter la compréhension des résultats.

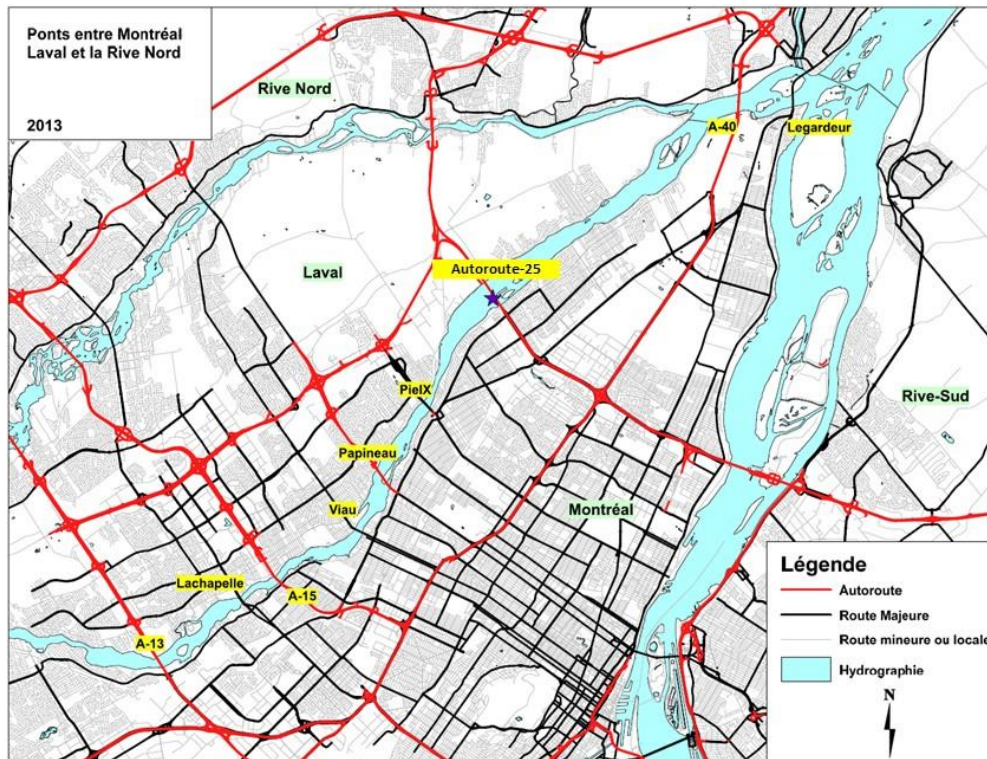


Figure 4 : Emplacement des neuf ponts inclus dans l'analyse (dont le nom est surligné en jaune)

3.4 Méthodologie d'analyse de la qualité de l'air avec les données météorologiques

3.4.1 Analyses de l'évolution de la qualité de l'air au cours des quatre années

Des graphiques qui présentent une comparaison entre les distributions de concentration de tous les polluants aux différentes stations durant les quatre années sont développés. Les distributions sont représentées sous forme de « boîtes à moustache » (« boxplot ») qui représentent la médiane (ligne rouge), les premier et dernier quartiles Q_{25} et Q_{75} (limite basse et hausse des rectangles), les limites à chaque quartile plus ou moins $1,5 \times (Q_{75} - Q_{25})$, et enfin les observations au-delà de ces limites.

De plus, les changements (en pourcentage) dans les moyennes à toutes les stations entre a) la première année d'opération et la période de référence, b) la deuxième année et la première, c) la troisième année et la deuxième, ainsi que d) la troisième année et la période de référence, sont effectués. Cette analyse est basée sur le test de Student « t » (seuil de risque de première espèce $\alpha = 0,05$) qui compare les moyennes des deux périodes. Dans les tableaux qui indiquent ces changements, les cases marquées en vert indiquent une diminution significative durant une année en comparaison avec l'autre et les cases rouges une augmentation significative durant une certaine année.

Finalement, un relevé des épisodes de dépassements est effectué pour chaque année sous forme de tableau. Les cellules marquées en vert indiquent qu'aucune valeur n'est plus élevée que la norme. Le vert pâle indique que quelques valeurs sont proches du critère (marge de 10 %). Le jaune indique que moins que 5 % des valeurs sont au-dessus du critère et l'orange indique que plus de 5 % des valeurs dépassent le critère. Le noir indique l'absence de données.

Un tableau sommaire indique s'il y a une augmentation ou diminution des épisodes de dépassements au cours des quatre années.

3.4.2 Analyse de l'influence de la circulation sur la qualité de l'air dans l'axe

L'analyse aux stations de l'axe est surtout ciblée vers une exploration des niveaux de polluants par paires de stations. Ainsi, les trois paires de stations bordant l'axe (N1/N2, S1/S2, C1/C2) sont prises en considération. Cette analyse vise à quantifier l'effet de la vitesse et la direction du vent par rapport à l'axe sur la différence entre les concentrations de polluants aux stations en amont et en aval du vent. Ceci nous permet d'inférer la contribution de la circulation routière. Quand le vent est orthogonal à l'axe, on s'attend à ce que le niveau des polluants associés au transport sur l'axe soit plus élevé aux stations en aval qu'aux stations en amont du vent.

Pour cela, nous avons d'abord calculé la différence entre les niveaux de polluants par paires de stations en se basant sur les données horaires. À chaque heure, nous avons aussi associé la différence (aval moins amont) pour chaque polluant avec la vitesse et la direction du vent mesurée à la station C1. Nous avons calculé : 1) la moyenne de la différence, 2) la fréquence d'observations où la différence est positive (la concentration en aval est plus élevée), 3) la fréquence d'observations où la différence est négative (la concentration en aval est moins élevée), et 4) la fréquence d'observations où la différence est très faible (les valeurs des concentrations en amont et en aval sont proches). Nous avons ensuite quantifié ces différences pour les conditions suivantes :

1. Vents orthogonaux à l'axe et provenant du Nord-Est
2. Vents orthogonaux à l'axe et provenant du Sud-Ouest
3. Vents alignés avec l'axe provenant du Nord ou du Sud

Cette analyse nous permet de comprendre comment la distribution des différences entre les stations (de chaque paire) change avec la direction du vent. Un vent orthogonal à l'axe est considéré comme faisant un angle entre 45 degrés et 135 degrés avec l'axe routier. Évidemment, l'axe change de direction en passant par les trois paires de stations et celles-ci ne sont pas nécessairement perpendiculaires à l'axe, donc pour chaque paire de stations, on identifie un angle de 45 degrés de part et d'autre de la ligne qui joint les deux stations.

Pour mieux illustrer l'effet de la direction du vent, une rose des vents est utilisée pour les cas où les différences entre les polluants aux paires de stations sont très élevées (supérieures au 95^{ème} centile des différences). En général, une rose des vents présente la fréquence des vents venant de toutes directions et à toutes vitesses au cours d'une période définie (semaine, mois, année, etc.). Les roses des vents annuelles que nous avons développées, incorporent uniquement les directions et vitesses des vents durant les heures où la différence entre les polluants aux paires de stations est très élevée. Elles nous indiquent les vents prédominants lorsque les différences en concentrations sont élevées. On s'attend à ce que ces vents dominants soient orthogonaux à l'axe. Cette analyse est effectuée pour les trois paires de stations et uniquement pour les NO_x. On a choisi les NO_x pour cette analyse car ils sont directement émis par la circulation et jouent le rôle d'un marqueur de la circulation routière.

Finalement, une analyse de régression qui inclut l'effet de la circulation sur l'axe est effectuée. Cette analyse vise à illustrer comment le débit de circulation peut influencer la différence entre les niveaux de polluants en amont et en aval du vent lorsque le vent est orthogonal. Pour cela, on filtre tous les cas où le vent fait un angle entre 45 et 135 degrés avec l'axe (Nord-Est ou Sud-Ouest) et on estime l'effet de la vitesse du vent et du débit de circulation sur la valeur

absolue de la différence. On s'attend à ce que lorsque le débit augmente, la différence entre les stations amont-aval augmente aussi. Un résumé de la revue de littérature sur les facteurs qui influencent la qualité de l'air en milieu urbain est présenté dans l'Annexe 6.4.

3.4.3 Analyse d'autres facteurs explicatifs de la qualité de l'air pour chacune des stations

À chaque station, les données horaires de la qualité de l'air sont associées aux données horaires météorologiques de la station C1. De plus, les données de l'occupation du sol qui caractérisent chaque station sont associées à toutes les données de la qualité de l'air. Ces données incluent l'indice de mixité, la densité de zones industrielles, la densité de population, etc. Cette analyse se limite aux trois polluants suivants : NO, NO₂, et O₃. Comme mentionné plus haut, les NO et NO₂ sont fortement associés aux émissions du transport et ainsi sont considérés comme les meilleurs indicateurs de la circulation routière. Par contre, l'O₃, un polluant secondaire, formé par de nombreuses réactions chimiques atmosphériques qui incluent plusieurs substances dont les NO_x générés par les véhicules, est étudié afin d'examiner l'effet de l'occupation du sol et surtout de la distance de l'autoroute sur sa concentration.

En plus de la régression linéaire pour les NO, NO₂, et O₃, nous avons produit pour chaque station un graphique de l'évolution horaire des trois polluants en prenant la moyenne pour chaque heure de toutes les données horaires. Ces graphiques nous permettent de mieux comprendre les analyses de régression en illustrant comment les niveaux de ces polluants varient aux stations proches de l'axe et aux stations périphériques.

3.4.4 Analyse des dépassements

Afin d'évaluer l'étendue des dépassements et la possibilité que la circulation sur l'axe en soit la cause, quatre polluants avec un pourcentage élevé de dépassements sont étudiés : PM₁₀ (moyenne 24 h), PM_{2.5} (moyenne 24 h), PST (moyenne 24 h), et l'ozone (moyenne 24 h). Les moyennes flottantes sur 24 h basées sur les valeurs horaires font l'objet de notre analyse. Bien que l'ozone ne soit pas émis directement par la circulation routière, on propose de l'inclure pour compléter la liste des polluants pour lesquels des dépassements ont lieu. L'analyse des dépassements de l'ozone nous aide à visualiser les stations où le plus de dépassements a lieu.

Pour chacun de ces quatre polluants, on identifie uniquement les dépassements de la moyenne 24 h, à chaque station (après avoir calculé la moyenne 24 h avec les données de toute l'année, on extrait chaque heure où un dépassement a lieu) et on étudie le nombre de dépassements qui ont lieu à une des stations de l'axe sans avoir lieu aux trois stations périphériques. On calcule le pourcentage des dépassements qui se limitent aux stations de l'axe. Ces dépassements peuvent potentiellement être attribués à la circulation sur l'axe.

4 Résultats

Cette section présente un résumé des principaux résultats pour chacun des indicateurs suivant le même ordre dans lequel les données et les méthodologies ont été présentées.

4.1 Résumé de caractérisation avant-après de l'occupation du sol dans le corridor

Il est à mentionner que cette section traite uniquement d'une caractérisation avant-après de l'occupation du sol de la zone d'influence du corridor A25 et non des aires d'influences des stations qui ne font pas partie du mandat. Nous commençons avec l'analyse avant-après de l'occupation du sol, suivi par la caractérisation des routes et finissons avec les données immobilières.

Le Tableau 8 et le Tableau 9 présentent les informations avant-après sur l'occupation du sol et la caractérisation des routes dans chaque section (Figure 1). Par rapport à l'occupation du sol, il y a certains changements dans les valeurs des pourcentages des différents types d'occupation. En général, ces changements sont petits et autant dus à de légers changements dans la délimitation des types d'occupations qu'aux changements réels sur le terrain, bien qu'il y ait une légère augmentation dans l'occupation résidentielle dans toutes les sections (et surtout D) sauf A. Une exception est l'indicateur entropique pour les sections A et B. Pour la section A, le grand changement (de 16.1 à 19.25) est dû principalement à l'absence d'occupation « institutionnelle » en 2014 causée par le changement en classification de terrain lié au chantier de construction pour le pont du A25 à « inoccupé » en 2014. Une augmentation de l'indicateur entropique pour la section B est due similairement à une absence de superficie classée en tant que « commerciale » en 2014.

Les parties droites du Tableau 8 et du Tableau 9 présentent la caractérisation des routes. Une première chose à noter est que la méthodologie pour le calcul des indicateurs a changé légèrement par rapport à celle utilisée dans l'état de référence pour assurer la comparabilité entre l'état de référence et l'année 2014 (les mêmes calculs ont été utilisés pour produire les résultats des deux années présentés ici). Les plus grands changements sont observés naturellement dans les sections A et B où la construction d'infrastructures routières liées à la prolongation de l'A25 a augmenté la longueur d'autoroutes.

Tableau 8 : Caractérisation de la zone d'influence du corridor de l'A25 (750 m), état de référence

Section	Mixité	Occupation du sol						Dens intersect	Dens seg	Aire net (sans eau)	Densité de routes (km linéaires de routes par km ²)					
		Ent	Comm	Rés	Ind	Inocc	Parcs				Inst.	Par km ²	Par km ²	km ²	Tot	Aut
A	16.1%	-	4.2%	1.0%	93.7%	-	1.1%	1.79	10.18	5.6	2.72	0.75	0.32	-	0.58	1.07
B	73.7%	0.5%	30.7%	40.8%	13.0%	0.6%	13.7%	24.79	76.46	4.8	9.59	0.24	-	-	2.71	6.64
C	74.5%	5.8%	28.5%	46.4%	13.0%	1.7%	3.6%	28.39	105.00	5.6	11.67	1.82	-	-	2.63	7.22
D	85.8%	7.3%	44.3%	19.1%	13.8%	7.0%	8.5%	42.39	133.75	8.8	13.97	1.84	0.34	-	2.13	9.65

Tableau 9 : Caractérisation de la zone d'influence du corridor de l'A25 (750 m), 2014

Section	Mixité	Occupation du sol						Dens intersect	Dens seg	Aire net (sans eau)	Densité de routes (km linéaires de routes par km ²)					
		Ent	Comm	Rés	Ind	Inocc	Parcs				Inst.	Par km ²	Par km ²	km ²	Tot	Aut
A	19.2%	-	3.7%	1.0%	95.4%	-	-	1.79	25.71	5.6	6.08	4.20	0.36	0.70	0.42	0.39
B	81.5%	-	32.1%	39.4%	14.3%	0.6%	13.7%	27.29	92.92	4.8	11.17	1.46	-	0.04	2.83	6.84
C	74.5%	5.3%	29.8%	46.1%	13.5%	1.8%	3.7%	28.57	110.18	5.6	12.05	2.15	-	NA	2.64	7.26
D	83.0%	7.0%	47.6%	17.8%	13.85%	6.9%	6.97%	42.27	138.30	8.8	14.12	1.84	0.34	NA	2.23	9.71

Passant aux données immobilières, nous commençons avec l'analyse du nombre de logements et continuons avec la valeur moyenne des immeubles (et terrains). La Figure 5 à la Figure 8 présentent l'évolution du nombre de logements pour chaque section sur la période étudiée. Pour la section A, aucun nouveau logement n'a été construit et le nombre de logements demeure ainsi 32 sur la période analysée (Figure 5).

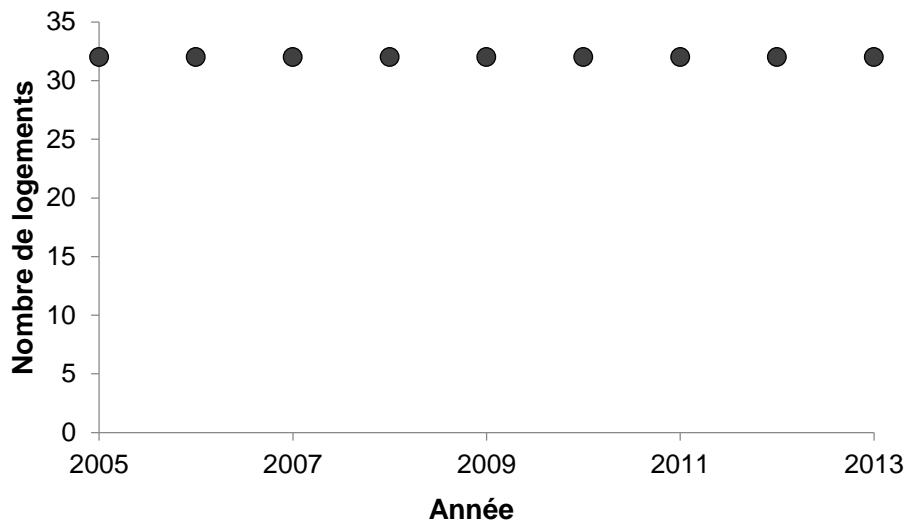


Figure 5 : Nombre de logements dans la section A (MTMDET, 2015)

Tel que montré dans la Figure 6, le nombre de nouveaux logements dans la section B montre une faible augmentation entre 2005 et 2008 suivie par une période d'augmentation constante entre 2009 et 2012 qui commence à se stabiliser en 2013.

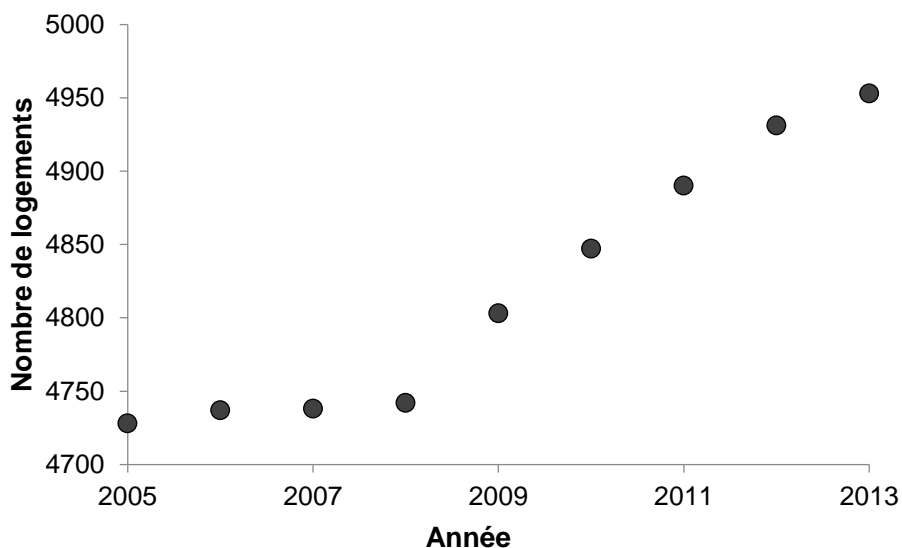


Figure 6 : Nombre de logements dans la section B (MTMDET, 2015)

La Figure 7 indique une faible croissance du nombre de logements dans la section C après 2005.

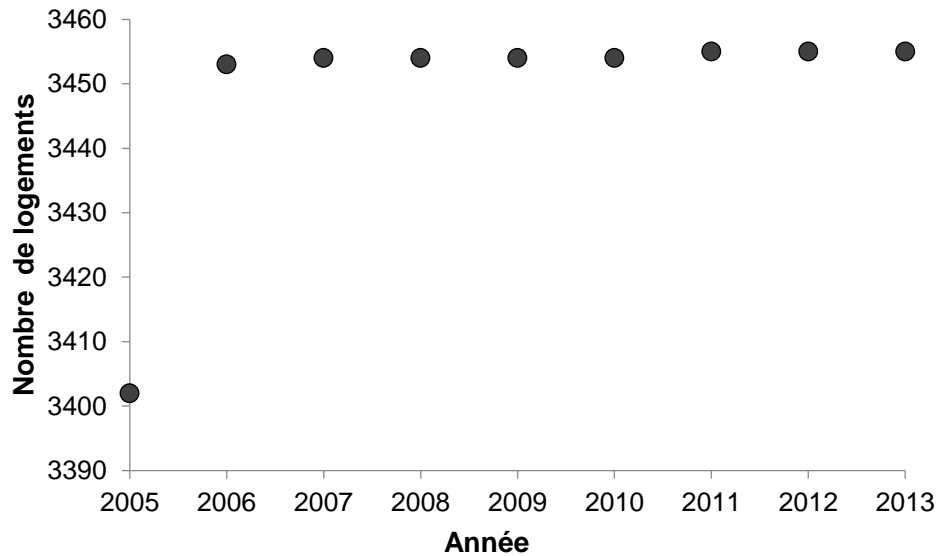


Figure 7 : Nombre de logements dans la section C (MTMDET, 2015)

Tel que montré à la Figure 8, la section D montre la plus importante augmentation de nouveaux logements au commencement de la période à l'étude. Un important nombre de nouveaux logements est également construit en 2008 (575 nouveaux logements) suivi d'une légère augmentation dans les années suivantes.

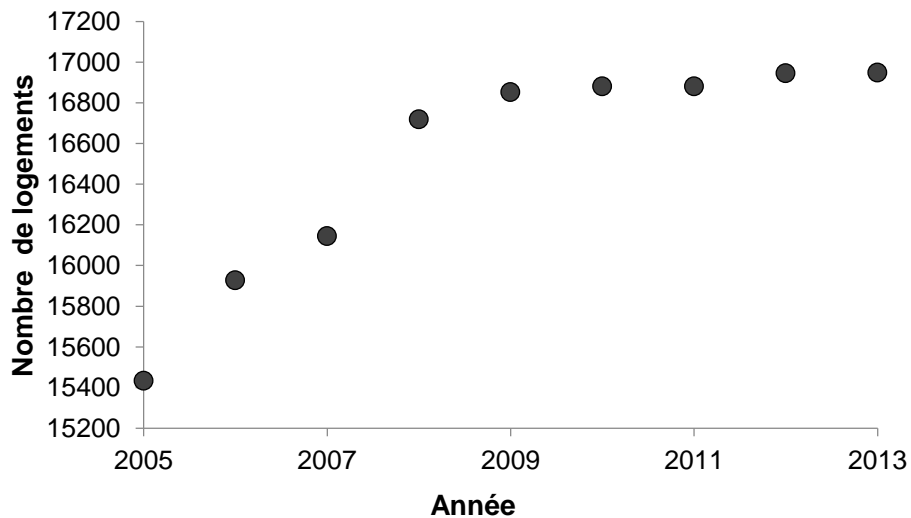


Figure 8 : Nombre cumulé de logements dans la section D (MTMDET, 2015)

Selon l'analyse de l'évolution du nombre de logements entre 2005 et 2013, la plus forte croissance est observée dans la section le plus loin du pont (D) et est antérieure à sa construction. Il faut conclure que l'augmentation dans le nombre de logements dans cette section n'est sûrement pas associée à la construction du pont étant donnée la distance entre la section et le pont. Tandis qu'il n'y a pas eu de nouveaux logements dans la section A et un nombre plus limité dans la section B, il ne faut pas conclure qu'il n'y a pas eu d'effet sur le nombre de logements, mais que cet effet n'a pas été très important. Ceci pourrait s'expliquer aussi par un zonage qui ne permettait pas davantage de construction pendant la période

d'observation, surtout dans la section A. Potentiellement plus intéressant que le nombre de logements sont les valeurs immobilières dans les différentes sections.

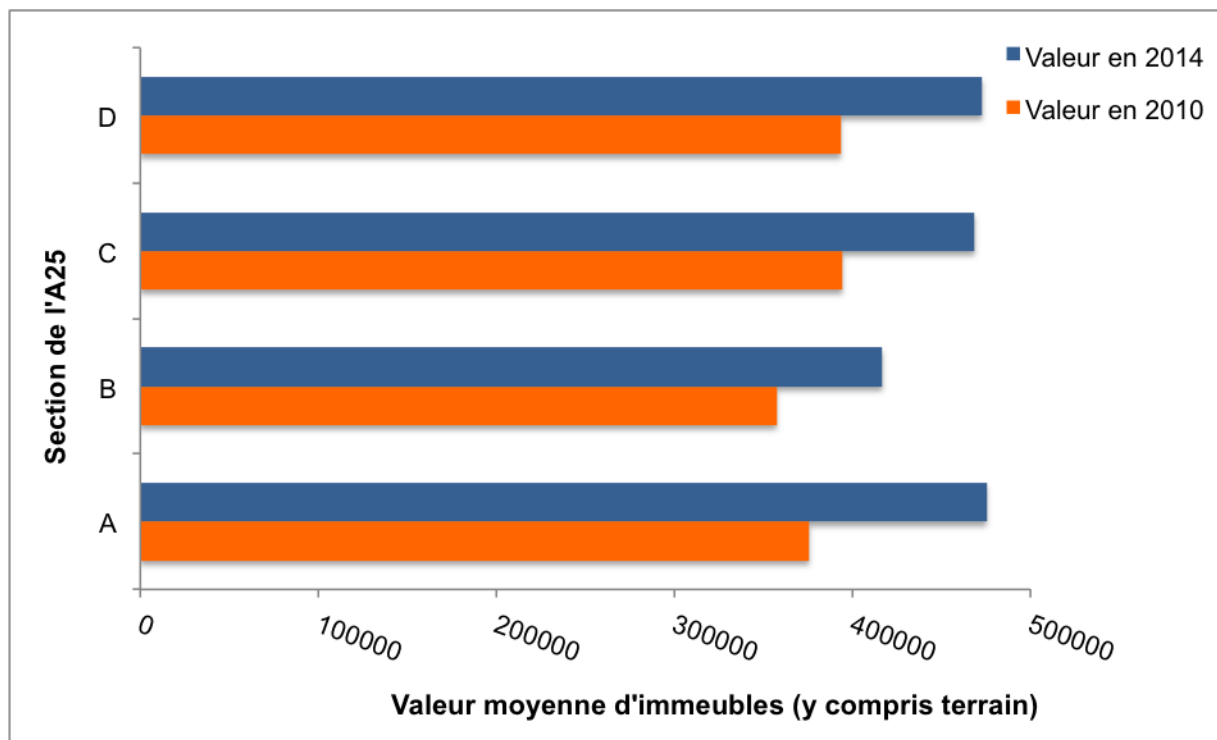


Figure 9 : Différence en valeurs moyennes d'immeubles (et terrain) entre 2010 et 2014 selon les sections du corridor de l'A25 (MTMDET, 2015; MTMDET, 2011)

Tel que montré dans la Figure 9, la valeur des immeubles (et terrain) augmente entre 2010 et 2014 dans toutes les sections. La Figure 10 précise que l'augmentation relative (en pourcentage) la plus importante de la valeur des résidences est observée dans la section A (6,6 % par année). L'augmentation de la valeur des immeubles (et terrain) peut refléter l'amélioration de l'accès à l'Île de Montréal. Malgré une hausse de la valeur des résidences, aucune nouvelle unité n'a été construite dans la section A pendant la période à l'étude.

La section montrant la seconde plus importante hausse de la valeur immobilière est la section D (5,0 % par année) suivi de la section C (4,7 % par année). La plus faible hausse de valeur est, pour sa part, observée dans la section B (4,2 % par année). Bien que nous n'ayons pas eu accès aux données comparables pour toute la région, un site web⁴ monté récemment par le Globe and Mail est utilisé pour mettre ces chiffres en contexte. Selon ce site, les prix immobiliers dans la région montréalaise ont augmenté de 4,5 % par année entre 2010 et 2014. Ce qui fait que l'augmentation de prix dans trois des quatre sections était en ligne avec l'augmentation dans la région en général. L'augmentation de 6,6 % pour la section A pourrait faire croire que la prolongation de l'A25 ait eu un effet sur les valeurs immobilières dans cette section, bien que ceci est basé sur seulement 32 immeubles.

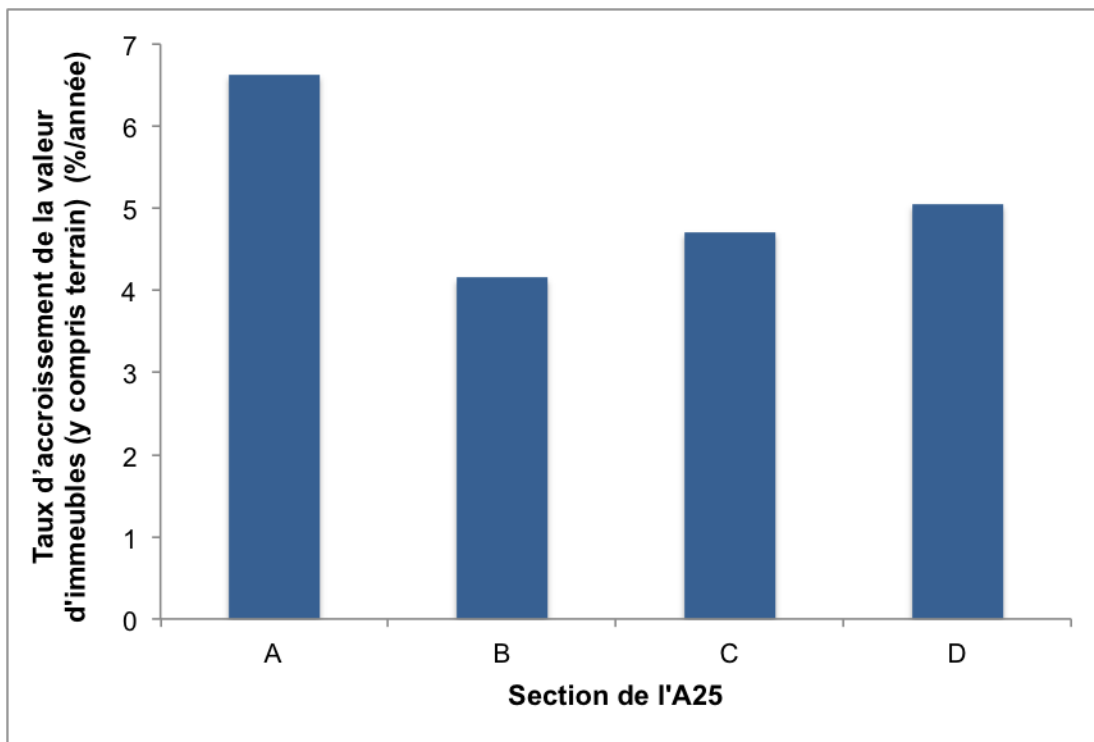


Figure 10 : Augmentation relative moyenne (%) de la valeur des logements entre 2010 et 2013 selon secteur du corridor de l'A25 (MTMDET, 2015 ; MAMROT, 2011)

⁴<http://www.theglobeandmail.com/real-estate/house-price-data-centre-canadian-home-prices-surge-eight-per-cent/article29697029/>

4.2 Résumé de l'analyse de l'évolution de la mobilité dans le bassin d'attraction

Deux perspectives analytiques sont traitées dans cette section : 1) l'analyse de l'évolution des différents ponts reliant Montréal à Laval et 2) l'évolution des comportements de mobilité pour les principales paires origine-destination touchées par l'ouverture du pont.

4.2.1 Évolution de l'utilisation des différents ponts dans chaque région

Délimitation des bassins d'attraction à partir des données de l'enquête OD 2013

La première étape de la démarche consiste à délimiter les secteurs d'origine (sur 24 h, tous motifs) pour lesquels un nombre suffisant de déplacements empruntant le pont de l'A25 est observé. Puisque la démarche vise à identifier pour quelles paires Origine-Destination le nouveau pont est une option, il est important d'inclure tous les déplacements empruntant le pont, dans chacune des directions, et de regarder l'évolution de ce choix selon différents critères par la suite. Quatre seuils différents (1 observation, 5 observations, 10 observations et 15 observations) ont été utilisés pour délimiter le bassin d'attraction afin d'identifier l'approche la plus pertinente pour les fins du projet et observer la variabilité des résultats selon le seuil choisi. Les résultats pour les seuils de 10 et 15 observations sont présentés ici.

Les figures qui suivent présentent les secteurs d'origine appartenant au bassin d'attraction pour les deux directions d'emprunt du pont, selon le critère de 10 et 15 observations minimum. La coloration des secteurs représente la part que représentent les déplacements provenant du secteur dans l'utilisation du pont dans la direction étudiée.

Direction Sud. La Figure 11 présente tous les secteurs dont au moins 10 déplacements en provenance utilisent le pont en direction SUD (la somme des proportions donne donc 100 %). La Figure 12 présente le bassin d'origine en direction SUD, mais selon un critère de 15 observations. Avec l'augmentation du nombre minimum d'observations, on observe évidemment une diminution de la taille du bassin d'attraction. Ce sont les secteurs de l'Île de Laval (excluant Laval Ouest), Terrebonne (part la plus importante), Mascouche, La Plaine, Lachenaie et Saint-Roch-de-l'Achigan qui ont les parts les plus importantes.

Direction Nord. La Figure 13 présente tous les secteurs dont au moins un déplacement en provenance utilise le pont en direction NORD (la somme des proportions donne donc 100 %). La Figure 14 présente le bassin d'origine en direction NORD, mais pour un seuil de 15 observations. Avec l'augmentation du nombre minimum d'observations, on observe évidemment une diminution de la taille du bassin d'attraction. Ce sont les secteurs Anjou (plus importante part), Saint-Léonard, Montréal-Nord, Mercier, Rivière-des-Prairies qui ont les parts les plus importantes. Le secteur de Boucherville sur la Rive-Sud se démarque également.

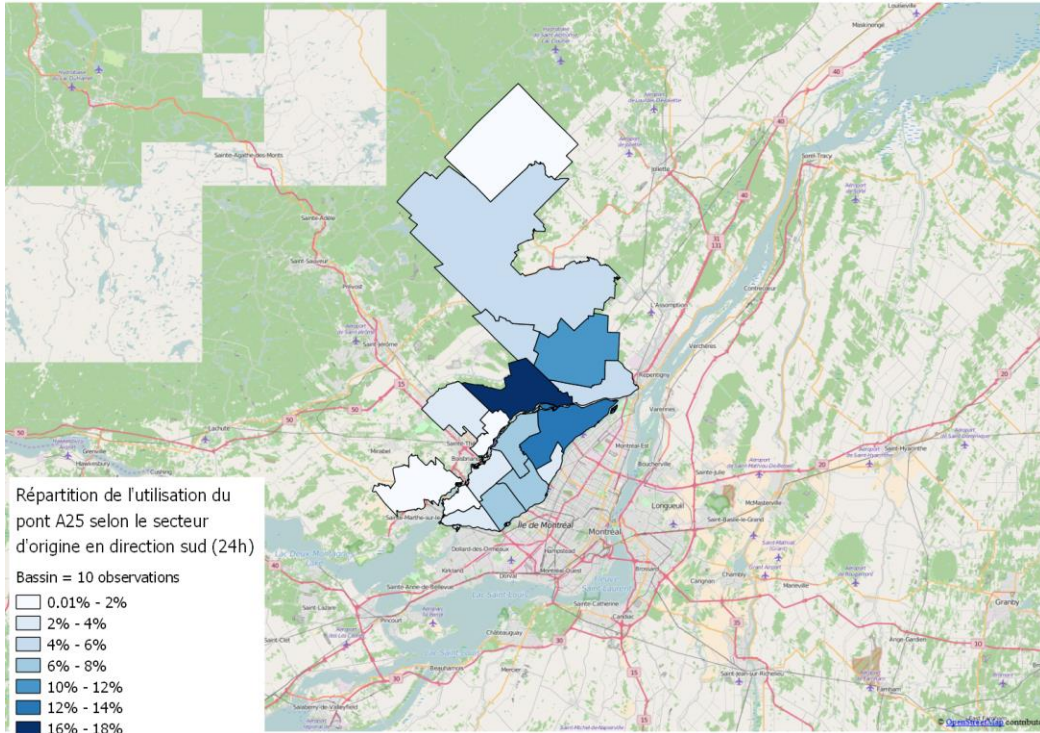


Figure 11 : Bassin d'attraction (origine) en direction SUD – 10 observations minimum

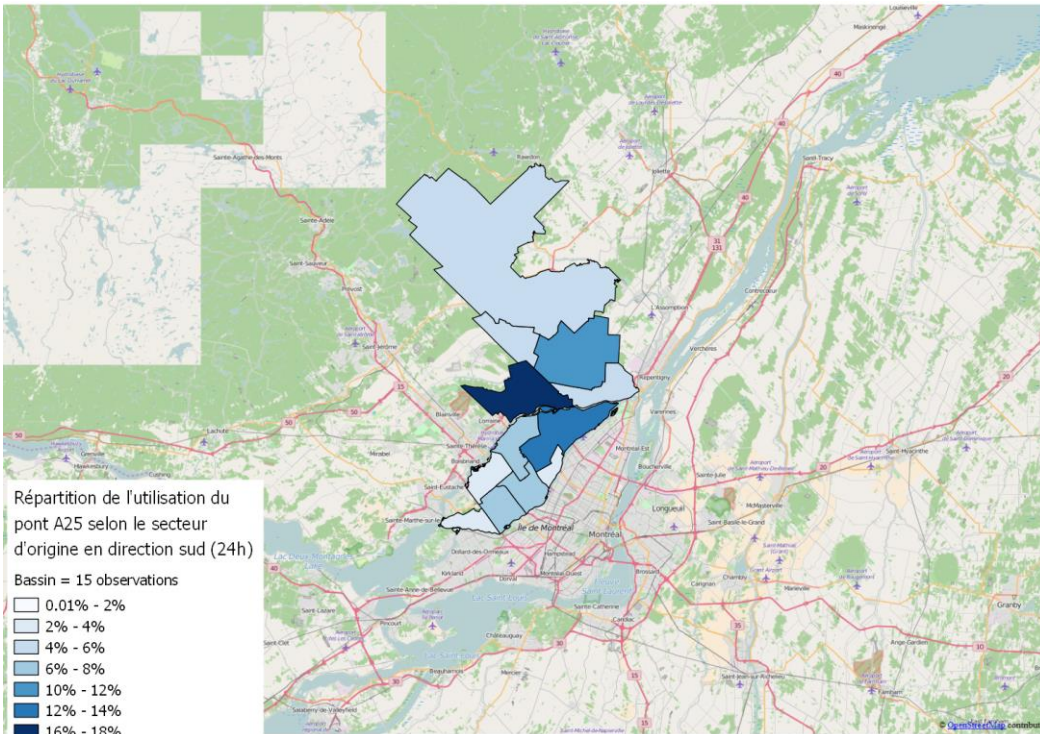


Figure 12 : Bassin d'attraction (origine) en direction SUD – 15 observations minimum

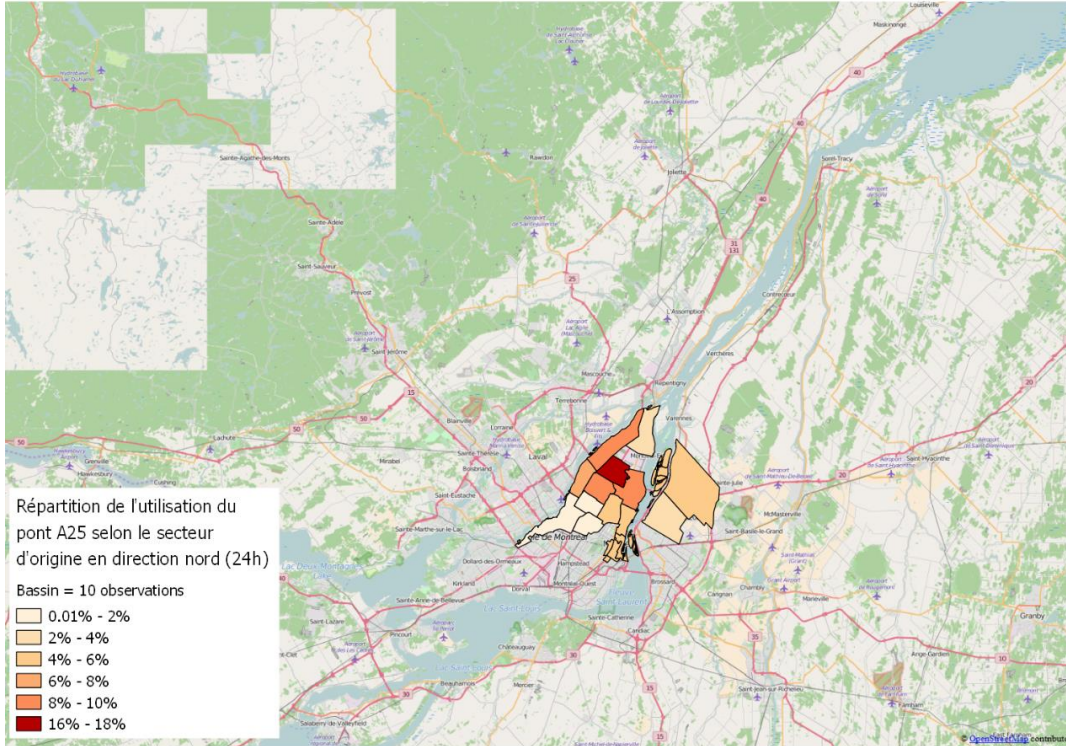


Figure 13 : Bassin d'attraction (origine) en direction NORD – 10 observations minimum

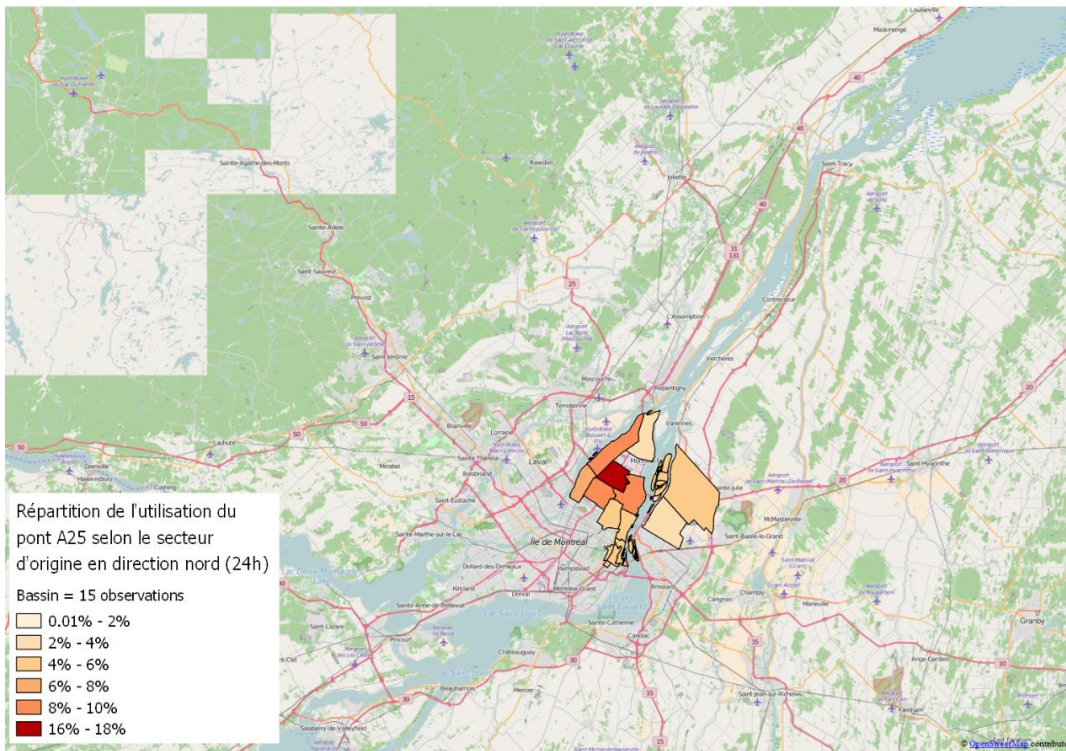


Figure 14 : Bassin d'attraction (origine) en direction NORD – 15 observations minimum

Étude de l'utilisation des différents ponts

À partir des données des enquêtes de 2008 et 2013, l'étude de l'utilisation des différents ponts reliant Montréal à Laval (ainsi que les ponts reliant Montréal à la Rive-Nord dans l'est) pour les déplacements provenant des secteurs du bassin d'attraction est maintenant proposée. Les huit ponts impliqués dans l'analyse sont localisés à la Figure 15 (en plus du nouveau pont).

Les tableaux qui suivent présentent les résultats de l'utilisation des ponts (tous motifs, sur 24 h) identifiés pour les différents bassins d'attraction discutés (selon 10 et 15 observations minimums). Deux mesures sont analysées : l'évolution du nombre de déplacements empruntant les différents ponts (sur 24 h) et l'évolution de la part de chaque pont dans les déplacements provenant des secteurs.

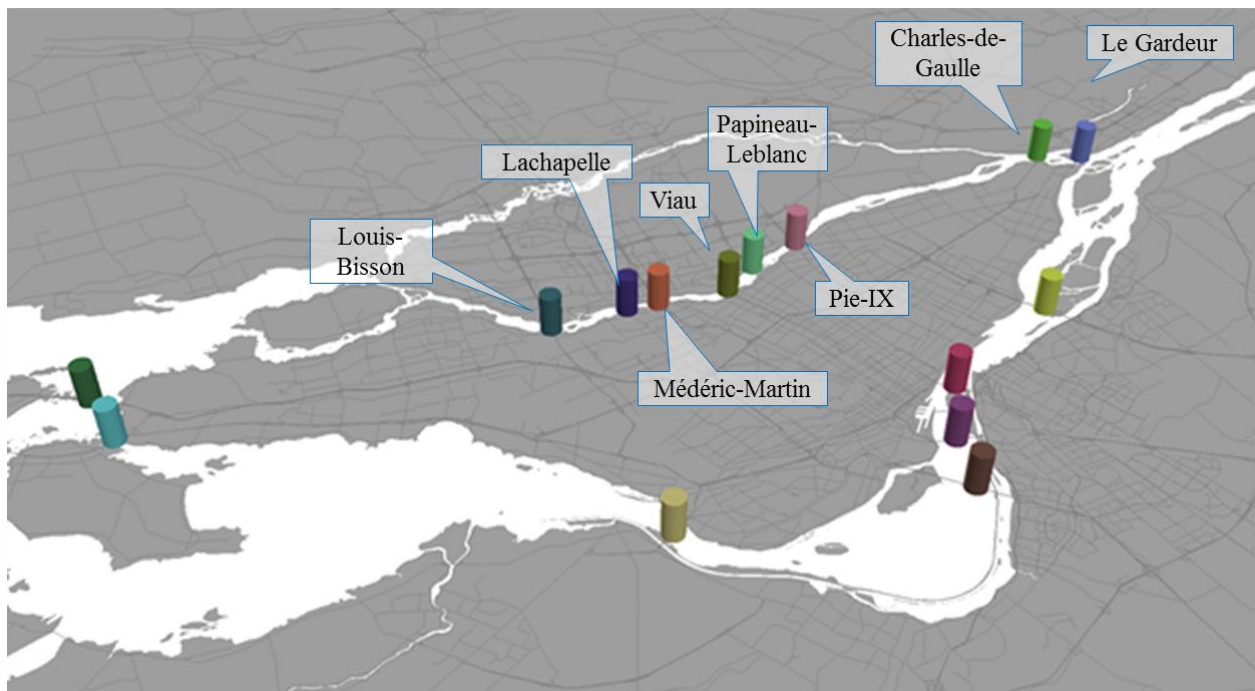


Figure 15 : Ponts impliqués dans l'analyse de l'évolution de l'utilisation des ponts

Direction SUD

Le Tableau 10 présente l'utilisation des différents ponts ciblés en 2008 et 2013 pour le bassin d'attraction délimité avec un critère de 10 observations (le secteur doit avoir au moins dix déplacements en provenance qui empruntent le pont de l'A25). Globalement, le volume de déplacements (tous motifs, 24h) sur ces ponts en direction sud a augmenté de 27 % (+ 12 970 déplacements) entre 2008 et 2013. Tous les ponts ont connu une augmentation du nombre de déplacements pendant la journée, sauf le pont Pie IX et le pont Charles-de-Gaulle, dans une moindre mesure. À cet effet, il est important de souligner que des travaux ont eu lieu sur et près de ce pont pendant l'enquête OD 2013, travaux qui ont certainement eu un impact sur l'utilisation du pont et qui se traduisent par une forte diminution de son usage estimé. Lorsqu'on s'intéresse à l'évolution de la répartition des déplacements sur les différents ponts, on observe que deux ponts ont eu des baisses plus importantes soit le pont Pie IX (ce qui est en lien avec la présence de travaux) avec une perte de 15 points de % en part des déplacements et le pont Charles-de-Gaulle. Selon l'OD 2013, le pont de l'A25 récupère 24 % des déplacements provenant du bassin délimité.

Les résultats pour le bassin délimité avec un critère de 15 observations (Tableau 11) viennent conforter les constats précédents. Encore dans ce cas, c'est le pont du boulevard Pie IX qui subit la diminution la plus importante de sa part dans le soutien des déplacements en direction sud, suivi par le pont Charles-de-Gaulle. La part du pont de l'A25 dans les déplacements provenant du bassin et empruntant un pont en direction sud est aussi estimée à 24% avec ce critère.

Tableau 10: Évolution 2008-2013 de l'utilisation des ponts en direction SUD – bassin 10 observations

Direction SUD						
Critère : 10 observations	Déplacements (24h)			Répartition		
	2008	2013	Évolution '08-'13	2008	2013	2013-2008
PONT VIAU	930	1710	84.0%	1.9%	2.8%	0.9%
PONT PAPINEAU- LEBLANC (A19)	8549	9872	15.5%	17.8%	16.2%	-1.6%
BOUL PIE IX	16110	10353	-35.7%	33.6%	17.0%	-16.6%
PONT LACHAPELLE	2308	2671	15.7%	4.8%	4.4%	-0.4%
PONT MEDERIC-MARTIN (A15)	8303	9641	16.1%	17.3%	15.8%	-1.5%
PONT LOUIS-BISSON (A13)	4635	5106	10.2%	9.7%	8.4%	-1.3%
PONT GARDEUR LE (R-138)	413	546	32.4%	0.9%	0.9%	0.0%
PONT CHARLES-DE-GAULLE (A40)	6731	6298	-6.4%	14.0%	10.3%	-3.7%
PONT A25	0	14748		0.0%	24.2%	24.2%
GLOBAL	47979	60945	27%			

Tableau 11: Évolution 2008-2013 de l'utilisation des ponts en direction SUD – bassin 15 observations

Direction SUD						
Critère : 15 observations	Déplacements (24h)			Répartition		
	2008	2013	Évolution '08-'13	2008	2013	2013-2008
PONT VIAU	930	1710	84.0%	2.1%	3.0%	1.0%
PONT PAPINEAU- LEBLANC (A19)	8311	9363	12.7%	18.4%	16.6%	-1.8%
BOUL PIE IX	15410	9744	-36.8%	34.1%	17.3%	-16.8%
PONT LACHAPELLE	2287	2657	16.1%	5.1%	4.7%	-0.3%
PONT MEDERIC-MARTIN (A15)	7725	8839	14.4%	17.1%	15.7%	-1.4%
PONT LOUIS-BISSON (A13)	3697	3942	6.6%	8.2%	7.0%	-1.2%
PONT GARDEUR LE (R-138)	371	528	42.5%	0.8%	0.9%	0.1%
PONT CHARLES-DE-GAULLE (A40)	6460	6112	-5.4%	14.3%	10.8%	-3.4%
PONT A25	0	13460		0.0%	23.9%	23.9%
GLOBAL	45190	56353	25%			

Direction NORD

Des statistiques similaires sont compilées pour l'utilisation des différents ponts en direction nord. Les tableaux qui suivent résument l'évolution des déplacements et du poids joués par les

différents ponts pour les déplacements circulant en direction nord et empruntant un des ponts ciblés (selon les bassins délimités avec 10 et 15 observations). Le Tableau 12 présente les résultats obtenus pour le bassin d'attraction incluant tous les secteurs d'origine dont au moins 10 observations empruntent le pont en direction nord. D'abord, le nombre total de déplacements empruntant un pont en direction nord lors d'un jour moyen de semaine (tel qu'estimé par les enquêtes OD) a augmenté de 28 %. Dans cette direction, à la lumière des données disponibles, trois des ponts ont vu le nombre de déplacements les empruntant diminuer soit le pont Pie IX (plus importante diminution, liée aussi à la présence de travaux), le pont Le Gardeur et le pont Louis-Bisson (diminution n'étant pas nécessairement liée au pont de l'A25). Au niveau de la répartition des ponts dans le soutien des déplacements circulant vers le Nord, on observe aussi une forte baisse de la part jouée par le pont Pie IX, tel qu'observé en direction sud. Tous les ponts ont subi une diminution de la part, tel qu'attendu, sauf les pont Viau dont la part augmente et le pont Lachapelle dont la part demeure stable, mais ce sont les ponts du boul. Pie IX et Médéric-Martin qui sont les plus touchés. Tel que mentionné précédemment, la forte diminution observée sur le pont Pie IX est partiellement liée à la présence de travaux.

Les résultats pour le bassin délimité selon le critère de 15 observations minimum viennent confirmer ces constats (Tableau 13). Dans tous les cas, c'est le pont du boulevard Pie IX qui subit la diminution la plus importante de sa part dans le soutien des déplacements en direction nord. La part du pont de l'A25 dans les déplacements provenant du bassin et empruntant un pont en direction nord se situe donc entre 24.1 % et 26.3 %.

Ces analyses indiquent donc que c'est le pont du boulevard Pie IX qui a été le plus touché par l'ouverture du pont de l'A25, tant en matière de nombre de déplacements (diminution importante) que de la part qu'il joue dans les déplacements empruntant un pont (dans les deux directions). Ce constat n'est pas étonnant étant donnée la grande proximité entre ces deux ponts et, tel que mentionné précédemment, des travaux réalisés à l'échangeur Pie-IX et Henri-Bourassa pendant la tenue de l'enquête OD 2013 qui ont pu avoir influencé la circulation sur le pont.

Tableau 12: Évolution 2008-2013 de l'utilisation des ponts en direction NORD – bassin 10 observations

Direction Nord						
Critère : 10 observations	Déplacements			Répartition		
	2008	2013	Évolution '08-'13	2008	2013	2013-2008
PONT VIAU	790	1722	118.1%	1.8%	3.0%	1.2%
PONT PAPINEAU- LEBLANC (A19)	7950	9109	14.6%	17.7%	15.8%	-1.9%
BOUL PIE IX	15895	10845	-31.8%	35.3%	18.8%	-16.6%
PONT LACHAPELLE	480	632	31.5%	1.1%	1.1%	0.0%
PONT MEDERIC-MARTIN (A15)	6319	6934	9.7%	14.1%	12.0%	-2.1%
PONT LOUIS-BISSON (A13)	1369	1022	-25.3%	3.0%	1.8%	-1.3%
PONT GARDEUR LE (R-138)	2865	2649	-7.5%	6.4%	4.6%	-1.8%
PONT CHARLES-DE-GAULLE (A40)	9303	10922	17.4%	20.7%	18.9%	-1.8%
PONT A25	0	13943		0.0%	24.1%	24.1%
GLOBAL	44971	57779	28%			

Tableau 13: Évolution 2008-2013 de l'utilisation des ponts en direction NORD – bassin 15 observations

Direction Nord						
Critère : 15 observations	Déplacements			Répartition		
	2008	2013	Évolution '08-'13	2008	2013	2013-2008
PONT VIAU	473	1287	172.2%	1.3%	2.6%	1.4%
PONT PAPINEAU- LEBLANC (A19)	4361	4433	1.7%	11.6%	9.1%	-2.5%
BOUL PIE IX	14481	10085	-30.4%	38.6%	20.7%	-17.9%
PONT LACHAPELLE	338	443	31.3%	0.9%	0.9%	0.0%
PONT MEDERIC-MARTIN (A15)	5223	5492	5.2%	13.9%	11.3%	-2.7%
PONT LOUIS-BISSON (A13)	1174	984	-16.2%	3.1%	2.0%	-1.1%
PONT GARDEUR LE (R-138)	2865	2633	-8.1%	7.6%	5.4%	-2.2%
PONT CHARLES-DE-GAULLE (A40)	8562	10514	22.8%	22.8%	21.6%	-1.3%
PONT A25	0	12815		0.0%	26.3%	26.3%
GLOBAL	37476	48687	30%			

4.2.2 Évolution des caractéristiques des déplacements impliquant le pont

La deuxième analyse vise à observer l'évolution de certains indicateurs dans les principales lignes de désir touchées par l'ouverture du pont. Cette analyse s'appuie sur trois principaux indicateurs : la répartition modale, la longueur moyenne des déplacements faits en automobile conducteur et la distribution temporelle des déplacements.

Délimitation des grandes lignes de désirs à partir des données de l'enquête OD 2013

Pour soutenir la deuxième analyse, les grandes paires origine-destination touchées par l'ouverture du pont doivent être identifiées. Ainsi, il n'est plus question de délimiter des bassins d'attraction en origine, mais bien d'identifier les paires de secteurs pour lesquelles des déplacements empruntent le pont de l'A-25 (24 h, tous motifs).

Direction sud. On compte 279 paires de secteurs dont au moins un déplacement déclare l'utilisation du pont de l'A25, 41 paires lorsqu'un seuil minimum de 5 observations est fixé et 9 paires de secteurs pour un seuil de 10 observations. La Figure 16 présente les principales lignes de désir (paires de secteurs) utilisant le pont de l'A25 lorsqu'un seuil de 10 observations est utilisé.

Direction nord. On compte 282 paires de secteurs dont au moins un déplacement déclare l'utilisation du pont de l'A25, 39 paires lorsqu'un seuil minimum de 5 observations est fixé et 10 paires pour un seuil de 10 observations. La Figure 17 présente les principales paires de secteurs utilisant le pont lorsqu'un seuil de 10 observations est utilisé.



Figure 16: Principales paires de secteurs impliquant des déplacements utilisant le pont de l'A25 en direction sud

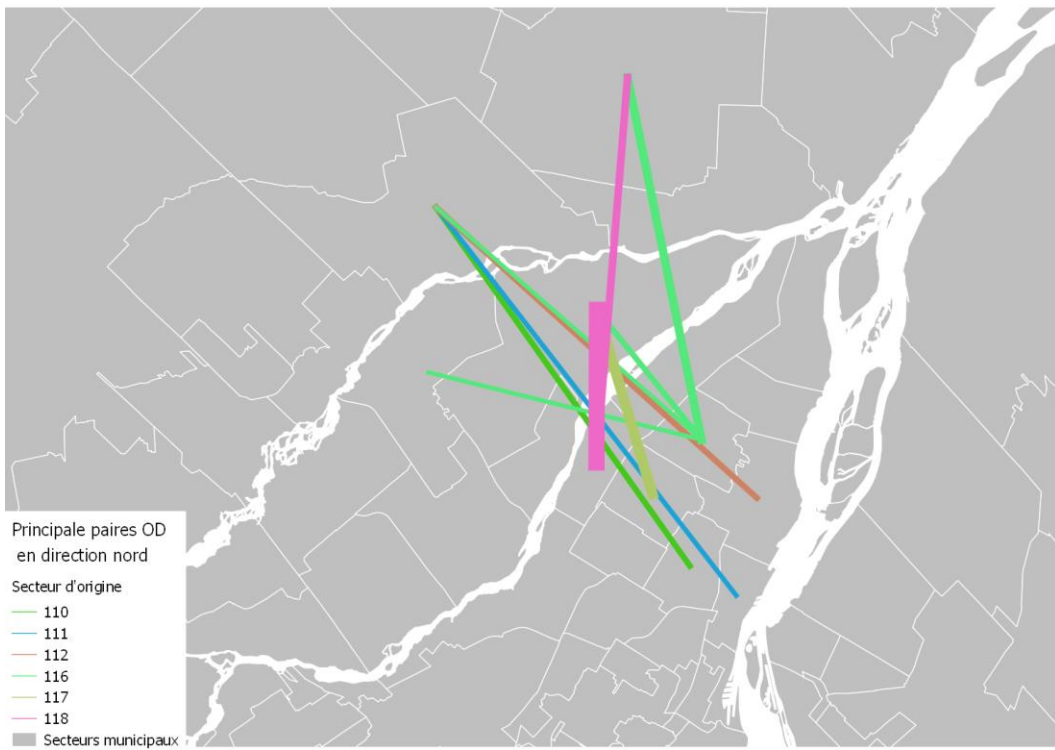


Figure 17: Principales paires de secteurs impliquant des déplacements utilisant le pont de l'A25 en direction nord

Évolution de la part modale

Pour cette analyse, seuls les résultats pour les principales paires de secteurs (selon le seuil le plus critique soit un minimum de 10 déplacements observés empruntant le pont de l'A25) sont présentés.

Direction SUD

Le Tableau 14 présente les parts modales (2008-2013) des déplacements s'effectuant dans les principales paires de secteurs utilisant le pont de l'A25 en direction sud. Globalement, ce sont 176 et 229 observations (24 h) qui sont disponibles respectivement pour 2008 et 2013 (73 et 94 observations respectivement pour la pointe du matin). Les échantillons ne sont donc pas très grands ce qui rend plus sensibles les parts modales estimées. L'utilisation d'un test de Student à deux échantillons indique que seules les parts du transport en commun et des déplacements bimodaux présentent des différences presque significatives à un seuil de 90 % ($p\text{-value} \cong 0.1$) sans toutefois passer le test (24 h). Pour la pointe du matin, aucune différence n'est significative mais les parts observées pour l'auto-conducteur s'approchent du seuil de significativité de 90 %.

On ne peut pas directement statuer de la causalité entre les parts modales observées et l'ouverture du pont de l'A25. D'autres phénomènes ont pu aussi faire évoluer les comportements : évolution de la composition démographique de la population, conditions économiques, changements dans les offres alternatives de déplacement, etc. Néanmoins, on observe que les parts modales de l'automobile comme conducteur et des déplacements bimodaux ont augmenté de 2008 à 2013 au détriment du transport en commun (utilisé comme mode unique) et de l'automobile-passager pour ces paires de secteurs. Les constats sont les mêmes pour 24 h et pour la pointe du matin. Il faut mentionner que les échantillons disponibles sont petits, rendant la précision moindre, notamment lorsqu'on isole la pointe du matin.

De plus, seuls certains secteurs d'origine disposent d'un échantillon suffisant pour les examiner séparément. Le Tableau 15 présente les parts modales pour les déplacements provenant de Laval-Saint-François (toutes destinations dont au moins 10 observations empruntent le pont de l'A25) alors que le Tableau 16 présente les mêmes indicateurs pour les déplacements provenant de Terrebonne. Dans le premier cas, aucune des différences observées n'est significative alors que dans le second, les parts modales de l'automobile et des bimodaux sont significativement différents à 90 %. Dans le cas de Mascouche comme secteur d'origine (voir Tableau 17), on n'observe pas de changement important dans les parts modales des déplacements (aucun changement n'est significatif).

Tableau 14 : Évolution 2008-2013 des parts modales (paires OD de l'emprunt du pont en direction sud) – toutes origines confondues

Parts modales	24 h		p-value (t-test deux échantillons)	Pointe AM		p-value (t-test deux échantillons)
	2008	2013		2008	2013	
mode						
AC	82.1%	85.9%	0.2987	78.6%	87.7%	0.1160
AP	11.7%	8.9%	0.3549	8.7%	6.2%	0.5385
TC	4.6%	2.0%	0.1371	8.6%	3.7%	0.1823
Bimodaux	0.6%	2.7%	0.1146	1.4%	2.4%	0.6446
Autres	1.1%	0.5%	0.4913	2.6%	0.0%	0.1178
Nombre d'observations	176	229		73	94	

*AC : auto conducteur ; AP auto passager ; MV : marche, vélo ; TC : transport en commun, Bimodaux (combinaison du transport en commun et de l'automobile)

Tableau 15 : Évolution 2008-2013 des parts modales (paires OD de l'emprunt du pont en direction sud) – Déplacements provenant de Laval-Saint-François (secteur 408)

Origine : Laval : Saint-François (408)			
Parts modales	24 h		p-value (t-test deux échantillons)
	mode*	2008	
AC	69.6%	79.2%	0.2465
AP	16.1%	14.0%	0.7572
TC	11.9%	5.0%	0.1856
Bimodaux	0.0%	0.0%	
Autres	2.4%	1.8%	0.8249
Nombre d'observations	50	62	

*AC : auto conducteur ; AP auto passager ; BS : bus scolaire ; MV : marche, vélo ; TC : transport en commun ; Bimodaux (combinaison du transport en commun et de l'automobile)

Tableau 16 : Évolution 2008-2013 des parts modales (paires OD de l'emprunt du pont en direction sud) – Déplacements provenant de Terrebonne (secteur 622)

Origine : Terrebonne (622)			
Parts modales	24 h		p-value (t-test deux échantillons)
	mode*	2008	
AC	79.8%	88.5%	0.1947
AP	14.6%	5.0%	0.0783
TC	4.2%	1.1%	0.2892
Bimodaux	0.0%	5.4%	0.0777
Autres	1.4%	0.0%	0.3518
Nombre d'observations	57	62	

*AC : auto conducteur ; AP auto passager ; BS : bus scolaire ; MV : marche, vélo ; TC : transport en commun ; Bimodaux (combinaison du transport en commun et de l'automobile)

Tableau 17: Évolution 2008-2013 des parts modales (paires OD de l'emprunt du pont en direction sud) – Déplacements provenant de Mascouche (secteur 623)

Origine : Mascouche (623)			
Parts modales	24 h		p-value (t-test deux échantillons)
	mode*	2008	
AC	90.8%	89.1%	0.7924
AP	6.6%	6.6%	1.0000
TC	0.0%	1.6%	0.4415
Bimodaux	2.6%	2.7%	0.9767
Autres	0.0%	0.0%	
Nombre d'observations	37	55	

*AC : auto conducteur ; AP auto passager ; BS : bus scolaire ; MV : marche, vélo ; TC : transport en commun ; Bimodaux (combinaison du transport en commun et de l'automobile)

Direction NORD

Le Tableau 18 présente les des différents modes (2008-2013) pour les déplacements s'effectuant dans les principales paires de secteurs empruntant le pont de l'A25 en direction nord. Tel qu'observé pour la direction sud, les échantillons ne sont pas très grands ce qui implique une certaine sensibilité des estimations, notamment pour les modes moins utilisés. Pour les principales paires, on observe une augmentation de la part de l'automobile conducteur (24 h) qui est significative (>90 %) mais non significative en pointe de l'après-midi. Les autres différences de parts ne sont pas significatives. Deux secteurs d'origine présentent des échantillons suffisants pour en faire l'analyse séparément. Les Tableau 19 et Tableau 20 présentent les résultats pour les secteurs Montréal-Anjou et Montréal-Nord respectivement. Dans le cas des déplacements provenant d'Anjou, on observe peu de changements au niveau de la répartition modale (sur 24 h) alors que pour le cas de Montréal-Nord, on retrouve une diminution de la part des déplacements automobile comme passager et du transport en commun, celle-ci étant significative à 95 %. Néanmoins, il faut noter que puisque les analyses sont faites sur 24 h, ces différences pourraient aussi être liées à des différences dans la distribution temporelle des déplacements mais les échantillons disponibles ne permettent pas de valider cet élément.

Tableau 18 : Évolution 2008-2013 des parts modales (paires OD de l'emprunt du pont en direction nord) – toutes origines confondues

Parts modales	24 h		p-value (t-test deux échantillons)	Pointe PM		p-value (t-test deux échantillons)
	mode	2008		2013	2008	
AC	78.6%	85.4%	0.0629	77.9%	82.7%	0.3763
AP	14.4%	10.4%	0.2020	13.4%	11.5%	0.6739
TC	4.5%	2.2%	0.1734	7.3%	3.3%	0.1763
Bimodaux	1.4%	1.6%	0.8644	0.0%	1.7%	0.2282
Autres	1.2%	0.5%	0.4139	1.4%	0.8%	0.6661
Nombre d'observations	192	251		85	139	

*AC : auto conducteur ; AP auto passager ; BS : bus scolaire ; MV : marche, vélo ; TC : transport en commun

Tableau 19 : Évolution 2008-2013 des parts modales (paires OD de l'emprunt du pont en direction nord) – déplacements provenant de Montréal-Anjou (secteur 116)

Origine : Montréal – Anjou (116)				
Parts modales	24 h		p-value (t-test deux échantillons)	
	mode	2008		2013
AC		91.3%	91.4%	0.9836
AP		3.7%	5.2%	0.6800
TC		0.0%	3.4%	0.1693
Bimodaux		2.8%	0.0%	0.1231
Autres		2.1%	0.0%	0.1819
Nombre d'observations		55	85	

*AC : auto conducteur ; AP auto passager ; BS : bus scolaire ; MV : marche, vélo ; TC : transport en commun

Tableau 20 : Évolution 2008-2013 des parts modales (paires OD de l'emprunt du pont en direction nord) – déplacements provenant de Montréal-Nord (secteur 118)

Origine : Montréal-Nord (118)				
Parts modales	24 h		p-value (t-test deux échantillons)	
	mode	2008		2013
AC		71.3%	81.5%	0.1704
AP		17.9%	13.2%	0.4585
TC		9.0%	1.5%	0.0505
Bimodaux		1.8%	2.2%	0.8714
Autres		0.0%	1.6%	0.3269
Nombre d'observations		60	71	

*AC : auto conducteur ; AP auto passager ; BS : bus scolaire ; MV : marche, vélo ; TC : transport en commun

Évolution de la longueur moyenne des déplacements faits en automobile conducteur

Le second indicateur étudié est la longueur moyenne des déplacements faits en automobile conducteur. Puisque les déplacements n'ont pas été affectés sur le réseau, c'est la distance à vol d'oiseau qui est utilisée, mais en contrôlant pour le pont utilisé. Ainsi, la distance du déplacement devient donc la somme des distances à vol d'oiseau entre l'origine et le pont choisi et entre le pont choisi et la destination (généralisé pour le cas des déplacements impliquant deux ponts).

La Figure 18 illustre les lignes associées aux distances considérées pour le cas des déplacements entre les secteurs Laval-Saint-François (408) et Montréal-Nord (118) (emprunt du pont en direction sud) pour les enquêtes de 2008 et 2013.

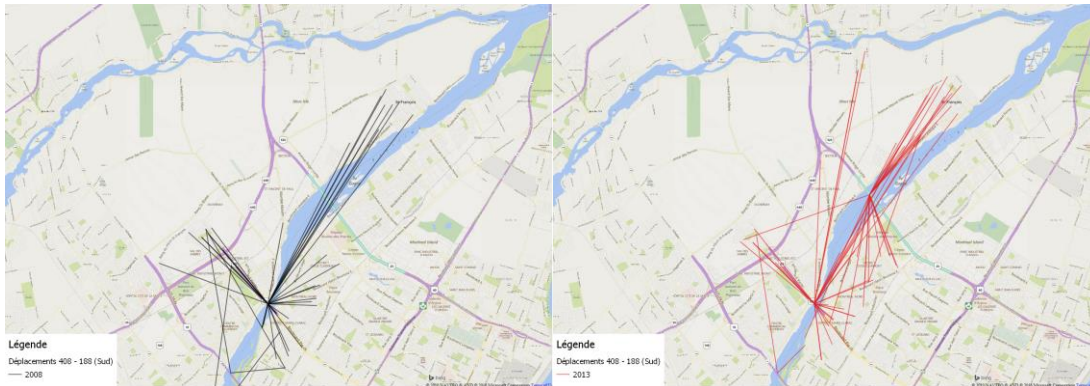


Figure 18: Lignes de désir interceptées aux ponts pour les déplacements entre les secteurs Laval-Saint-François (408) et Montréal-Nord (118) en 2008 et 2013

Le Tableau 21 présente les distances moyennes des déplacements faits en automobile conducteur dans les principales lignes de désir spécifiées précédemment pour les deux directions d'emprunt des ponts. Selon la métrique choisie, la distance moyenne de déplacement a diminué pour pratiquement l'ensemble des secteurs d'origine sur 24 h excluant Laval : Chomedey. Ce secteur est situé dans l'ouest de l'île de Laval et la ligne de désir associée à ce secteur le relie au secteur Rivière-des-Prairies dans l'est de l'île de Laval. Les conducteurs empruntant le pont de l'A25 prennent donc l'option de se diriger vers l'est en empruntant l'A440 sur l'île de Laval plutôt que l'A40 sur l'île de Montréal. Il est possible que l'augmentation de la distance parcourue par l'emprunt de ce trajet se traduise par une diminution du temps de déplacement mais aucune donnée ne permet de valider cette hypothèse. En période de pointe du matin, pour les déplacements en direction sud, les distances moyennes augmentent pour trois secteurs d'origine.

Tableau 21: Évolution 2008-2013 des distances moyennes des déplacements faits en automobile conducteur et empruntant un pont en direction sud ou nord

Distance moyenne (km)						
	24 heures		Pointe AM			
DIRECTION SUD	2008	2013	2008	2013		
Toutes origines	↑ 16.73	↓ 15.45	↑ 16.95	↓ 15.56		
Laval : Chomedey	↓ 16.47	↑ 17.79	↓ 17.19	↑ 20.63		
Laval : Duvernay, Saint-Vincent-de-Paul	↑ 10.43	↓ 9.22	↓ 8.68	↑ 9.26		
Laval : Saint-François	↑ 9.11	↓ 8.75	↑ 9.90	↓ 9.60		
Terrebonne : Terrebonne (ex-municipalité)	↑ 22.17	↓ 21.05	↓ 20.64	↑ 21.83		
Mascouche	↑ 20.12	↓ 18.04	↑ 21.22	↓ 18.65		
	24 heures		Pointe PM			
DIRECTION NORD	2008	2013	2008	2013		
Toutes origines	↑ 16.66	↓ 15.59	↑ 16.55	↓ 16.28		
Montréal : Rosemont	↑ 23.00	↓ 20.63	↑ 22.12	↓ 20.45		
Montréal : Sud-Est	↑ 24.66	↓ 23.30	↑ 25.63	↓ 23.77		
Montréal : Mercier	↑ 20.79	↓ 19.20	↑ 19.71	↓ 19.16		
Montréal : Anjou	↑ 18.11	↓ 16.63	↑ 18.17	↓ 16.81		
Montréal : Saint-Léonard	↑ 10.16	↓ 9.81	↑ 11.02	↓ 10.82		
Montréal : Montréal-Nord	↑ 12.62	↓ 11.72	↑ 13.00	↓ 11.60		

Évolution de la distribution temporelle des déplacements

Le dernier indicateur étudié est la distribution temporelle des déplacements, basée sur les heures de départ des déplacements. Seuls les déplacements faits en automobile comme conducteur sont examinés, toujours pour les mêmes paires de secteurs présentant un nombre suffisant de déplacements empruntant le pont de l'A25 (10 observations).

La Figure 19 présente la distribution temporelle pour le bassin d'emprunt des ponts en direction sud et la Figure 20 présente cette même information pour le bassin d'emprunt du pont en direction nord. Comme attendu, une majorité de déplacements s'effectue en pointe du matin dans le premier cas alors que la concentration s'observe en pointe du soir dans le second cas. Ceci est conforme aux mouvements pendulaires observés dans la région. Concernant l'évolution entre 2008 et 2013, on observe une concentration accrue des déplacements pendant le bloc de trois heures de chacune des périodes de pointe (6h-9h en pointe AM et 15h-18h en pointe PM).

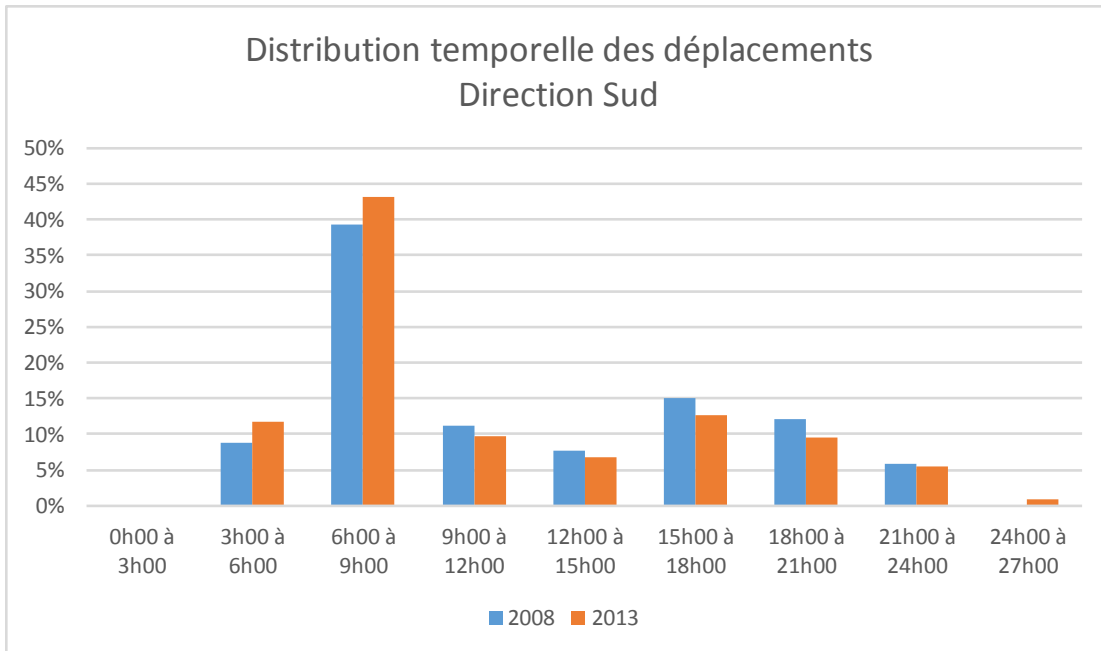


Figure 19: Distribution temporelle des déplacements faits en automobile conducteur – Bassin d’emprunt du pont en direction sud

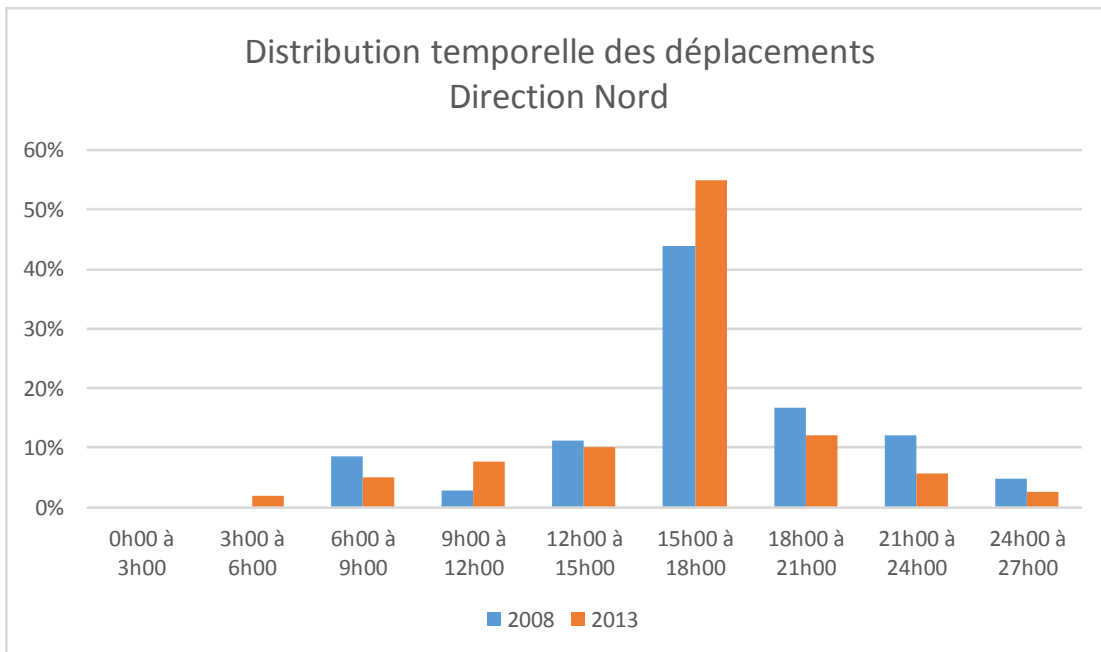


Figure 20 : Distribution temporelle des déplacements faits en automobile conducteur – Bassin d’emprunt du pont en direction nord

4.2.3 Synthèse

Cette section visait à examiner les comportements d’utilisation du pont à l’aide des données de l’enquête Origine-Destination de 2013 et l’évolution de certains paramètres sur une période de 5 ans en exploitant aussi les données de l’enquête de 2008.

D'abord, l'évolution de l'utilisation des différents ponts a été analysée. L'utilisation des ponts telle que déclarée lors des entrevues téléphoniques est la donnée entrante pour l'analyse. Il faut rappeler que ces enquêtes permettent de dresser le portrait de la mobilité lors d'un jour moyen de semaine d'automne. D'abord, différents bassins d'attraction ont été définis par le biais de critères de nombre minimum d'observations, en exploitant les déplacements faits sur 24 h, tous motifs confondus mais en segmentant selon la direction d'emprunt du pont. De façon générale, peu importe la délimitation du bassin choisie, les constats sont similaires : l'ouverture du pont de l'A25 a coïncidé avec la réduction du nombre de déplacements sur le pont Pie IX, sa part dans le nombre de déplacements circulant en direction sud et nord sur les ponts reliant Montréal à Laval / Couronne Nord se réduisant conséquemment. La présence de travaux aux abords du pont pourrait aussi avoir contribué à réduire le nombre de déplacements qui l'ont emprunté à l'automne 2013 mais aucune donnée ne permet de différencier l'effet de l'ouverture du pont de l'A25 de l'effet du chantier Pie-IX. Le pont Charles-de-Gaulle a aussi connu une diminution du nombre et de la part des déplacements l'empruntant en direction sud mais dans une moindre mesure. Les autres ponts ont été beaucoup moins touchés.

Une deuxième analyse visant à analyser l'évolution de certains indicateurs de mobilité a été proposée. Pour tenter de faire ressortir les impacts de l'ouverture du pont de l'A25, seules les paires de secteurs présentant 10 déplacements observés empruntant le pont de l'A25 sont retenues (pour chacune des directions). De façon générale, les différences observées dans les parts modales avant et après l'ouverture du pont de l'A25 ne sont pas significatives sauf dans quelques rares exceptions. En outre, il est impossible de statuer sur le lien de causalité entre l'ouverture du pont et les changements survenus, plusieurs facteurs ayant pu avoir un impact sur la modification des comportements de mobilité. Des différences significatives (ou presque), sont observées dans les cas suivants : augmentation de la part des déplacements bimodaux en direction sud (24 h), augmentation de la part de l'automobile conducteur (pointe AM en direction sud) et augmentation de la part de l'automobile conducteur en direction nord (24 h). Il faut cependant rappeler que les échantillons sont petits et que les parts estimées, notamment pour les modes moins fréquents, y sont sensibles. Par ailleurs, les différences observées lors d'analyses faites sur 24 h pourraient aussi être liées à des différences dans la composition temporelle des déplacements.

De façon générale, les distances moyennes des déplacements faits en automobile conducteur, toujours pour les principales paires de secteurs identifiés, ont diminué sauf pour certains secteurs d'origine, en pointe du matin, pour l'emprunt des ponts en direction sud. Il faudrait valider l'hypothèse selon laquelle cet allongement en distance se fait au bénéfice d'une réduction du temps de déplacement, ce qui n'est pas possible avec les données disponibles. Les ordres de grandeur sont toutefois maintenus pour l'ensemble des cas. Finalement, l'étude des distributions temporelles indique une concentration accentuée des déplacements automobiles conducteurs aux périodes de pointe.

4.3 Analyse de la circulation durant la période d'observation

Dans cette section, une analyse générale a été conduite dans le but d'identifier les tendances annuelles des débits de circulation sur chacun des ponts sur la période 2008-2014. Les niveaux de circulation mensuels moyens ont été estimés à partir des données journalières disponibles. Par la suite, une représentation graphique des débits mensuels de la circulation sur chaque pont fut générée. Il faut noter que les mois pour lesquels plusieurs jours de données sont manquants peuvent provoquer une surestimation, ou une sous-estimation. Aussi, à cause du manque de données pour plusieurs mois de différentes années, le mois de novembre a été sélectionné comme période de comparaison, afin de permettre la réalisation de l'analyse de

l'impact de l'ouverture du pont sur la circulation. Ce mois représente des conditions typiques et stables de jours ouvrables d'automne qui sollicitent les réseaux urbains au maximum.

De l'analyse des tendances au cours de la période avant et après (Figures 21-27), on a observé que :

- Le pont Pie IX a été identifié comme ayant eu les impacts annuels les plus importants sur la circulation après l'ouverture du pont de l'A25. Les débits ont largement diminué dans les années 2011-2014, après l'ouverture. En effet, la moyenne du nombre de véhicules circulant sur le pont du boulevard Pie IX pour les mois avec de données disponibles est passée de 80 500 véhicules par jour en 2010, à 58 000 véhicules par jour en 2013, et 53 500 en 2014, ce qui représente une réduction d'environ 36 % entre 2010 et 2014. Il est à noter que ces chiffres ne tiennent pas compte de l'impact potentiel des travaux de construction dans le corridor Pie-IX qui peuvent influencer sur les conditions de circulation d'année en année.
- Pour le pont CDG (A40), les débits ont aussi diminué dans les années 2011-2014 par rapport à l'année 2012. Cependant, on observe une certaine stabilité du débit pour les années 2013 et 2014. La moyenne est passée de 118 000 véhicules par jour en 2010, à moins de 105 000 véhicules par jour en 2014, en considérant tous les mois avec des données disponibles. Aussi, comme mentionné précédemment, l'impact potentiel des travaux de construction ne peut être mesuré dans l'analyse.
- Pour l'autoroute 25, il a été observé une augmentation constante au cours des années depuis le début de ses opérations. Nous pouvons estimer une croissance générale du trafic quotidien moyen qui est passé d'approximativement 28 000 véh/jour pour la période mai à décembre 2011, à 44 000 pour janvier-décembre 2014. Cela représente une augmentation de plus de 55 % entre 2014 et 2011.
- L'évolution du débit journalier moyen sur tous les ponts étudiés pour chaque année entre 2010 et 2013 est présentée dans la Figure 27. Comme dans les graphiques précédents, ces résultats montrent une diminution significative sur le pont Pie IX. Pour le pont CDG, la diminution observée en 2011 est moins prononcée pour les années subséquentes, avec un rebond en 2012 et stabilisation en 2013. Il est intéressant de noter que, malgré la diminution initiale de la circulation sur plusieurs ponts importants par effet de rééquilibrage (par exemple les ponts de l'A13 et l'A15), les débits semblent se maintenir constants après la diminution initiale. Il faut aussi noter le grand nombre de données manquantes pour ce qui est des ponts Lachapelle et du boulevard Viau. Pour le pont Lachapelle, après une diminution initiale des débits suivant l'ouverture du pont de l'A25, ils ont augmenté entre 2012 et 2013. Cette variation peut être associée à d'autres facteurs qui ne sont pas liés au nouveau pont, comme des travaux affectant les ponts voisins.

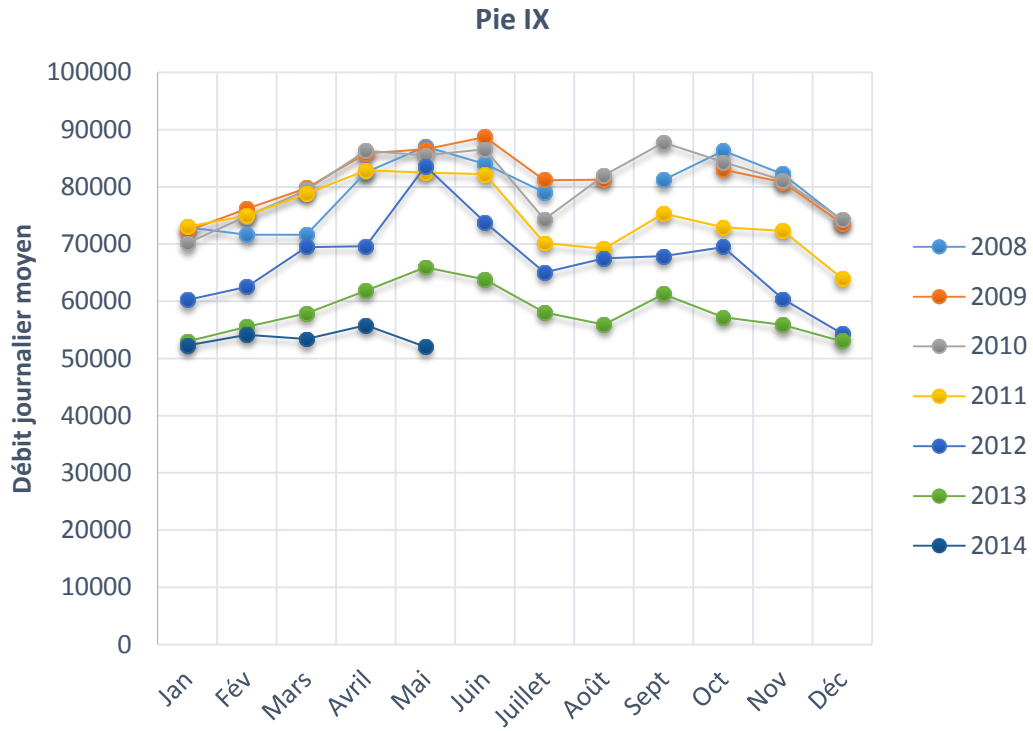


Figure 21 : Évolution de la circulation sur le pont du boulevard Pie IX

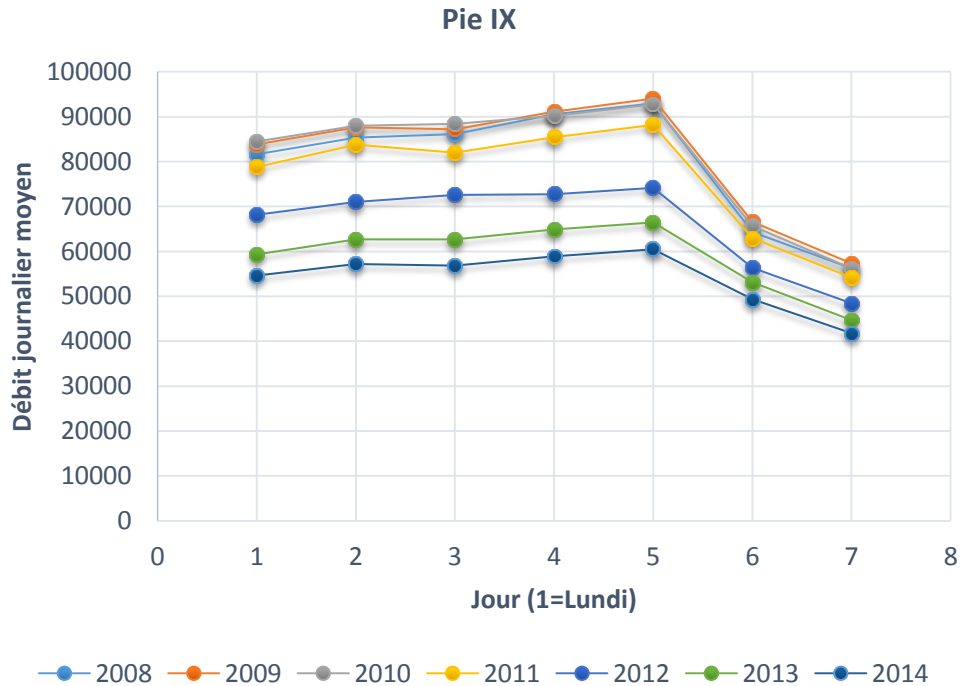


Figure 22 : Distribution journalière de la circulation sur le pont du boulevard Pie IX

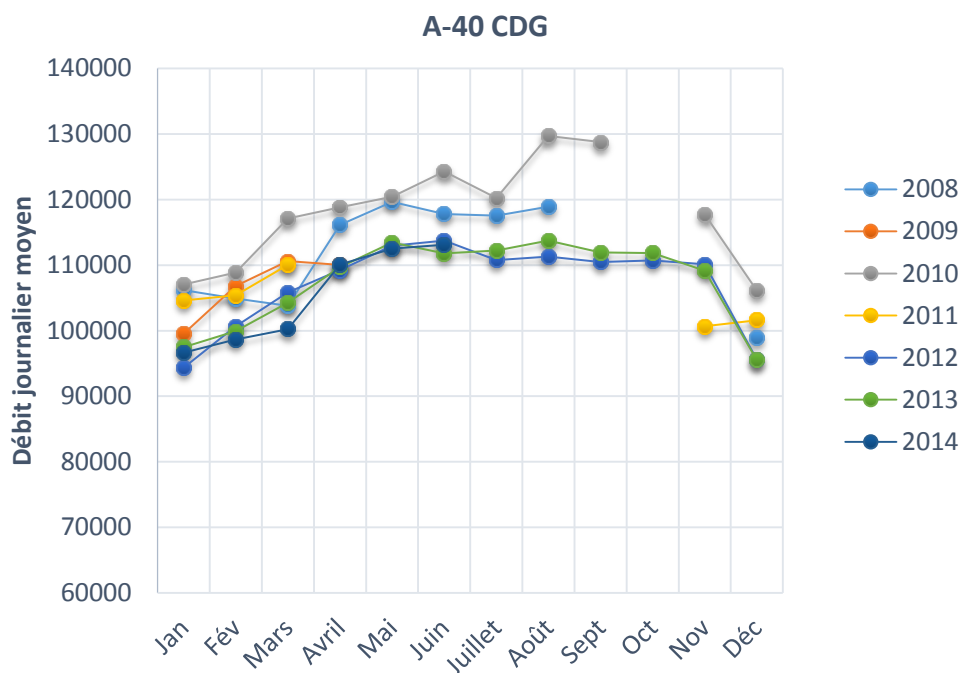


Figure 23 : Évolution de la circulation sur le pont Charles-de Gaulle (A40)

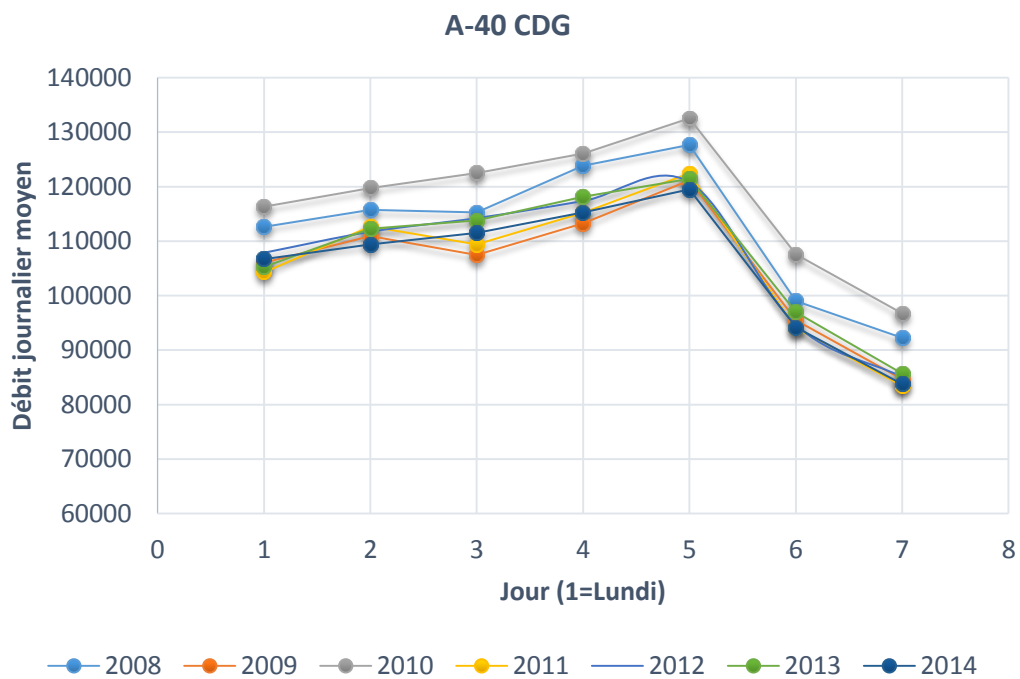


Figure 24 : Distribution journalière de la circulation sur le pont Charles-de Gaulle (A40)

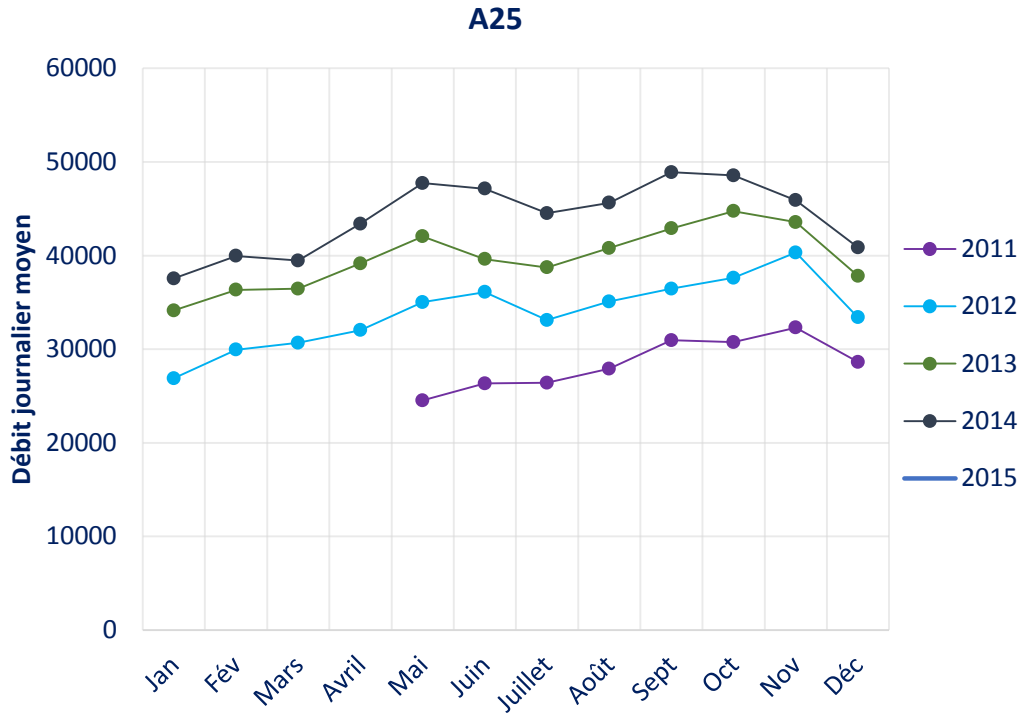


Figure 25 : Évolution de la circulation sur le pont A25

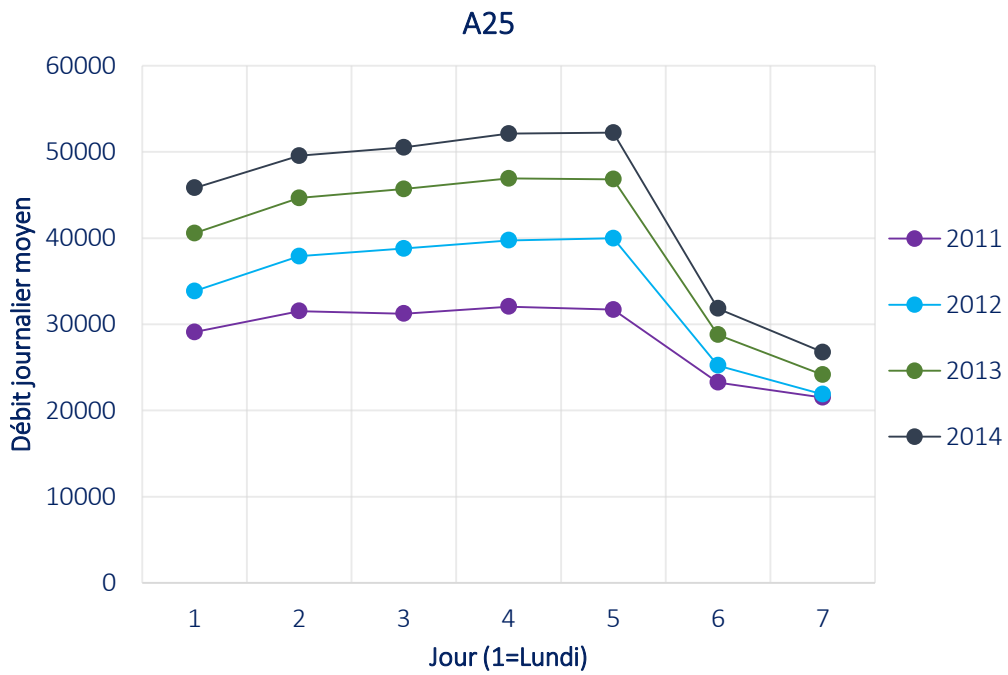


Figure 26: Distribution journalière de la circulation sur le pont A25

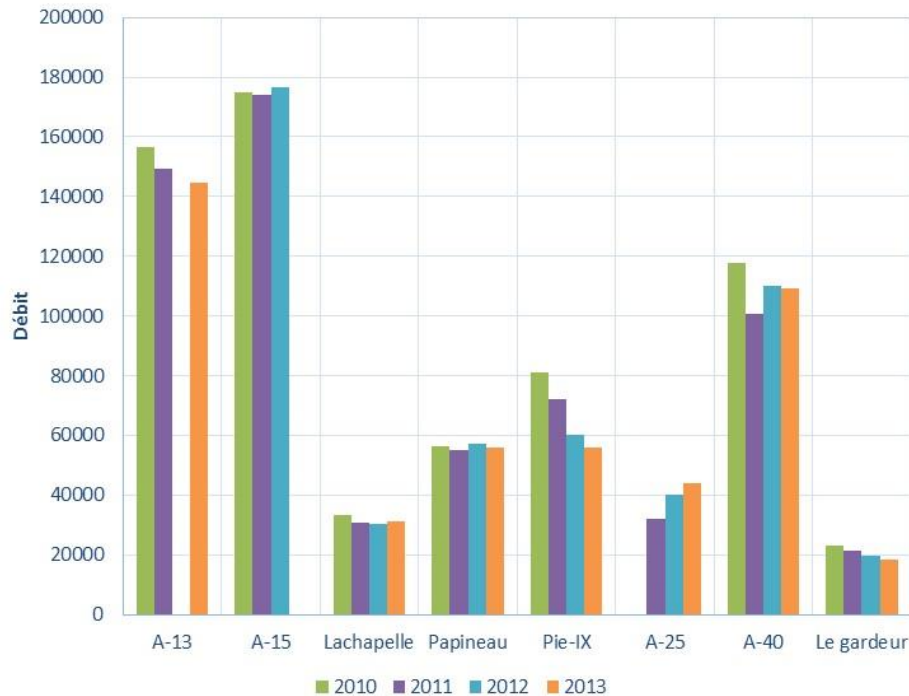


Figure 27 : Débit journalier moyen pour novembre de 2010 à 2013

4.4 Analyses de l'évolution de la qualité de l'air au cours des quatre années

Les boîtes à moustache ci-dessous (Figures 28-40) présentent un résumé des concentrations mesurées à toutes les stations au cours des quatre années (référence et les trois premières années d'opération). Puisqu'il est difficile de percevoir les changements significatifs d'une année à l'autre, les Tableaux 22 à 24 présentent, pour chaque station et chaque polluant, la diminution ou l'augmentation de la moyenne (en pourcentage) en comparant avec l'année précédente, sans analyser les dépassements. Donc toutes les augmentations n'indiquent pas nécessairement que les seuils sont dépassés. Tous les changements présentés sont significatifs, ce qui veut dire que la différence des moyennes est significative du point de vue statistique (niveau de confiance de 95 %). Les changements non significatifs sont représentés par des cellules vides.

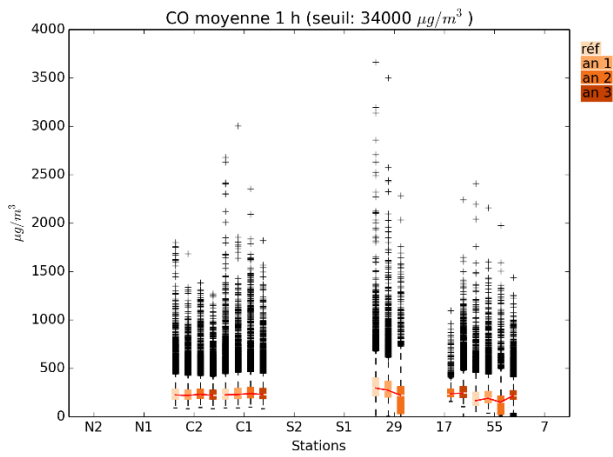


Figure 28: Comparaison CO (moyenne 1 h)

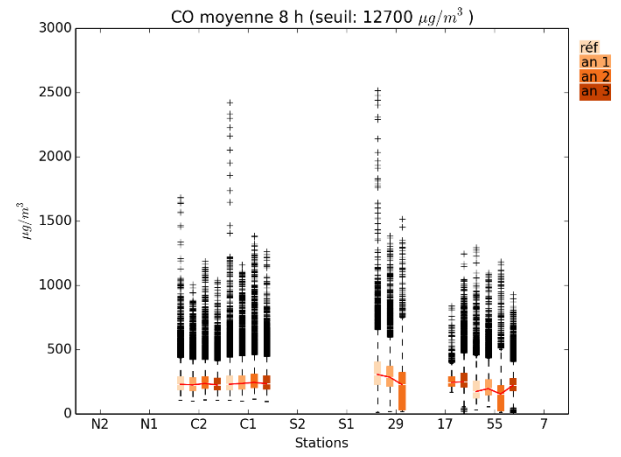


Figure 29: Comparaison CO (moyenne 8 h)

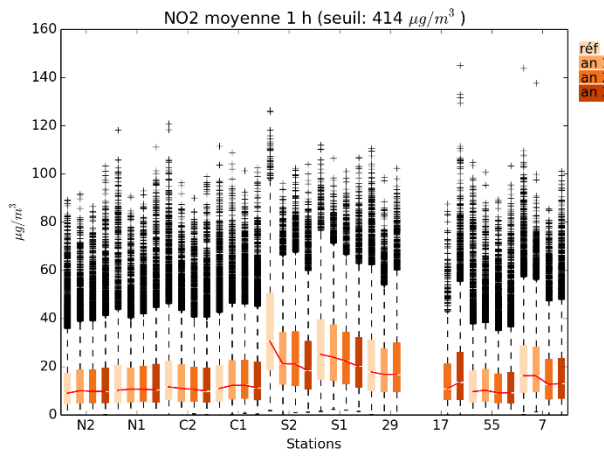


Figure 30: Comparaison NO₂ (moyenne 1 h)

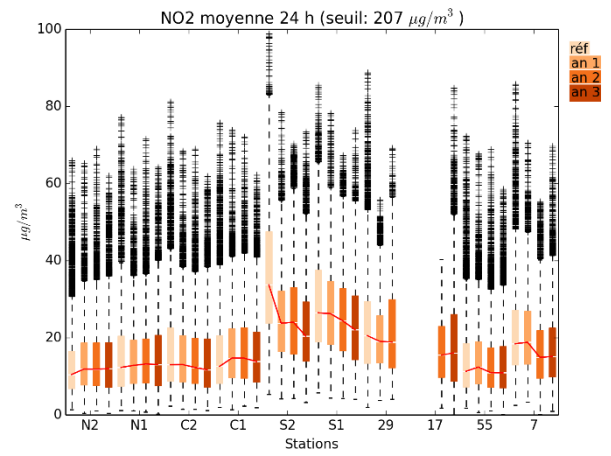


Figure 31: Comparaison NO₂ (moyenne 24 h)

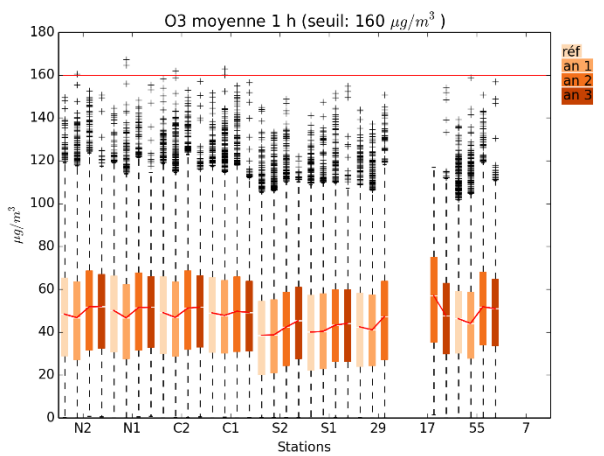


Figure 32 : Comparaison O₃ (moyenne 1 h)

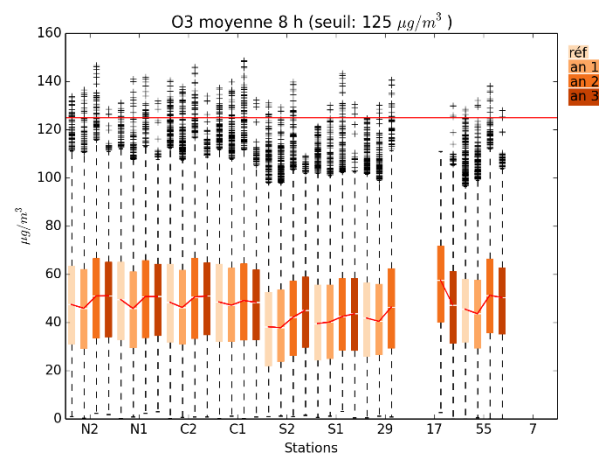


Figure 33: Comparaison O₃ (moyenne 8 h)

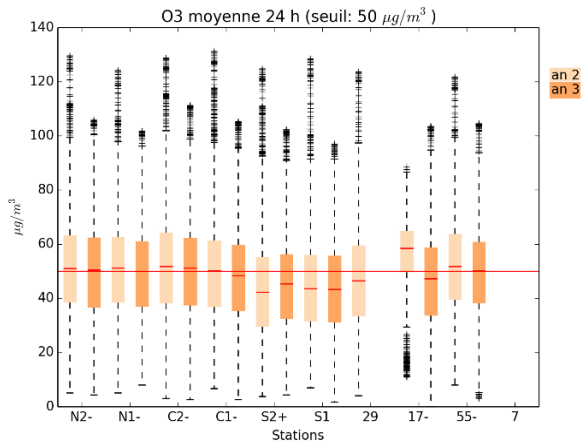


Figure 34: Comparaison O₃ (moyenne 24 h)

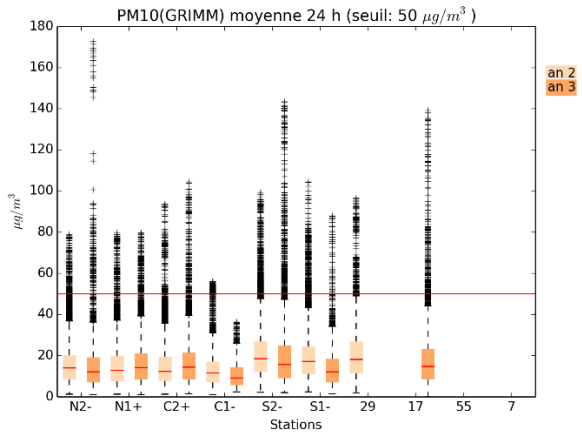


Figure 35: Comparaison PM₁₀ (GRIMM) (moyenne 24 h)

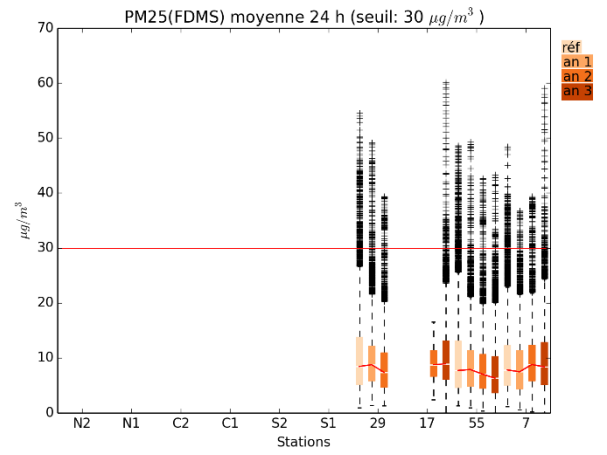


Figure 36: Comparaison PM_{2.5} (FDMS) (moyenne 24 h)

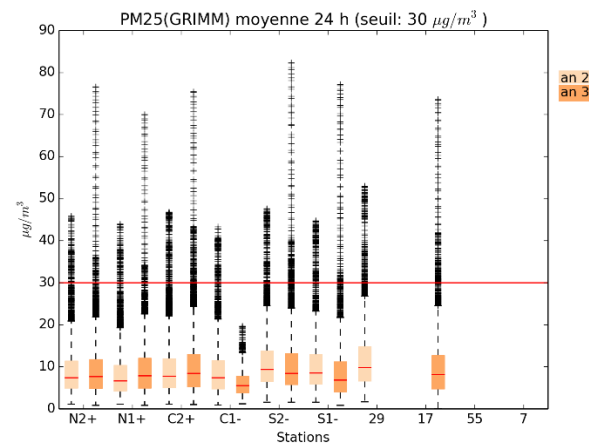


Figure 37: Comparaison PM_{2.5} (GRIMM) (moyenne 24 h)

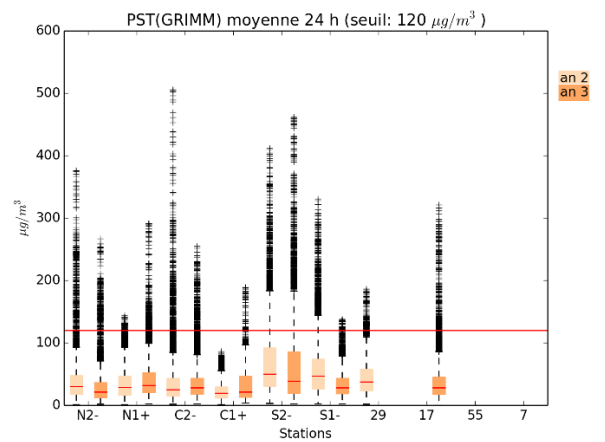


Figure 38: Comparaison PST (GRIMM) (moyenne 24 h)

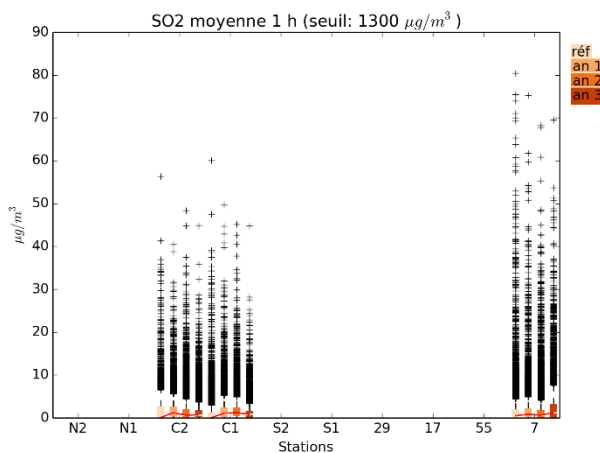


Figure 39 : Comparaison SO₂ (moyenne 1 h)

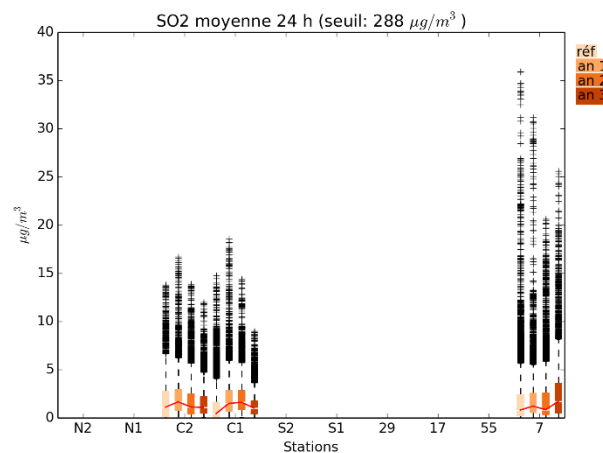


Figure 40: Comparaison SO₂ (moyenne 24 h)

Le Tableau 22 présente les changements relatifs significatifs dans les moyennes aux neuf stations entre la période de référence et la première année d'opération. Les cases vertes indiquent une diminution significative (à 95 % de confiance) de la moyenne en comparaison avec la période de référence ; les cases rouges indiquent une augmentation significative (à 95 % de confiance) de la moyenne en comparaison avec la période de référence.

En général, on observe durant la première année (en comparaison avec la période de référence) plus de changements non-significatifs et de diminutions que d'augmentations. Les augmentations relatives les plus importantes sont pour le SO₂ en C1, mais les valeurs les plus élevées sont deux ordres de grandeur plus petites que les seuils. On observe une diminution importante des moyennes NO₂ à la station S2.

Des diminutions importantes sont aussi observées pour les PM₁₀ et PM_{2.5}, deux polluants régionaux. En effet, la première année d'opération inclut l'été et l'automne de l'année 2011 ainsi que l'hiver et le printemps de l'année 2012. Les tendances générales à Montréal montrent qu'en 2012, il y a eu une diminution des journées de mauvaise qualité de l'air. Ces épisodes sont notamment liés à la présence de particules fines (PM_{2.5}) : ils sont particulièrement fréquents en automne et en hiver. Cette diminution des PM_{2.5} à l'échelle régionale qui prend place entre janvier et mars 2012 affecte la majorité des stations sur l'île, incluant les neuf stations de l'axe et de sa périphérie immédiate. Il y a plusieurs facteurs qui peuvent être responsables de cette diminution à Montréal : une réduction des émissions de sulfates aux États Unis (critères plus stricts pour le SO₂) qui sont généralement transportés par des vents qui soufflent du Sud-Ouest ; meilleure qualité de chauffage domestique à Montréal (moins de chauffage au bois) ; ainsi qu'une possible baisse générale des émissions de la circulation sur l'ensemble de l'île.

Tableau 22: Changements relatifs significatifs dans les moyennes aux neuf stations entre la période de référence et la première année d'opération

Polluant	Critère	S1	S2	C1	C2	N1	N2	29	55	7
CO	1 h	ND	ND		-4.2 %	ND	ND	-8.3 %	3.9 %	ND
CO	8 h	ND	ND		-4.2 %	ND	ND	-8.4 %	3.8 %	ND
NO2	1 h	-5.4 %	-30.5 %	4.8 %	-9.4 %	-7.6 %	4.6 %	-11.6 %		-2.9 %
NO2	24 h	-5.7 %	-30.7 %	4.4 %	-9.4 %	-7.3 %	4.6 %	-11.9 %		-2.9 %
O3	1h		2.5%		-2.9%	-6.2%	-2.1%		-2.8%	ND
O3	8 h	1.7 %	2.5 %		-2.8 %	-6.2 %	-2.1 %		-2.7 %	ND
O3	24 h	1.7 %	2.6 %		-2.7 %	-6.6 %	-2.3 %		-2.8 %	ND
PM10(GRIMM)	24 h	-13.9 %	-4.0 %	-6.3 %	-12.4 %	-24.8 %		3.0 %	ND	ND
PM25(FDMS)	24 h	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-6.3 %	-9.9 %	-10.7 %
PM25(GRIMM)	24 h	-14.8 %	-5.1 %	-6.8 %	-17.1 %	-24.9 %	-9.1 %		ND	ND
PST(GRIMM)	24 h	-3.5 %		-6.9 %	-3.3 %	-29.5 %	2.9 %	16.3 %	ND	ND
SO2	1 h	ND	ND	63.4 %	16.7 %	ND	ND	ND	ND	
SO2	24 h	ND	ND	63.6 %	16.9 %	ND	ND	ND	ND	

Cellule vide = changement non-significatif

Case verte = diminution significative (à 95 % de confiance) de la moyenne en comparaison avec la période de référence

Case rouge = augmentation significative (à 95 % de confiance) de la moyenne en comparaison avec la période de référence

Le Tableau 23 présente les changements relatifs significatifs dans les moyennes aux neuf stations entre la deuxième et la première année d'opération. On observe en général durant la deuxième année une augmentation de l'ozone à toutes les stations, en comparant avec la première année d'opération. On observe aussi une augmentation des PST à plusieurs stations de l'axe mais une diminution générale du PM_{2.5}. Une légère augmentation de la moyenne du NO₂ est observée aux stations N1, C1, S2, et 29.

Tableau 23: Changements relatifs significatifs dans les moyennes aux neuf stations entre la deuxième et la première année d'opération

Polluant	Critère	N2	N1	C2	C1	S2	S1	29	17	55	7
CO	1 h	ND	ND	5.4 %	5.1 %	ND	ND	-31.9 %		-36.1 %	ND
CO	8 h	ND	ND	5.5 %	5.3 %	ND	ND	-31.7 %		-36.1 %	ND
NO2	1 h		3.7 %	-4.0 %			-6.0 %	8.6 %		-7.2 %	-19.6 %
NO2	24 h		3.3 %	-4.0 %	1.9 %	1.9 %	-5.9 %	9.4 %		-7.1 %	-19.6 %
O3	1 h	9.3 %	9.7 %	7.9 %	2.9 %	8.4 %	5.2 %	11.6 %		16.6 %	ND
O3	8 h	9.2 %	9.7 %	7.6 %	2.9 %	8.3 %	5.3 %	11.5 %		16.5 %	ND
O3	24 h	9.5 %	10.1 %	8.0 %	2.7 %	8.2 %	5.3 %	11.5 %		16.3 %	ND
PM10(GRIMM)	24 h	-12.0 %		-2.3 %	-31.0 %			-8.3 %	ND	ND	ND
PM25(FDMS)	24 h	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-11.9 %		-7.0 %	13.3 %
PM25(GRIMM)	24 h	-13.1 %	-4.1 %	-2.8 %	-18.8 %	-8.0 %	-4.5 %	-3.0 %	ND	ND	ND
PST(GRIMM)	24 h	3.3 %	-2.6 %	11.8 %	-44.3 %	8.0 %	6.1 %	-23.2 %	ND	ND	ND
SO2	1 h	ND	ND	-14.9 %	5.0 %	ND	ND	ND	ND	ND	
SO2	24 h	ND	ND	-14.6 %	5.7 %	ND	ND	ND	ND	ND	

Cellule vide = changement non-significatif

Case verte = diminution significative (à 95 % de confiance) de la moyenne de la deuxième année en comparaison avec la première année

Case rouge = augmentation significative (à 95 % de confiance) de la moyenne de la deuxième année en comparaison avec la première année

Le Tableau 24 présente les changements relatifs significatifs dans les moyennes aux neuf stations entre la troisième et la deuxième année d'opération. En général, on observe durant la troisième année une augmentation de l'ozone à la station S2. Les concentrations de CO et de NO₂ ont augmenté généralement aux stations périphériques. Aux stations N1 et N2, on observe une augmentation du NO₂ et PM_{2.5}. Les PST augmentent d'une façon importante aux stations N1 et C1 qui sont en aval de l'autoroute par rapport aux vents dominants.

Tableau 24: Changements relatifs significatifs dans les moyennes aux neuf stations entre la troisième et la deuxième année d'opération

Polluant	Critère	N2	N1	C2	C1	S2	S1	29	17	55	7
CO	1 h	ND	ND	-5.2 %	-5.8 %	ND	ND		4.8 %	68.0 %	ND
CO	8 h	ND	ND	-5.3 %	-6.0 %	ND	ND		4.8 %	67.9 %	ND
NO2	1 h				-4.9 %	-11.6 %	-7.6 %		11.5 %		4.6 %
NO2	24 h	2.4 %	2.3 %		-4.6 %	-11.7 %	-7.6 %		10.9 %		4.5 %
O3	1 h	-2.7 %	-2.2 %	-2.0 %	-3.8 %	3.8 %			-16.2 %	-4.8 %	ND
O3	8 h	-2.9 %	-2.2 %	-1.6 %	-3.8 %	3.8 %			-16.5 %	-4.8 %	ND
O3	24 h	-2.8 %	-2.4 %	-2.3 %	-3.8 %	4.0 %			-16.6 %	-4.7 %	ND
PM10(GRIMM)	24 h	-9.0 %	8.5 %	6.7 %	-17.1 %	-9.1 %	-30.7 %			ND	ND
PM25(FDMS)	24 h	ND	ND	ND	ND	ND	ND		14.4 %	-8.0 %	
PM25(GRIMM)	24 h	2.9 %	15.6 %	6.8 %	-32.6 %	-3.4 %	-14.2 %			ND	ND
PST(GRIMM)	24 h	-23.3 %	18.2 %	-4.7 %	54.7 %	-10.1 %	-42.2 %			ND	ND
SO2	1 h	ND	ND	-10.7 %	-36.9 %	ND	ND	ND	ND	ND	27.9 %
SO2	24 h	ND	ND	-11.3 %	-37.5 %	ND	ND	ND	ND	ND	27.4 %

Cellule vide = changement non-significatif

Case verte = diminution significative (à 95 % de confiance) de la moyenne de la deuxième année en comparaison avec la première année

Case rouge = augmentation significative (à 95 % de confiance) de la moyenne de la deuxième année en comparaison avec la première année

Les Tableaux 25 à 28 présentent la fréquence des dépassements à chaque station et pour chaque année. Dans chacun des tableaux, les cellules marquées en vert indiquent qu'aucune valeur n'est plus élevée que la norme. Le vert pâle indique que quelques valeurs sont proches du critère (marge de 10 %). Le jaune indique que moins que 5 % des valeurs sont au-dessus du critère et l'orange indique que plus de 5 % des valeurs dépassent le critère. Le noir indique l'absence de données. Il faut noter que ces tableaux ne recensent pas le nombre exact de dépassements, donc deux cases orange (qui indiquent que plus de 5 % des valeurs dépassent le critère) peuvent être associées à un nombre différent de dépassements. Une analyse du nombre des dépassements est effectuée dans la section 4.4.3 sur l'interprétation des données de la qualité de l'air.

En commençant par la période de référence (Tableau 25), on observe des dépassements du critère 24 h pour l'ozone à toutes les stations. Les dépassements de PM_{2.5}, PM₁₀, et PST sur l'axe sont limités aux stations S1, S2 qui sont affectées par la circulation sur l'échangeur d'Anjou et l'A40.

Tableau 25: Fréquence des dépassements pour la période de référence

Station	CO/1 h	CO/8 h	NO ₂ /1 h	NO ₂ /24 h	O ₃ /1 h	O ₃ /8 h	O ₃ /24 h	PM ₁₀ /24 h	PM _{2.5} (FDMS)/24 h	PM _{2.5} (GRIMM)/24 h	PST/24 h	SO ₂ /1 h	SO ₂ /24 h
N2	Black	Black	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Yellow	Black	Black
N1	Black	Black	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Orange	Black	Black
C2	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Yellow	Green	Green
C1	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Yellow	Green	Green
S2	Black	Black	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Orange	Black	Orange	Orange	Black	Black
S1	Black	Black	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Orange	Black	Black
29	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Orange	Orange	Black	Black
55	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Black	Yellow	Black	Black	Black	Black
7	Black	Black	Green	Green	Black	Black	Black	Black	Yellow	Black	Black	Green	Green

On observe pour l'année 1 (Tableau 26) que les polluants qui dépassent les critères sont l'ozone (1 h, 8 h et 24 h), le PM₁₀ (24 h), PM_{2.5} (24 h), et PST (24 h). On observe une diminution du nombre total de dépassements horaires pour le PM₁₀, PM_{2.5}, et PST en comparant avec la période de référence. Par contre, on observe une augmentation apparente dans les dépassements des critères 1h et 8h de l'ozone aux stations 29, 55, ainsi qu'autour de l'axe.

Tableau 26: Fréquence des dépassements pour la première année d'opération

Station	CO/1 h	CO/8 h	NO ₂ /1 h	NO ₂ /24 h	O ₃ /1 h	O ₃ /8 h	O ₃ /24 h	PM ₁₀ /24 h	PM _{2.5} (FDMS)/24 h	PM _{2.5} (GRIMM)/24 h	PST/24 h	SO ₂ /1 h	SO ₂ /24 h
N2	Black	Black	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Yellow	Black	Black
N1	Black	Black	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Yellow	Black	Black
C2	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Yellow	Green	Green
C1	Green	Green	Green	Green	Yellow	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Yellow	Green	Green
S2	Black	Black	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Orange	Black	Black
S1	Black	Black	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Orange	Black	Black
29	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Orange	Yellow	Orange	Orange	Black	Black
55	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Black	Yellow	Black	Black	Black	Black
7	Black	Black	Green	Green	Black	Black	Black	Black	Yellow	Black	Black	Green	Green

On observe pour l'année 2 (Tableau 27) que les polluants qui dépassent les critères sont l'ozone (1 h, 8 h et 24 h), le PM₁₀ (24 h), PM_{2.5} (24 h), et PST (24 h). En comparaison avec la première année d'opération, on observe une diminution dans les dépassements horaires de l'ozone à plusieurs stations ainsi qu'une diminution de la moyenne 24 h pour le PST aux stations C1 et 29. Les dépassements PST aux stations S1 et S2 sont toujours présents depuis la période de référence.

Tableau 27: Fréquence des dépassements pour la seconde année d'opération

Station	CO/1 h	CO/8 h	NO ₂ /1 h	NO ₂ /24 h	O ₃ /1 h	O ₃ /8 h	O ₃ /24 h	PM ₁₀ /24 h	PM ₂₅ (FDMS)/24 h	PM ₂₅ (GRIMM)/24 h	PST/24 h	SO ₂ /1 h	SO ₂ /24 h
N2	Black	Black	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Yellow	Black	Black
N1	Black	Black	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Yellow	Black	Black
C2	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Yellow	Green	Green
C1	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Green	Green	Green
S2	Black	Black	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Orange	Black	Black
S1	Black	Black	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Orange	Black	Black
29	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Black	Black
17	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Green	Black	Black	Black	Black
55	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Yellow	Black	Black	Black	Black
7	Black	Black	Green	Green	Black	Black	Black	Black	Yellow	Black	Black	Green	Green

Dans le Tableau 28, on observe pour la troisième année d'opération que les polluants qui dépassent les critères sont l'ozone (1 h et 24 h), le PM₁₀ (24 h), PM_{2.5} (24 h), et PST (24 h). Si on compare avec l'an 2 d'opération, on ne perçoit pas de différences majeures mais en comparant avec l'an 1 d'opération on remarque une baisse dans les dépassements durant l'an 2 et 3. Les dépassements dans les PST qui étaient aux stations S1 et S2 se limitent à la station S2 dans cette année-là.

Tableau 28: Fréquence des dépassements pour la troisième année d'opération

Station	CO/1 h	CO/8 h	NO ₂ /1 h	NO ₂ /24 h	O ₃ /1 h	O ₃ /8 h	O ₃ /24 h	PM ₁₀ /24 h	PM ₂₅ (FDMS)/24 h	PM ₂₅ (GRIMM)/24 h	PST/24 h	SO ₂ /1 h	SO ₂ /24 h
N2	Black	Black	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Yellow	Black	Black
N1	Black	Black	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Yellow	Black	Black
C2	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Yellow	Green	Green
C1	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Green	Yellow	Green	Green
S2	Black	Black	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Orange	Black	Black
S1	Black	Black	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Black	Yellow	Yellow	Black	Black
29	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Black	Black
17	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Black	Black
55	Green	Green	Green	Green	Light Green	Yellow	Orange	Yellow	Yellow	Black	Black	Black	Black
7	Black	Black	Green	Green	Black	Black	Black	Black	Yellow	Black	Black	Green	Green

4.4.1 Analyse de l'influence de la circulation sur la qualité de l'air dans l'axe

Cette analyse vise à comprendre si la circulation est un facteur qui influe sur la qualité de l'air aux abords de l'axe à travers une analyse par paires de stations (C1/C2, S1/S2, N1/N2, voir la

Figure 1 pour la localisation des stations). Le but de cette analyse est de calculer la différence entre les concentrations mesurées à la station en aval et celle en amont du vent, quand le vent est orthogonal à l'axe. Si le niveau d'un polluant est plus élevé à la station en aval du vent, cela indique que la circulation sur l'axe est susceptible d'en être la cause. Cette analyse a été effectuée avec les données de chaque année et pour tous les polluants (sauf NO_2 , NO , et O_3 qui sont analysés différemment). La raison pour laquelle les NO et NO_2 sont omis de cette analyse est que le NO_x ($\text{NO} + \text{NO}_2$) illustre mieux l'effet de la circulation que nous voulons observer. Puisque l' O_3 n'est pas produit directement par la circulation, son analyse par paires de stations n'est pas pertinente.

Il faut noter que cette analyse ne porte pas sur les dépassements ; ici, on compare les moyennes des différences en amont et en aval du vent uniquement quand le vent est orthogonal. Donc il est possible qu'un dépassement sur l'axe ait lieu dans une situation où le vent n'est pas orthogonal. Ce dépassement pourrait toucher une des deux stations ou bien les deux. Cette analyse ne fait pas l'objet de cette section mais d'une section ultérieure.

En général, les effets que nous avons observés au cours des trois années d'opération sont similaires entre les années ainsi que légèrement différents des effets observés durant la période de référence.

- Les analyses du CO et des SO_2 , qui sont uniquement mesurés aux stations C1 et C2, indiquent que la circulation n'a pas une influence majeure sur les concentrations de ces deux polluants à ces stations.
- Pour le $\text{PM}_{2.5}$, on voit que la grande majorité des différences sont faibles. Cela ne veut pas dire que des dépassements $\text{PM}_{2.5}$ ne peuvent pas être liés à la circulation sur l'axe, l'analyse des dépassements se fera dans une section ultérieure. Ce que cette analyse démontre est que la différence amont aval pour le $\text{PM}_{2.5}$ quand le vent est orthogonal est faible. Il faut noter que nous avons aussi observé des situations où la différence amont aval est importante même sans un vent orthogonal. Il y a une grande variabilité dans la qualité de l'air qui peut être affectée par la turbulence atmosphérique ainsi que mécanique à cause de la circulation.
- Pour le PM_{10} on observe que la proportion des observations où la différence entre l'aval et l'amont (aval – amont) est positive augmente lorsque le vent est orthogonal (évidemment, il y a des épisodes de dépassement qui seront analysés ultérieurement et qui ont lieu quand le vent n'est pas orthogonal). Si on compare ces observations avec la période de référence, on note que durant cette période, la proportion des observations où la différence entre les stations est positive ne change pas significativement avec la vitesse et la direction du vent. Ceci indique que durant les années d'opération, la circulation a un effet plus important aux paires de stations que durant la période de référence. Ceci est évidemment attendu puisqu'il n'y avait pas de circulation durant cette période.
- Pour les PST, la moyenne des différences change avec la direction du vent. Elle est plus élevée quand le vent est orthogonal. Si on compare avec les données de la période de référence, on observe que durant cette période, la différence la plus importante n'était pas associée à des vents orthogonaux. Cela indique une augmentation du rôle de la circulation durant les années d'opération. On note aussi que cette observation n'exclut pas le fait que durant des situations sans vent orthogonal (vent plutôt aligné), on

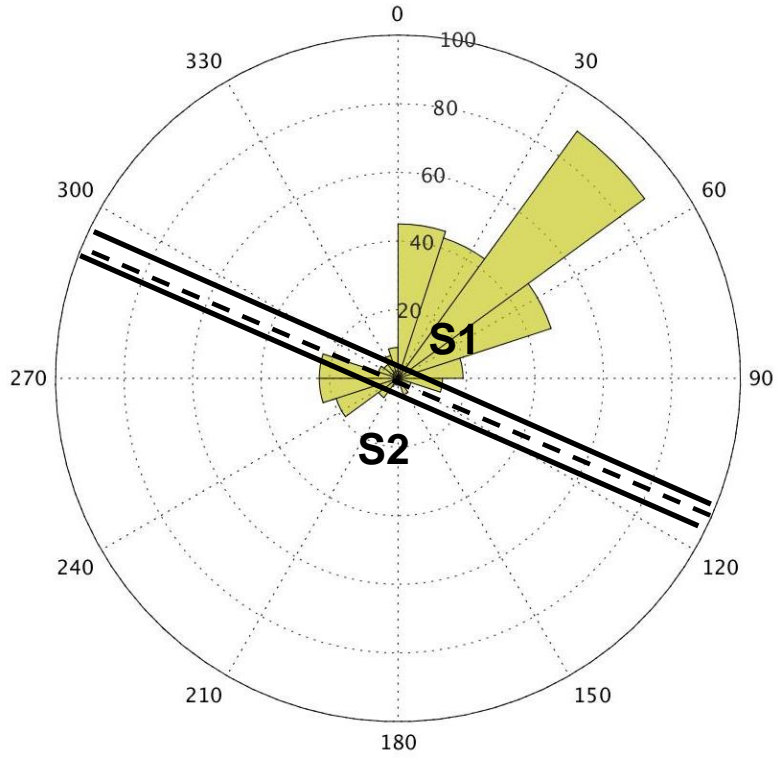
observe des dépassements et donc ces dépassements peuvent avoir lieu à une ou aux deux stations d'une paire.

- Pour le cas du NO_x et pour les stations S1 et S2, on observe les différences les plus élevées entre les moyennes aux deux stations quand le vent est orthogonal. Cette observation était valide durant toutes les années car les stations S1 et S2 sont les plus affectées par la circulation, non-seulement sur l'axe A-25 mais dans l'ensemble du secteur de l'échangeur Anjou (A-40). Par contre, durant la troisième année, on observe aussi un effet aux autres stations. Aux stations C1/C2 et N1/N2, des vents orthogonaux du Sud-Ouest causent une augmentation de la différence entre les deux stations en comparant avec les données de la première année d'opération. Ceci est particulièrement le cas aux stations N1 et N2 ce qui indique une augmentation de l'effet de la circulation à ces deux stations.

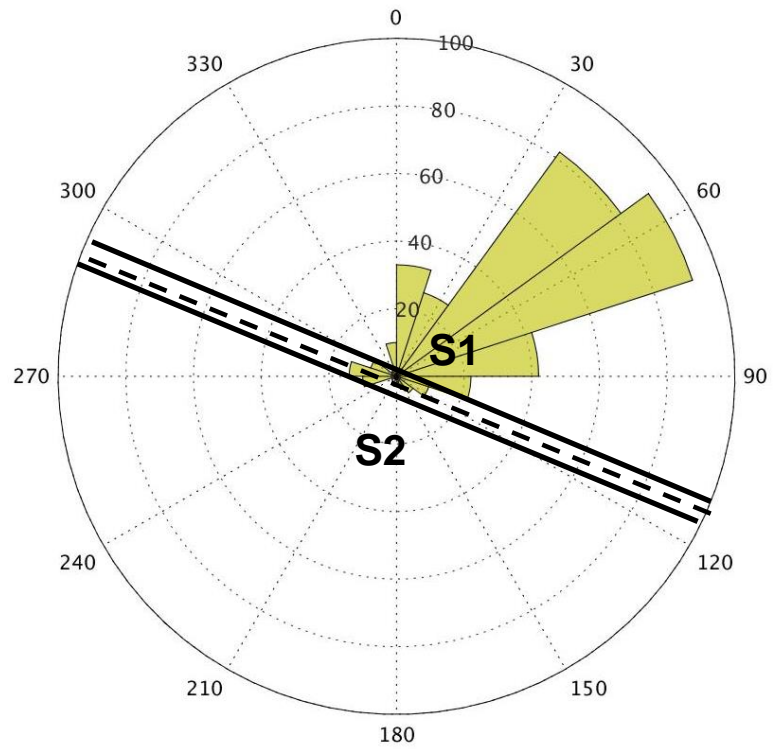
Durant les quatre années, les stations S1 et S2 sont celles où on observe le mieux l'effet du vent sur la pollution générée par la circulation (sur l'axe ainsi que dans l'échangeur d'Anjou) car les écarts moyens positifs sont les plus élevés à cette paire. Cet effet ne se limite pas aux trois années d'opération, effectivement, même durant la période de référence, nous avons observé cet effet. Ceci est plus accentué dans le cas des NO_x qui sont normalement associés aux émissions du transport. On observe aussi cet effet dans le cas des PST.

Pour mieux illustrer cet effet, une rose des vents est employée pour faire le compte des cas où les différences (en valeur absolue) entre les concentrations de NO_x aux paires de stations sont très élevées (95^{ème} centiles des différences). Dans ce cas on garde les 5 % des différences les plus élevées (négatives et positives). Les trois roses de vents sont illustrées aux trois paires de stations S1/S2, C1/C2, N1/N2. Les figures ci-dessous démontrent qu'aux stations S1/S2, les différences extrêmes de concentration du NO_x entre les deux stations sont associées à des vents du Nord-Est, orthogonaux à l'axe. Effectivement, ces différences relèvent de cas où les concentrations sur S2 sont plus élevées que celles sur S1.

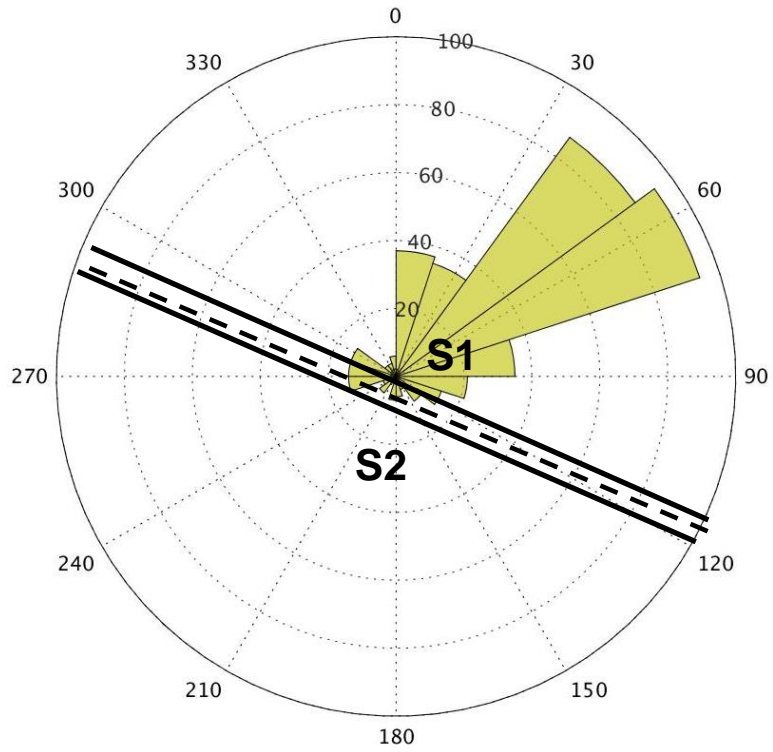
Aux stations C1 et C2 on observe que les différences extrêmes sont associées à des vents du Nord-Nord-Est ainsi que du Sud-Sud-Ouest ; si on compare ces vents à l'axe qui joint les stations C1 et C2, ces directions sont considérées comme orthogonales (localement). Aux stations N1/N2, on observe que ce sont des vents du Nord ou de l'Ouest qui causent les différences extrêmes.



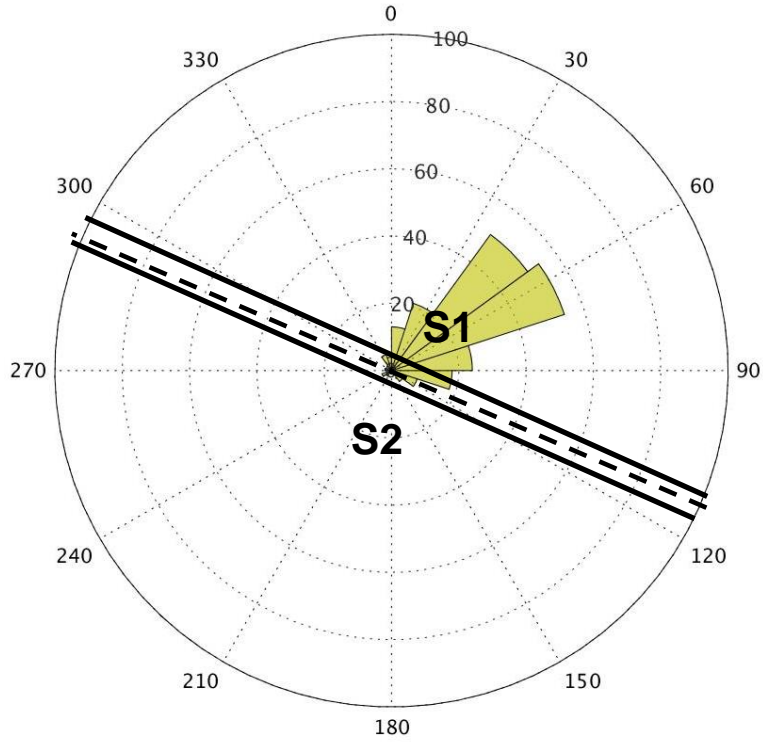
a) Troisième année d'opération



b) Deuxième année d'opération

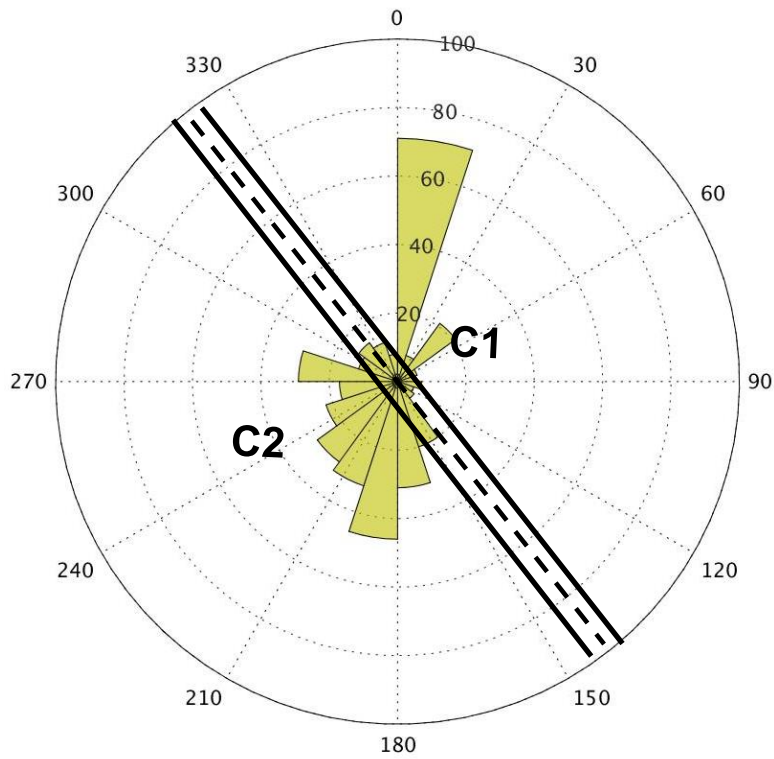


c) Première année d'opération

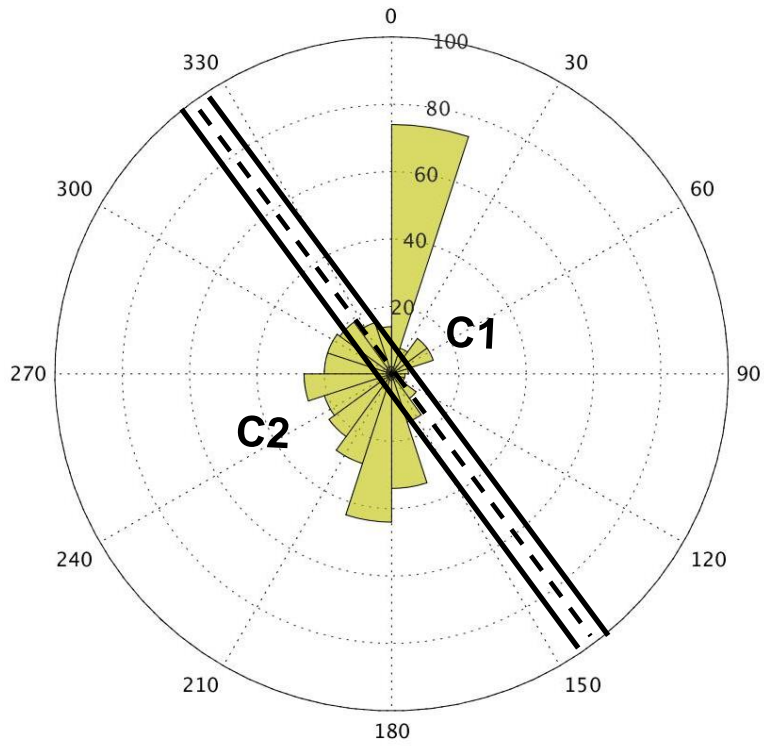


d) Période de référence

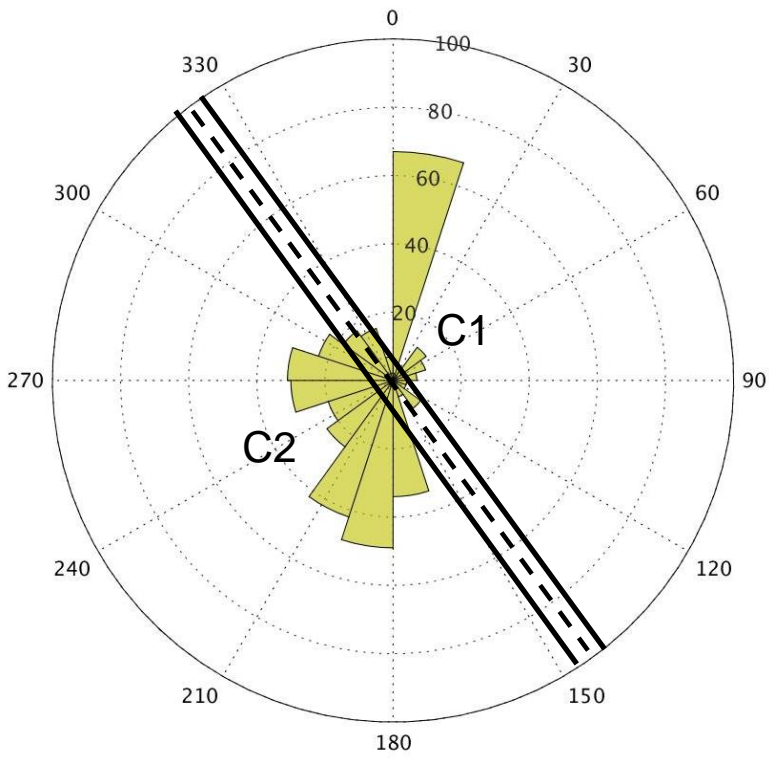
Figure 41: Directions des vents pour les cas où la valeur absolue de $[NO_x(S1) - NO_x(S2)]$ est supérieure au 95ème centile (l'axe approximatif de l'autoroute est marqué en noir)



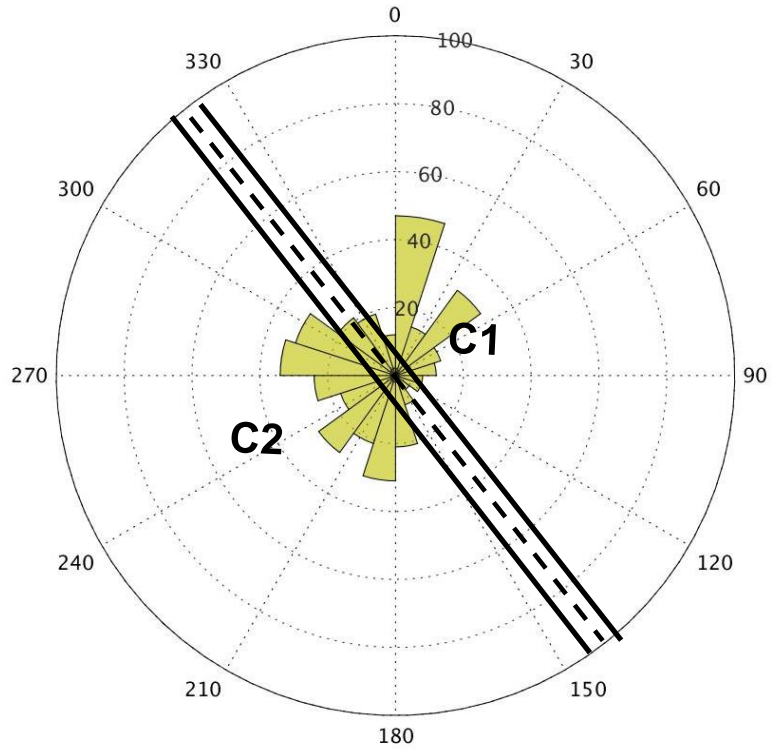
a) Troisième année d'opération



b) Deuxième année d'opération

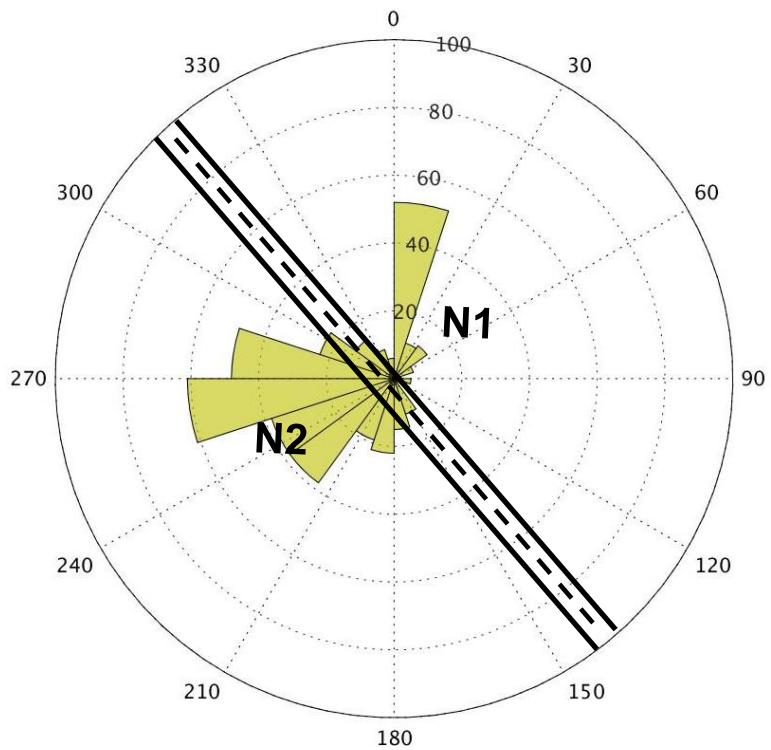


c) Première année d'opération

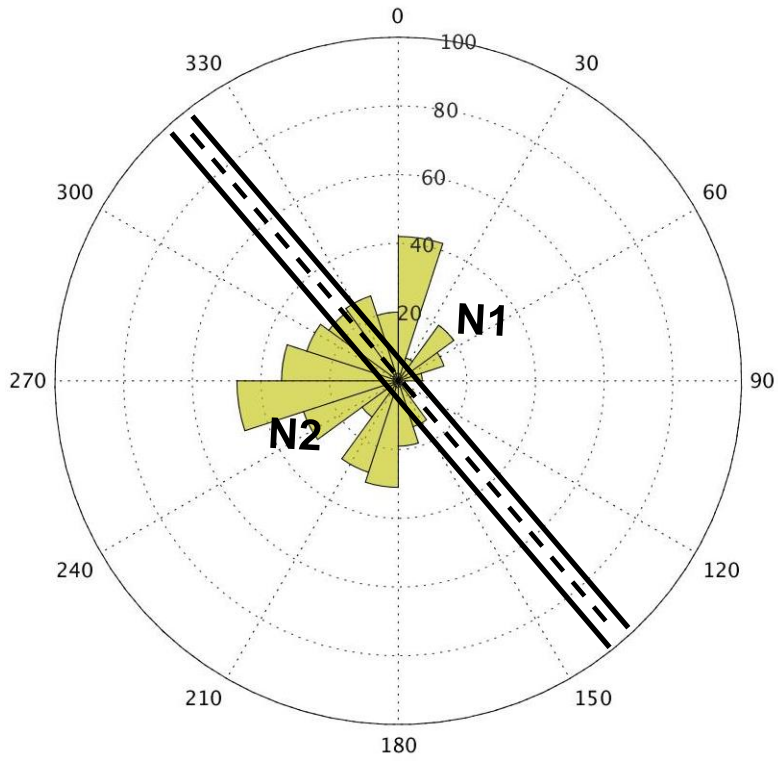


d) Période de référence

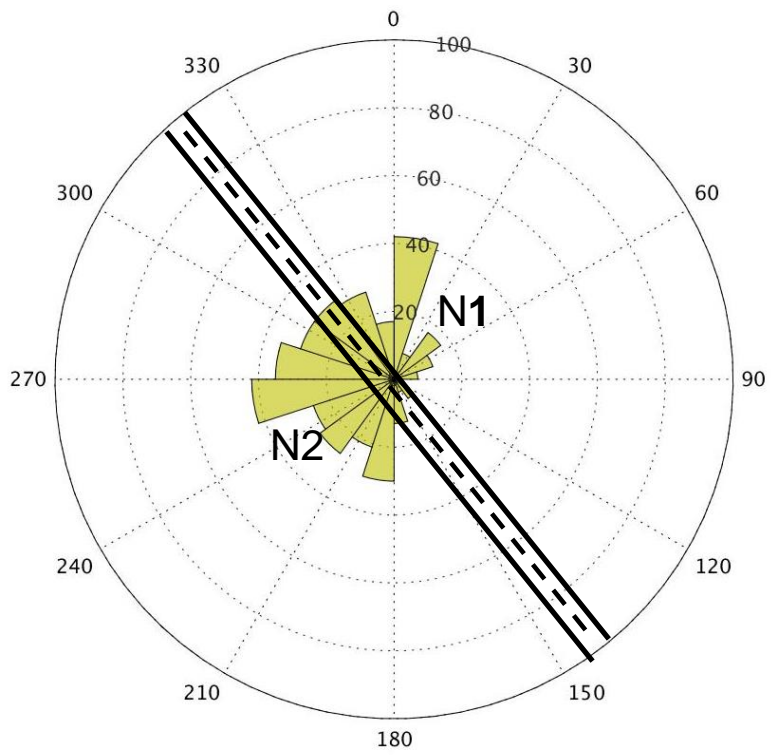
Figure 42: Directions des vents pour les cas où la valeur absolue de $[NO_x(C1) - NO_x(C2)]$ est supérieure au 95ème centile (l'axe approximatif de l'autoroute est marqué en noir)



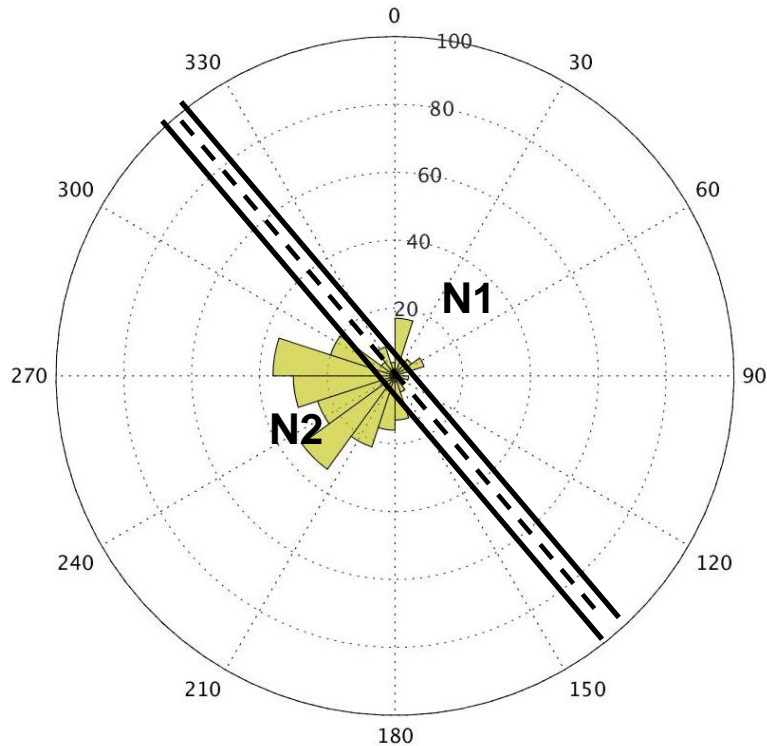
a) Troisième année d'opération



b) Deuxième année d'opération



c) Première année d'opération



d) Période de référence

Figure 43: Directions des vents pour les cas où la valeur absolue de $[NO_x(N1) - NO_x(N2)]$ est supérieure au 95^{ème} centile (l'axe approximatif de l'autoroute est marqué en noir)

4.4.2 Analyse d'autres facteurs explicatifs

Durant les trois années d'opération du pont étudiées, des données de la circulation sur le pont nous ont été transmises. Pour cela, nous avons pu effectuer une série de régressions linéaires afin d'illustrer l'influence de la circulation ainsi que d'autres facteurs sur la qualité de l'air aux stations de l'axe. Cette analyse est effectuée pour le NO , NO_2 , et l' O_3 . Effectivement, bien que l' O_3 n'est pas directement émis par la circulation, cette analyse illustre comment les facteurs qui augmentent la concentration de NO et NO_2 sont aussi les facteurs qui réduisent l' O_3 .

Puisque le seul point sur l'axe qui est associé à un nombre raisonnable de données sur la circulation est situé sur le pont, entre les stations N1/N2 et C1/C2, seules les données de ces quatre stations sont prises en compte. Les données des stations S1/S2, au sud de l'échangeur d'Anjou, ainsi que des stations-témoin 27, 55, et 9 sont exclues.

La variable dépendante est le logarithme de la concentration à chaque station puisque les concentrations suivent une loi log-normale. Chacune de ces stations est à une distance différente de l'autoroute et l'occupation du sol dans une zone tampon de chaque station est aussi variable. Le but de cette analyse est uniquement de quantifier l'association entre la concentration observée et certains facteurs comme la vitesse du vent, la distance par rapport à l'autoroute, et le débit de circulation. L'intérêt principal est d'étudier le signe de chaque coefficient des variables significatives. Un signe positif indique une association positive (la variable tend à augmenter la concentration) et un signe négatif indique une association négative (la variable tend à diminuer la concentration). Il faut noter que pour les analyses de régression suivantes, les valeurs R^2 sont faibles. Ceci est attendu puisqu'on intègre un faible nombre de facteurs explicatifs des concentrations dans les régressions. Le but de ces analyses n'est pas de développer des modèles de prédiction mais simplement d'observer les associations entre la

circulation et la météorologie ainsi que les concentrations de polluants. Nous sommes donc intéressés par les variables significatives (valeur p plus faible que 0.05) sans se soucier de la grandeur de l'effet.

L'analyse du NO (Tableaux 29 et 30) démontre que la circulation a une association positive avec la concentration de NO. La température et la vitesse du vent ont une association négative. Cela est attendu car la vitesse du vent améliore la dispersion des polluants et une basse température est associée avec une diminution de transformation chimique des polluants ainsi que d'inversions potentielles de température ce qui augmente le niveau de NO. La distance par rapport à l'axe diminue la concentration de NO mesurée.

L'analyse du NO₂ (Tableaux 31 et 32) démontre que la circulation, la distance de l'axe, la température, et la vitesse du vent ont le même effet que pour le NO. La proportion de surfaces vacantes a un coefficient négatif ce qui indique une diminution des concentrations de NO₂ dans les zones avec peu d'infrastructures et de bâtiments.

L'analyse de l'O₃ (Tableaux 33 et 34) démontre que la température et la vitesse du vent ont une association positive ce qui s'explique par le mécanisme de formation de l'ozone. En effet, la production d'ozone nécessite un rayonnement solaire élevé ce qui détruit le NO et le NO₂. À température basse, on observe une faible formation de l'ozone ce qui cause une accumulation du NO et NO₂. Cette analyse aussi démontre que la présence de zones résidentielles est associée à une concentration d'ozone plus élevée.

Tableau 29: Régression linéaire du ln(NO) aux stations N1, N2, C1, C2 (Troisième année d'opération)

R ² = 0.232	Coefficient	Erreur type	Valeur t	Valeur p
Constante	-.712	.060	-11.961	.000
Vitesse du vent (m/s)	-.076	.002	-35.532	.000
Température (degrés C)	-.024	.001	-26.321	.000
Humidité relative (%)	.008	.001	13.372	.000
Débit horaire / 1000	.836	.010	83.848	.000
Distance de l'autoroute (km)	-2.677	.082	-32.507	.000

Tableau 30: Régression linéaire du ln(NO) aux stations N1, N2, C1, C2 (Deuxième année d'opération)

R ² = 0.199	Coefficient	Erreur type	Valeur t	Valeur p
Constante	-.633	.054	-11.705	.000
Vitesse du vent (m/s)	-.075	.002	-34.777	.000
Température (degrés C)	-.022	.001	-24.771	.000
Humidité relative (%)	.007	.001	12.340	.000
Débit horaire / 1000	.798	.000	68.739	.000
Distance de l'autoroute (km)	-.320	.079	-4.071	.000

Tableau 31: Régression linéaire du $\ln(\text{NO}_2)$ aux stations N1, N2, C1, C2 (Troisième année d'opération)

$R^2 = 0.280$	Coefficient	Erreur type	Valeur t	Valeur p
Constante	2.022	.024	83.418	.000
Vitesse du vent (m/s)	-.070	.001	-81.532	.000
Température (degrés C)	-.009	.000	-24.639	.000
Humidité relative (%)	.013	.000	49.301	.000
Proportion de surface vacante dans une zone tampon de 750 m	-.112	.009	-11.764	.000
Débit horaire / 1000	.206	.004	51.460	.000
Distance de l'autoroute (km)	-.527	.034	-15.304	.000

Tableau 32: Régression linéaire du $\ln(\text{NO}_2)$ aux stations N1, N2, C1, C2 (Deuxième année d'opération)

$R^2 = 0.234$	Coefficient	Erreur type	Valeur t	Valeur p
Constante	1.971	.026	75.543	.000
Vitesse du vent (m/s)	-.067	.001	-66.448	.000
Température (degrés C)	-.007	.000	-15.991	.000
Humidité relative (%)	.013	.000	50.188	.000
Proportion de surface vacante dans une zone tampon de 750 m	-.145	.010	-13.993	.000
Débit horaire / 1000	.186	.006	33.697	.000
Distance de l'autoroute (km)	-.406	.038	-10.791	.000

Tableau 33: Régression linéaire du $\ln(\text{O}_3)$ aux stations N1, N2, C1, C2 (Troisième année d'opération)

$R^2 = 0.318$	Coefficient	Erreur type	Valeur t	Valeur p
Constante	4.394	.019	235.591	.000
Vitesse du vent (m/s)	.056	.001	74.288	.000
Température (degrés C)	.004	.000	12.931	.000
Humidité relative (%)	-.018	.000	-79.604	.000
Proportion de surface vacante dans une zone tampon de 750 m	.032	.008	4.121	.000

Tableau 34: Régression linéaire du $\ln(O_3)$ aux stations N1, N2, C1, C2 (Deuxième année d'opération)

$R^2 = 0.318$	Coefficient	Erreur type	Valeur t	Valeur p
Constante	4.378	.020	223.778	.000
Vitesse du vent (m/s)	.055	.001	65.452	.000
Température (degrés C)	.005	.000	13.035	.000
Humidité relative (%)	-.019	.000	-84.537	.000
Proportion de surface résidentielle dans une zone tampon de 750 m	.173	.023	7.596	.000

Finalement, pour mieux comprendre les variations horaires du NO, NO₂, et O₃, on a calculé la moyenne horaire pour chaque polluant aux neuf stations en se basant sur toutes les données obtenues pour chaque année d'opération, ainsi que durant la période de référence. Les observations sont les mêmes chaque année : on observe que les concentrations de NO et NO₂ augmentent avec l'augmentation de la circulation au matin, pour atteindre un maximum aux alentours de 8 h. Il y a une corrélation significative entre les concentrations de NO et NO₂. La corrélation inverse entre le NO et NO₂ d'une part et l'O₃ d'autre part est bien claire. Il y a une destruction de l'ozone au moment où la concentration de NO est maximale. Ceci est le résultat de la réaction qui forme l'ozone à partir du NO₂. Plus tard dans la journée, les concentrations de NO et de NO₂ augmentent faiblement (ou bien restent plutôt constantes) pour laisser place à la formation de l'ozone qui est maximale dans l'après-midi où le rayonnement solaire est maximum. Malgré les émissions importantes de NO qui ont lieu durant la période de pointe du soir, une transformation des NO a lieu pour laisser place à la formation de l'ozone. Ces tendances sont similaires à toutes les stations.

4.4.3 Analyse des dépassements

Afin d'évaluer l'étendue des dépassements et la possibilité que la circulation sur l'axe en soit la cause, quatre polluants avec un pourcentage élevé de dépassements sont étudiés : PM₁₀ (moyenne 24 h), PM_{2.5} (moyenne 24 h), PST (moyenne 24 h), et l'ozone (moyenne 24 h). Les données horaires font l'objet de notre analyse. Cette analyse se limite aux polluants avec un pourcentage élevé de dépassements, ce qui explique pourquoi le NO₂ ne fait pas l'objet de cette analyse. Bien que l'O₃ ne soit pas directement émis par la circulation, comme ce polluant fait l'objet de dépassements, on l'inclut dans cette analyse afin d'illustrer l'étendue de ces dépassements, évidemment sans conclure en ce qui concerne le rôle de la circulation sur l'axe.

Les figures 44 à 59 ci-dessous présentent, pour chacun de ces quatre polluants, uniquement les dépassements de la concentration moyenne sur 24 h, à chaque station (on calcule la moyenne flottante de 24 h pour chaque heure de l'année ; donc à chaque heure, la concentration représente la moyenne des 23 h précédentes et de cette heure-là). L'axe vertical recense parmi un total annuel possible de 8760 heures par année, chaque heure où un dépassement de la norme 24 h a eu lieu à au moins une des stations (en commençant par le premier dépassement de la période d'analyse). Les cellules bleues indiquent les dépassements qui ont lieu à une des stations de l'axe sans avoir lieu aux trois stations périphériques : les cellules bleues indiquent donc les dépassements qui pourraient être dus à la circulation sur l'axe. Les cellules rouges indiquent tous les autres épisodes de dépassement. Il faut noter que nous parlons ici de dépassements de la norme 24 h à chaque heure. Donc plusieurs heures

consécutives comptent comme plusieurs dépassements. Ce calcul est conforme avec le traitement des données par le réseau de surveillance de la qualité de l'air (RSQA) à Montréal.

Ces figures ont été créées lorsque les données d'une heure précise sont disponibles simultanément à toutes les stations qui mesurent le polluant d'intérêt. Cela élimine certains dépassements qui pourraient par exemple se passer aux stations C1 et C2 à des heures auxquelles nous n'avons pas de données pour les stations périphériques (surtout pour PM_{10} qui n'est mesuré qu'à la station 29 parmi les stations périphériques), auquel cas nous ne pouvons pas conclure que le dépassement est limité à l'autoroute. Les figures suivantes présentent successivement l'analyse des dépassements durant la troisième année d'opération, la deuxième, la première, et la période de référence.

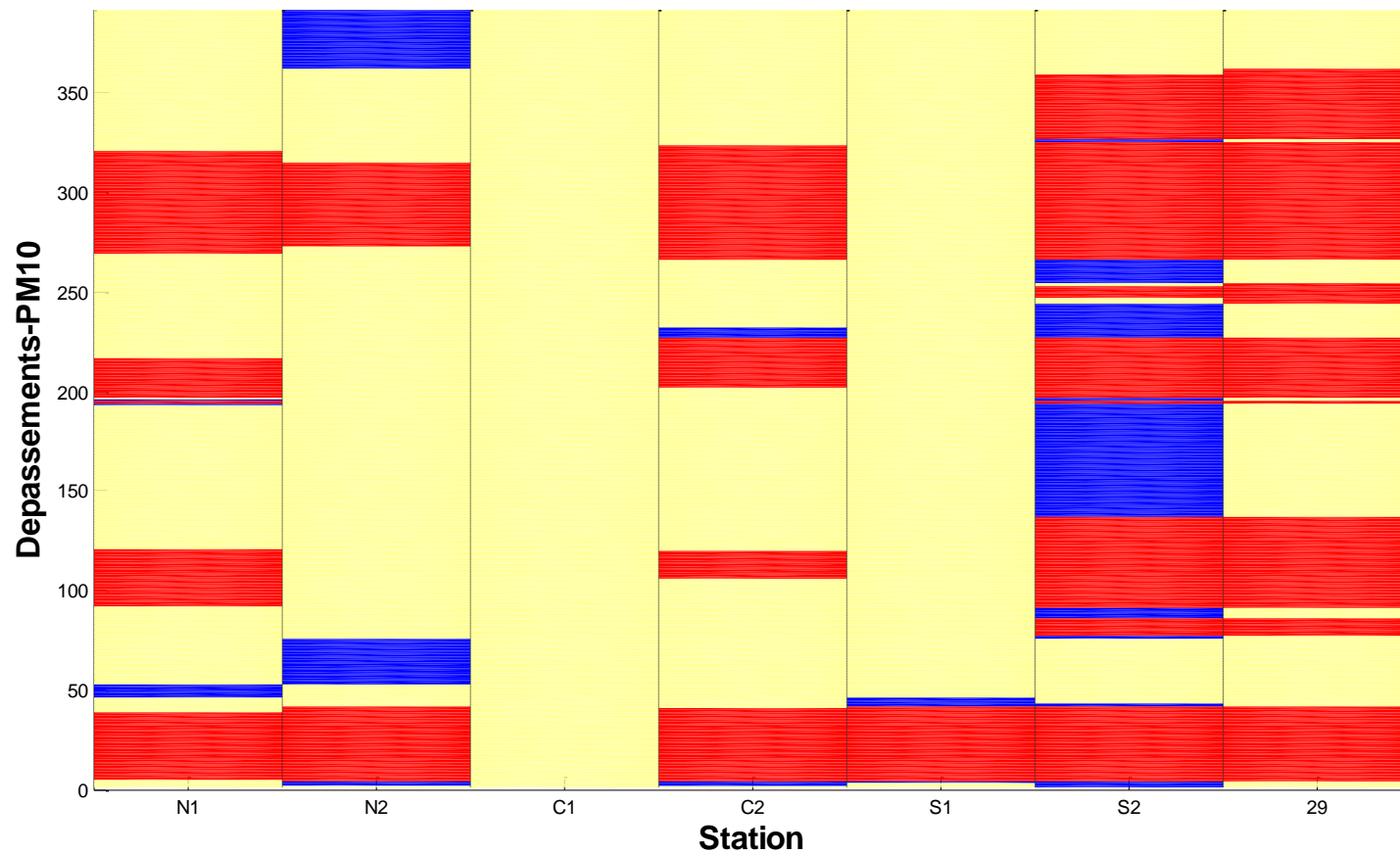
Il faut noter que cette analyse n'exclut pas certaines directions du vent ; ici, on ne recense pas uniquement les situations où le vent est orthogonal. On recense les situations de dépassement même lorsque le vent n'est pas orthogonal à l'axe. Dans ce cas, un dépassement peut toucher les deux stations de la même paire ou bien une des deux stations dépendamment de la turbulence atmosphérique. Donc dans ces figures, il est possible d'observer des dépassements aux stations N1, C1, S1 qui ne touchent pas les stations N2, C2, S2. Le fait que les stations N1, C1, S1 se trouvent à l'aval des vents « dominants » ne veut pas dire que lorsqu'un dépassement a lieu, le vent était effectivement orthogonal venant de l'ouest. Notre objectif est ici de recenser les heures où un dépassement a lieu sur l'axe sans toucher les stations périphériques. Même dans ses conditions, il est impossible d'établir une causalité entre la circulation sur l'axe et le dépassement car il est aussi possible qu'un vent du sud puisse transporter la pollution des autres routes qui vont s'ajouter à l'effet de la circulation sur l'axe et donc causer un dépassement.

Pour le PM_{10} , le pourcentage de dépassements limités à l'axe a diminué entre la deuxième et troisième année d'opération ; 52 % durant la deuxième année et 42 % durant la troisième année, contre 29% et 45% aux années 0 (référence) et 1. Donc on ne détecte pas de tendance. Durant toute cette période, les stations S1 et S2, mais surtout S2, sont celles où on observe le plus de dépassements ce qui indique que la circulation au sud de l'autoroute a une influence majeure sur la qualité de l'air sur l'axe. Les stations S1/S2 sont situées au sud de l'échangeur Anjou, dans un segment très fortement achalandé, même avant le parachèvement de l'A-25

Le pourcentage des dépassements de PST limités à l'axe a augmenté, passant de 69 % durant la deuxième année à 81 % durant la troisième année, contre 70 % et 55 % aux années 0 et 1. Donc on ne détecte pas de tendance aux cours des quatre périodes. Durant la troisième année, la grande majorité des dépassements a lieu à la station S2, même sans toucher la station S1. Si on ne prend pas en compte la possibilité d'instrument défectueux, une fois encore, cela indique que la circulation au sud de l'autoroute a une influence majeure.

Pour le $PM_{2,5}$, le pourcentage des dépassements limités à l'axe oscille allant de 43% en année 0, 65% en année 1, et 49% en année 3. Pour la deuxième année (0% dépassements limités à l'axe), tous les dépassements s'étendent au-delà de l'axe. Cette aberrance peut être liée au fait que cette année était marquée par un nombre important de dépassements de la norme $PM_{2,5}$ dans tout Montréal.

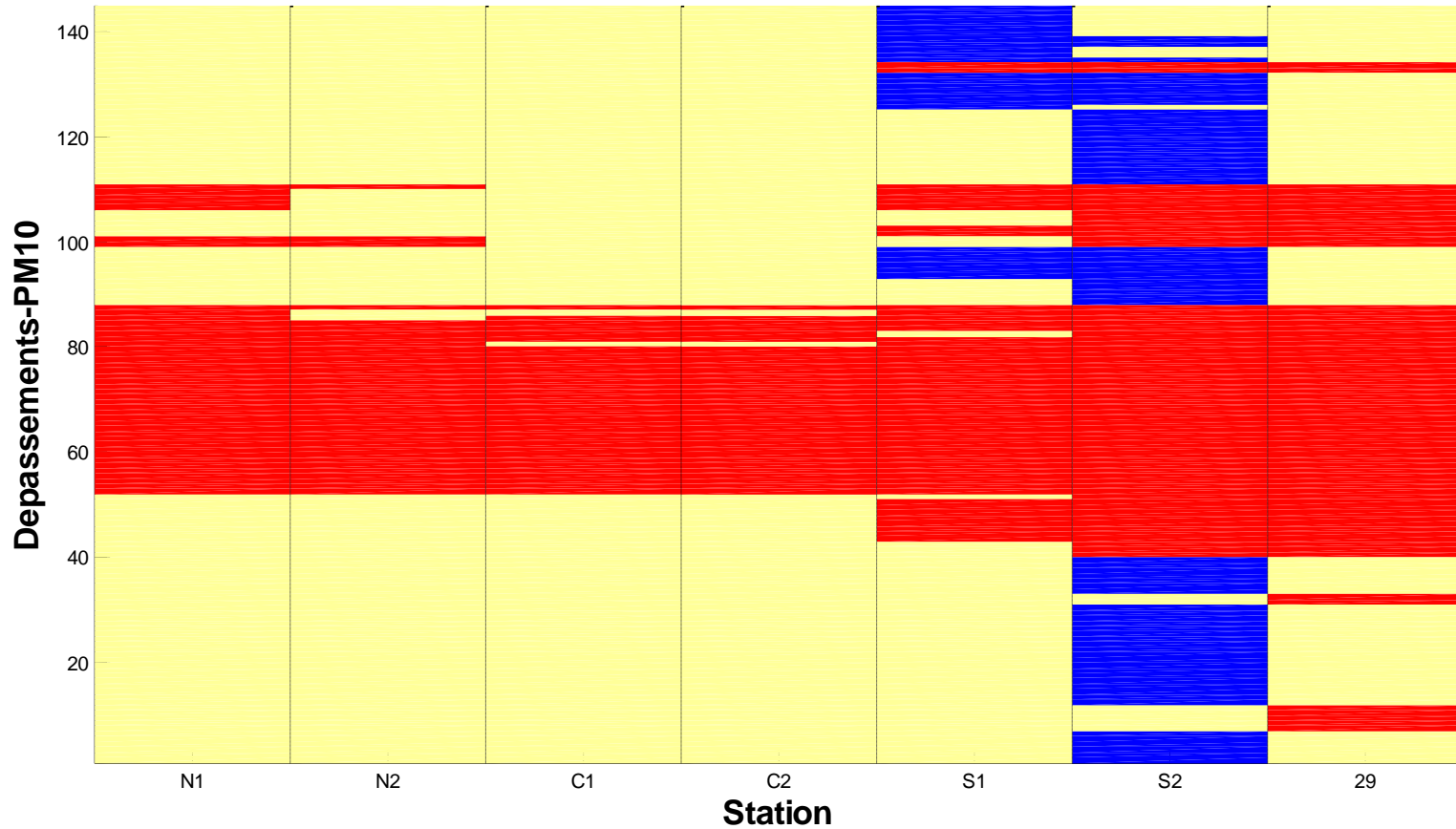
Pour l'ozone (figures 56 à 59), on observe que les dépassements limités à l'axe sont marginaux : ceci est attendu puisque l'ozone est naturellement plus élevé dans les milieux avec moins de circulation, ces figures confirment cette tendance de l'ozone à être plus élevé à distance d'un axe routier.



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 44 : Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM₁₀, données fournies par analyseur Grimm (Troisième année d'opération)

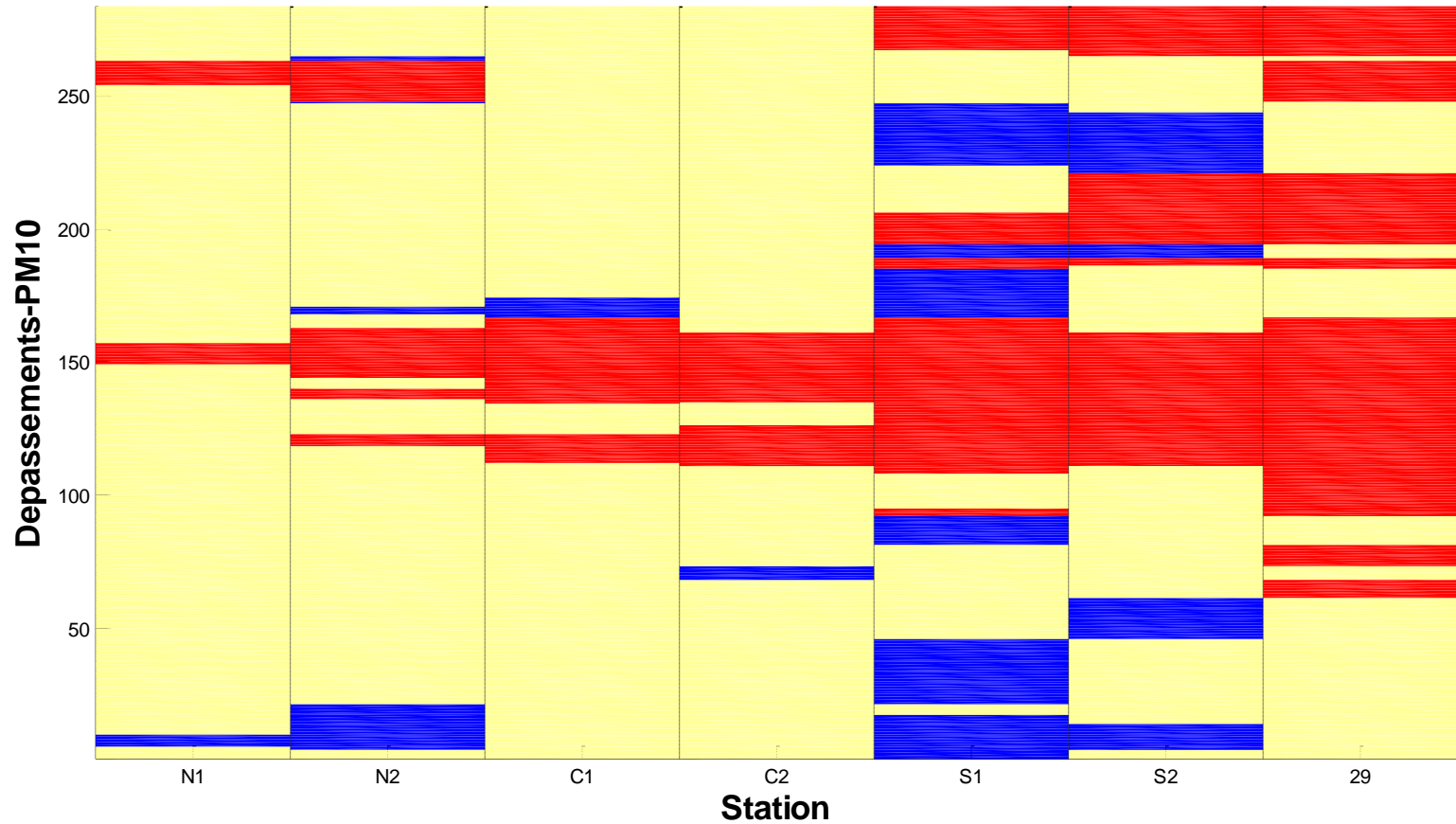
Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements à la station 29 : 42 % (163/392)



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 45: Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM₁₀, données fournies par analyseur Grimm (Deuxième année d'opération)

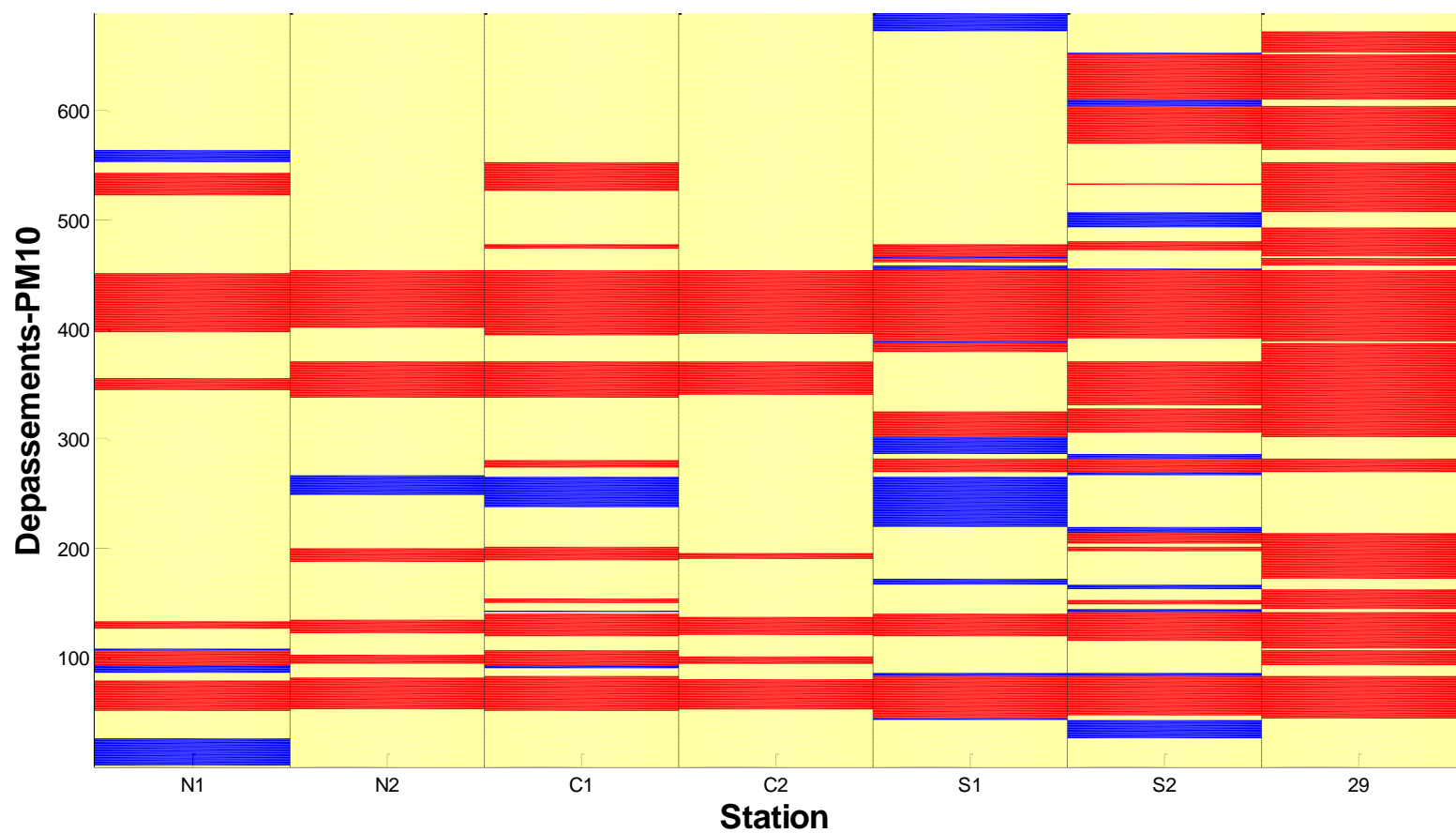
Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements à la station 29 : 52 % (75/145)



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 46: Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM₁₀, données fournies par analyseur Grimm (Première année d'opération)

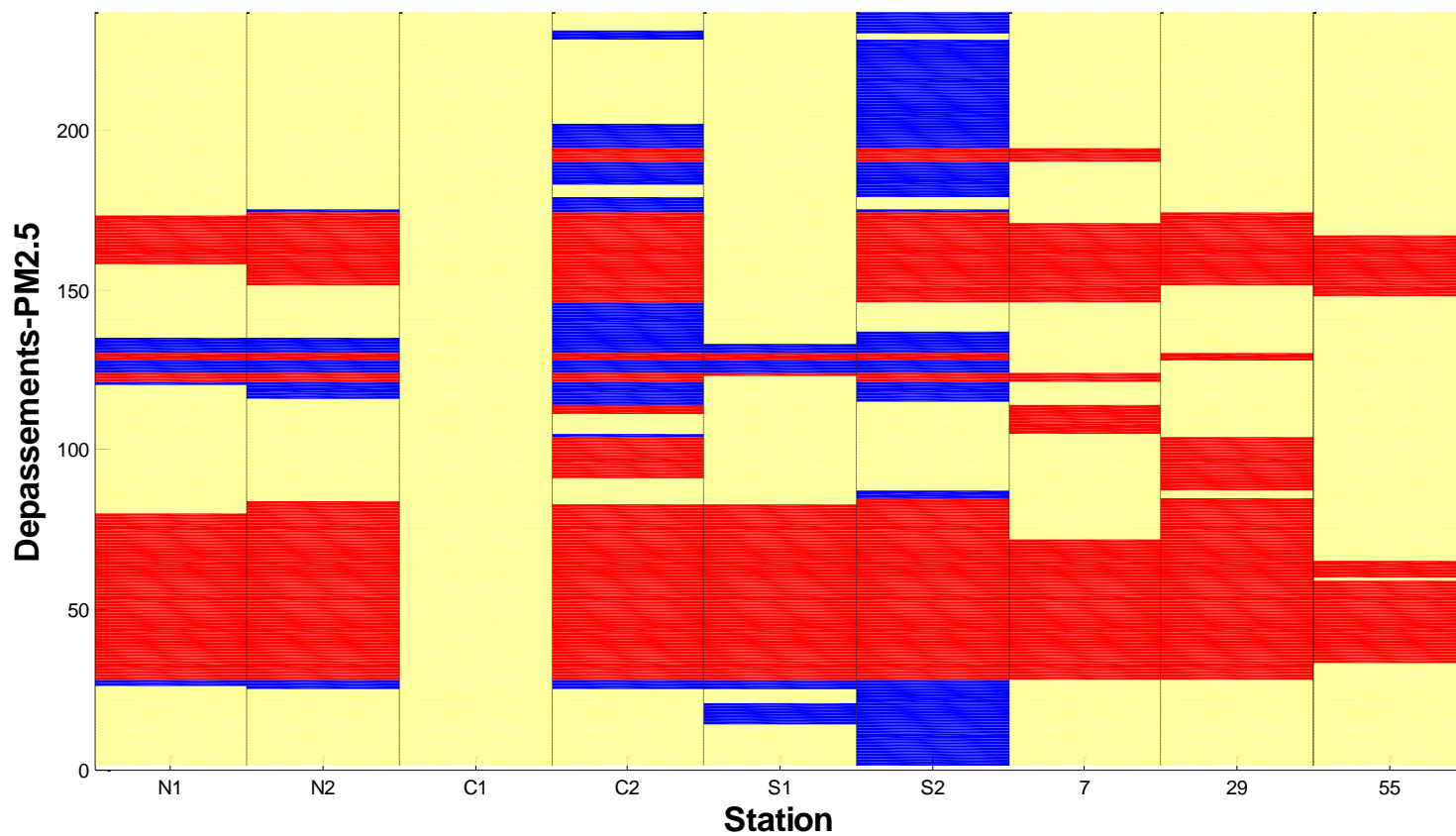
Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements à la station 29 : 45 % (128/284)



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 47 : Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM₁₀, données fournies par analyseur Grimm (Période de référence)

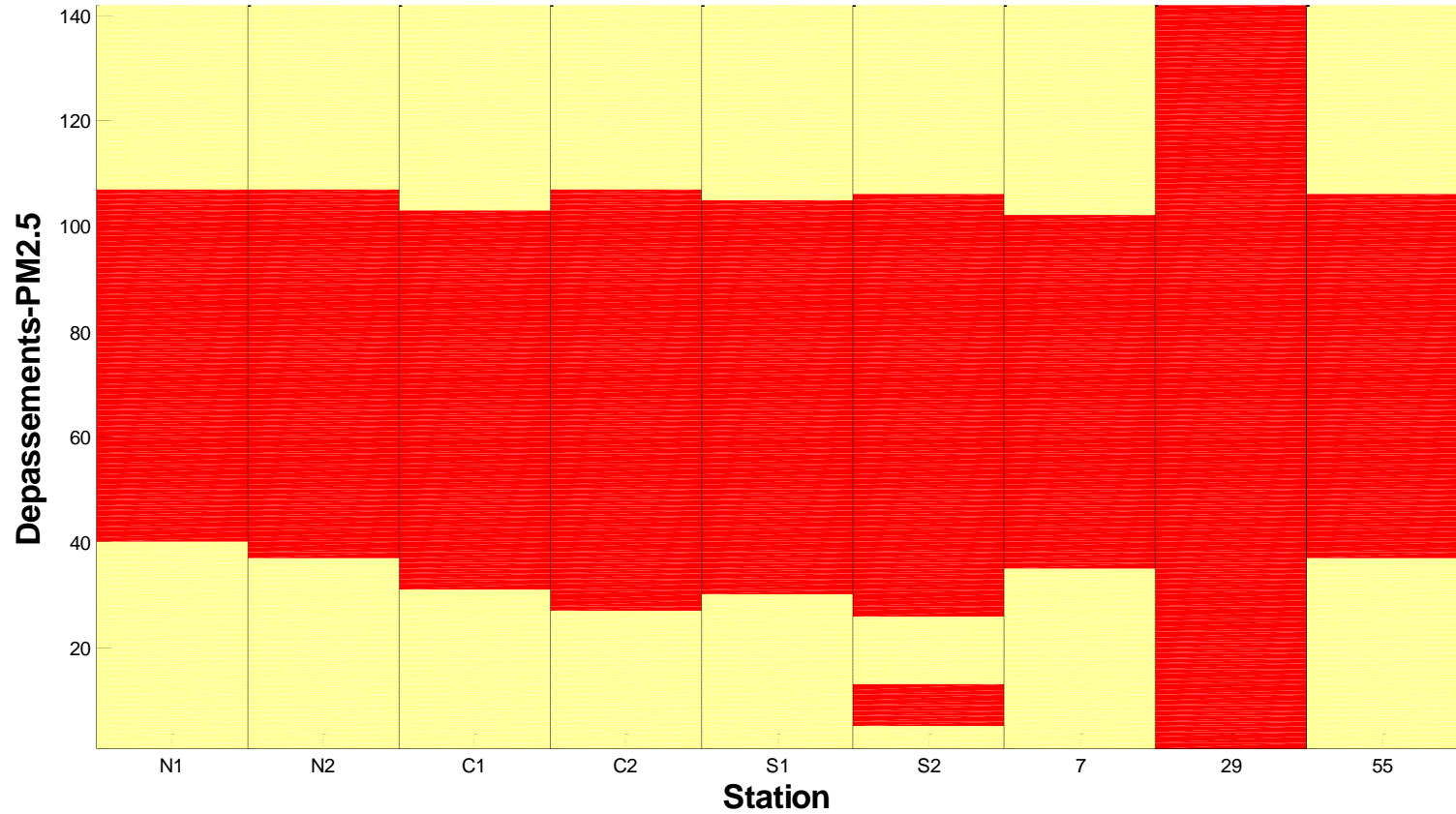
Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements à la station 29 : 29 % (201/689)



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 48: Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM_{2.5} (Troisième année d'opération)

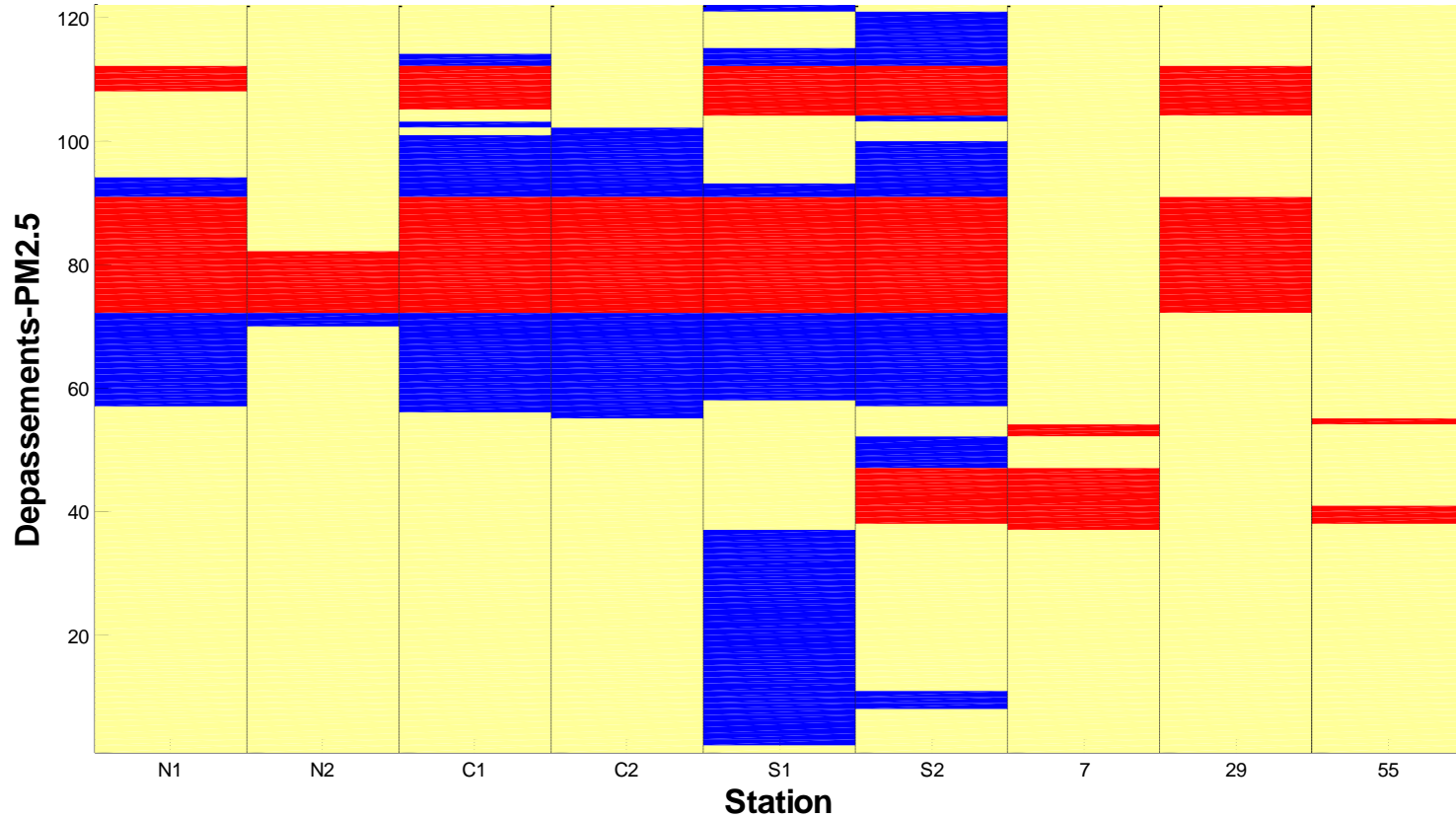
Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements aux stations 7, 29, et 55 : 49 % (116/237)



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 49 : Dépassements de la moyenne 24 h pour le $PM_{2.5}$ (Deuxième année d'opération)

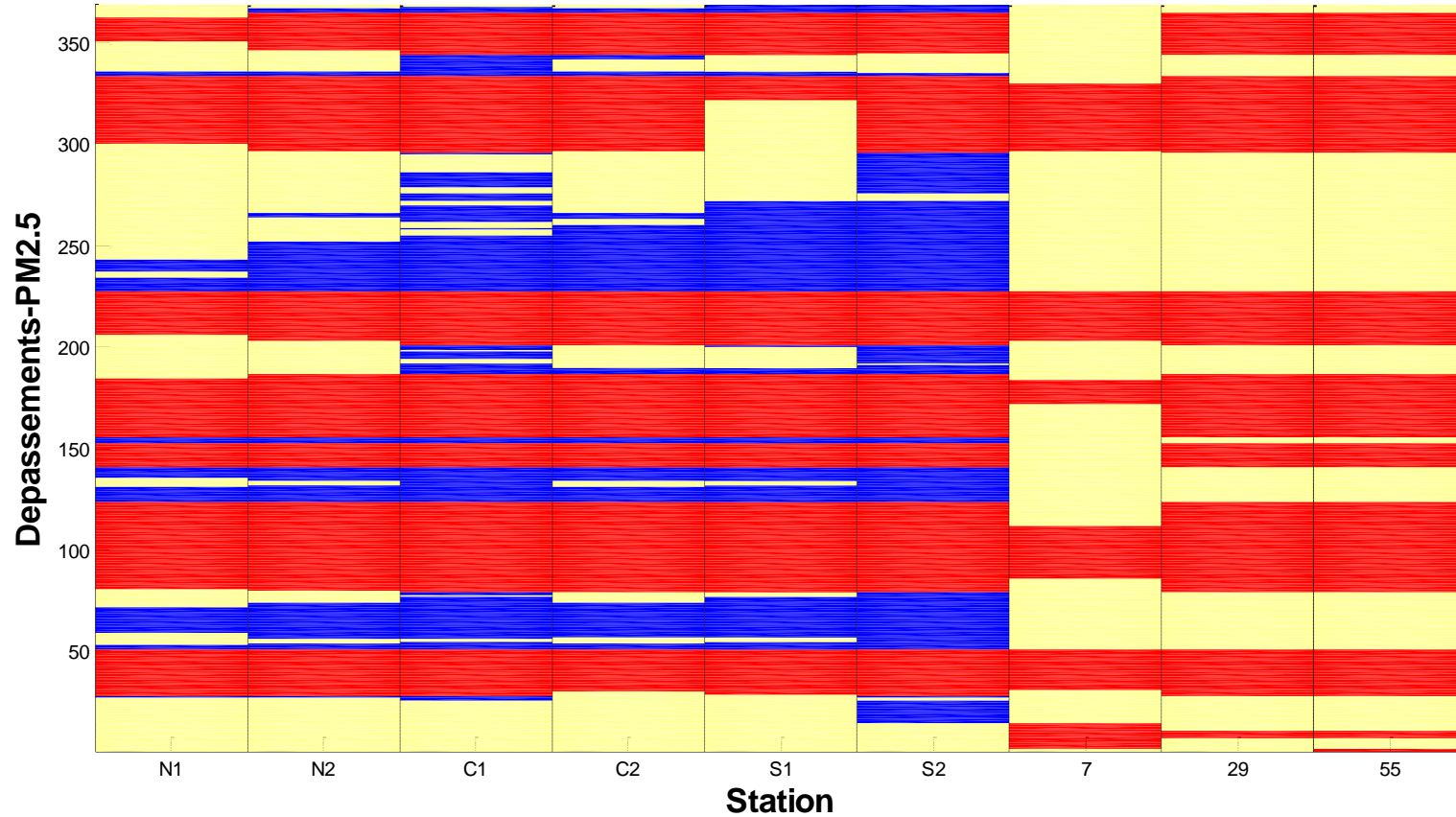
Notez qu'il n'y a pas de dépassements de $PM_{2.5}$ sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements sur les stations périphériques



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 50 : Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM_{2.5} (Première année d'opération)

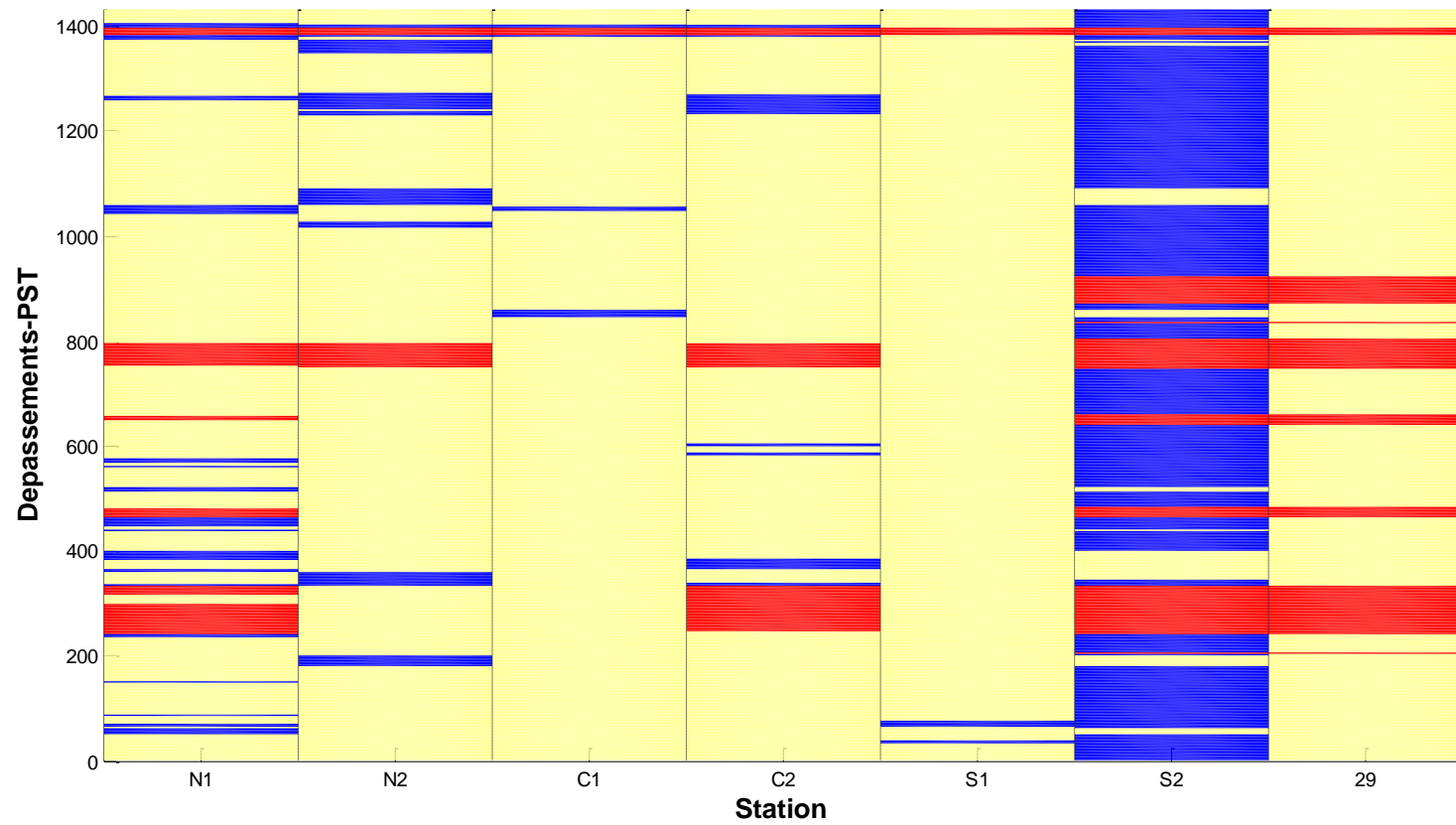
Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements aux stations 7, 29, et 55 : 66 % (80/122)



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 51 : Dépassements de la moyenne 24 h pour le PM_{2.5} (Période de référence)

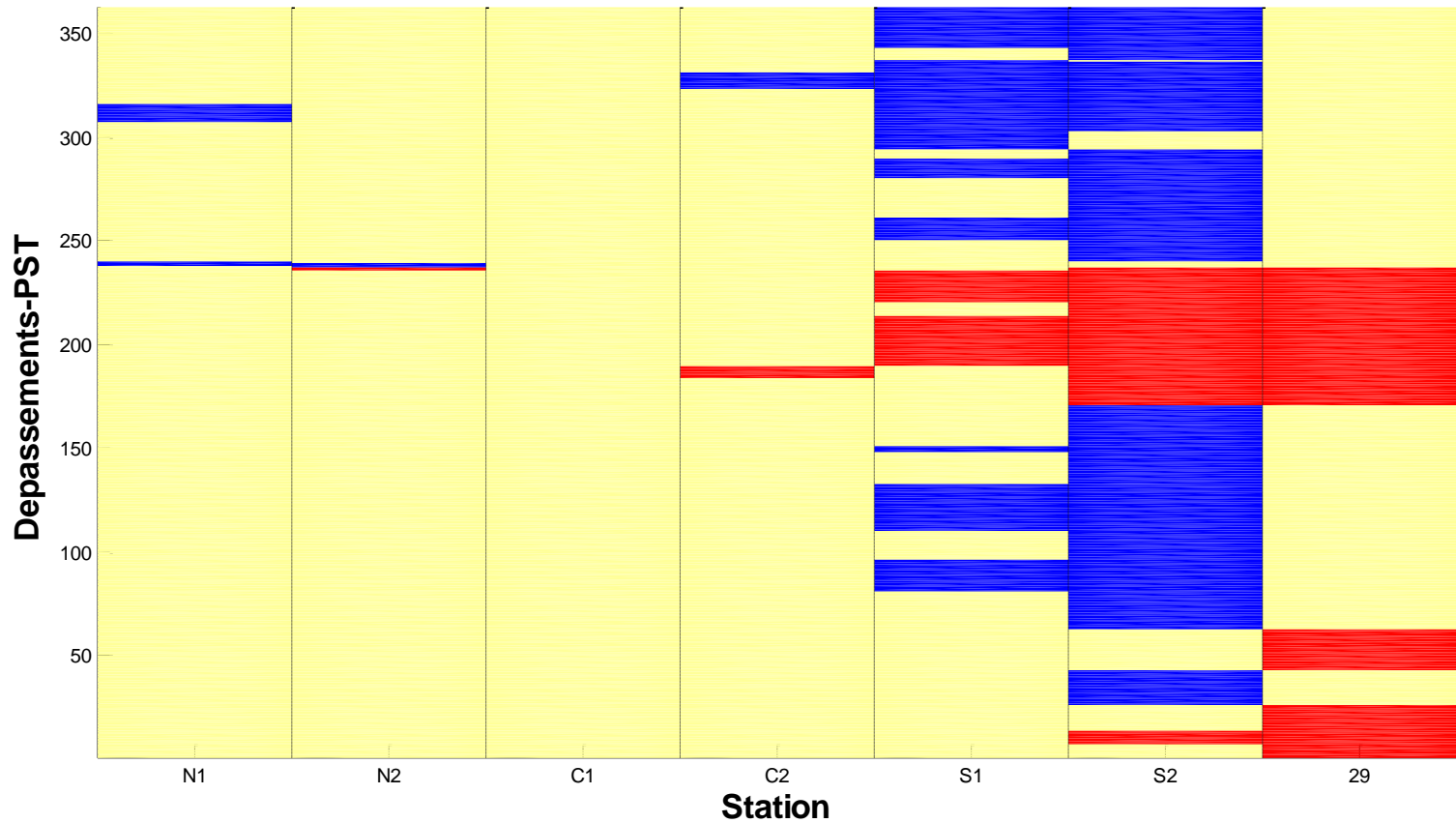
Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements aux stations 7, 29, et 55 : 43 % (157/369)



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 52 : Dépassements de la moyenne 24 h pour les PST (Troisième année d'opération)

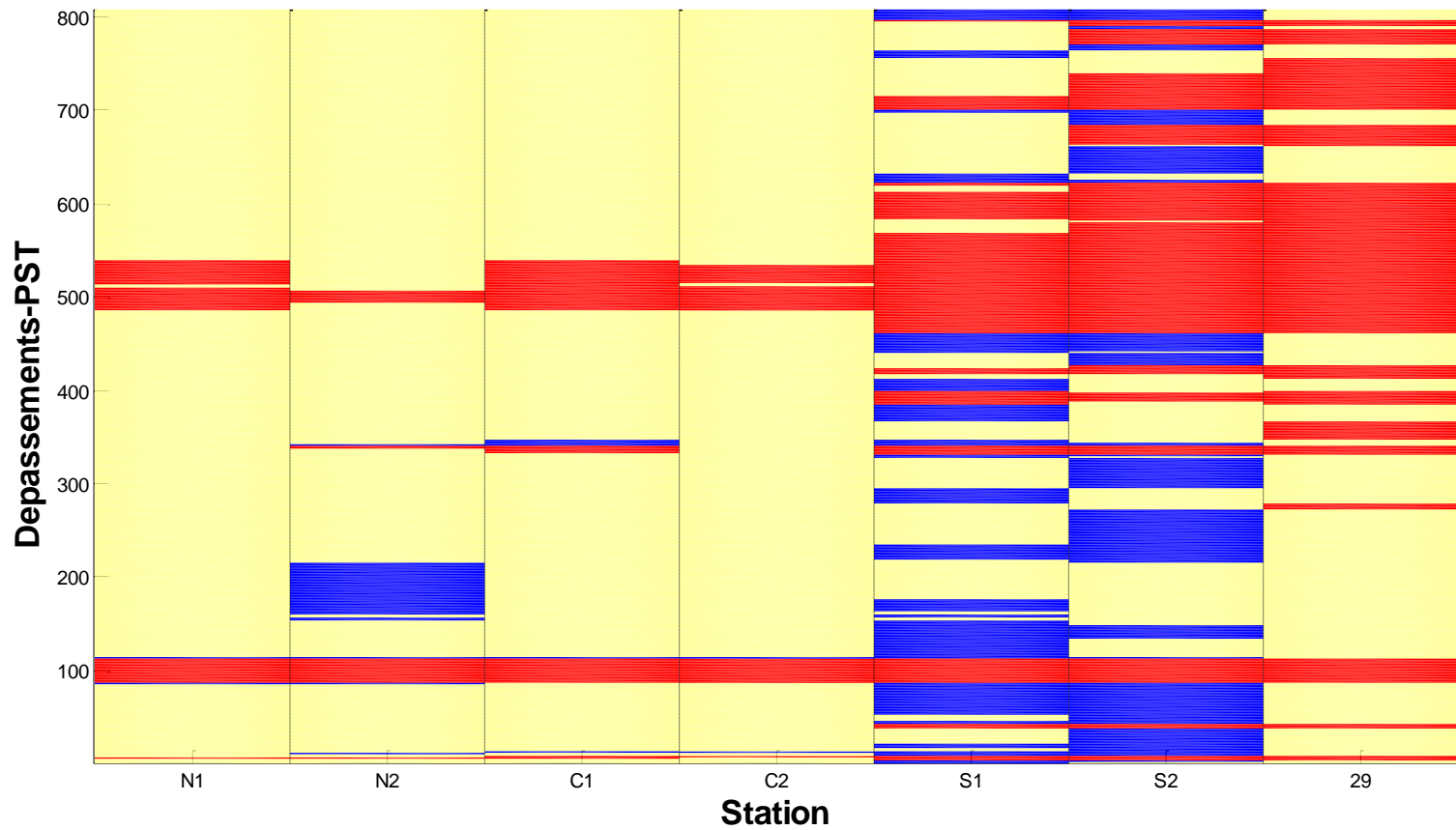
Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements à la station 29 : 81 % (1168/1434)



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 53 : Dépassements de la moyenne 24 h pour les PST (Deuxième année d'opération)

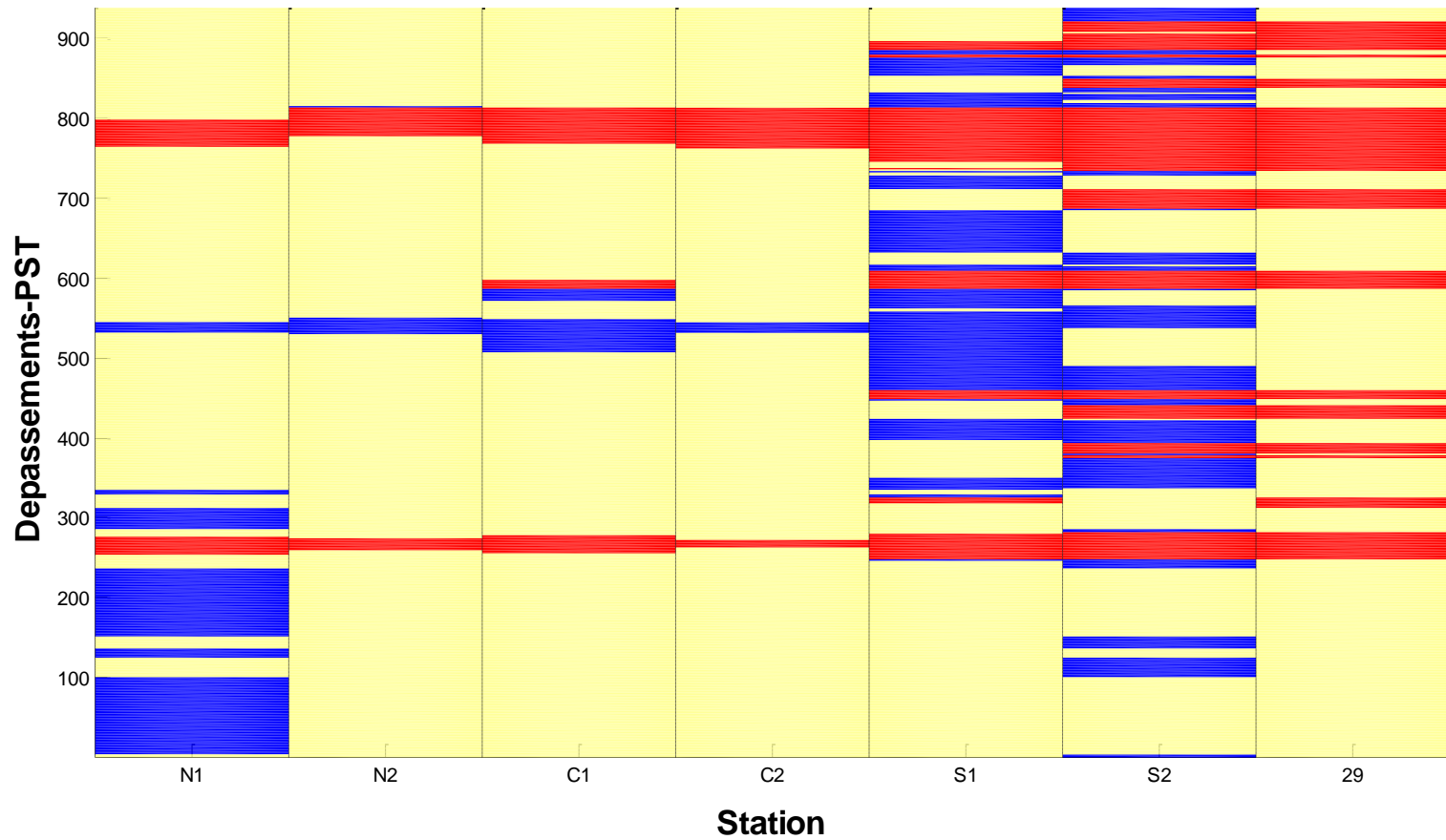
Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements à la station 29 : 69 % (252/363)



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 54 : Dépassements de la moyenne 24 h pour les PST (Première année d'opération)

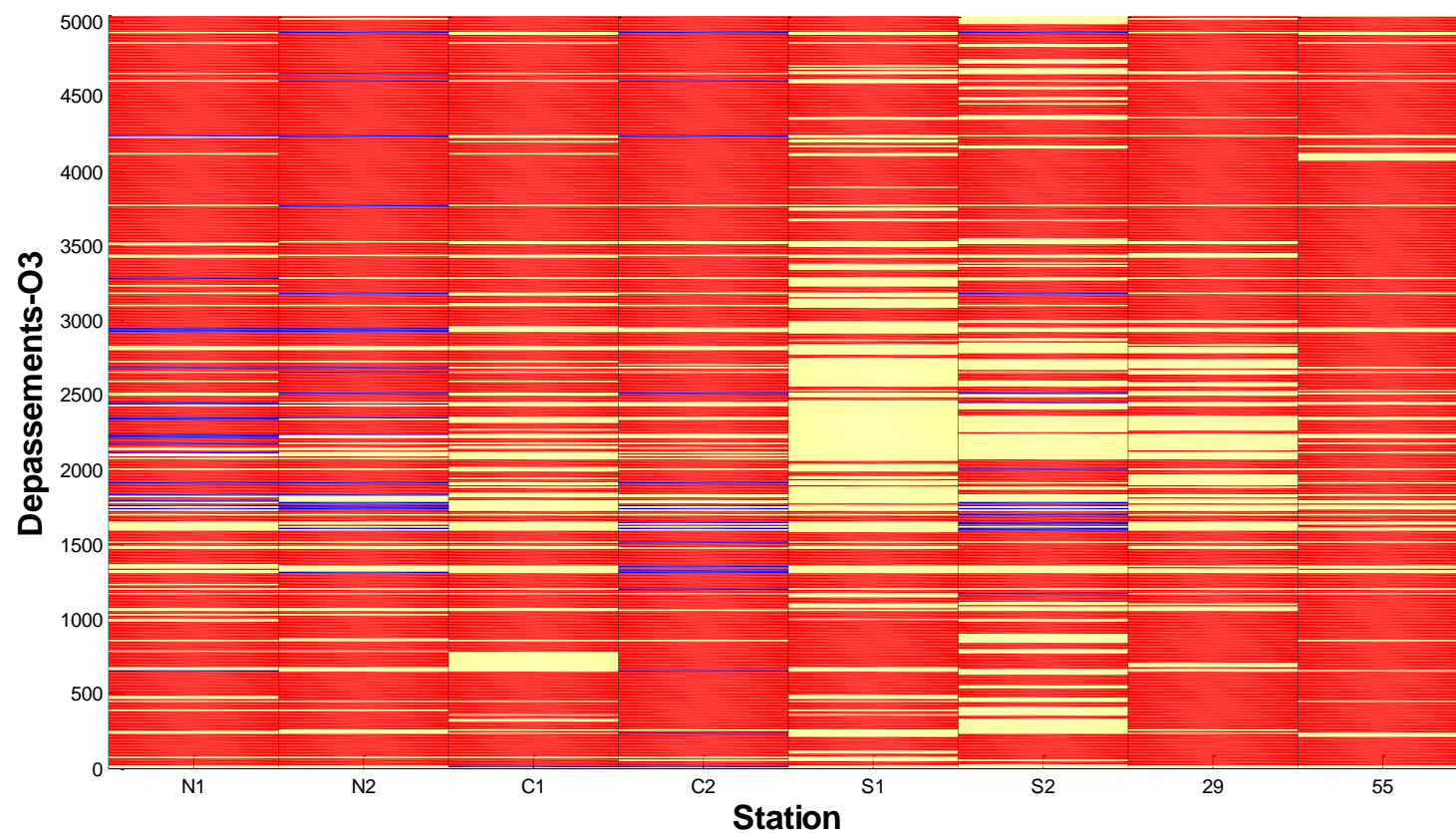
Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements à la station 29 : 55 % (444/809)



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 55 : Dépassements de la moyenne 24 h pour les PST (Période de référence)

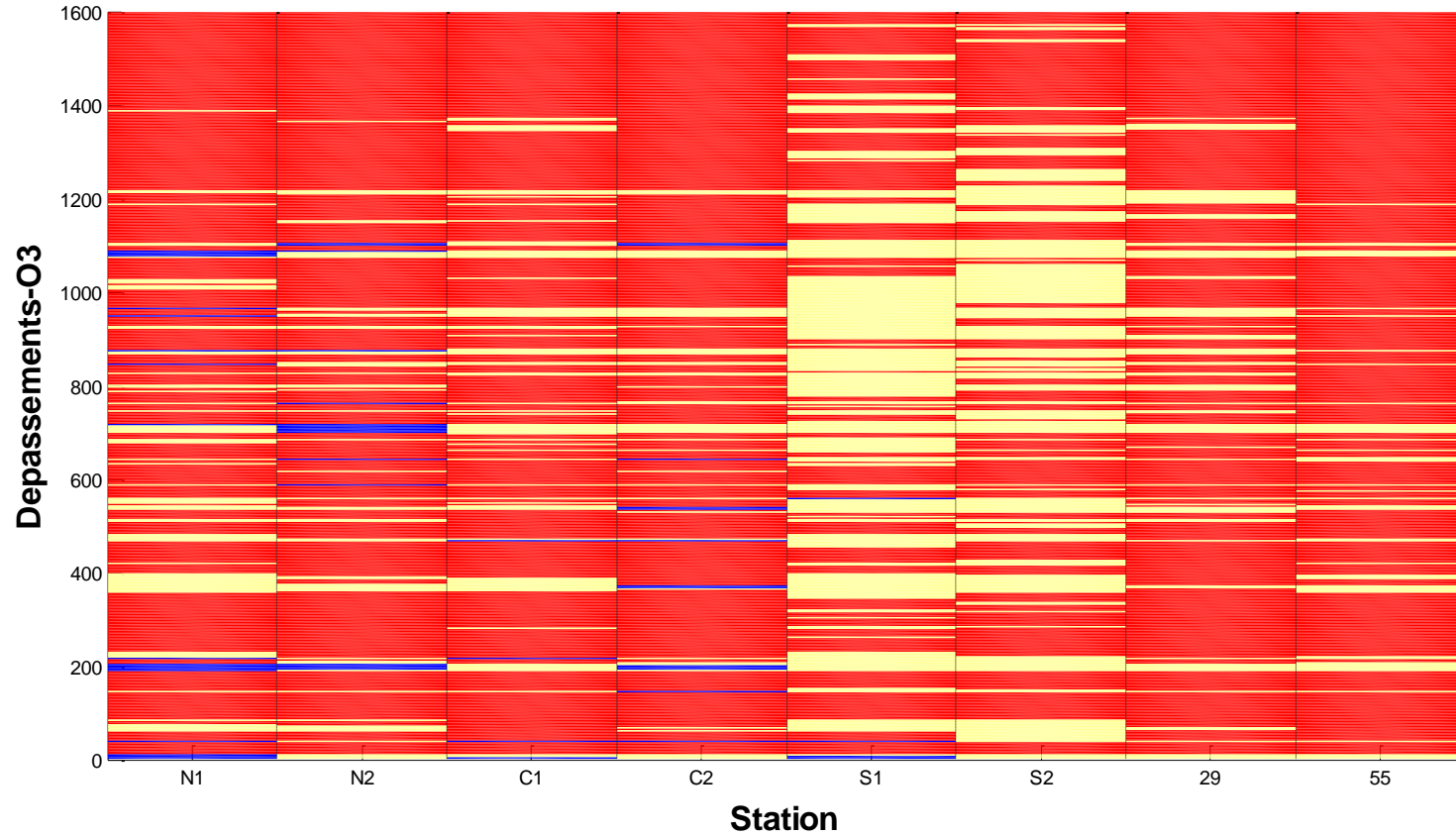
Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements à la station 29 : 71 % (665/939)



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 56 : Dépassements de la moyenne 24 h pour l'ozone (Troisième année d'opération)

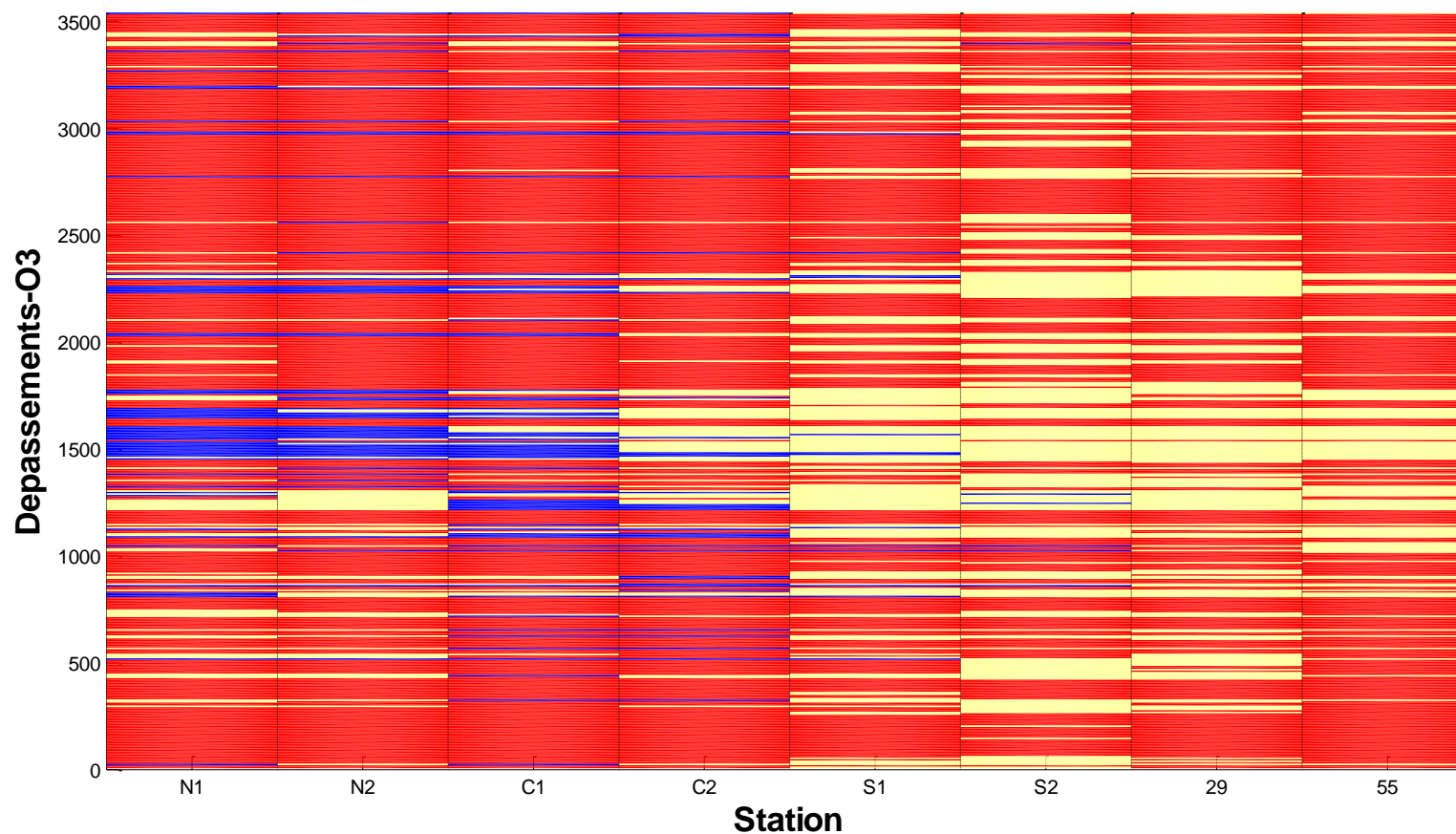
Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements aux stations 29 et 55 : 9 %
(464/5037)



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 57 : Dépassements de la moyenne 24 h pour l'ozone (Deuxième année d'opération)

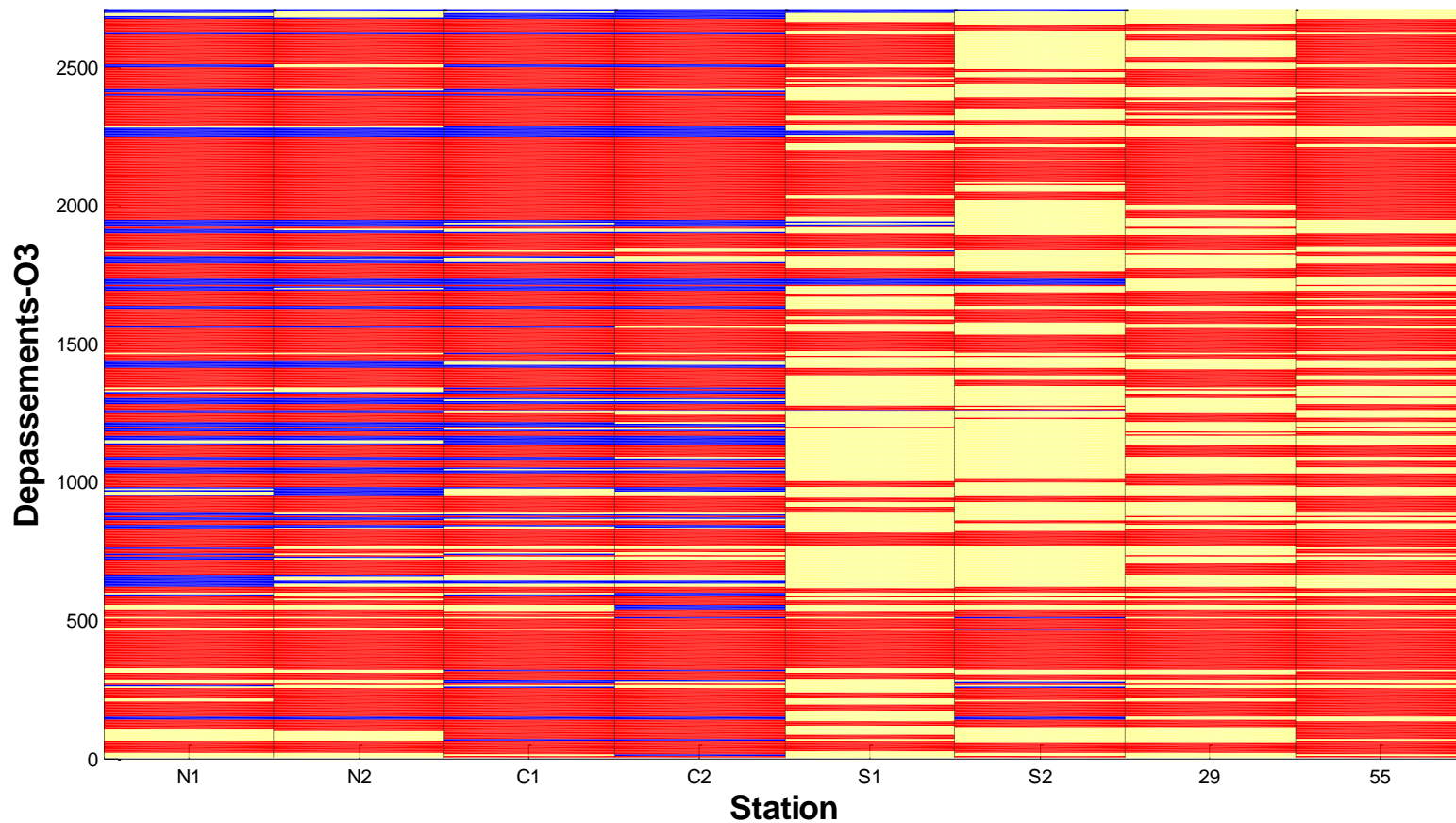
Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements aux stations 29 et 55 : 7 %
(118/1600)



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 58 : Dépassements de la moyenne 24 h pour l'ozone (Première année d'opération)

Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements aux stations 29 et 55 : 20 % (708/3547)



L'axe vertical indique chaque heure où un dépassement a lieu à chaque station. Les cellules rouges indiquent tous les épisodes de dépassement. Les cellules bleues indiquent les dépassements qui se limitent aux stations de l'axe.

Figure 59 : Dépassements de la moyenne 24 h pour l'ozone (Période de référence)

Notez le pourcentage de dépassements sur l'axe qui ne sont pas associés à des dépassements aux stations 29 et 55 : 22 % (601/2709)

5 Conclusions

Ce rapport final a fait état des travaux effectués pendant les quatre ans de ce projet. Il a pour objectif de présenter un portrait général de l'évolution des différents paramètres avant et après l'ouverture du pont. En vue de mieux comprendre les impacts de l'ouverture du pont, en particulier sur la qualité de l'air, il était important d'examiner également le changement de l'occupation du sol, de la mobilité et des niveaux de circulation, puisque ces derniers sont associés à la qualité de l'air. Ces travaux ont été effectués au meilleur des connaissances des chercheurs, en fonction des données qui ont été mises à leur disposition.

Ce document présente un résumé des données utilisées pour ce projet couvrant une période de quatre ans : l'occupation du sol, les enquêtes origine-destination, les données de comptage aux neuf ponts et de la qualité de l'air à partir des différentes stations de surveillance. Les résultats les plus importants sont résumés dans les paragraphes qui suivent.

En plus d'indicateurs de l'occupation du sol, des indicateurs dérivés du rôle d'évaluation foncière ont été aussi analysés, notamment le nombre de logements et la valeur moyenne d'immeubles (y compris des terrains). À partir de ces indicateurs, nous pouvons conclure que l'occupation du sol n'a connu que des changements marginaux après les trois premières années d'exploitation, lorsque l'on compare à l'année de référence. Seuls des changements mineurs ont été observés dans les différents types d'occupation du sol ; bien que l'occupation résidentielle augmente dans trois des quatre sections, les changements quantitatifs sont faibles. En ce qui concerne l'infrastructure routière, les plus grands changements de la caractérisation routière se sont passés dans les sections le long de l'axe de l'A25 et l'augmentation du nombre de segments et de la longueur d'autoroute est modeste. Finalement, dans l'analyse avant-après de l'évolution du nombre et du prix des immeubles, nous observons que la plus forte croissance de logements est localisée dans la section le plus loin du pont (D). Bien que le pont ait des effets à travers le réseau routier, et pourrait donc avoir des effets sur l'occupation du sol loin du pont, nous nous attendrions à observer les effets les plus forts dans les régions expérimentant les plus grandes augmentations d'accessibilité, c'est à dire ces endroits les plus proches du pont. Donc, nous concluons que l'augmentation particulièrement importante du nombre de logements dans la section D n'est probablement pas liée à la construction du pont étant donnée la distance importante entre le secteur et le pont. Aussi, nous notons que la plus forte croissance des valeurs des immeubles a eu lieu dans la section A, même si cette augmentation est basée sur un très petit nombre d'immeubles.

En ce qui concerne l'analyse de la mobilité utilisant les enquêtes origine-destination de 2008 et 2013, certains changements sont observés mais peu sont statistiquement significatifs. En conformité avec les comptages de circulation, nous pouvons également observer une réduction importante du trafic sur le pont Pie- IX qui est vraisemblablement attribuable aussi en partie aux travaux ayant cours pendant la période d'enquête. Les données disponibles ne permettent de séparer les effets de l'ouverture du pont de ceux liés aux travaux dans l'axe Pie-IX par la suite. Sur la base de l'analyse de certaines paires origine-destination couvrant la demande utilisant le pont de l'A25, le choix modal a été exploré avant et après l'ouverture du pont. La majorité des différences observées ne sont pas statistiquement significatives. Aucune conclusion particulière ne peut être tirée sauf pour certains secteurs d'origine ou bassins spécifiques. Dans ces cas, décrits dans le rapport, on observe soit une augmentation de la part des déplacements bimodaux, soit une augmentation de la part de l'automobile conducteur ou passager, soit une diminution de la part du transport en commun. La taille des échantillons disponibles ne permet pas de se prononcer de façon plus précise. De façon générale, les distances moyennes des déplacements faits en automobile conducteur ont diminué en pointe du matin, pour l'emprunt

des ponts en direction sud. Les ordres de grandeur sont toutefois maintenus pour l'ensemble des cas.

En ce qui concerne l'analyse des données de circulation aux neuf ponts durant l'année de référence et les trois années suivant l'ouverture, on note un effet à la baisse important sur les débits du pont Pie IX. Cette réduction pourrait aussi être liée en partie aux travaux de reconstruction du carrefour Henri-Bourassa, à l'abord Sud du pont. Les débits de circulation sur ce pont ont diminué significativement pour les trois années après l'ouverture. Une diminution moins prononcée a été observée sur le pont adjacent CDG (A40). Malgré tout, la diminution initialement observée en 2011 est moins importante en 2012 et 2013 par rapport à 2010. Cette dynamique pourrait être expliquée par la croissance naturelle de la demande de la Couronne Nord qui « utiliserait » la capacité initialement libérée (transfert vers le pont de l'A25). Pour les autres ponts principaux entre Montréal et Laval, ceux de l'A13 et A15, la circulation reste stable, sans changement important, tout comme sur le pont Papineau (A19). Les deux ponts plus petits, Le Gardeur et Lachapelle, ont aussi vu des variations de la circulation. Néanmoins, cette diminution ne peut pas être associée au nouveau pont (car ils sont loin du nouveau pont de l'A25).

Concernant le nouveau pont de l'A25, une tendance claire et significative à l'augmentation est observée pendant les trois années suivant l'ouverture du pont. Nous pouvons estimer une croissance générale du trafic quotidien moyen, passant d'approximativement 28 000 véh/jour pour la période de mai à décembre 2011 à 44 000 véh/jour pour la période janvier à décembre 2014. Cela représente une augmentation de plus de 55 % entre 2014 et 2011. Fait intéressant, il semble que cette importante augmentation de la circulation n'a pas été suivie par une augmentation importante du nombre de dépassements des critères de la qualité de l'air. La part de la circulation de l'A25 parmi les neuf ponts étudiés est d'environ 7-8 %, bien plus que celle des ponts Le Gardeur et Lachapelle, et s'approche du niveau des ponts Pie-IX et de l'A19 qui représentent chacun environ 9 % de la circulation totale.

Concernant la qualité de l'air dans les quatre années étudiées, trois types d'analyses ont été effectués pour mieux comprendre l'association entre la circulation sur l'axe et la qualité de l'air. La première examine la différence entre les concentrations de contaminants par paires de stations et démontre que dans la plupart des cas où le vent est orthogonal à l'axe, la station en aval mesure une concentration plus élevée. Ceci démontre que la circulation sur l'axe a une influence sur la qualité de l'air aux stations de l'axe. Par contre, cela ne veut pas dire que la circulation sur l'axe est en elle-même responsable des dépassements car on n'a pas restreint cette analyse aux épisodes de dépassements (on examine tous les cas où le vent est orthogonal).

En fait, on observe cet effet le plus fréquemment aux stations S1 et S2, même avant l'ouverture du pont. Les stations S1 et S2, sur l'A25 au sud de l'échangeur d'Anjou, sont celles où les différences aval-amont pour le NO_x sont notablement plus élevées quand le vent est orthogonal à l'axe. L'influence des conditions de circulation a aussi été étudiée après la prise en compte d'autres facteurs comme la température et la vitesse du vent. Dans ce but, une seconde analyse, de type régression, a été effectuée en utilisant seulement les données de circulation disponibles sur le pont et les données de qualité de l'air aux stations les plus proches sur l'axe (sites N et C). Les résultats sont cohérents avec l'analyse par paire de stations. Le lien entre la circulation et les concentrations de NO and NO_2 est confirmé : les concentrations augmentent avec le débit routier. Ceci non plus n'est pas une analyse de dépassements, donc même si la circulation tend à augmenter le niveau de pollution autour de l'axe, cela ne veut pas dire qu'un dépassement a eu lieu. Ces deux premières analyses sont importantes car même si il n'y a pas de dépassement, on voit, si on prend l'exemple du NO_x , que la circulation sur l'axe a un effet. Donc la circulation sur l'axe peut augmenter la concentration sans nécessairement causer un

dépassement. Ceci est bien illustré pour le cas des NO_x qui font l'objet des deux premières analyses sans apparaître dans l'analyse des dépassements.

La troisième analyse examine les épisodes de dépassement comme tels où on recense tous les épisodes de dépassement qui ont lieu sur l'axe sans impacter les stations-témoin périphériques. Le point le plus important à mentionner est que la relation entre un dépassement et la direction du vent est très variable. L'analyse par paires de stations démontre qu'un vent orthogonal va causer une concentration plus élevée en aval. Mais cela ne veut pas dire que lorsque la concentration à une station en aval est plus élevée elle dépasse nécessairement les critères. Donc, une analyse de dépassements est nécessaire pour recenser les instances de dépassements. Ces instances ne sont pas concentrées aux périodes où le vent est orthogonal. Un dépassement est non seulement causé par les situations météorologiques mais aussi par une augmentation des émissions. C'est pour cela que les dépassements recensés ne démontrent pas de tendance associative en ce qui concerne les stations amont ou bien aval.

L'analyse des dépassements ne démontre pas de tendance concluante, surtout que la grande majorité des dépassements ont lieu aux stations S1 ou S2 qui sont situées au sud de l'autoroute et qui sont influencées par la circulation autour de l'échangeur d'Anjou. Depuis la période de référence et jusqu'à la troisième année, la circulation au sud de l'A25 a une influence très importante en comparaison avec l'effet de l'A25.

Finalement, il est important de mentionner les résultats sont basés sur les données disponibles et leurs limitations, y compris le fait que les données sur l'occupation du sol ne sont disponibles que pour 2007 et 2014. En outre, il y a des données de circulation manquantes pour plusieurs mois au cours des différentes années. Il serait également intéressant de garder une trace de l'évolution de ces indicateurs dans les années à venir. Les changements dans les conditions circulation à long terme pourraient être différents de ceux observés dans les trois premières années d'opération du pont.

Références

BAPE 2005. Projet de prolongement de l'autoroute 25 entre l'autoroute 440 et le boulevard Henri-Bourassa, Rapport d'enquête et d'audience publique, Rapport 215, Bureau d'audiences publiques sur l'environnement.

Bluett, J., Dey, K. and Fisher, G. 2008. Assessing Vehicle air pollution emissions. Prepared for Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts. National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd, New Zealand.

Boulet D., Mélançon, S., Mallet, R. (2009) Qualité de l'air à Montréal. Rapport annuel 2009. Réseau de surveillance de la qualité de l'air. Ville de Montréal.

Cooper, C.D. and Alley, F.C. Air Pollution Control: A Design Approach. 4th ed. Prospect Heights, IL: Waveland Press, 2011.

Cervero, R., Kockelman, K. 1997. Travel demand and the 3Ds: density, diversity, and design. Transportation Research Part D 2 (3), 199-219.

Chen, H., Goldberg, M.S., Crouse, D.L., Burnett, R.T., Jerrett, M., Villeneuve, P.J., Wheeler, A.J., Labrèche, F., Ross, N.A. 2010. Back-extrapolation of estimates of exposure from current land-use regression models. Atmospheric Environment, 44, 4346-4354.

Crane, R. 1996. Cars and drivers in the new suburbs: Linking access to travel in neotraditional Planning. Journal of the American Planning Association, 62(1), 51-65.

- Crouse, D.L., Goldberg, M. S., Ross, N.A.A. 2009. A prediction-based approach to modelling temporal and spatial variability of traffic-related air pollution in Montreal, Canada. *Atmospheric Environment*, 43(32), 5075–5084.
- Crouse, D.L., Goldberg, M.S., Ross, N.A., Chen, H., Labrèche, F. 2010. Postmenopausal Breast Cancer Is Associated with Exposure to Traffic-Related Air Pollution in Montreal, Canada: A Case–Control Study. *Environmental Health Perspectives*, 118(11), 1578-1583.
- Delfino, R.J., Becklake, M.R., Hanley, J.A., Singh, B., 1994. Estimation of unmeasured particulate air pollution data for an epidemiological study of daily respiratory morbidity. *Environ Res* 67, 20–38.
- Delfino, R.J., Murphy-Moulton, A.M., Becklake, M.R. 1998. Emergency Room Visits for Respiratory Illnesses among the Elderly in Montreal: Association with Low Level Ozone Exposure. *Environmental Research, Section A*, 76, 67-77.
- Dockery, D.W., Pope, C.A., III, Xu, X., Spengler, J.D., Ware, J.H., Fay, M.E., Ferris, B.G., Speizer, F.A. 1993. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *New England Journal of Medicine* 329(24), 1753–59.
- Foley, J.A., DeFries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, G.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C., Ramankutty, N., Snyder, P.K. 2005. Global Consequences of Land Use. *Science*, 309, 570-574.
- Frank, L.D., Stone Jr, B., Bachman, W. 2000. Linking land use with household vehicle emissions in the central puget sound: methodological framework and findings , *Transportation Research Part D* 5, 173-196.
- Gagnon, C., Bessette, C., Boulet, D., Garneau, Y., Paquette, P., Mallet, R. 2007. Air Quality in Montréal. Annual Report, City of Montreal.
- Gilbert, N.L., Goldberg, M.S., Beckerman, B., Brook, J.R., Jerrett, M. 2005. Assessing spatial variability of ambient nitrogen dioxide in Montreal, Canada, with a land-use regression model. *Journal of Air Waste Management*, 55, 1059–1063.
- Goldberg, M. S. 1996. Particulate air pollution and daily mortality: Who is at risk? *J. Aerosol Med.* 9, 43-53.
- Goldberg, M. S., Bailar, J. C., III, Burnett, R., Brook, J., Tamblyn, R., Bonvalot, Y., Ernst, P., Flegel, K. M., Singh, R., and Valois, M.F. 2000. Identifying Subgroups of the General Population That May Be Susceptible to Short-Term Increases in Particulate Air Pollution: A Time Series Study in Montreal, Quebec. *Health Effects Institute, Cambridge, MA*.
- Goldberg, M. S., Burnett, R., Bailar, J. C., III, Brook, J., Bonvalot, Y., Tamblyn, R., Singh, R., and Valois, M.-F. 2001a. The association between daily mortality and ambient air particle pollution in Montreal, Quebec. 1. Nonaccidental mortality. *Environ. Res.* 86, 12-25.
- Goldberg, M.S., Burnett, R., Bailar III, J.C., Brook, J., Bonvalot, Y., Tamblyn, R., Singh, R., Valois, M.-F., Vincent, R., 2001b. The association between daily mortality and short-term effects of ambient air particle pollution in Montreal, Quebec: 2. Causespecific mortality. *Environ Res A*, 86, 26–36.
- Guicherit, R. 1988. Ozone on an urban and regional scale—with special reference to the Netherlands. I.S.A. Isaksen (Ed.), *Tropospheric Ozone-Regional and Global Scale Interactions*, D. Reidel, Dordrecht, 227, 49–62.

- Hatzopoulou, M., Miranda-Moreno, L., Morency, C., Saunier, N., Patterson, Z., Trépanier, M. 2013. Premier rapport : état de référence : Circulation et qualité de l'air, Parachèvement de l'autoroute 25.
- Hao, J., Hu, J., Fu, L. 2006. Controlling vehicular emissions in Beijing during the last decade Transportation Research Part A, 40, 639–651.
- Heil, M. and Pargal, S. 1998. Reducing Air Pollution from Urban Passenger Transport: A Framework for Policy Analysis. The World Bank Development Research Group.
- Jerrett, M., Arain, A., Kanaroglou, P., Beckerman, B., Potoglou, D., Sahuvaroglu, T., Morrison, J., Giovis, C. 2005. A review and evaluation of intraurban air pollution exposure models. Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology, 15, 185–204.
- Khare, M., and Nagendra, S. 2007. Artificial neural networks in vehicular pollution modelling. Springer, 242 pages.
- King, N., Morency, P., Lapierre, L. 2005. Impacts of transportation on Public Health. Report, ISSN 1715-3093.
- Lebel, G., Busque, D., Therrien, M., Walsh, P., Paradis, J., Brault, M-P., Canuel, M. 2012. Bilan de la qualité de l'air au Québec en lien avec la santé, 1975-2009. Institut National de la Santé Publique du Québec, 59 p.
- Marshall, J.D., Nethery, E., Brauer, M. 2008. Within-urban variability in ambient airpollution: Comparison of estimation methods. Atmospheric Environment, 42 (6), 1359–1369.
- MTQ (2005). Projet de parachèvement de l'autoroute 25 Montréal-Laval. Présentation du projet, 16 mai 2005, 29 pages, http://www.bape.gouv.qc.ca/sections/mandats/autoroute25/documents/liste_documentsDA.htm.
- Paradis, J. 2011. Inventaire des émissions des principaux contaminants atmosphériques au Québec en 2008 et évolution depuis 1990, ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs, Québec, 29 p
- Perry, R., Gee, I.L. 1995. Vehicle emissions in relation to fuel composition. Science of The Total Environment, 169(1-3), 149–156.
- Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G.D. 2002. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. Journal of Air Waste Management, 287, 1132–1141.
- Ravindra, K., Wauters, E., Tyagi, Mor, S., Grieken, R.V. 2006. Assessment of air quality after the implementation of compressed natural gas (CNG) as fuel in public transport in Delhi, India . Environmental Monitoring and Assessment, 115, 405–417.
- Règlement sur l'assainissement de l'atmosphère, Loi sur la qualité de l'environnement (chapitre Q-2, r. 4.1), annexe K.
- Romero, H., Ihl, M., Rivera, A., Zalazar, P., Azocar, P. 1999. Rapid urban growth, land-use changes and air pollution in Santiago, Chile. Atmospheric Environment, 33, 4039-4047.
- Schwartz, J. 1994. Air pollution and daily mortality: a review and meta analysis. Environmental Research, 64, 36–52.
- Smargiassi, A., Baldwin, M., Pilger, C., Dugandzic, R., Brauer, M. 2005. Small-scale spatial variability of particle concentrations and traffic levels in Montreal: a pilot study. Science of the Total Environment, 338, 243– 251

Transport Canada. (2006). The cost of urban congestion in Canada. Environmental Affairs.

Walcek, C.J., Brost, R.A., Chang, J.S., Wesely, M.L. 1986. SO₂, sulfate, and HNO₃ deposition velocities computed using regional landuse and meteorological data. Atmos. Environ, 20, 949-964.

Wallington, T.J., Kaiserb, E.W., J. T. Farrell. 2006. Automotive fuels and internal combustion engines: a chemical perspective. Chemical Society Reviews, 35, 335–347.

Walsh, P. et Bouchard, M. 2002. Critères de qualité de l'air : fiches synthèses. Gouvernement du Québec, ministère de l'Environnement, Service des avis et des expertises, 271 p.

Zunckel, M., Koosailee, A., Yarwood, G., Maure, G., Venjonoka, K., Van Tienhoven, A.M., Otter, L. 2006. Modelled surface ozone over southern Africa during the Cross Border Air Pollution Impact Assessment Project. Environmental Modelling & Software, 21, 911–924.

6 Annexes

6.1 Condition 8 : Qualité de l'air, décret 1243-2005

Le ministre des Transports doit élaborer et réaliser un programme de suivi de la qualité de l'air dans l'axe de l'autoroute 25 actuelle et projetée, soit de la jonction des autoroutes 440 et 25 (Laval) jusqu'au pont-tunnel Louis-Hyppolite Lafontaine (Montréal).

Le programme de suivi, accompagné d'un état de référence, doit permettre de connaître la contribution du transport routier à la dégradation de la qualité de l'air ambiant.

L'état de référence et le programme de suivi doivent inclure les paramètres suivants : particules en suspension totales (TSP), particules fines (PM10, PM2.5), ozone (O3), oxydes d'azote (NOX), dioxyde de soufre (SO2), composés organiques volatils (COV) incluant le benzène.

La fréquence d'échantillonnage ainsi que le nombre et la localisation des stations d'échantillonnage doivent être déterminés de concert avec le ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.

Advenant le cas où les critères de qualité de l'air établis par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs seraient dépassés, tant sur le territoire de la Ville de Laval que sur celui de la Ville de Montréal, le ministre des Transports doit, en complément aux mécanismes existants :

- prévoir un mécanisme permettant d'informer la population des dépassements;
- effectuer une analyse, liée aux systèmes de suivis existants, permettant d'identifier la source du problème;
- déterminer la nature et la faisabilité des mesures correctrices à mettre en œuvre.

L'état de référence et le programme de suivi doivent être déposés au ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs avant la mise en exploitation de l'autoroute.

Le programme de suivi doit se poursuivre pendant une période minimale de trois ans suivant la mise en exploitation de l'autoroute. Les rapports de suivi doivent être déposés annuellement au ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs. Au terme de cette période de trois ans, l'opportunité de poursuivre le programme de suivi doit être évaluée avec le ministre du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs.

6.2 Analyses proposées dans le projet global

Pour répondre à chacun des quatre objectifs, ce projet de recherche s'articule autour de six analyses principales (A à F). Les analyses proposées reposent d'une part sur des méthodes statistiques largement adoptées dans les études de la qualité de l'air aux environs de réseaux routiers et d'autre part sur différentes méthodes originales et multidisciplinaires qui sont envisagées par l'équipe de recherche. Ces analyses seront conduites annuellement et documentées dans les rapports d'étape, après réalisation.

Premier objectif : évolution globale de la qualité de l'air

A. État de référence

Pour dresser le portrait de la situation avant la mise en service du tronçon de l'A25, les éléments suivants seront abordés : qualité de l'air dans la région, description de l'utilisation du sol, des infrastructures de transport, de la population et des conditions liées aux éléments naturels (incluant les vents et autres paramètres météorologiques comme les précipitations, la température, l'humidité et les rayons UV) dans le voisinage de chaque station de suivi et identification des principales sources de polluants (zones d'influence des stations). Ce premier rapport proposera une description détaillée des conditions observées avant la mise en opération de l'infrastructure. Les rapports annuels de suivi proposeront une mise-à-jour des analyses ainsi qu'une présentation des faits saillants de l'évolution observée. Pour chaque station, l'utilisation du sol (industriel, commercial, résidentiel, etc.) sera caractérisée et quantifiée par le biais d'une analyse de voisinage (zones tampons) réalisée au sein d'un système d'information géographique.

B. Caractérisation de la qualité de l'air (3 premières années)

Tableaux interactifs: Pour chaque polluant et station, les données suivantes seront stockées sous forme de tableau interactif (visualisation pour fins de validation et analyse):

- **CO et O₃:** Moyenne horaire et moyenne mobile sur 8 h.
- **SO₂ et NO₂:** Moyennes horaires, quotidiennes et annuelles. Les moyennes quotidiennes représentent les moyennes arithmétiques de toutes les valeurs horaires obtenues dans la journée alors que les moyennes annuelles sont estimées par le biais d'une moyenne arithmétique de toutes les valeurs horaires.
- **PST, PM₁₀, et PM_{2.5}:** Moyennes quotidiennes et annuelles. La moyenne annuelle est la moyenne arithmétique de toutes les valeurs quotidiennes de l'année.
- **COV:** Moyennes quotidiennes et annuelles. La moyenne annuelle est la moyenne arithmétique de toutes les valeurs quotidiennes de l'année.

Tableaux sommaires: Pour chaque polluant et unité d'agrégation temporelle, des tableaux sommaires seront développés. Ceux-ci présenteront le nombre d'observations, les valeurs limites ainsi que les 50^e, 70^e, 90^e et 98^e percentiles⁵. De plus, l'occurrence des dépassements des normes de qualité de l'air sera enregistrée. Ces informations seront compilées pour chaque station de suivi. Une comparaison avec les données des années précédentes sera réalisée, le cas échéant.

Variations temporelles (horaires et annuelles) et spatiales des concentrations observées: Pour chaque polluant, des tableaux et graphiques sommaires seront construits

⁵ En accord avec le format adopté dans le document "Bilan Environnemental: Qualité de l'Air à Montréal", Réseau de Surveillance de la Qualité de l'Air, Ville de Montréal, 2009.

pour illustrer les tendances horaires et quotidiennes. Des tests statistiques seront conduits, pour chaque jour, afin d'identifier les possibles corrélations avec les conditions de circulation. Le coefficient de corrélation de Pearson sera aussi utilisé pour évaluer la corrélation entre les niveaux d'émissions des différents polluants à une même station. Ces analyses fourniront des informations pertinentes sur les principales sources de pollution à chaque station ainsi que sur les comportements des différents polluants dans l'atmosphère. De plus, sur une base annuelle, les moyennes quotidiennes seront visualisées et alimenteront une discussion sur l'impact de différents facteurs sur les variations observées. Des analyses de corrélation et régressions entre les valeurs quotidiennes de polluants et les différents paramètres météorologiques (température, rayons UV, vitesse des vents, humidité) seront aussi conduites.

De plus, une analyse comparative des concentrations observées aux différentes stations sera réalisée. Une analyse de variance sera aussi conduite pour mettre en évidence les différences des niveaux de pollution entre stations et pour une même station (à différentes périodes). Par la suite, des analyses de corrélation et régression seront réalisées, analyses qui intégreront des données d'utilisation du sol, de conditions de circulation et autres propriétés physiques colligées à la Tâche A. La finalité de cette analyse sera d'identifier les impacts potentiels de l'utilisation du sol et des conditions de circulation sur le niveau de qualité de l'air à chaque station tout en contrôlant pour les conditions météorologiques. Cette analyse permettra notamment de quantifier la contribution du milieu bâti et de la circulation dans le voisinage des stations et ainsi, contribuera à l'analyse des dépassements (Tâche E). En outre, des modèles de régression seront développés en vue d'expliquer et prédire les niveaux de pollution depuis un vecteur de variables explicatives décrivant l'utilisation du sol et les conditions de circulation. Une analyse de sensibilité sera réalisée afin de déterminer les zones d'influence les plus pertinentes pour chaque station, par l'expérimentation de différentes tailles de zone tampon (par exemple 0.5, 1, 1.5 km). D'autres techniques de délimitation des voisinages pourront être utilisées au besoin.

Second objectif : relever les occurrences de dépassements

C. Relevé chronologique des dépassements

Pour chaque polluant, tout dépassement sera identifié et comparé avec les années précédentes. Un indicateur de « sévérité » du dépassement (tant en termes de durée que de niveau de polluants) sera développé et utilisé pour faire des classifications et alimenter d'éventuels modèles. Cet indicateur s'appuiera sur une série de tests statistiques conçus pour classer la sévérité des dépassements et la population exposée.

D. Identification de l'étendue territoriale

L'étendue spatiale de chaque période de dépassement sera déterminée par un examen des données issues des 9 stations de suivi ainsi que de toute autre station dans la région. Les patrons des vents, la stabilité atmosphérique ainsi que d'autres paramètres météorologiques seront aussi examinés. Chaque période de dépassement sera associée à une liste de causes possibles. Toute période de dépassement « locale » sera associée aux conditions de circulation aux abords de l'Autoroute 25.

Les analyses statistiques proposées à la Tâche B seront employées dans l'analyse de l'étendue territoriale des dépassements. Les modèles de régression seront particulièrement utiles dans la détermination des variables les plus explicatives des dépassements étudiés.

Troisième objectif : la contribution du transport aux dépassements

E. Contribution du transport aux dépassements

La contribution du transport à la qualité de l'air au niveau local ou régional sera analysée premièrement par une comparaison entre les stations à proximité de la nouvelle autoroute et les stations les plus éloignées. Par exemple, les valeurs horaires de la fraction NO_2/NO_x aux différentes stations sont indicatives de la contribution du trafic à la qualité de l'air. La fraction NO_2/NO_x est en général plus basse aux stations proches d'un axe routier qu'aux stations plus éloignées puisque la majorité des NO_x émis par les véhicules sont sous forme de NO (plutôt que NO_2). De plus, les corrélations possibles entre le trafic sur l'axe routier et la qualité de l'air aux stations éloignées seront aussi établies afin d'évaluer l'effet du trafic sur la qualité de l'air dans la région. Les analyses proposées à la Tâche B (examen des tendances horaires, analyses de corrélation et régression qui intégreront des données d'utilisation du sol, de conditions de circulation et autres propriétés physiques) qui permettent de quantifier la contribution du milieu bâti et de la circulation à la qualité de l'air, seront indispensables dans le cadre de l'analyse des dépassements.

Par ailleurs, la modélisation du trafic et des émissions locales sera employée pour enrichir l'évaluation de la contribution du trafic aux dépassements. Si un événement se produit sur l'Autoroute et qu'il peut être responsable de la détérioration de la qualité de l'air au niveau local (territoire avoisinant), une modélisation de ses contributions au niveau mesuré d'émission de polluants sera effectuée par : 1) la microsimulation de la circulation sur la nouvelle autoroute (en considérant seulement l'axe de l'autoroute 25) ainsi que sur les voies avoisinantes (la délimitation du réseau de modélisation sera établie en collaboration avec les représentants du MTQ), 2) la modélisation microscopique des émissions polluantes des véhicules et 3) la dispersion des émissions dues à la circulation. La microsimulation de la circulation et des émissions est préférée à une approche mésoscopique plus traditionnelle puisque cette dernière s'appuie sur des vitesses moyennes et peine à prévoir correctement les impacts des changements ponctuels (court terme) des conditions de circulation sur une autoroute, changements qui peuvent se traduire par une augmentation des émissions et des points chauds de pollution de l'air. Ainsi, les éléments suivants seront considérés:

1. Nous proposons de capitaliser sur les capacités existantes de modélisation des chercheurs de McGill en utilisant VISSIM ainsi qu'une calibration basée sur les paramètres existants de circulation (comptages, vitesses) et les propriétés géométriques des tronçons étudiés (toutefois, la sélection du logiciel de simulation sera définie en collaboration avec le comité de suivi). Les modèles de distribution fréquentielle des temps de parcours sur le réseau autoroutier montréalais, développés par les chercheurs de Polytechnique, seront aussi mis à contribution pour calibrer le modèle et soutenir l'analyse évolutive des conditions de circulation.
2. Les résultats des simulations seront ensuite utilisés pour dériver des niveaux d'émissions pour chaque véhicule en utilisant des facteurs d'émissions générés par un modèle d'émissions de polluants microscopique (CMEM ou MOVES). Ce modèle sera ajusté à l'aide de données représentant la flotte typique de véhicules empruntant le réseau de modélisation. Par la suite, modélisation de la dispersion des émissions produites sur l'axe routier sera réalisée par l'emploi d'un modèle simple (CALINE4) qui permettra de raffiner les hypothèses quant à l'étendue spatiale d'un dépassement.

Cet exercice de modélisation s'appuiera et enrichira d'une part les compétences actuelles en modélisation de la circulation, des émissions polluantes et de la dispersion des chercheurs de McGill. D'autre part, les capacités de traitement de bases de données longitudinales et de grande envergure des chercheurs de Polytechnique seront amplifiées et mises à profit dans le cadre du projet, tout comme le capital de modélisation des temps de parcours sur le réseau autoroutier à partir de données diverses (véhicules flottants, GPS, Bluetooth, captures

vidéo). L'équipe de Concordia ajoutera ces expertises dans le traitement et présentation de données géographiques, la compilation et analyses des données sur l'utilisation du sol et la modélisation statistique des facteurs influençant la qualité de l'air. Les données recueillies permettront le développement d'un cadre de modélisation microscopique de la circulation et de la qualité de l'air pour soutenir l'analyse de différents projets. Ce cadre aura des applications au-delà du présent projet. En effet, un tel cadre de modélisation rendra possible, la réalisation future d'études d'impacts de différentes interventions locales; par exemple la modification des durées ou phasages des cycles aux rampes d'accès d'autoroute ou le changement de certaines propriétés géométriques, sur la génération d'émissions polluantes et la qualité de l'air.

Quatrième objectif : évolution dans la zone d'influence

F. Évaluation des impacts sur la qualité de l'air au niveau régional

En raison des limitations relatives aux données et compte tenu de la complexité des facteurs qui peuvent influencer la qualité de l'air, l'équipe élaborera une discussion qualitative ou semi-quantitative des impacts régionaux sur la qualité de l'air, qu'on peut raisonnablement relier au soulagement de la circulation apporté par l'autoroute 25. En effet, les données provenant d'un univers élargi de stations de suivi et de comptages de circulation seront utilisées pour alimenter une discussion semi-quantitative sur les impacts potentiels du projet sur les volumes de circulation, les vitesses ainsi que le niveau global de qualité de l'air dans la région.

En particulier, les données relatives aux flux routiers dans les différents axes et lieux spécifiques (avec de comptage automatique de véhicules) seront utilisées. Couramment, l'équipe dispose d'une grande base de données avec plus de 100 points d'échantillonnage dans des artères et rues locales (comptage automatique) pour l'année 2009. Ce type de données est recueilli chaque année par la Ville de Montréal ainsi que par l'équipe elle-même. De plus, l'équipe a accès aux données de circulation obtenues à partir des caméras vidéo qui pourraient être utilisées pour obtenir plus d'information sur l'évolution de la circulation dans le réseau principal. Une tendance générale du niveau de qualité de l'air sera construite et comparée avec les tendances des vitesses et volumes de la circulation afin d'inférer les impacts potentiels du projet sur la circulation et la qualité de l'air.

6.3 Les indicateurs des débits véhiculaires

Les indicateurs de performance simples pour évaluer et classier les localisations à surveiller sur différentes échelles de temps sont les suivants :

- **Débit journalier moyen (djm) mensuel, saisonnier ou annuel** : ce débit est la moyenne des débits journaliers respectivement par mois, saison ou année, et il est dénoté par \bar{V} ,

$$\bar{V} = \sum_{j=1}^K V_j / K \quad (1)$$

où $V_j = \sum_{i=1}^{24} v_{ij}$ est le débit journalier du jour j , v_{ij} est le débit horaire de l'heure i du jour j et K est le nombre de jours dans un mois, une saison ou une année pour lesquelles les données sont disponibles.

Un indicateur typique est le nombre total de véhicules passant durant une période d'agrégation donnée. Pour calculer cet indicateur il faut avoir en possession les comptages pour chaque journée de la période à examiner. En réalité, il peut manquer

des journées de comptages suite à la validation (élimination des journées incomplètes), ce qui rend le calcul de cet indicateur plus difficile. Pour estimer l'évolution de la circulation, le changement relatif en termes de débit journalier moyen par rapport aux périodes précédentes sera calculé pour les différents ponts.

- **Indices mensuels, journalier et horaires normalisés** : ce sont des mesures relatives du débit véhiculaire par rapport au débit journalier moyen annuel (\bar{V}_{24}), calculées par les équations suivantes :

$$I_h = (\bar{v}_h / \bar{V}_{24}) \times 100 \quad (2a)$$

$$I_d = (\bar{v}_d / \bar{V}_{24}) \quad (2b)$$

$$I_m = (\bar{v}_m / \bar{V}_{24}) \quad (2c)$$

I_h - Indice horaire normalisé

I_d - Indice journalier normalisé

I_m - Indice mensuel normalisé

\bar{v}_h - Débit horaire moyen (sur une année ou une saison), où $h = 0, \dots, 23h$.

\bar{v}_d - Débit journalier moyen (sur une année ou une saison) pour une journée de la semaine, où $d = \text{Lundi, Mardi, } \dots, \text{Dimanche}$

\bar{v}_m - Débit journalier moyen (sur une année ou une saison) pour un mois particulier de l'année, où $m = \text{Janvier, Février, } \dots, \text{Décembre}$

Il est essentiel de pouvoir générer ces indices par direction de circulation ainsi que pour les deux directions combinées. Ces indices seront utiles pour retracer des effets de débordements potentiels (ou des changements de profils dans le débit de circulation) dans les distributions horaires, journaliers, ou mensuels.

D'autres indices intéressants sont l'indice relatif comparant les débits de la fin de semaine aux débits de semaine et un indice comparant les débits en période de pointe aux débits hors pointe du jour.

Les indicateurs seront utilisés pour observer l'évolution avec le temps à travers différents points stratégiques. Ce groupe d'indicateurs est utile pour identifier les changements dans les conditions de la circulation ainsi que pour évaluer l'impact associé au projet du pont de l'A25.

6.4 Facteurs qui influencent la qualité de l'air en milieu urbain

La qualité de l'air est le résultat d'une interaction entre la génération de polluants atmosphériques et les mécanismes d'élimination (surtout la dispersion). Dans les zones urbaines, le transport est le principal contributeur aux émissions atmosphériques tandis que la météorologie, la topographie et l'utilisation du sol contribuent à la dispersion des polluants atmosphériques. Cette section décrit les facteurs qui ont une influence sur la production d'émissions dues aux transports dans les zones urbaines ainsi que les effets de la météorologie et de l'utilisation du sol sur la dispersion de ces émissions.

Facteurs ayant une influence sur la génération des émissions des véhicules

Conception des moteurs

En règle générale les émissions des véhicules sont composées de quatre catégories principales: les émissions d'échappement, les émissions par évaporation, les pertes de ravitaillement en carburant, et les pertes dans le cylindre. La principale source des émissions des véhicules (plus de 70 %) est d'échappement, tandis que les autres types d'émissions comptent pour environ 30 % du total (Khare et Shiva Nagendra, 2007). Les gaz d'échappement proviennent essentiellement de la combustion incomplète et non idéale du carburant et dépend des paramètres de fonctionnement du moteur (par exemple la température du moteur, la vitesse, la charge, le rapport air / carburant, et la synchronisation des bougies à l'allumage), ainsi que du carburant. Les conditions d'opération et de fonctionnement du moteur et la composition du carburant influent sur la quantité et la composition des émissions. Les émissions des véhicules essentiellement composées de composés organiques volatils (COV), de monoxyde de carbone (CO), des oxydes d'azote (NO_x) et de particules fines (PM). COV et les NO_x forment le smog photochimique dans les atmosphères urbaines, et les PM sont associées à un grand nombre d'impacts négatifs sur la santé (Wallington et al., 2006). Les moteurs diesel ont des rapports air / carburant et des températures de fonctionnement élevés. En conséquence, les concentrations de NO_x restent généralement plus élevées. Wallington et al. (2006) ont également identifié des émissions élevées de PM et NO_x pour les moteurs diesel modernes qui sont principalement dues à l'utilisation de l'injection directe de carburant dans le cylindre du moteur. A titre de comparaison, un moteur 4-temps à essence a un taux d'air et une température de fonctionnement plus bas, et, par conséquent, des quantités importantes de COV et CO non-brulés sont émis avec de faibles quantités de NO_x . Bien que les émissions de polluants provenant de la combustion incomplète du carburant ont considérablement diminué ces dernières décennies, les niveaux de pollution de l'air dans les régions métropolitaines enfreignent souvent les normes de qualité de l'air ce qui nécessite de nouvelles améliorations dans la conception des moteurs et la qualité du carburant. Ces améliorations consistent notamment en des commandes mécanique et informatique plus sophistiquées du procédé de combustion, ce qui permet aux moteurs d'opérer avec des mélanges carburant / air et des synchronisations de combustion plus optimaux.

La qualité du carburant

Perry et Gee (1995) et Hao et al. (2006) ont étudié la relation entre les émissions et la qualité du carburant et ont constaté que les contrôles de la qualité du carburant se traduisent directement dans le contrôle des émissions. Heil et Pargal, (1998) ont montré que la qualité du carburant et le type de moteur sont quelques unes des questions clés touchant la pollution de l'air liée aux transports de voyageurs dans les zones urbaines. Les émissions de COV dépendent également fortement de la volatilité du carburant.

Plus de 95 % des carburants utilisés dans le transport provient de sources fossiles. L'essence et le diesel, les carburants de transport prédominants, sont principalement dérivés du pétrole brut (Wallington et al., 2006). Les polluants émis dépendent du type de carburant utilisé par le véhicule. Une grande partie des véhicules utilisent maintenant de l'essence sans plomb en raison des effets néfastes sur la santé du plomb dans l'air. Cependant, il y a de plus en plus de preuves indiquant que les carburants sans plomb contiennent en général une plus grande proportion de composants qui résulteraient dans des émissions de COV plus élevées. Le diesel, comprenant des impuretés de soufre, entraîne des émissions de SO₂. En outre, les PM₁₀ sont l'un des constituants principaux des gaz d'échappement des moteurs diesel (Khare et Nagendra, 2007). Les émissions de composés organiques sont un mélange complexe de carburant non-brûlé et de produits de la combustion incomplète du carburant, consistant principalement en oléfines, petites quantités d'aldéhydes et un peu de CO.

Les carburants alternatifs tels que le gaz naturel comprimé (GNC) et le gaz de pétrole liquéfié (GPL) émettent moins de polluants. Les véhicules électriques, véhicules électriques hybrides et à pile à combustible sont des technologies qui peuvent aussi réduire considérablement les émissions selon la production d'électricité. Ravindra et al. (2006) ont montré que la concentration de CO, SO₂ et des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) diminue significativement après la mise en œuvre du GNC, mais une augmentation des concentrations de NO_x a été remarquée. Les NO_x sont produits à partir de l'oxydation de l'azote dans l'air, une réaction qui est améliorée à des températures plus élevées. Hao et al. (2006) ont montré que les véhicules lourds utilisant du GNC ont des émissions de particules fines et de précurseurs du smog inférieures à celles des bus et des camions diesel fonctionnant à Pékin.

La gestion de la circulation

En règle générale, chaque véhicule a une vitesse de conduite optimale qui se traduirait par un meilleur rendement énergétique. La congestion de la circulation, les accélérations, les décélérations et le freinage conduisent à un fonctionnement non optimal du moteur et donc à une augmentation de la consommation de carburant et des émissions polluantes. Bluett et al. (2008) ont montré que la congestion entraîne des émissions de CO, de COV et de NO_x supérieures de 22 %, 33 % et 14 % respectivement par rapport aux conditions d'écoulement libre.

Au Canada, en 2005, le coût total de la congestion urbaine est estimé entre \$2,3 et 3,7 milliards de dollars (en dollars de 2002), où 7 % du coût total est dû à la consommation de carburant et environ 3 % du coût total était attribué au gaz à effet de serre (GES) (Transports Canada, 2006). Il a aussi été calculé que la congestion entraîne aussi une augmentation annuelle de 1,2 à 1,4 mégatonnes de GES. A cause de la congestion de la circulation à Montréal, le coût annuel de carburant gaspillé était de 43,9 millions de dollars (en dollars de 2002) et le coût annuel des émissions de GES était de 10 millions de dollars (en dollars de 2002) (Transports Canada, 2006).

Facteurs ayant une influence sur la dispersion de la pollution atmosphérique

Météorologie

Les paramètres météorologiques aux échelles locales et régionales jouent un rôle important pour déterminer des voies de dispersion locales des polluants, la formation de «points chauds» de polluants et le temps de séjour des polluants (Walcek et al, 1986; Zunckel et al, 2006). En général, les concentrations de polluants sont déterminées par l'équilibre entre les émissions de polluants et l'état de l'atmosphère.

Les facteurs météorologiques les plus notables qui affectent la pollution de l'air sont les suivants: 1) la vitesse horizontale du vent (générée par la composante du vent géostrophique et

modifiée par le frottement de surface et les vents locaux) principalement responsable du transport des polluants, et 2) la turbulence, principalement responsable de la dispersion/dilution. Notez que la turbulence peut être mécanique ou flottante. La turbulence mécanique survient à la suite de vents se déplaçant autour de la végétation et d'autres structures. La turbulence flottante est générée à la suite du chauffage ou refroidissement de l'air près de la surface de la terre. À un extrême, à midi avec un ciel dégagé et un vent léger, le soleil réchauffe l'air près du sol qui crée à son tour un flux chaleur vers le haut qui chauffe les couches inférieures de l'atmosphère. Ces courants convectifs sont formés créant des conditions atmosphériques considérées comme « instables ». L'inverse se produit dans la nuit avec des vents légers, par lesquels le rayonnement infrarouge sortant refroidit le sol, créant ainsi un flux de chaleur vers la surface (ou une flottabilité négative). Cette situation est appelée une inversion, parce que la structure verticale de température est inversée par rapport à la diminution habituelle de température avec l'altitude. L'inversion provoque une atmosphère « stable » et résistante à un mélange vertical; elle diminue aussi la turbulence mécanique. Cette situation est un obstacle à la propagation verticale des polluants. Une troisième condition atmosphérique existe entre les deux extrêmes lorsque le flux net de chaleur à la terre est égal à zéro. Cette condition qu'on appelle « neutre » se produit pendant les périodes de vents qui fournissent un bon mélange, ou pendant des périodes nuageuses qui inhibent le rayonnement entrant et sortant, ou pendant le lever et le coucher du soleil. Dans ce cas, la structure verticale de température suit une diminution de la hauteur à un taux d'environ 0,0098 Celsius/m ; aussi appelé le gradient adiabatique sec. Bien que les conditions de stabilité (neutre, stable et instable) soient le moyen le plus commun de caractériser les propriétés de dispersion de l'atmosphère, d'autres moyens comprennent la hauteur au-dessus du sol où le mélange se produit.

La vitesse du vent est directement influencée par la topographie de la zone urbaine et augmente avec la hauteur. Les paramètres météorologiques à l'échelle régionale et au-delà sont contrôlés par les flux à l'échelle régionale tels que les brises de la mer, et les systèmes cyclonique et anticyclonique, qui permettent le transport à longue distance des polluants. Des boucles de rétroaction complexes existent entre les taux d'émission de polluants et les paramètres locaux atmosphériques de tel sorte que les paramètres individuels sont rarement indépendants les uns des autres. En conséquence, les relations entre l'atmosphère et la concentration des polluants sont très complexes et il est utile d'examiner ces relations à différentes échelles. À des échelles allant des bâtiments individuels et des canyons urbains à l'ensemble de la ville, les turbulences mécaniques microscopiques et d'origine thermique dominant les processus de dispersion locale.

Un important phénomène météorologique local qui affecte la dispersion des polluants en milieu urbain est le vent des canyons urbains. Dans un canyon urbain, les vents circulent en travers du canyon, frappent le mur opposé au vent et sont entraînés le long du mur au niveau de la rue. Les flux traversent ensuite le fond de la rue et sont repoussés vers le mur (sous le vent) le plus proche de l'origine du vent dominant en formant un tourbillon. Cela peut entraîner l'accumulation de polluants sur le côté de la rue sous le vent car les flux balayent les polluants de la circulation à travers la route dans une direction.

Utilisation du sol et habitudes de déplacement des ménages

Plusieurs chercheurs ont tenté de trouver une relation entre l'utilisation du sol en milieu urbain et les concentrations de polluants dans les régions métropolitaines (Walcek et al, 1986; Jerrett et al, 2005; Frank et al, 2000; Romero et al, 1999). Walcek et al., (1986) ont montré que dans les zones où il existe des variations importantes dans le type d'utilisation du sol dans une zone d'agrégation, des variations météorologiques au-dessus de différentes utilisations du sol à des échelles inférieures à la maille peuvent produire des changements significatifs dans la moyenne calculée de SO₂ et les vitesses de dépôt de sulfate. Jerrett et al. (2005) ont évalué les modèles

intra-urbains de l'exposition à la pollution atmosphérique qui prennent en compte l'utilisation du sol et des paramètres météorologiques à Hamilton, au Canada. En outre, les stratégies d'utilisation du sol peuvent être un élément d'une approche globale pour réduire la formation d'ozone. Romero et al. (1999) ont mis en relation l'utilisation du sol, les cycles quotidiens des vents de pente et la ventilation disponible avec la distribution spatiale de la pollution atmosphérique à Santiago (l'une des villes d'Amérique latine les plus polluées). Ils ont montré que, à Santiago, le système de transport génère des émissions élevées de polluants, mais que les terres et pentes naturellement semi-arides et déboisées sont également des sources importantes.

En plus du type d'utilisation du sol dans les zones urbaines, les pratiques d'utilisation du sol changent la qualité de l'air en modifiant les émissions et les conditions atmosphériques qui affectent les taux de réaction, de transport et de dépôt. Par exemple, l'ozone troposphérique (O₃) est particulièrement sensible aux changements de la couverture végétale et aux émissions biogéniques. Les pratiques d'utilisation du sol déterminent souvent les sources de poussières, la combustion de la biomasse, les patrons d'émission des véhicules et d'autres sources de pollution atmosphérique. En outre, les effets de l'utilisation du sol sur les conditions météorologiques locales, principalement dans les îlots de chaleur urbains, influencent également la qualité de l'air : des températures plus élevées en ville provoquent généralement des augmentations d'ozone (Foley et al, 2005).

En considérant les questions ouvertes mentionnées ci-dessus et le resserrement récent des normes de qualité de l'air, il est nécessaire de continuer les recherches pour une meilleure compréhension de la relation entre les patrons d'utilisation du sol en milieu urbain, les émissions de polluants et la demande de transport par habitant. La relation des habitudes de déplacement des ménages avec l'utilisation du sol a été bien mise évidence dans la littérature (par exemple Frank et al 2000; Crane, 1996; Cervero, et Kockelman, 1997).