

DÉVELOPPEMENT ET DÉPLOIEMENT DE L'OUTIL OSC²AR POUR LE SUIVI ET L'ANALYSE DES CONDITIONS DE CIRCULATION SUR LE RÉSEAU ROUTIER

Projet R736.2, parrainé par la Direction de la modélisation des systèmes de transport, ministère des Transports du Québec

Rapport Final

Équipe de recherche

Pre Catherine Morency, ing.
Pr Martin Trépanier, ing.
Pr Nicolas Saunier, ing.
Pr Jinghui Cheng, ing.

Pierre-Léo Bourbonnais, ing., associé de recherche
Jean-Simon Bourdeau, ing., associé de recherche
Brigitte Milord, M.Sc. Économie, associée de recherche
Hubert Verreault, ing., associé de recherche
Alexis Viallard, associé de recherche
Nassim Sharbatdar, étudiante à la maîtrise
Yassine Lamine, étudiant à la maîtrise

Mars 2022



POLYTECHNIQUE
MONTREAL

UNIVERSITÉ
D'INGÉNIERIE



SOMMAIRE

Ce rapport présente les travaux d'un projet de recherche visant la réalisation d'un outil permettant d'accompagner l'analyse de la congestion pour le réseau supérieur et artériel de la grande région de Montréal afin d'alimenter les exercices de planification et de prise de décision. Cet outil, la plateforme OSC²AR (Outil de Suivi des Conditions de Circulation et d'Analyse Réseau), comble un besoin quant à la disponibilité de données permettant de suivre l'évolution des conditions de circulation ainsi que d'en comprendre les principaux déterminants. La plateforme a été développée grâce à une série de travaux qui sont décrits dans ce rapport.

D'abord, un grand nombre de bases de données ont été obtenues de différents systèmes d'information du Ministère : le système de Diagnostic de Sécurité Routière (DSR), le système d'information sur la circulation routière (CIR), le système de gestion des événements (SGE), l'État des routes (ERT) et les conditions routières hivernales (CRH), le système de monitoring routier (SMG), le système météo routier (SMR). Ces données ont été analysées et la faisabilité de leur intégration à la plateforme développée a été évaluée. Dans tous les cas sauf le CRH, l'intégration n'a pas pu être possible, car les données étaient trop fragmentaires, non référencées ou non disponibles en continu de façon automatique. L'équipe de recherche a identifié ce qui permettrait à terme de les intégrer.

En ce qui concerne les conditions de circulation sur une base continue, la plateforme intègre des données provenant de deux sources, soit le registre des taxis, qui comprend des traces GPS de plusieurs milliers de voitures taxis, ainsi que des données provenant de la compagnie HERE, fournies par le Ministère. Le réseau routier de OSC²AR se base initialement sur la géométrie du réseau d'OpenStreetMap (OSM), à laquelle sont ajoutées diverses informations provenant du Réseau Artériel Métropolitain (RAM) et d'Adresse Québec (AQ). Un grand nombre de traitements ont dû être réalisés afin de rendre ce réseau compatible à l'utilisation prévue dans l'outil, et des procédures d'intégration des mises à jour ont été développées. Entre autres, il a fallu intégrer et valider les données sur le nombre de voies et les limites de vitesse sur les segments routiers.

L'étape de l'inventaire des besoins a eu pour objectif d'assurer la prise en compte des besoins en indicateurs et en mesure de différents types d'utilisateurs dans la conception des interfaces de l'outil à développer. À cet effet, des entrevues ont été réalisées auprès des professionnels du Ministère. À partir des résultats, l'équipe de recherche a créé quatre personas qui ont permis de mieux cibler les fonctionnalités de l'outil développé : l'expert(e) en modélisation, planificateur(trice) des transports, expert(e) en sécurité routière, coordonnateur(trice).

Dans une étape subséquente du projet, l'équipe de recherche a développé une méthodologie d'analyse des files d'attente. À cet effet, le concept de microévénement a été construit pour identifier les épisodes de changement de vitesse correspondant au phénomène de congestion et de formation des files d'attente. L'agrégation de ces microévénements permet de cartographier les lieux où se forment ces files d'attente à partir de données de vitesses provenant des véhicules ou calculées à même leur position.

Le rapport fait également état de la méthode développée pour intégrer efficacement les données provenant de HERE et des traces GPS pour en faire des observations unifiées sur les segments routiers, et ce pour des périodes précises. En ce qui concerne les données de voitures taxis, les vitesses sont calculées en utilisant deux observations successives, et en calculant le ratio entre la distance parcourue et l'intervalle de temps. Ces vitesses sont reportées sur les segments routiers correspondants. Les données de HERE présentent un certain défi, car elles s'expriment en termes de percentiles de la vitesse observée sur un tronçon donné. D'abord, ces tronçons sont ceux définis par HERE et une correspondance a été créée afin de les relier aux segments de OSC²AR. Ensuite, un algorithme a été développé pour déterminer la vitesse moyenne des observations de HERE, en tenant compte des différents cas de figure de répartition des vitesses en fonction des percentiles et du nombre de véhicules observés.

Dans l'étape suivante, l'équipe de recherche traite des coûts de la congestion. D'abord une analyse synthèse est proposée pour examiner la démarche cyclique du Ministère, en présentant les changements méthodologiques et l'évolution des résultats de cette démarche. Ensuite, une analyse synthèse des pratiques internationales vient identifier, à haut niveau, les pays qui ont des pratiques d'évaluation des coûts de la congestion. Enfin, une analyse détaillée se penche sur chacune des catégories de coûts; elle présente l'évolution de la méthodologie proposée par *Les Conseillers ADEC inc.* et la compare aux pratiques observées ailleurs ainsi qu'à la littérature scientifique.

La plateforme OSC²AR est montée dans un environnement client-serveur avec une architecture en couches, c'est-à-dire avec la partie dorsale (backend), la partie frontale (frontend) et une base de données dédiée. Plusieurs algorithmes de prétraitement des données ont été développés en langages Python et Javascript pour importer et intégrer les données dans l'outil : réseaux routiers, secteurs, données des voitures-taxis, données HERE, traitement des files d'attente, données des systèmes d'information du Ministère. OSC²AR est un logiciel orienté-objet, c'est-à-dire que sa programmation repose sur des classes d'objets provenant de bibliothèques programmées sur mesure ou réappropriées pour ce projet. Ces objets interagissent avec une base de données dont le modèle-objet comporte plusieurs tables journalisées reliées principalement aux tables des éléments du réseau routier.

L'outil logiciel de l'utilisateur est une interface web, accessible depuis les navigateurs réguliers à l'aide d'un nom d'utilisateur et d'un mot de passe, afin d'assurer la sécurisation des accès et la personnalisation de l'usage. L'interface est formée de différents panneaux permettant d'assurer les fonctions du logiciel (menu, barre de navigation, affichage). Le panneau principal est utilisé pour l'affichage de différentes statistiques, selon différentes modalités : cartes, graphiques, tableaux. Un panneau additionnel permet de paramétrer ces différents affichages en fonction de l'objet affiché.

Le logiciel offre à l'utilisateur la création de projets qui lui permettent de créer des environnements d'affichage et d'analyses de statistiques récupérables et configurables à souhait. Une sélection spatiale avancée permet d'abord de choisir les ensembles de segments routiers contigus qui seront sujets aux analyses : segment routier, sous corridor (longue section d'autoroute, par exemple) ou corridor (autoroute au complet). Les types de graphiques offerts par l'interface sont nombreux et propres aux différentes analyses : distribution temporelle de vitesses, distribution temporelle des ratios de vitesses, analyse

longitudinale des ratios de vitesses, carte de chaleur des ratios de vitesses, carte des ratios de vitesses moyen, distribution des ratios de vitesses par condition de route, carte de chaleur des files d'attente, carte des événements des files d'attente, distribution temporelle des temps de trajets, distribution temporelle des temps de trajets en sélection libre, isochrone des temps de parcours, isochrone des temps de parcours par zone, distribution temporelle du nombre de véhicules, proportion d'incidents par type. Chaque graphique est paramétrable en fonction des critères s'y rattachant, dont en particulier la période temporelle associée (dates, semaine, jours de semaine, périodes de la journées), la coloration des séries affichées, seuils de calcul, rayons d'action, etc.

Enfin, le rapport fait état des contributions de l'outil, de ses limitations et des stratégies qui permettront sa pérennisation au sein des systèmes du Ministère.

TABLE DES MATIÈRES

SOMMAIRE	i
TABLE DES MATIÈRES.....	iv
LISTE DES TABLEAUX.....	viii
LISTE DES FIGURES.....	ix
1 Introduction.....	1
1.1 Méthodologie générale du projet.....	1
1.2 Contenu du rapport final.....	1
2 Synthèse du système d'information.....	3
2.1 Données du précédent projet de recherche.....	3
2.2 Synthèse des données reçues	3
2.3 Diagnostic de sécurité routière (DSR)	4
2.3.1 Description et contribution.....	4
2.3.2 Liste des fichiers reçus.....	5
2.3.3 Champs disponibles pour chaque enregistrement.....	5
2.3.4 Qualité de la géolocalisation et de l'information temporelle	6
2.3.5 Défis liés à l'usage	7
2.4 Système d'information sur la circulation routière (CIR).....	7
2.4.1 Description et contribution.....	7
2.4.2 Liste des fichiers reçus.....	8
2.4.3 Champs disponibles pour chaque enregistrement.....	8
2.4.4 Qualité de la géolocalisation et de l'information temporelle	8
2.4.5 Défis liés à l'usage	10
2.5 SGE-Interventions.....	10
2.5.1 Description et contribution.....	10
2.5.2 Liste des fichiers reçus.....	10
2.5.3 Champs disponibles pour chaque enregistrement.....	11
2.5.4 Qualité de la géolocalisation et de l'information temporelle	12
2.5.5 Défis liés à l'usage	15
2.6 État des routes (ERT) et Conditions routières hivernales (CRH)	15
2.6.1 Description et contribution.....	15
2.6.2 Liste des fichiers reçus.....	16
2.6.3 Champs disponibles pour chaque enregistrement.....	17
2.6.4 Qualité de la géolocalisation et de l'information temporelle	17
2.6.5 Défis liés à l'usage	20
2.7 Système de monitoring routier (SMG)	20
2.7.1 Description et contribution.....	20
2.7.2 Champs disponibles pour chaque enregistrement.....	20
2.7.3 Liste des fichiers reçus.....	21
2.7.4 Qualité de la géolocalisation et de l'information temporelle	21
2.7.5 Défis liés à l'usage	22
2.8 Système météo routier (SMR).....	22
2.8.1 Description et contribution.....	22

2.8.2	Champs disponibles pour chaque enregistrement.....	22
2.8.3	Liste des fichiers reçus.....	23
2.8.4	Qualité de la géolocalisation et de l'information temporelle	23
2.8.5	Défis liés à l'usage	24
3	Réseau cible et caractérisation des segments	25
3.1	Définition du vocabulaire du réseau	25
3.2	Construction du réseau	26
3.2.1	Importation des données.....	26
3.2.2	Filtrage de la géométrie	26
3.2.3	Séparation des tronçons	27
3.2.4	Doublage du réseau (création d'un réseau directionnel)	28
3.2.5	Séquençage du réseau	29
3.2.6	Ajout d'information	30
3.2.7	Segmentation du réseau	30
3.3	Description du fichier.....	31
3.4	Analyse descriptive du réseau.....	32
3.4.1	Étude sur la longueur des tronçons.....	32
3.4.2	Étude sur la proportion des attributs.....	36
3.4.3	Typologie des segments du réseau OSC ² AR.....	41
4	Inventaires des besoins.....	51
4.1	Introduction	51
4.2	Revue de la littérature	51
4.2.1	Conception centrée sur l'utilisateur.....	51
4.2.2	Personas.....	54
4.2.3	Interaction basée sur les rôles	57
4.2.4	Visualisation pour l'analyse de la circulation.....	58
4.3	Méthodologie	59
4.3.1	Les participants.....	59
4.3.2	Méthode d'entrevue	60
4.3.3	Analyse des données d'entrevue	60
4.4	Résultats.....	62
4.4.1	Synthèse des réponses des participants	62
4.4.2	Les « personas »	71
4.5	Prochaines étapes	74
4.5.1	Utilisation des personas	74
4.5.2	Rencontre avec des partenaires hors-MTQ.....	75
5	Méthodologie d'analyse des files d'attente	76
5.1	Méthodologie générale.....	76
5.1.1	Méthodologie de création des microévénements	77
5.1.2	Analyse.....	77
5.2	Agrégation des événements de files d'attente	78
6	Stratégie d'intégration des données GPS et HERE.....	81
6.1	Analyse descriptive des données de HERE	81
6.2	Intégration des données.....	86
6.3	Remplir la base de données de vitesses avec les données GPS de Taxi.....	87

6.4	Remplissage de la base de données de vitesse avec les données HERE	88
7	Coûts de la congestion	91
7.1	Analyse synthèse de la démarche cyclique du MTQ	91
7.1.1	Portrait des changements méthodologiques	92
7.1.2	Évolution des résultats	100
7.2	Analyse synthèse des pratiques internationales	105
8	Plateforme OSC ² AR	111
8.1	Architecture de l'outil	111
8.1.1	Schéma fonctionnel	111
8.1.2	Prétraitement des données	113
8.1.3	Bibliothèques informatiques	114
8.2	Modèle relationnel de données	116
8.3	Description de l'outil	118
8.4	Utilisation	119
8.4.1	Connexion à l'outil	119
8.4.2	Ouvrir un projet	119
8.4.3	Ajouter un graphique	120
8.4.4	Paramétrer un graphique	121
8.4.5	Les fonctions de base de l'outil	122
8.4.6	La sélection spatiale avancée	124
8.4.7	Afficher un graphique	127
8.4.8	Explication de l'arrière-plan de l'affichage d'un graphique	128
8.5	Types de graphiques	130
8.5.1	Distribution temporelle des vitesses	130
8.5.2	Distribution temporelle des ratios de vitesses	132
8.5.3	Analyse longitudinale des ratios de vitesses	134
8.5.4	Carte de chaleur des ratios de vitesses	136
8.5.5	Carte des ratios de vitesses moyens	138
8.5.6	Distribution des ratios de vitesses par condition de route	140
8.5.7	Carte de chaleur des files d'attente	143
8.5.8	Carte des événements des files d'attente	146
8.5.9	Distribution temporelle des temps de trajets	148
8.5.10	Distribution temporelle des temps de trajets (sélection libre)	150
8.5.11	Isochrone des temps de parcours par zone	152
8.5.12	Isochrone des temps de parcours	154
8.5.13	Distribution temporelle du nombre de véhicules	156
8.5.14	Proportion d'incidents par type	158
9	Discussion	160
9.1	Synthèse des travaux	160
9.2	Limites et perspectives	161
9.3	Stratégie de pérennisation	163
9.4	Stratégie de transférabilité spatiale	163
10	Références	165
11	AnnexeS	167

11.1	Fiche de compréhension de l'algorithme	167
11.2	Algorithme – Intégration des données OSC2AR	168
11.3	Analyse des microévénements de files d'attentes	186

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2-1. Récapitulatif des données reçues dans le cadre du présent projet de recherche	4
Tableau 2-2. Liste des fichiers reçus en lien avec le système DSR	5
Tableau 2-3. Liste des fichiers reçus en lien avec les comptages CIR	8
Tableau 2-4. Liste des fichiers reçus en lien avec le système SGE-Interventions.....	11
Tableau 2-5. Liste des fichiers reçus en lien avec les systèmes ERT et CRH	16
Tableau 2-6. Liste des fichiers reçus en lien avec le SMG.....	21
Tableau 2-7. Liste des fichiers reçus en lien avec le SMR.....	23
Tableau 2-8 Répartition des lectures de la variable "roadcondition" Erreur ! Signet non défini.	
Tableau 3-1. Résumé des caractéristiques dominantes des classes.....	46
Tableau 4-1. Avantages des personas dans l'UCD selon l'étude de Miaskiewicz et Kozar (Miaskiewicz & Kozar, 2011)	55
Tableau 4-2. Participants à l'étude d'entrevue	60
Tableau 6-1. Exemple de stockage des informations de vitesse	87
Tableau 6-2. Estimation des vitesses pour les n nombre d'observations allant de 1 à 6 88	
Tableau 7-1. Synthèse des intrants à l'évaluation des coûts de la congestion, 1993-2008	93
Tableau 7-2. Polluants atmosphériques selon les différents modèles, tonnes métriques, 1993-2008	99
Tableau 7-3. Comparaison des coûts de la congestion réalisée par ADEC, 1993-2008	101
Tableau 7-4. Comparaison des coûts de la congestion, 1993-2008	102
Tableau 7-5. Comparaison internationale des coûts de la congestion, 1993-2008	106
Tableau 8-1. Classes de l'application dorsale.....	114
Tableau 8-2. Classes de l'application frontale	115

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1. Synthèse des 11 tâches prévues au projet.....	1
Figure 2-1. Carte des données du système DSR pour l'année 2018	7
Figure 2-2. Carte des comptages CIR l'année 2017	9
Figure 2-3. Couverture du système CIR pour l'année 2017 sur les segments autoroutiers du territoire de l'enquête OD (Origine-Destination)	10
Figure 2-4. Carte des données du système SGE-Interventions pour l'année 2018.....	13
Figure 2-5. Distribution des longueurs des interventions du système SGE-Interventions pour l'année 2018.....	14
Figure 2-6. Distribution des durées des interventions du système SGE-Interventions pour l'année 2018.....	14
Figure 2-7. Distribution des interventions qui se sont déroulées sur une même journée en 2018 selon le type d'obstruction	15
Figure 2-8. Distribution des longueurs des segments CRH pour la saison 2018-2019...	18
Figure 2-9. Carte des données du système CRH pour la saison 2018-2019	18
Figure 2-10. Distribution du nombre d'observations du système CRH par mois de l'année et par saison.....	19
Figure 2-11. Couverture du système CRH pour la saison 2018-2019 sur les segments autoroutiers du territoire de l'enquête OD	20
Figure 2-12. Carte des données du SMG pour l'année 2018.....	22
Figure 2-13 Distribution de la variable film_h.....	24
Figure 3-1. Schéma d'un croisement de deux corridors du réseau	25
Figure 3-2. Requête sur l'API Overpass turbo	26
Figure 3-3. Réseau OSM et RAM (haut), résultat de filtrage par correspondance géographique (bas)	27
Figure 3-4. Exemple de stratégie de séparation d'un tronçon d'autoroute	28
Figure 3-5. Schéma d'exemple dans lequel une route à double sens réel n'est pas doublée sur le réseau OSC ² AR.....	29
Figure 3-6. Exemple de situation de variante, carte de Montréal centrée sur l'autoroute 40 entre les deux portions de l'autoroute 15	30
Figure 3-7. Exemple de situation de segmentation.....	31
Figure 3-8. Distribution géographique de la longueur des tronçons	33
Figure 3-9. Distribution de la longueur des tronçons par type de voie (500 m)	34

Figure 3-10. Distribution de la longueur des tronçons par type de voie (25 m)	34
Figure 3-11. Répartition géographique des tronçons de moins de 25 mètres par type de voie	35
Figure 3-12. Géométrie d'un terre-plein central : Rue Berri – Rue Sainte Catherine.....	36
Figure 3-13. Croisement de deux voies à terre-plein central : Boul. René Lévesque - Boul. Robert Bourassa	36
Figure 3-14. Proportion des types de voies pondérées par la longueur des tronçons	37
Figure 3-15. Proportion du nombre de voies pondérées par la longueur	38
Figure 3-16. Proportion du nombre de voies pondérées par la longueur des tronçons par type	38
Figure 3-17. Carte des tronçons où l'information du nombre de voies est manquante ...	39
Figure 3-18. Proportion des limites de vitesse pondérées par longueur des tronçons ...	40
Figure 3-19. Proportion des limites de vitesse pondérées par longueur des tronçons par type	40
Figure 3-20. Carte des tronçons où l'information de limite de vitesse est manquante	41
Figure 3-21. Dendrogramme pour le classement des segments OSC ² AR	42
Figure 3-22. Graphique WSS pour le classement des segments OSC ² AR	42
Figure 3-23. Distribution des segments routiers par classe en fonction du nombre de voies (variable « lanes »)	43
Figure 3-24. Distribution des segments routiers par classe en fonction de la vitesse affichée (variable « maxspeed »)	43
Figure 3-25. Distribution des segments routiers par classe en fonction du sens unique (variable « oneway »)	44
Figure 3-26. Distribution des segments routiers par classe en fonction de la position ou non avant une sortie (variable « beforeexit »)	44
Figure 3-27. Distribution des segments routiers par classe en fonction de la longueur du segment (variable « length »)	45
Figure 3-28. Distribution des segments routiers par classe en fonction du type de route (variable « roadtype »)	45
Figure 3-29. Cartographie des classes : Classes 1 à 7	47
Figure 3-30. Cartographie des classes : Classe 1	47
Figure 3-31. Cartographie des classes : Classe 2	48
Figure 3-32. Cartographie des classes : Classe 3	48
Figure 3-33. Cartographie des classes : Classe 4	49

Figure 3-34. Cartographie des classes : Classe 5	49
Figure 3-35. Cartographie des classes : Classe 6	50
Figure 3-36. Cartographie des classes : Classe 7	50
Figure 4-1. Le processus itératif de conception centrée sur l'utilisateur	52
Figure 4-2. Diagramme d'affinités qui montre les codes groupés et leurs relations.....	62
Figure 4-3. Persona d'experte en modélisation	71
Figure 4-4. Persona de planificateur des transports	72
Figure 4-5. Persona d'expert en sécurité.....	73
Figure 4-6. Persona de coordinatrice	74
Figure 5-3. Distribution horaire des accélérations, A13 Nord janvier 2019.....	78
Figure 5-4. Carte de chaleur de la distribution des accélérations et des vitesses des microévénements avant traitement.....	79
Figure 5-5. Carte de chaleur de la distribution des accélérations et des vitesses des événements de files d'attente (après traitement)	80
Figure 6-1. Distribution du nombre d'observations de vitesse HERE par mois selon l'heure du jour entre septembre 2019 et avril 2020	81
Figure 6-2. Distribution des 85e centiles de vitesses par mois pour les données Here entre septembre 2019 et avril 2020	82
Figure 6-3. Nombre d'enregistrements par jour pour les données HERE entre septembre 2019 et avril 2020	83
Figure 6-4. Nombre d'observations par jour pour les données HERE entre septembre 2019 et avril 2020	84
Figure 6-5. Vitesse moyenne pondérée en fonction du nombre d'observations par jour pour les données HERE entre septembre 2019 et avril 2020	85
Figure 6-6. 85 ^e centile de vitesse pondéré en fonction du nombre d'observations par jour pour les données HERE entre septembre 2019 et avril 2020	86
Figure 6-7. Évolution de l'erreur maximale et de la moyenne des erreurs en fonction du nombre d'observations	90
Figure 6-8. Schéma de compréhension de l'intégration des données HERE	90
Figure 7-1. Évolution des intrants de l'EOD dans l'évaluation des coûts de la congestion, 1993-2008 (Sources : données AMT (1998, 2003 et 2008) et compilation Polytechnique Montréal).....	94
Figure 7-2. Intrants MOTREM, réseau non congestionné, 1993-2008 (Sources : ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008) et compilation de Polytechnique Montréal).....	95

Figure 7-3. Résultats MOTREM, réseau congestionné, 1993-2008 (Sources : ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008) et compilation de Polytechnique Montréal).....	95
Figure 7-4. Résultats MOTREM, part du réseau congestionné, 1993-2008 (Sources : ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008) et compilation de Polytechnique Montréal)	96
Figure 7-5. Résultats MOTREM, Retard et durée moyenne de déplacements, 1993-2008 (Sources : ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008) et compilation de Polytechnique Montréal)	96
Figure 7-6. Coût des retards pour les passagers et les chauffeurs des autobus, M\$, 1993 et 2003 (Sources : ADEC (1993, 2003 et 2008) Note : le TC est exclu de l'analyse en 1998)	97
Figure 7-7. Coûts d'utilisation additionnels des véhicules liés à la congestion, millions de dollars constants de 2018, 1993 et 2003 (Sources : ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008) et Statistique Canada, Tableau: 18-10-0005-01 (anciennement CANSIM 326-0021), IPC pour l'achat et à la location à bail de véhicules automobiles et IPC essence, ensemble du Québec)	99
Figure 7-8. Synthèse des intrants et des coûts de la congestion, 1993-2008	100
Figure 7-9. Évolution des intrants de MOTREM dans l'évaluation des coûts de la congestion. 1993-2008 (Sources : données ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008), Metrolinx (2008) et compilation de Polytechnique Montréal.).....	103
Figure 7-10. Indicateurs de l'évolution des coûts de la congestion, 1993-2008	104
Figure 7-11. Comparaison des coûts de la congestion dans 30 villes américaines, britanniques et allemandes avec Montréal sur la base de leur population, dollars canadiens de 2018 (Sources : INRIX (2018) et ADEC (2008). Note : graphique préliminaire, plusieurs calculs devront être revus)	107
Figure 8-1. Schéma fonctionnel de l'outil OSC ² AR	111
Figure 8-2. Prétraitement des données, Python	113
Figure 8-3. Classes de l'outil OSC ² AR.....	114
Figure 8-4. Modèle relationnel de données de OSC ² AR.....	117
Figure 8-5. Plateforme OSC ² AR - Présentation des différents panneaux de l'outil.....	118
Figure 8-6. Plateforme OSC ² AR - Présentation de l'enregistrement de l'utilisateur.....	119
Figure 8-7. Plateforme OSC ² AR - Présentation de l'ouverture d'un projet	119
Figure 8-8. Plateforme OSC ² AR - Présentation ajout sélection d'un nouveau graphique	120
Figure 8-9. Plateforme OSC ² AR - Présentation du paramétrage d'un graphique	121
Figure 8-10. Naviguer dans l'outil	122
Figure 8-11. Les préférences utilisateur	123

Figure 8-12. La sélection des tronçons.....	124
Figure 8-13. La sélection des secteurs.....	125
Figure 8-14. La sélection des zones.....	126
Figure 8-15. Plateforme OSC ² AR - Affichage d'un graphique.....	128
Figure 8-16. Schéma de fonctionnement de l'affichage d'un graphique.....	129
Figure 8-17. La Distribution temporelle des vitesses.....	130
Figure 8-18. La Distribution temporelle des ratios de vitesses.....	132
Figure 8-19. L'analyse longitudinale des ratios de vitesses.....	134
Figure 8-20. La carte de chaleur des ratios de vitesses.....	136
Figure 8-21. La carte des ratios de vitesses moyens.....	138
Figure 8-22. La distribution des ratios de vitesses par condition de route.....	140
Figure 8-23. La carte de chaleur des files d'attente.....	143
Figure 8-24. La carte des événements des files d'attente.....	146
Figure 8-25. La distribution temporelle des temps de trajets.....	148
Figure 8-26. La distribution temporelle des temps de trajets (sélection libre).....	150
Figure 8-27. L'isochrone des temps de parcours par zone.....	152
Figure 8-28. L'isochrone des temps de parcours.....	154
Figure 8-29. La distribution temporelle du nombre de véhicules.....	156
Figure 8-30. La proportion d'incidents par type.....	158
Figure 11-1. Fiche compréhension des algorigrammes.....	167
Figure 11-2. Algorigramme - Logique principale.....	168
Figure 11-3. Algorigramme - Préparer le réseau OSC ² AR.....	169
Figure 11-4. Algorigramme - Importer les données.....	170
Figure 11-5. Algorigramme - Filtrer les données.....	171
Figure 11-6. Algorigramme - Séparer les segments.....	172
Figure 11-7. Algorigramme - Doubler le réseau.....	173
Figure 11-8. Algorigramme - Séquencer le réseau.....	174
Figure 11-9. Algorigramme - Ajouter de l'information.....	175
Figure 11-10. Algorigramme - Segmenter le réseau.....	176
Figure 11-11. Algorigramme - Calculer les propriétés.....	177

Figure 11-12. Algorithme - Préparer les données OSC ² AR	178
Figure 11-13. Algorithme - Préparer les vitesses Taxi	179
Figure 11-14. Algorithme - Préparer les vitesses HERE	180
Figure 11-15. Algorithme - Estimateur d'ensemble de vitesse	181
Figure 11-16. Algorithme - Préparer les comptages CIR	182
Figure 11-17. Algorithme - Préparer les conditions CRH	183
Figure 11-18. Algorithme - Préparer les événements SMG	184
Figure 11-19. Algorithme - Exporter les données	185
Figure 11-20. Distribution des accélérations des microévénements, A13 Nord janvier 2019	186
Figure 11-21. Distribution des accélérations des microévénements, A13 Sud janvier 2019	187
Figure 11-22. Distribution des accélérations des microévénements, A15 Nord janvier 2019	188
Figure 11-23. Distribution des accélérations des microévénements, A15 Sud janvier 2019	189
Figure 11-24. Distribution des accélérations des microévénements, A40 Est janvier 2019	190
Figure 11-25. Distribution des accélérations des microévénements, A40 Ouest janvier 2019	191

1 INTRODUCTION

Ce projet s'inscrit en continuité du projet de recherche R736.1 qui a permis le développement d'un prototype d'outil de consultation des conditions de circulation de type application web. Il vise à produire un outil permettant d'accompagner l'analyse de la congestion pour le réseau supérieur et artériel de la grande région de Montréal afin d'alimenter les exercices de planification et de prise de décision. Cet outil vise à combler un besoin quant à la disponibilité de données permettant de suivre l'évolution des conditions de circulation ainsi que d'en comprendre les principaux déterminants.

1.1 Méthodologie générale du projet

11 tâches sont prévues pour assurer le développement du projet; elles sont synthétisées à la Figure 1-1.

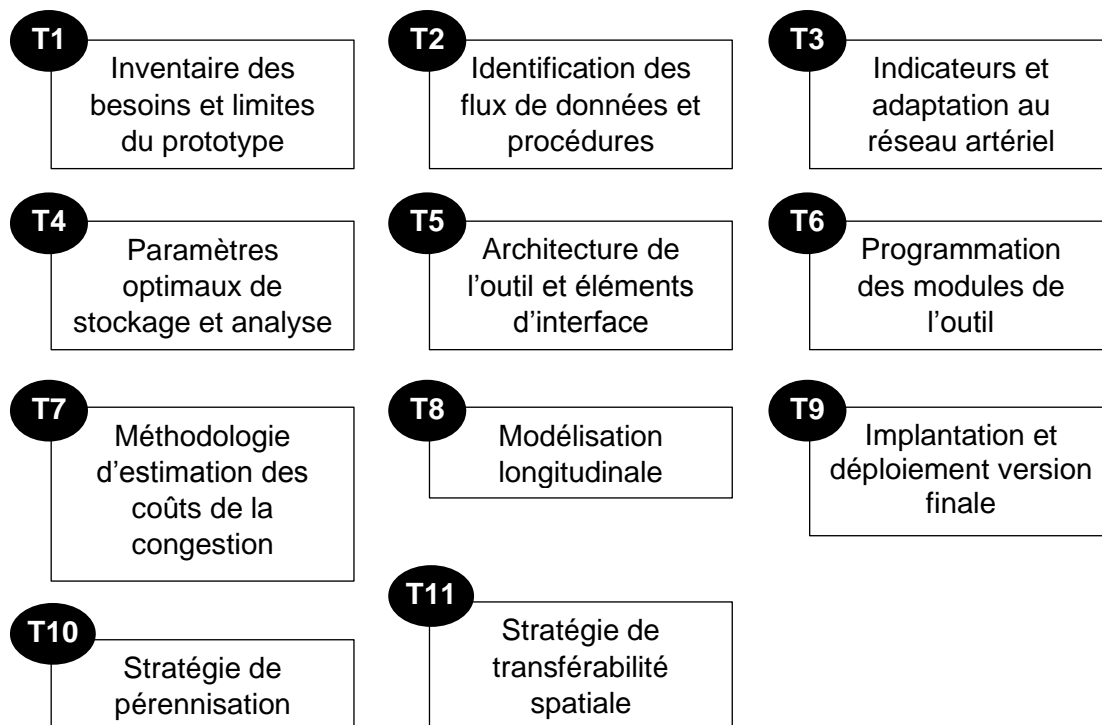


Figure 1-1. Synthèse des 11 tâches prévues au projet

1.2 Contenu du rapport final

Ce rapport fait état de l'ensemble des travaux réalisés dans le cadre du projet de recherche. Les composantes suivantes sont traitées :

- Présentation des différents ensembles de données obtenus, considérés puis finalement utilisés dans le développement de la plateforme.
- Présentation du réseau routier cible de la plateforme et caractérisation des segments utilisés comme élément de base pour la compilation d'indicateurs.
- Synthèse de l'analyse des besoins qui a résulté de la consultation de différents utilisateurs potentiels de la plateforme.

- Présentation de la méthodologie d'analyse des files d'attente incluant la définition du concept d'événement d'accélération et décélération.
- Description de la stratégie d'intégration des données GPS et HERE est ensuite discutée
- Détails quant à la méthode d'estimation des coûts de la congestion et synthèse des pratiques internationales.
- Présentation de la plateforme OSC²AR incluant l'architecture de l'outil, le modèle relationnel des données, la description de son interface et les modalités d'utilisation.
- Discussion incluant la synthèse des travaux, les limites, les perspectives, les opportunités de transférabilité spatiale et la stratégie d'actualisation pour fins de pérennisation.

2 SYNTHÈSE DU SYSTÈME D'INFORMATION

Ce chapitre propose une description des ensembles de données reçus ainsi qu'une évaluation du contenu des fichiers ainsi que des procédures déployées afin de les rendre utilisables dans le cadre du projet.

2.1 Données du précédent projet de recherche

Des données du système ERT ont été transmises à l'équipe de recherche en février 2015, pour la période de 2008 à 2014. Les données sont dans un fichier Microsoft Excel contenant 17 onglets. De plus, un fichier au format shapefile, par saison, a été transmis avec la géométrie des segments ERT. Le format des données est uniforme pour toute la période et est décrit plus en détail dans la section 2.6.

Des données du système SAGE ont été transmises en février 2014, couvrant la période de 2008 à 2013. Les données sont dans un fichier Microsoft Excel et dans un fichier Microsoft Access.

Finalement, des données du système météoroutier (SMR) de Sainte-Thérèse ont été fournies pour la période de février à décembre 2014. Ces données ont été utilisées dans une première amorce de modélisation des conditions de circulation (voir notamment Tessier, 2015).

2.2 Synthèse des données reçues

Plusieurs données ont été transmises dans le cadre de ce projet de recherche. Lors de la transmission de chaque jeu de données, un document de métadonnées accompagnait les données. Ces données proviennent de plusieurs systèmes propriétaires du Ministère. La résolution spatiale est variable pour les différents jeux de données; dans certains cas, ce sont des coordonnées GPS, alors que dans d'autres cas ce sont des segments du réseau routier. Le Tableau 2-1 propose un récapitulatif des données reçues. Les sections suivantes les décrivent plus en détail.

Les sections qui suivent proposent une présentation détaillée du contenu de ces données, notamment la structure des fichiers reçus, la qualité de la géolocalisation, leurs potentialités ainsi que les défis liés à leur valorisation.

À ce jour, les données suivantes n'ont toujours pas été transmises à l'équipe de recherche :

- Données du système SAGE. Les données du système SMG ont été utilisées en remplacement des données du système SAGE;
- Données du système intégré de collecte automatisée de données (SICAD). Ce système n'étant plus supporté actuellement, ces données n'ont pas été transmises.

Tableau 2-1. Récapitulatif des données reçues dans le cadre du présent projet de recherche

Acronyme	Périodes couvertes	Période couverte par le fichier	Date(s) de transmission	Format de fichier	Intégration dans la plateforme OSC ² AR
DSR	2013 à 2018	Une année	12 juin 2019	ESRI shapefile	Non
CIR	2013 à 2017	Un mois (automne 2017) ou une année (2013 à 2017)	19 février 2019 (automne 2017) et 29 mars 2019 (2013 à 2017)	ESRI shapefile	Oui
SGE-Intervention	2013 à 2018	Une année	27 février 2019 et 1 ^{er} avril 2019 (2018), 27 juin 2019 (2013 à 2016), 20 septembre 2019 (2017)	ESRI shapefile, texte délimité (csv) et MapInfo (tab)	Non
ERT/CRH	2012-2013 à 2014-2015 (ERT) et 2015-2016 à 2018-2019 (CRH)	Un fichier par saison hivernale (octobre à avril incl.)	24 mai 2019	ESRI shapefile et texte délimité (csv)	Oui (CRH seulement)
SMG	2013 à 2018	Une année	1 ^{er} mai 2019	ESRI shapefile	Oui
SMR	Octobre 2018	Un mois	6 décembre 2019	Texte délimité (csv)	Non

Il est important de mentionner que l'équipe de recherche a dû évaluer l'opportunité d'intégrer ou non ces différents ensembles de données dans la plateforme OSC²AR et qu'un des critères importants était leur disponibilité en continu et la possibilité d'en automatiser l'insertion. Ainsi, bien que certaines données puissent être pertinentes d'un point de vue analytique, elles n'ont pas été intégrées dans la mesure où leur usage demeurerait anecdotique.

2.3 Diagnostic de sécurité routière (DSR)

2.3.1 Description et contribution

Les données du système DSR comprennent l'ensemble des accidents survenus sur le réseau routier du Ministère qui ont fait l'objet d'un rapport d'accident.

2.3.2 Liste des fichiers reçus

Tableau 2-2. Liste des fichiers reçus en lien avec le système DSR

Nom	Type	Description	Nombre d'enregistrements (si applicable)
DSR_Données_2013_CS_2013	ESRI shapefile	Données du système DSR pour l'année 2013	35 862
DSR_Données_2013_CS_2014	ESRI shapefile	Données du système DSR pour l'année 2014	39 089
DSR_Données_2013_CS_2015	ESRI shapefile	Données du système DSR pour l'année 2015	35 606
DSR_Données_2013_CS_2016	ESRI shapefile	Données du système DSR pour l'année 2016	36 674
DSR_Données_2013_CS_2017	ESRI shapefile	Données du système DSR pour l'année 2017	37 503
DSR_Données_2013_CS_2018	ESRI shapefile	Données du système DSR pour l'année 2018	37 335
Guide_Redaction_RA (2010)	PDF	Guide de rédaction du rapport d'accident de véhicules routiers	-
OSC²AR_Système_DSR - Diagnostic de sécurité routière version 1.0 (MTQ, 2019a)	PDF	Identification des données pour alimenter l'outil OSC²AR - Système Diagnostic de sécurité routière	-

2.3.3 Champs disponibles pour chaque enregistrement

Les champs suivants sont disponibles pour chaque enregistrement :

- Date de l'accident;
- Code et descriptif (« Mortel », « Grave », « Léger », « Matériel majeur ») de gravité de l'accident;
- Nombre de victimes décédées et/ou blessées et/ou impliquées dans l'accident;
- Nombre de véhicules impliqués dans l'accident;
- Rue, rang ou chemin du lieu de l'accident;
- Type de repère servant à localiser l'accident (« Autre repère », « Intersection », « Non précisée », « Valeur erronée »);
- Numéro et direction de la route;

- Repère kilométrique, ainsi que la distance (m) et l'orientation par rapport au repère;
- Limite de vitesse sur la route;
- Genre d'accident (par exemple « Arbre » ou « Chevreuil »);
- Situation particulière survenue lors de l'accident (par exemple « Déneigement »);
- État de la surface lors de l'accident;
- Type d'éclairage au moment de l'accident;
- Type d'environnement, c'est-à-dire l'activité dominante du secteur où a eu lieu l'accident (par exemple « Résidentiel »);
- Catégorie de route. Seules les catégories suivantes ont été retenues pour alimenter OSC²AR : « Artère principale », « Autre chemin public », « Autre hors chemin public », « Bretelle/collecteur », « Chemin/rang », « Non précisée », « Route numérotée »;
- État de la chaussée lors de l'accident;
- Aspect de la route (par exemple Courbe/plat);
- Localisation de l'accident (par exemple Pont, Tunnel ou En intersection). Les catégories « Terrain/chemin Privé » et « Centre commercial » n'ont pas été retenues pour alimenter OSC²AR;
- Positionnement (par exemple « Accotement » ou « Îlot/terre-plein »);
- Configuration de la route (par exemple « Sens unique » ou « Deux sens, une voie par direction »);
- Type de zone de travaux, lorsqu'applicable;
- Condition météorologique lors de l'accident (par exemple « Brouillard » ou « Verglas »);
- Latitude et longitude de l'accident.

2.3.4 Qualité de la géolocalisation et de l'information temporelle

La localisation des accidents est réalisée par le Ministère et consiste en des coordonnées géographiques précises (Figure 2-1). Une incertitude sur la position des données est cependant présente puisque la géolocalisation est effectuée avec les données textuelles des rapports d'accident.

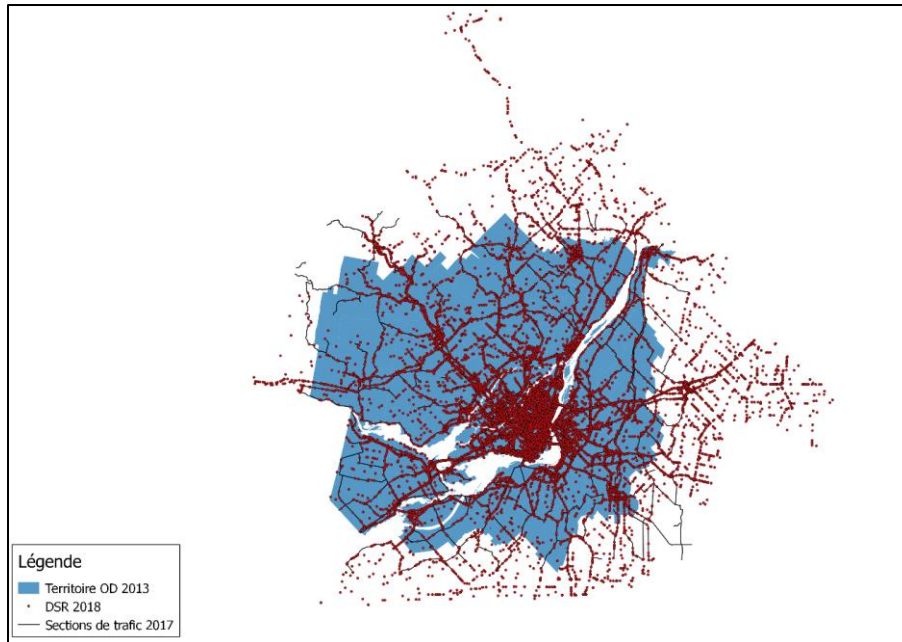


Figure 2-1. Carte des données du système DSR pour l'année 2018

2.3.5 Défis liés à l'usage

Une intégration des données du système DSR dans la plate-forme OSC²AR aurait impliqué d'associer les données au réseau d'Adresse Québec. Ces données n'ont pas été intégrées dans la plate-forme OSC²AR.

2.4 Système d'information sur la circulation routière (CIR)

2.4.1 Description et contribution

Les comptages CIR sont des fichiers qui comprennent les données géolocalisées de comptages sur le réseau routier du Ministère. Ces données permettent d'estimer, pour certains tronçons, les débits de circulation. Il ne s'agit pas de données exhaustives puisqu'elles ne couvrent qu'un sous-ensemble du réseau d'intérêt, mais témoignent néanmoins de l'utilisation du réseau lorsque disponibles. Les données du système CIR ont été intégrées dans le schéma fonctionnel de la plateforme OSC2AR, comme montré au chapitre 8.

2.4.2 Liste des fichiers reçus

Tableau 2-3. Liste des fichiers reçus en lien avec les comptages CIR

Nom	Type	Description	Nombre d'enregistrements (si applicable)
sections_trafic_mtl_2017	ESRI shapefile	Sections de trafic de la région de Montréal en 2017, avec identifiant RTSS de début et de fin	3 010
sections_trafic_prov_2017	ESRI shapefile	Sections de trafic pour l'ensemble du Québec en 2017, avec identifiant RTSS de début et de fin	8 315
comptages_globaux_mtl_2013	ESRI shapefile	Données de comptages CIR pour l'année 2013	2 266 923
comptages_globaux_mtl_2014	ESRI shapefile	Données de comptages CIR pour l'année 2014	2 337 174
comptages_globaux_mtl_2015	ESRI shapefile	Données de comptages CIR pour l'année 2015	2 595 165
comptages_globaux_mtl_2016	ESRI shapefile	Données de comptages CIR pour l'année 2016	3 036 280
comptages_globaux_mtl_2017	Texte délimité (csv)	Données de comptages CIR pour l'année 2017	3 423 856

2.4.3 Champs disponibles pour chaque enregistrement

Les champs suivants sont disponibles pour chaque enregistrement :

- Date du comptage;
- Jour férié (1/0);
- Jour de la semaine (0 - dimanche à 6 – samedi);
- Heure du comptage;
- Section de circulation du comptage;
- Code de sens (D/I);
- Comptage global.

2.4.4 Qualité de la géolocalisation et de l'information temporelle

La granularité des comptages est à l'heure dans les données qui ont été transmises et ce, pour chaque direction des segments du réseau routier, qui sont aussi appelés sections de

trafic (Figure 2-2). Les sections de trafic sont de longueur variable (de quelques dizaines de mètres à plus de 20 kilomètres).

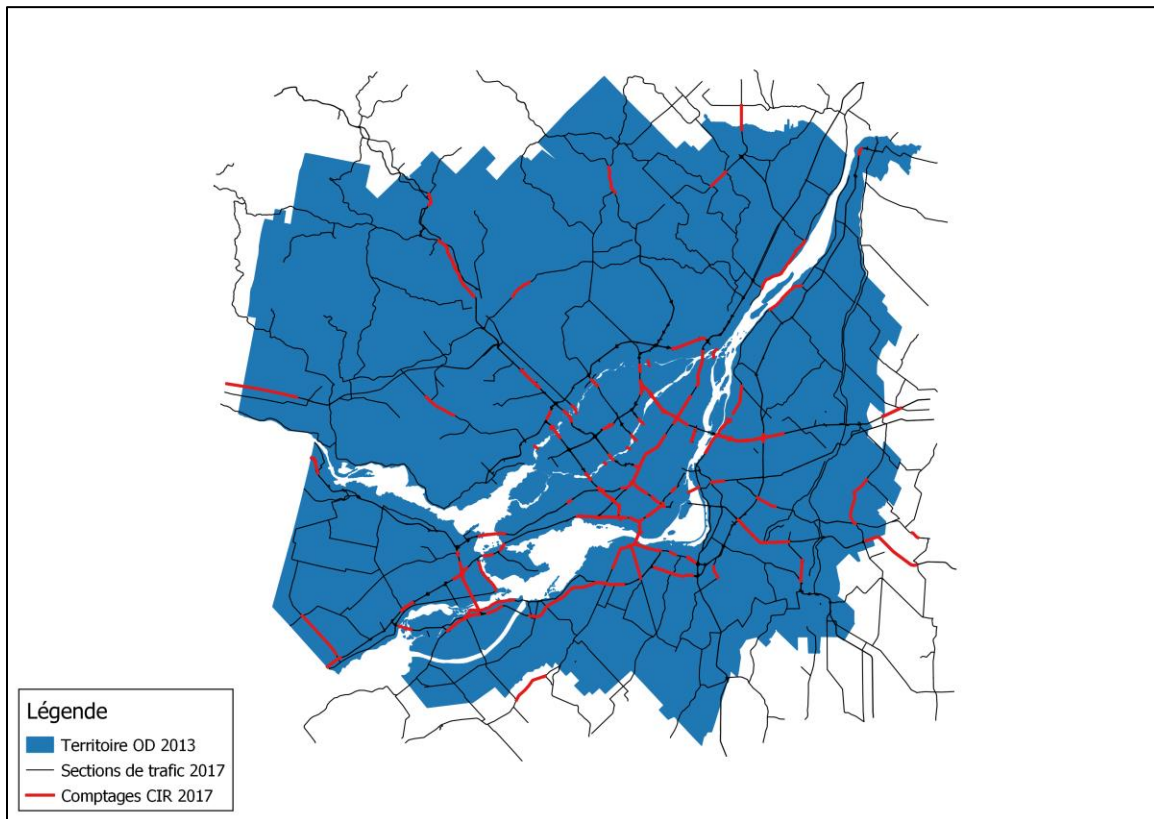


Figure 2-2. Carte des comptages CIR l'année 2017

La couverture du système CIR a été superposée aux segments routiers du précédent projet de recherche et les résultats sont présentés à la Figure 2-3. Les comptages par section de trafic sont calculés à partir d'une ou plusieurs stations de comptage. Les autoroutes 13, 15, 20, 25, 40, 440 et 640 sont celles avec les plus hauts taux de couverture du système, soit plus de 80 %.

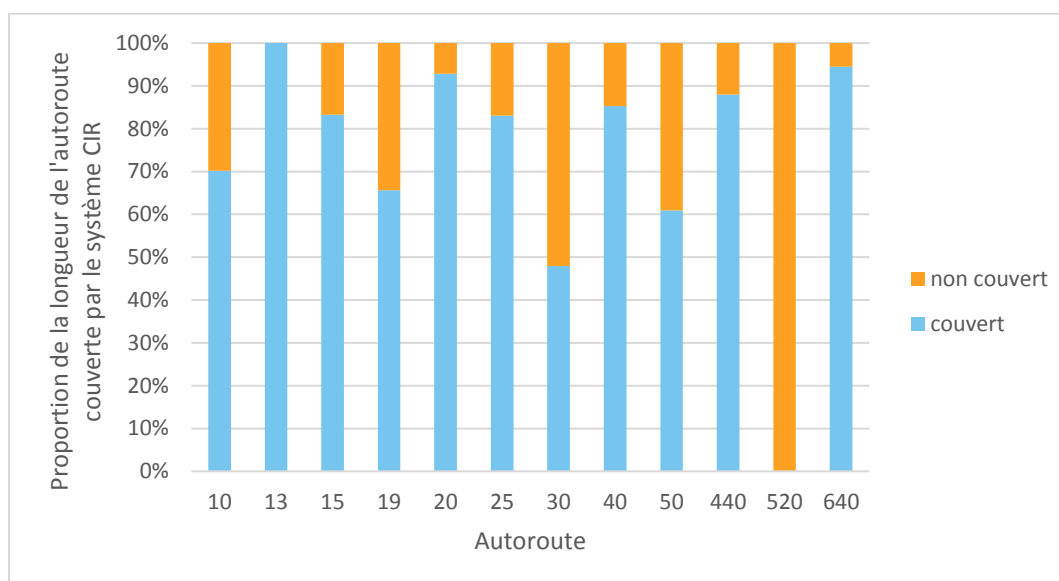


Figure 2-3. Couverture du système CIR pour l'année 2017 sur les segments autoroutiers du territoire de l'enquête OD (Origine-Destination)

2.4.5 Défis liés à l'usage

Une intégration des données du système CIR a été faite avec le réseau routier d'Adresse Québec, et ce même si la couverture spatiale des données n'est pas complète sur l'ensemble du réseau OSC²AR. Une autre problématique était que certaines sections CIR sont extrêmement longues (plus de 20 kilomètres) ce qui signifie qu'une section de comptage CIR a pu être associée à plusieurs segments du réseau OSC²AR.

2.5 SGE-Interventions

2.5.1 Description et contribution

Le système SGE-Intervention est un outil de gestion des demandes d'intervention sur le réseau du Ministère. Ces données n'ont pas été intégrées dans la plateforme OSC²AR en raison des défis liés à leur usage (voir la section 2.5.5).

2.5.2 Liste des fichiers reçus

La liste des fichiers reçus est présentée au Tableau 2-4. Il existe quatre types de fichiers :

- Un fichier de type « polyligne » : lorsque le géocodage d'une intervention est effectué avec succès, cette intervention se retrouve dans ce fichier;
- Un fichier de type « trajet » : lorsque le géocodage d'une intervention a échoué, mais que les coordonnées de début et de fin de l'intervention sont connues, cette intervention se retrouvera dans ce fichier. L'échec du géocodage peut être causé par des segments d'interventions qui ne sont pas continus;
- Un fichier de type « pts_deb » : lorsque le géocodage d'une intervention a échoué et que l'intervention contient une coordonnée de début, mais pas de coordonnée de fin, cette intervention se retrouvera dans ce fichier;

- Un fichier de type « pts_fin » : lorsque le géocodage d'une intervention a échoué et que l'intervention contient une coordonnée de fin, mais pas de coordonnée de début, cette intervention se retrouvera dans ce fichier.

Tableau 2-4. Liste des fichiers reçus en lien avec le système SGE-Interventions

Nom	Type	Description	Nombre d'enregistrements (si applicable)
SGE_2013_CS_OD2013_polyligne	MapInfo (.TAB)	Polylignes annuels pour l'année 2013	10 959
SGE2013_trajet_CS_OD2013	Texte délimité (csv)	Points Trajets de début et de fin pour l'année 2013	4 664
SGE_2014_CS_OD2013_polyligne	MapInfo (.TAB)	Polylignes annuels pour l'année 2014	17 343
SGE_2014_CS_OD2013_trajet	Texte délimité (csv)	Points Trajets de début et de fin pour l'année 2014	4 917
SGE_2014_CS_OD2013_pts_deb	ESRI shapefile	Points uniques de début pour l'année 2014	155
SGE_2014_CS_OD2013_pts_fin	ESRI shapefile	Points uniques de fin pour l'année 2014	225
SGE_2015_CS_OD2013_polyligne	MapInfo (.TAB)	Polylignes annuels pour l'année 2015	26 618
SGE_2015_CS_OD2013_trajet	Texte délimité (csv)	Points Trajets de début et de fin pour l'année 2015	5 318
SGE_2016_CS_OD2013_polyligne	MapInfo (.TAB)	Polylignes annuels pour l'année 2016	26 067
SGE2016_trajet_CS_OD2013	Texte délimité (csv)	Points Trajets de début et de fin pour l'année 2016	3 501
2018-1-SGE_inter (ce fichier est un sous-ensemble du fichier Polylignes_globaux_2018)	ESRI shapefile	Polylignes annuels pour l'année 2018 (partiel)	8 025
Polylignes_globaux_2017	ESRI shapefile	Polylignes annuels pour l'année 2017	37 169
Polylignes_globaux_2018	ESRI shapefile	Polylignes annuels pour l'année 2018	50 118
2018_Trajet_pts_deb_fin_final_2019-03-28	Texte délimité (csv)	Points Trajets de début et de fin pour l'année 2018	10 346
2018J_point_deb_unique	ESRI shapefile	Points uniques de début pour l'année 2018	463
2018J_point_fin_unique	ESRI shapefile	Points uniques de fin pour l'année 2018	460
OSC²AR_SGE-Interventions_Identification-donnees-extraites version 1.2 (MTQ, 2019e)	PDF	Identification des données pour alimenter l'outil OSC²AR - Système SGE-Interventions – juin 2019	-

2.5.3 Champs disponibles pour chaque enregistrement

Les champs suivants sont disponibles pour chaque enregistrement :

- Statut de l'intervention (« Approuvée » ou « Terminée »);
- Type de durée (« Longue durée », « Par périodes », « Variables » ou « Courte durée (24 hrs et moins »);
- Dates de début et de fin de l'entrave (« Complète », « Partielle », « Aucune (accotement) », « Mobile » ou « TTCD » pour Travaux de très courte durée de 15 minutes ou moins);
- Direction(s) de route dans lesquelles l'entrave peut se dérouler;
- Limite de vitesse lors de l'entrave;
- Nombre de voies disponibles lors de l'entrave;
- Nombre total de voies sans entrave;
- Voie(s) touchée(s) par l'entrave;
- RTSS, chaînage et descriptif du repère du point de début de l'entrave;
- RTSS, chaînage et descriptif du repère du point de fin de l'entrave;
- Observation applicable (« Aucune condition », « Condition(s) applicable(s) » ou « Route fermée »);
- Nom de la condition de circulation, sous forme binaire (1/0) : « Rétrécissement », « Feux », « Véhicule escorte », « Alternance », « Signaleurs », « Risque de congestion », « À contresens », « Véhicule accompagnement », « Véhicule de protection ».

2.5.4 Qualité de la géolocalisation et de l'information temporelle

La Figure 2-4 montre les positions des interventions sur une carte du territoire de l'enquête OD. La principale limitation des données de ce système est qu'il est impossible de savoir si les interventions ont bel et bien eu lieu. De plus, si une intervention a eu lieu, il est impossible de savoir si l'entrave a eu lieu aux heures prévues. Néanmoins, cette information peut être utile pour expliquer les variations des conditions de circulation.

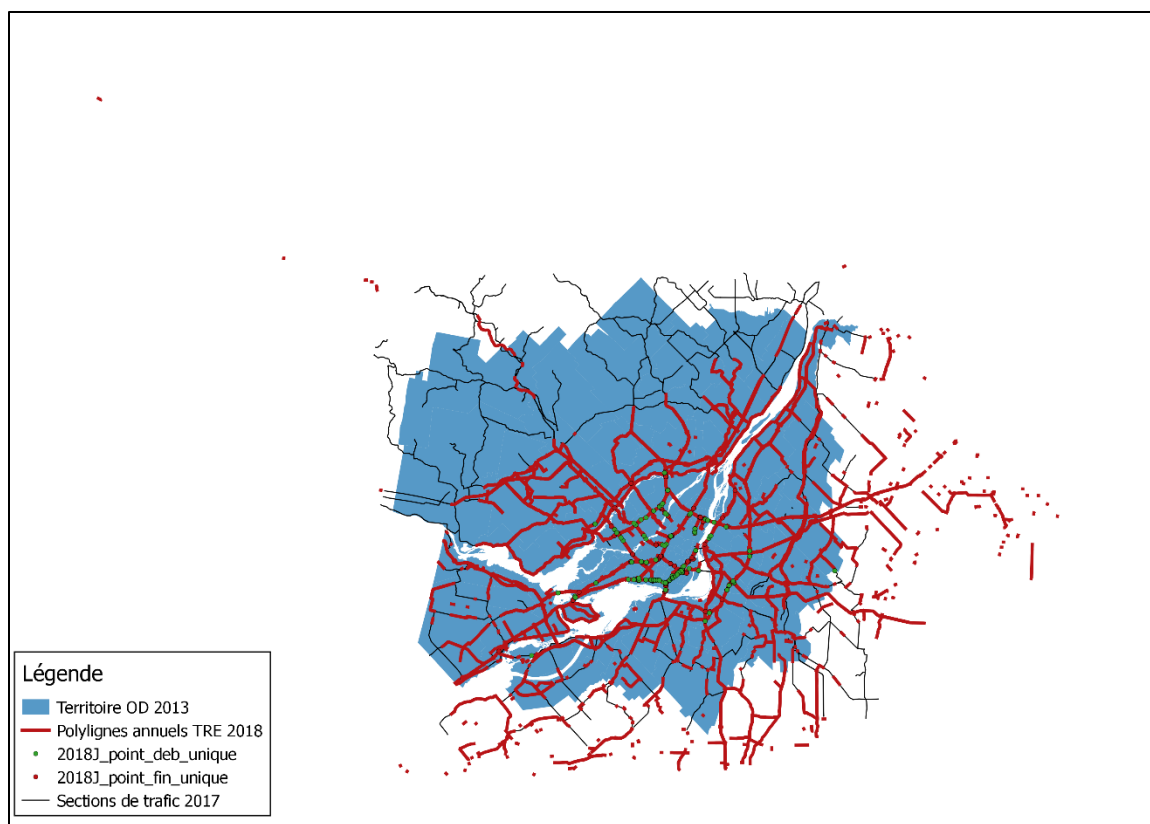


Figure 2-4. Carte des données du système SGE-Interventions pour l'année 2018

La Figure 2-5 montre la distribution des longueurs des interventions du système SGE-Interventions pour l'année 2018, pour les interventions dont le géocodage a été effectué avec succès. La majorité des interventions sont sur une longueur de moins de 2 kilomètres et moins de 6 % des interventions sont sur une longueur de plus de 20 kilomètres. En ce qui concerne les durées des interventions, montrées sur la Figure 2-6, celles-ci durent en majorité entre 5 et 8 heures, alors que moins de 3 % des interventions durent plus de 24 heures.

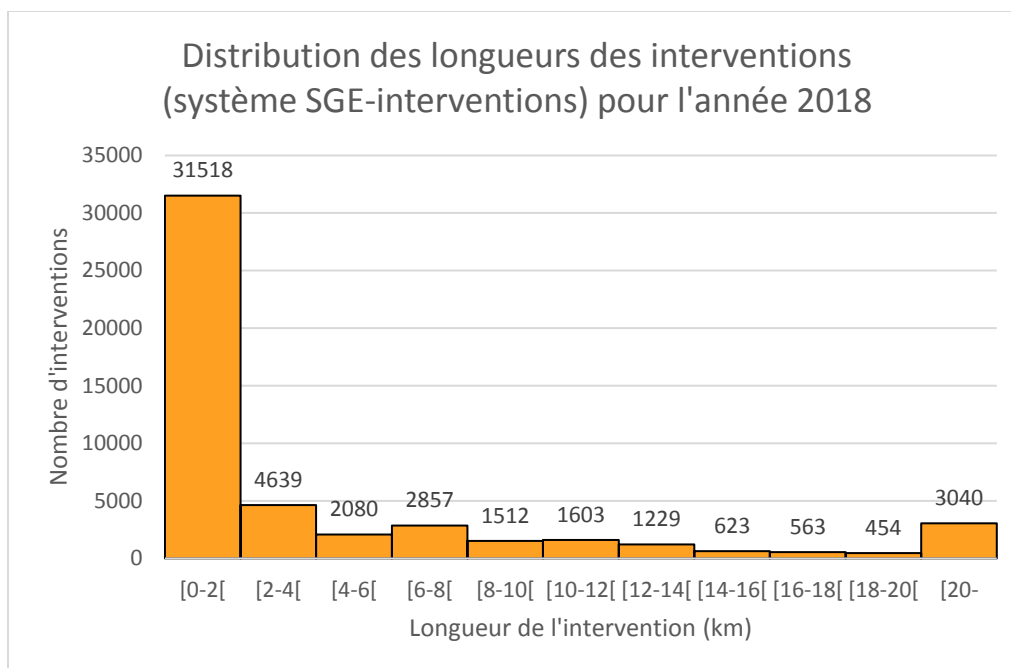


Figure 2-5. Distribution des longueurs des interventions du système SGE-Interventions pour l'année 2018

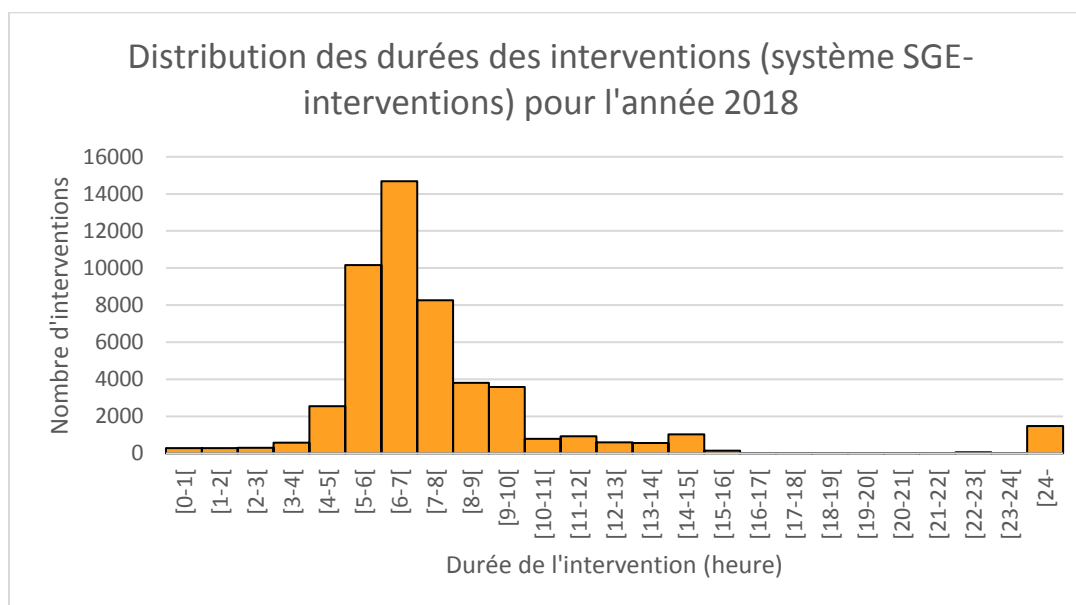


Figure 2-6. Distribution des durées des interventions du système SGE-Interventions pour l'année 2018

La Figure 2-7 montre quant à elle la distribution des heures de début et de fin des interventions qui se sont déroulées sur une même journée en 2018, de même que le nombre d'interventions actives au moins partiellement pour chaque heure de la journée. Entre 8h00 et 13h00, ce sont plus de 89 % des interventions qui sont actives.

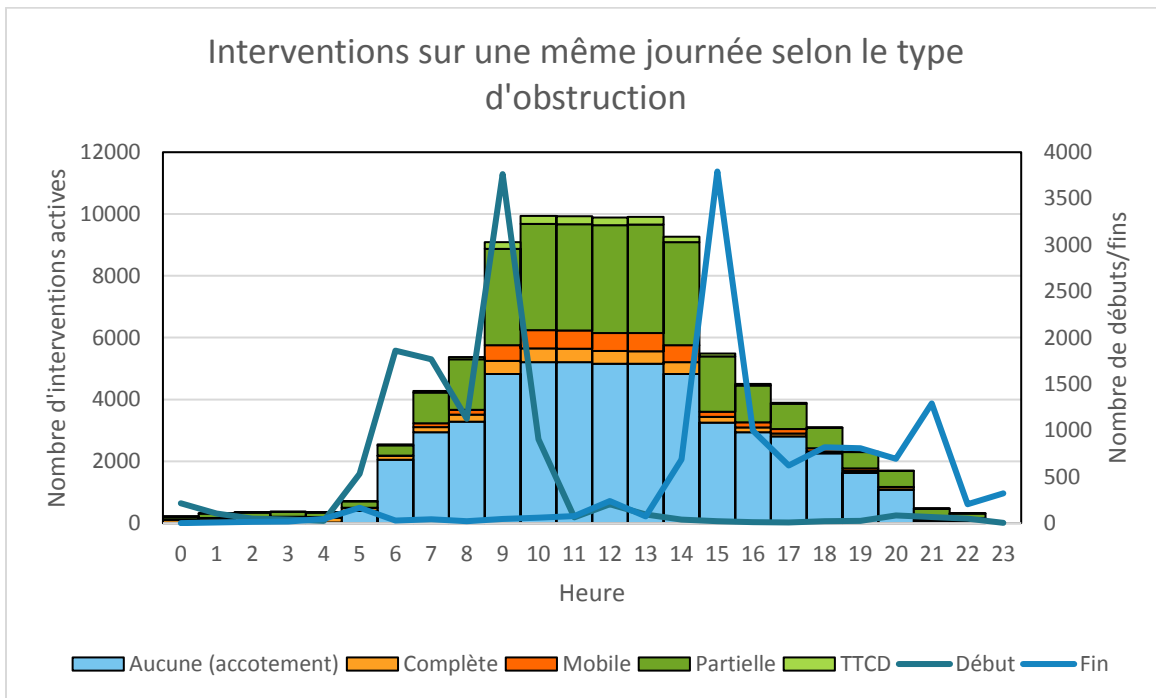


Figure 2-7. Distribution des interventions qui se sont déroulées sur une même journée en 2018 selon le type d'obstruction

2.5.5 Défis liés à l'usage

Une problématique liée à l'intégration de ces données en continu est qu'elles ne sont pas géocodées. Un géocodage en lot doit donc être effectué. Le taux de succès de l'outil de géocodage est supérieur à 93 % sur les données provenant des extractions originales (MTQ, 2019e). Aussi, une intégration des données de SGE-Intervention aurait impliqué de les associer au réseau routier d'Adresse Québec. Pour toutes ces raisons, les données du système SGE-Interventions n'ont pas été intégrées dans la plateforme OSC²AR.

2.6 État des routes (ERT) et Conditions routières hivernales (CRH)

2.6.1 Description et contribution

Le système CRH a remplacé le système ERT à partir de la saison 2015-2016. Ces systèmes permettent la collecte et le traitement des données de conditions routières hivernales sur le réseau routier supérieur du Ministère entre les mois d'octobre et d'avril inclusivement chaque année. Les données du système CRH ont été intégrées dans le schéma fonctionnel de la plateforme OSC²AR, comme montré au chapitre 8. Ces données ont servi pour les analyses croisées. En ce qui concerne les données du système ERT, comme la plage de couverture temporelle de celles-ci est antérieure à celle des données du registre des taxis, les données du système ERT n'ont pas été intégrées dans le schéma fonctionnel de la plateforme OSC²AR.

2.6.2 Liste des fichiers reçus

Tableau 2-5. Liste des fichiers reçus en lien avec les systèmes ERT et CRH

Nom	Type	Description	Nombre d'enregistrements (si applicable)
ERT_2012_2013_CS_OD2013_polyligne	ESRI shapefile	Géométrie des sections du système ERT pour la saison 2012-2013	82
ERT_2013_2014_CS_OD2013_polyligne	ESRI shapefile	Géométrie des sections du système ERT pour la saison 2013-2014	86
ERT_2014_2015_CS_OD2013_polyligne	ESRI shapefile	Géométrie des sections du système ERT pour la saison 2014-2015	90
Observations_ERT_saison 2012-2013_résultats_CS_OD2013	Texte délimité (csv)	Observations des conditions routières hivernales pour la saison 2012-2013	19 002
Observations_ERT_saison 2013-2014_résultats_CS_OD2013	Texte délimité (csv)	Observations des conditions routières hivernales pour la saison 2013-2014	22 760
Observations_ERT_saison 2014-2015_résultats_CS_OD2013	Texte délimité (csv)	Observations des conditions routières hivernales pour la saison 2014-2015	36 705
CRH_2015_2016_CS_OD2013_polyligne	ESRI shapefile	Géométrie des sections du système CRH pour la saison 2015-2016	92
CRH_2016_2017_CS_OD2013_polyligne	ESRI shapefile	Géométrie des sections du système CRH pour la saison 2016-2017	93
CRH_2017_2018_CS_OD2013_polyligne	ESRI shapefile	Géométrie des sections du système CRH pour la saison 2017-2018	93
CRH_2018_2019_CS_OD2013_polyligne	ESRI shapefile	Géométrie des sections du système CRH pour la saison 2018-2019	93
Observations_CRH_2015_2016_CS_OD2013	Texte délimité (csv)	Observations des conditions routières hivernales pour la saison 2015-2016	35 083
Observations_CRH_2016_2017_CS_OD2013	Texte délimité (csv)	Observations des conditions routières hivernales pour la saison 2016-2017	35 791
Observations_CRH_2017_2018_CS_OD2013	Texte délimité (csv)	Observations des conditions routières	41 155

		hivernales pour la saison 2017-2018	
Observations_CRH_2018_2019_CS_OD2013	Texte délimité (csv)	Observations des conditions routières hivernales pour la saison 2018-2019	40 961
cond-rout-hiv-resume-tech	PDF	Conditions routières hivernales - Résumé technique - 2014	-
OSC ² AR_Système_ERT et Conditions routières hivernales_Identification-donnees-extraites version 1.0 (MTQ, 2019b)	PDF	Identification des données pour alimenter l'outil OSC ² AR Système d'information sur les conditions routières et Conditions routières hivernales	-

2.6.3 Champs disponibles pour chaque enregistrement

Les champs suivants sont disponibles pour chaque enregistrement du système CRH :

- Numéro du segment routier du système CRH;
- Code de saison du système CRH;
- Date et heure de la condition routière observée;
- État de la chaussée (« Couverte de neige durcie », « Dégagée et mouillée », « Enneigée », « Glacée », « Partiellement couverte de neige durcie », « Partiellement enneigée », ou « Partiellement glacée »);
- Condition de la visibilité observée (« Bonne », « Nulle » ou « Réduite »);
- Indicateur de lame de neige (« Oui » ou « Non »).

2.6.4 Qualité de la géolocalisation et de l'information temporelle

Les observations sont associées à un segment ERT/CRH. Ces segments sont assez longs, soit entre 500 mètres et 46 kilomètres. La Figure 2-8 montre la distribution des longueurs des segments CRH pour la saison 2018-2019. La majorité des segments ont une longueur entre 5 kilomètres et 20 kilomètres. La Figure 2-9, quant à elle, montre la localisation des segments CRH pour la saison 2018-2019. La grande majorité des segments autoroutiers du territoire de l'enquête OD de 2013 sont couverts par le système CRH.

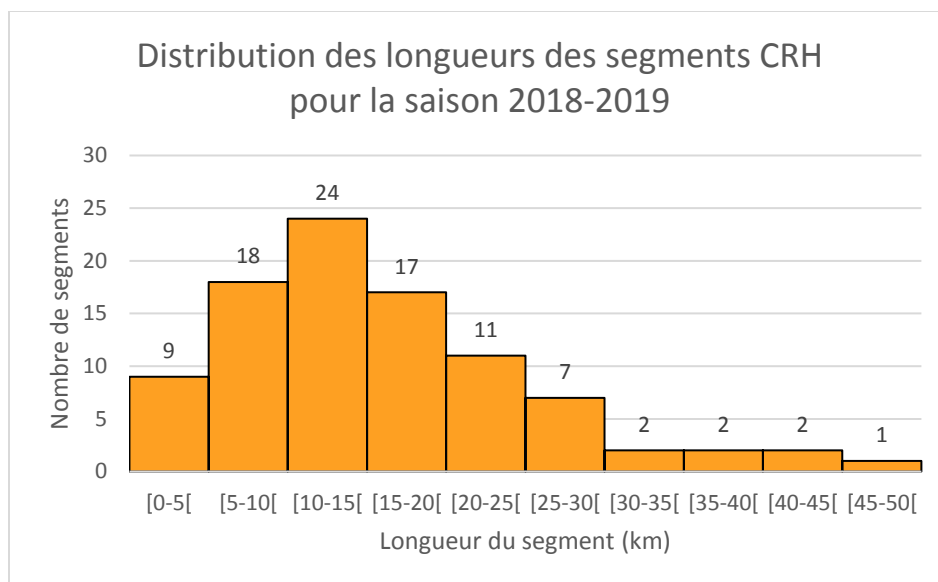


Figure 2-8. Distribution des longueurs des segments CRH pour la saison 2018-2019

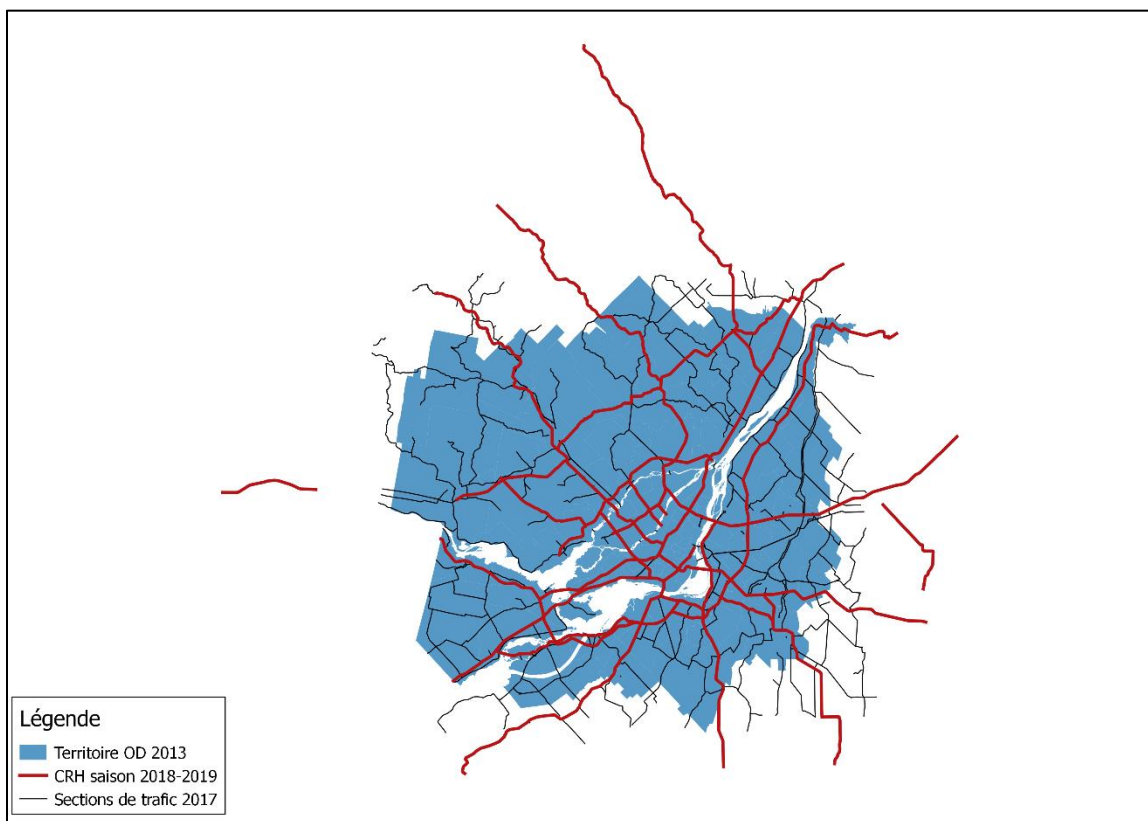


Figure 2-9. Carte des données du système CRH pour la saison 2018-2019

La Figure 2-10 montre quant à elle la distribution du nombre d'observations du système CRH par mois de l'année pour les différentes saisons. Les données de ce système sont normalement collectées entre les mois d'octobre et avril inclusivement. Il est à noter que la saison 2016-2017 est absente puisque le fichier de cette saison est problématique puisqu'il semble contenir les données de la saison 2015-2016.

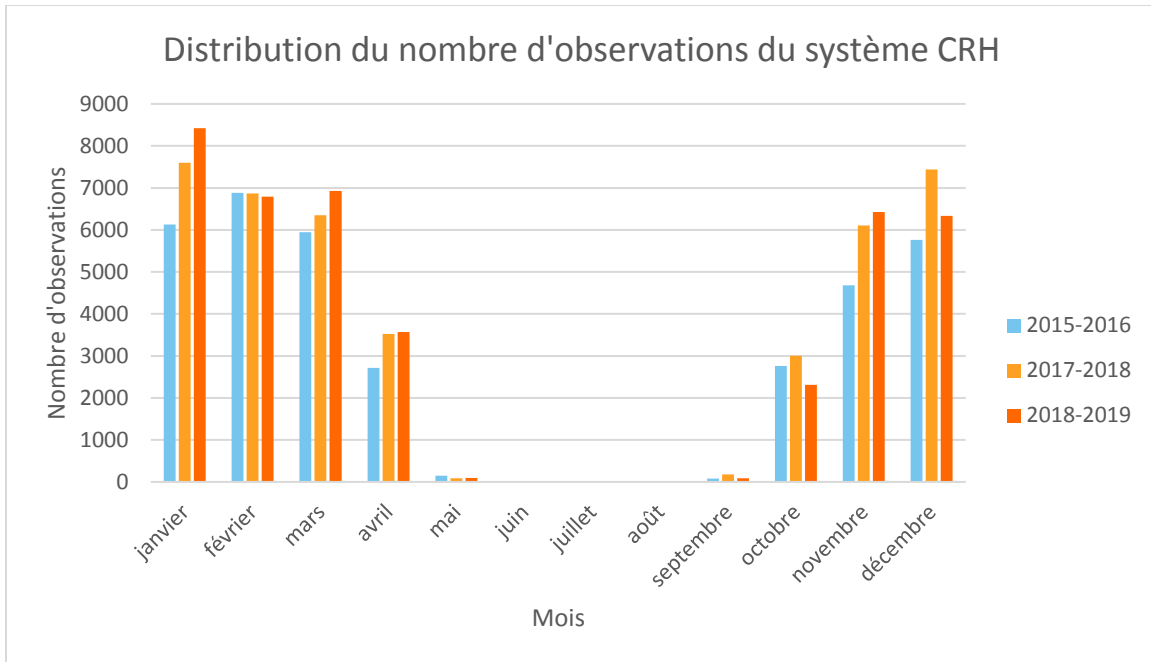


Figure 2-10. Distribution du nombre d'observations du système CRH par mois de l'année et par saison

La couverture du système CRH a été superposée aux segments routiers du précédent projet de recherche et les résultats sont présentés à la Figure 2-11. La seule autoroute non couverte par le système CRH est l'autoroute 520, qui mesure moins de 8 kilomètres. Les autoroutes 10, 19 et 50 sont couvertes à plus de 65 %, alors que les autres autoroutes sont couvertes à 100 % par le système CRH.

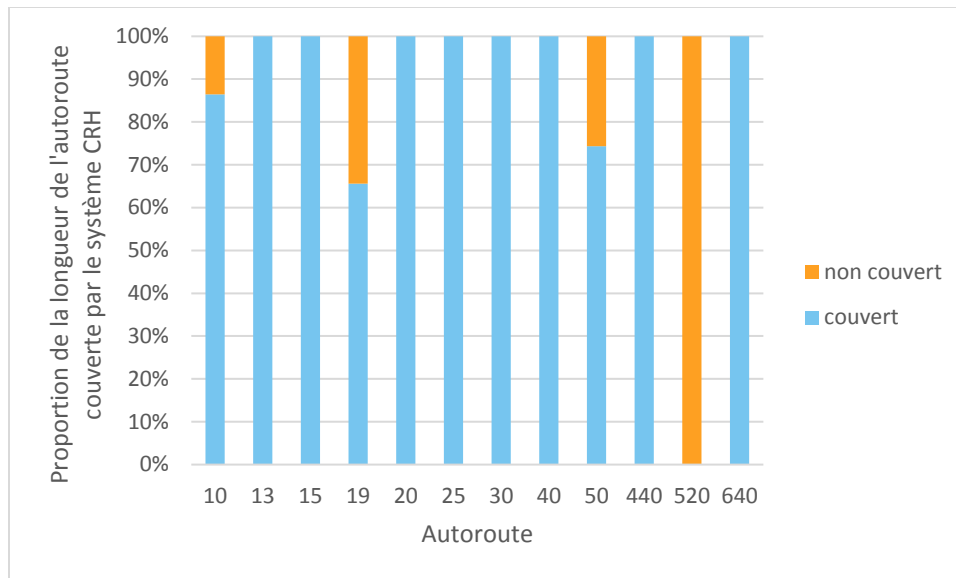


Figure 2-11. Couverture du système CRH pour la saison 2018-2019 sur les segments autoroutiers du territoire de l'enquête OD

2.6.5 Défis liés à l'usage

Une intégration des données du système CRH a été faite avec le réseau routier d'Adresse Québec, et ce même si la couverture spatiale des données n'est pas complète et ne couvre pas l'ensemble du réseau OSC²AR. Une autre problématique était que certaines sections CRH sont extrêmement longues (plusieurs dizaines de kilomètres), ce qui signifie qu'une section CRH a pu être associée à plusieurs segments du réseau OSC²AR.

2.7 Système de monitoring routier (SMG)

2.7.1 Description et contribution

Le système SMG est un outil qui permet d'enregistrer des anomalies et des événements qui sont observés par des patrouilleurs routiers sur le réseau du Ministère. Ces données ont été intégrées à la plateforme OSC²AR en étant utilisées comme données explicatives des impacts des anomalies et des événements sur les conditions de circulation.

2.7.2 Champs disponibles pour chaque enregistrement

Les champs suivants sont disponibles pour chaque enregistrement du système SMG:

- Type d'anomalie/d'événement (par exemple « Éclairage » ou « Drainage ») ou d'événement (par exemple « Animaux » ou « Congestion »);
- RTSS et chaînage où l'anomalie/l'événement a eu lieu;
- Latitude et Longitude enregistrée à bord du véhicule du patrouilleur;
- Date de signalement de l'anomalie/l'événement;
- Type de fermeture (« Aucune », « Complète » ou « Partielle »);
- Lieu sécurisé (Vrai ou Faux);
- Données d'observation indiquant si l'anomalie/l'événement cause de la congestion (Vrai ou Faux);

- Description des anomalies/événements (voir Type d'anomalie/d'événement);
- Température extérieure et de la surface de la chaussée, seulement disponible lorsque le véhicule de patrouille dispose d'une station météo mobile.

2.7.3 Liste des fichiers reçus

Tableau 2-6. Liste des fichiers reçus en lien avec le SMG

Nom	Type	Description	Nombre d'enregistrements (si applicable)
SMG_2013_global	ESRI shapefile	Données du SMG pour l'année 2013	36 734
SMG_2014_global	ESRI shapefile	Données du SMG pour l'année 2014	30 289
SMG_2015_global	ESRI shapefile	Données du SMG pour l'année 2015	29 847
SMG_2016_global	ESRI shapefile	Données du SMG pour l'année 2016	26 863
SMG_2017_global	ESRI shapefile	Données du SMG pour l'année 2017	29 348
SMG_2018_global	ESRI shapefile	Données du SMG pour l'année 2018	27 167
OSC ² AR_Système_monitoring_routier_Identification-donnees-extraites version 1.0 (MTQ, 2019c)	PDF	Identification des données pour alimenter l'outil OSC ² AR Système Monitoring Routier	-

2.7.4 Qualité de la géolocalisation et de l'information temporelle

La géolocalisation des événements/anomalies consiste en des coordonnées géographiques précises (Figure 2-12). Une incertitude sur la position des données est cependant présente puisque la géolocalisation est faite avec les données des observations des patrouilleurs routiers, ce qui signifie que les patrouilleurs peuvent indiquer leur position avant ou après leur présence sur les lieux de l'événement. La date-heure du relevé est précise à la seconde.

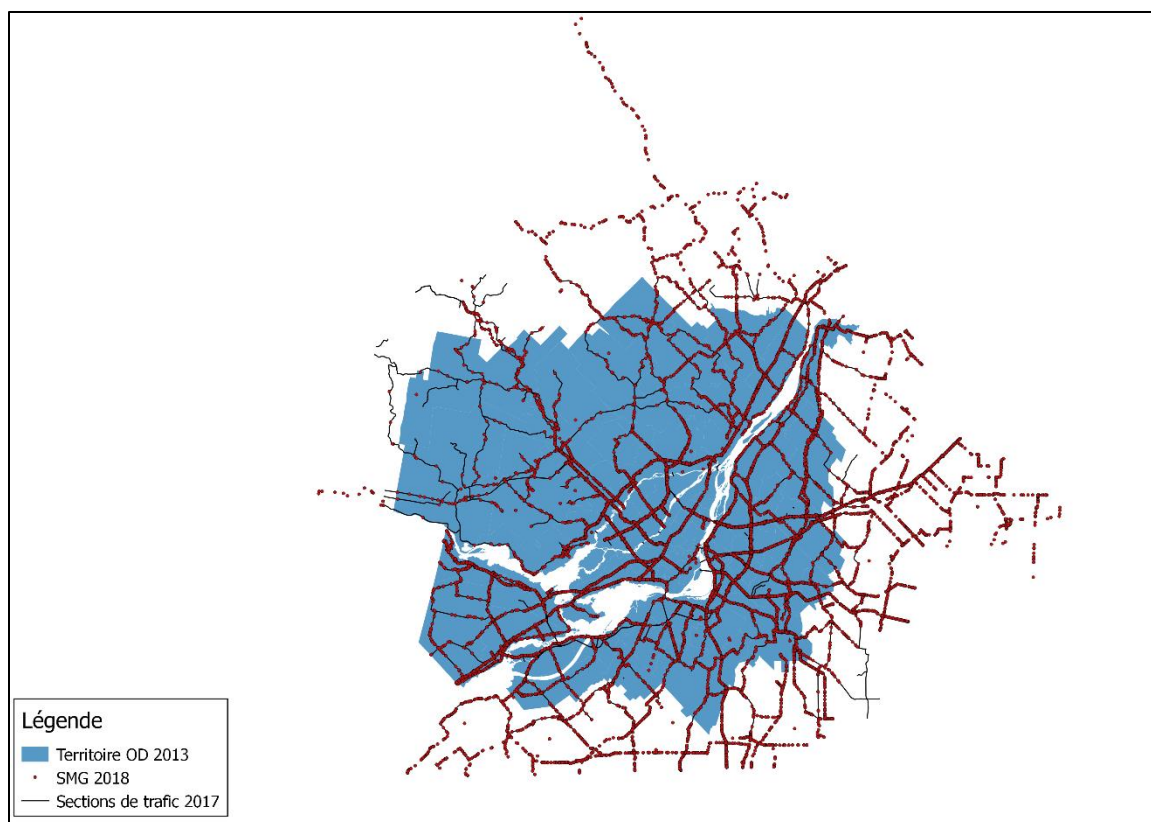


Figure 2-12. Carte des données du SMG pour l'année 2018

2.7.5 Défis liés à l'usage

Une problématique liée à l'intégration de ces données est qu'elles ne sont pas associées à un réseau routier. L'outil de géocodage au réseau routier développé par le Ministère présente certaines limitations de volume de traitement, avec une capacité de traitement limitée à 10 000 occurrences par exécution, alors qu'il y a eu 180 248 observations entre 2013 et 2018 (MTQ, 2019c). Pour cette raison, l'équipe de recherche a décidé de faire elle-même l'association des points du système SMG au réseau d'Adresses Québec.

2.8 Système météo routier (SMR)

Un échantillon des données a été transmis à l'équipe de recherche le 6 décembre 2019.

2.8.1 Description et contribution

Les données du système SMR auraient pu contribuer à la plateforme OSC²AR en étant utilisées comme données explicatives des impacts des conditions météorologiques et des conditions routières, notamment l'état et la température des surfaces. Celles-ci n'ont pas été intégrées à la plateforme OSC²AR en raison des facteurs mentionnés à la section 2.8.5.

2.8.2 Champs disponibles pour chaque enregistrement

Les champs suivants sont disponibles pour chaque enregistrement du système SMR (MRQ, 2019d) :

- Les températures d'air minimale (ta_min) et maximale (ta_max);
- Les données des deux capteurs de chaussée (ext1temp, ext2temp, film_h, roadcondition, surftemp);
- Les données du capteur de vent (dir, sca_spd, windir_smm, winspd_max);
- Les données du capteur de type de précipitation et de visibilité (preciprate, preciptotal, visibility, wcode_pres).

2.8.3 Liste des fichiers reçus

Tableau 2-7. Liste des fichiers reçus en lien avec le SMR

Nom	Type	Description	Nombre d'enregistrements (si applicable)
SMR_201810_timestamp.csv	Texte délimité	Données du SMR pour le mois d'octobre 2018	31 248
OSC ² AR_Metadonnees_SMR_v1.pdf (MTQ, 2019d)	PDF	Identification des données pour alimenter l'outil OSC ² AR Système météo routier (SMR)	-

2.8.4 Qualité de la géolocalisation et de l'information temporelle

Les données du système SMR collectées en temps réel sont agrégées à des intervalles de 10 minutes pour fins de transmission, ce qui devrait être suffisant pour le projet de recherche.

Les données de sept (7) stations météo routières ont été transmises. La position des stations météo routières est présentée grossièrement sur une carte à l'annexe 2 des métadonnées (MTQ2019d). Les coordonnées précises (latitude et longitude) des stations seraient utiles.

La Figure 2-13 montre la distribution de la variable film_h, qui correspond à l'épaisseur de l'eau ou de la glace sur la chaussée en mm. Il est important de mentionner que cette variable est absente pour 27 % des 31 248 observations, également la valeur de 0, qui est incluse dans l'intervalle entre 0 et 0.01 mm, est observé à 6 591 reprises soit un peu plus de 21 % des lectures totales.

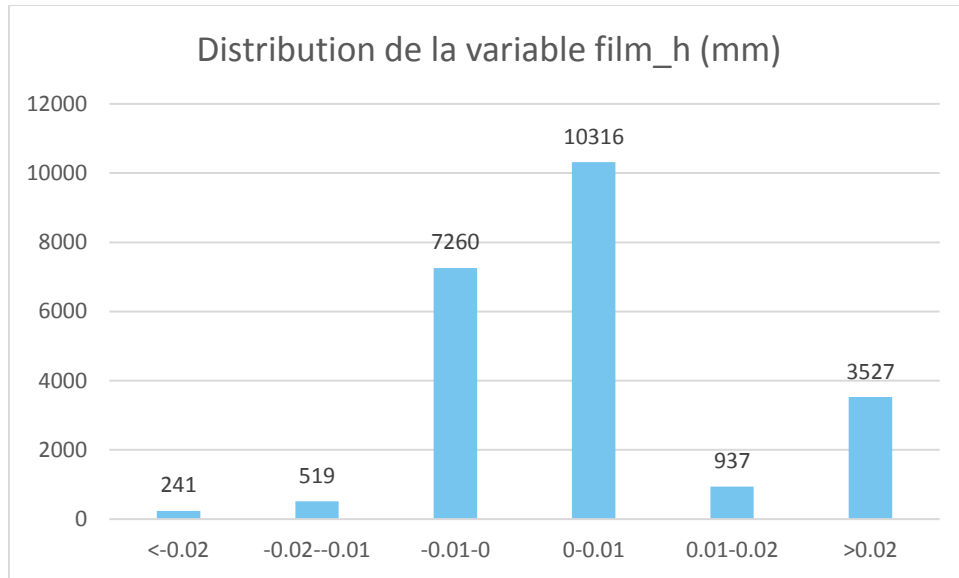


Figure 2-13 Distribution de la variable film_h

Également, le **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** montre la répartition des lectures de la variable roadcondition. Cette variable prend la forme d'un code de 0 à 6, et près des trois quarts des lectures prennent la valeur de 0 (Sèche). Il importe de mentionner que l'échantillon fourni ne contenait des données que pour un mois, celui d'octobre 2018, ce qui explique l'absence de lectures avec la valeur 3 (Glacée) et 5 (Sel résiduel).

roadcondition	Description	Nombre d'occurrences	Pourcentage des occurrences
0	Sèche	22842	73.1%
1	Humide	2799	9.0%
2	Mouillée	796	2.5%
3	Glacée	0	0.0%
5	Sel résiduel	0	0.0%
6	Pluie verglaçante	340	1.1%
-	Vide	4471	14.3%
	Total	31248	100%

2.8.5 Défis liés à l'usage

Le principal défi de l'intégration des données du système SMR à la plateforme OSC²AR concerne la résolution spatiale. En effet, le fait que l'ensemble du réseau routier de la région de Montréal ne contienne que sept stations fait en sorte qu'il aurait été nécessaire de développer des procédures d'interpolation des données afin de les associer aux segments du réseau routier présent dans la plateforme. De plus, l'équipe de recherche n'a eu accès qu'à un échantillon d'un mois de données, l'accès en continu à ces données n'est donc pas certain. Pour ces raisons, les données du système SMR n'ont pas été intégrées à la plateforme OSC²AR.

3 RÉSEAU CIBLE ET CARACTÉRISATION DES SEGMENTS

Cette section définit le réseau cible retenu pour intégration dans la plateforme de consultation. Un travail de délimitation et de caractérisation des segments constituant l'unité principale d'analyse des conditions de circulation a été réalisé en s'appuyant sur différents ensembles de données.

3.1 Définition du vocabulaire du réseau

Le réseau se décompose en une multitude de segments (également nommés tronçons et représentés par des flèches dans l'exemple de la Figure 3-1). L'association de ces segments permet d'obtenir plusieurs niveaux hiérarchiques d'étude :

- L'ensemble des segments possédant la même propriété « référence » désigne un corridor. Dans l'exemple, l'ensemble des flèches de contour noir représente le corridor Est-Ouest.
- L'ensemble des segments possédant la même propriété « variante » désigne un sous-corridor. Dans l'exemple, l'ensemble des flèches de fond vert représente le sous-corridor de direction Nord. Plusieurs variantes peuvent appartenir au même corridor, les segments de ces variantes auront donc tous la même propriété « référence ». Dans l'exemple, les sous-corridors jaune et vert ont la même valeur de référence : B.
- Le plus petit objet d'analyse est le segment. Son identifiant unique peut s'apparenter à la combinaison de sa référence, variante et numéro de séquence (rond numéroté sur la figure).

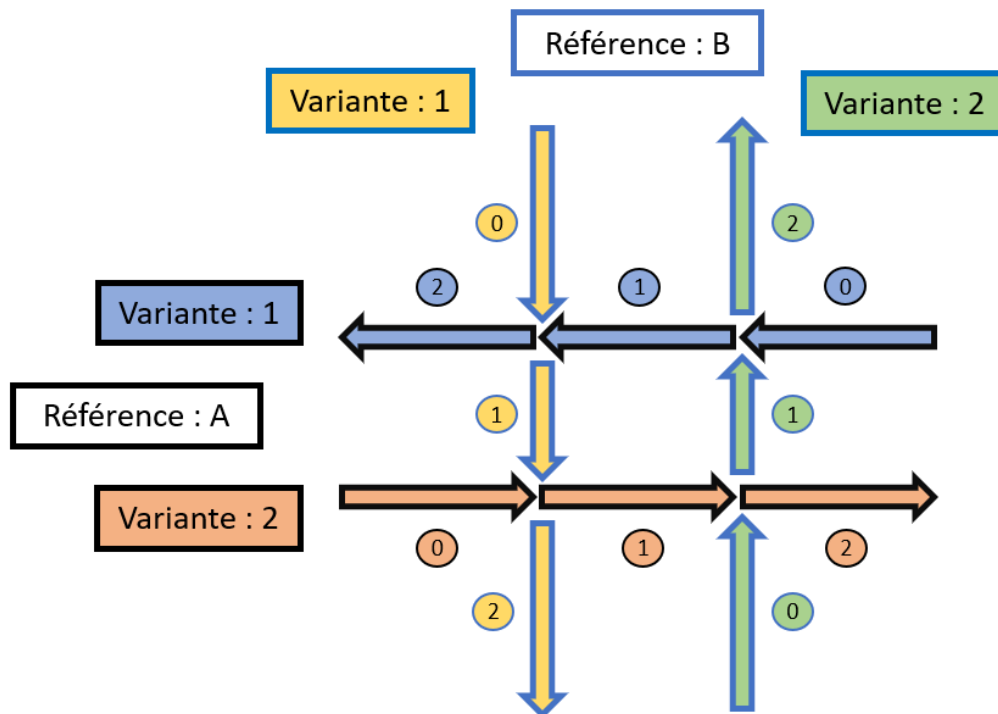


Figure 3-1. Schéma d'un croisement de deux corridors du réseau

3.2 Construction du réseau

L'algorithme étayant la logique du programme Python permettant la construction du réseau est disponible en annexe (Figure 11-3).

Le réseau OSC²AR se base initialement sur la géométrie du réseau d'OpenStreetMap (OSM), à laquelle sont ajoutées diverses informations provenant du Réseau Artériel Métropolitain (RAM) et d'Adresse Québec (AQ). Les tronçons du réseau OSM sont filtrés, séparés, doublés et enfin segmentés afin d'obtenir la géométrie du réseau OSC²AR.

3.2.1 Importation des données

À partir de l'API Overpass, une requête visant à importer uniquement la géométrie nécessaire à la construction du réseau d'OSC²AR est définie sur la base des caractéristiques suivantes:

- Le réseau autoroutier (« motorway », « trunk », « primary » et les liens associés)
- Le réseau artériel (« secondary », « tertiary » et les liens associés)

Puis, les différentes bases de données sont importées dans l'algorithme (Figure 11-4).

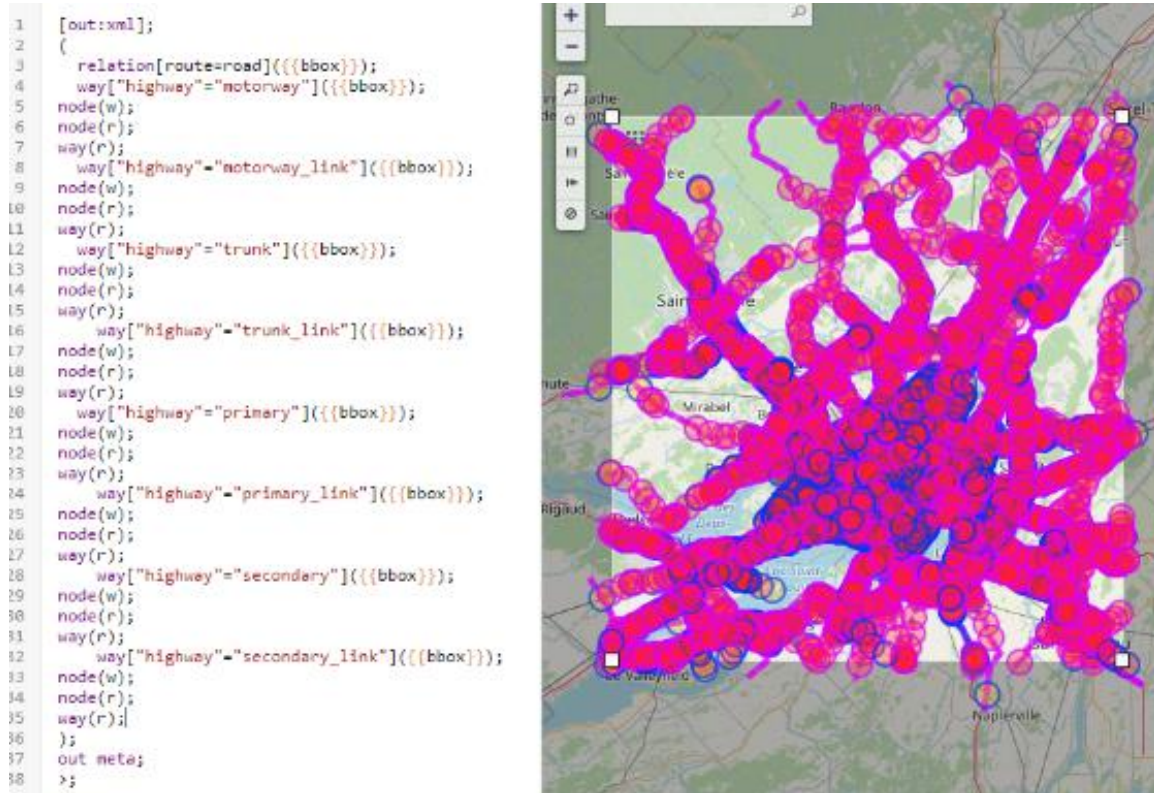


Figure 3-2. Requête sur l'API Overpass turbo

3.2.2 Filtrage de la géométrie

Il s'agit ici de filtrer géographiquement les données OSM (Figure 11-5). La Figure 3-3 montre, en orange, le réseau exporté d'OSM et, en bleu, le RAM. Le réseau artériel d'OSM est filtré grâce à une correspondance géographique avec le RAM. On conservera donc le réseau autoroutier, le réseau artériel filtré ainsi que les routes numérotées. Si des

tronçons se retrouvent isolés, alors ils sont supprimés. Le résultat du filtrage est présenté ci-dessous en noir. De plus, lorsque possible, un attribut de localisation (nom de la ville associée à la voie) a été ajouté afin de ne pas confondre les routes portant le même nom, mais appartenant à des villes différentes.

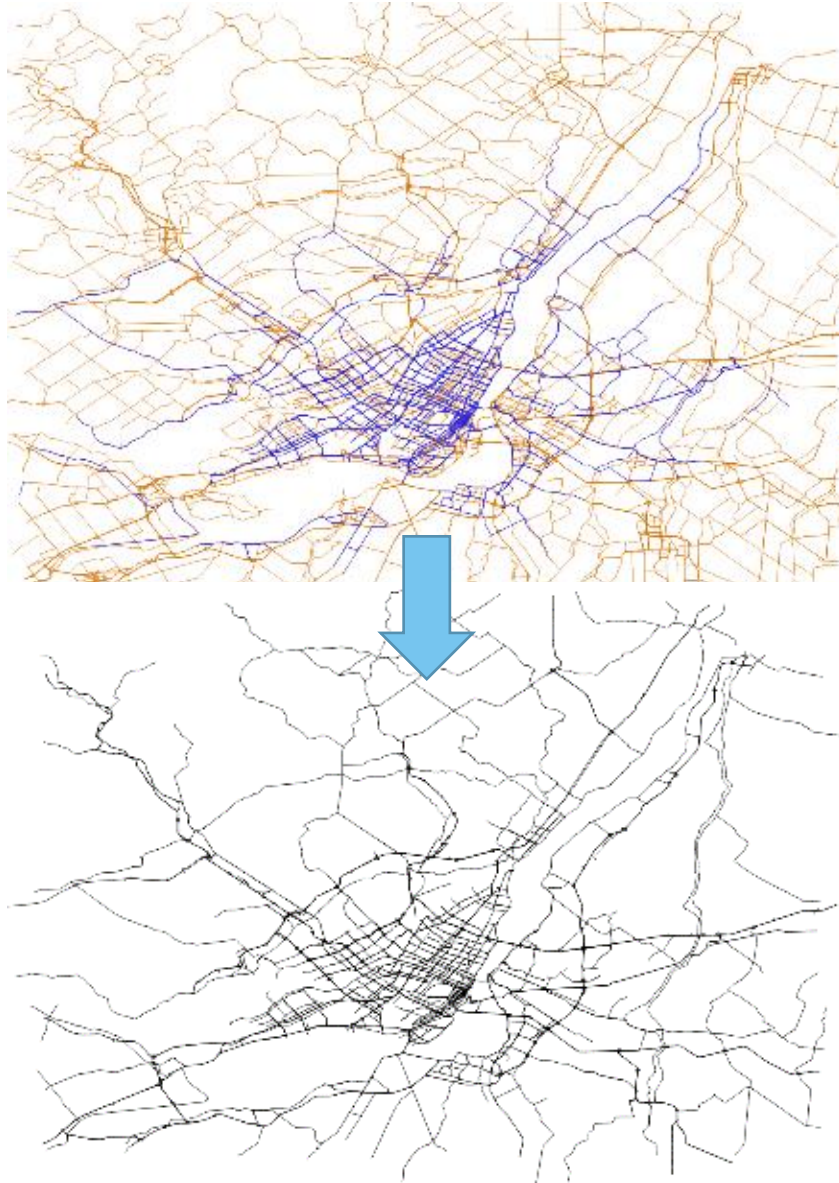


Figure 3-3. Réseau OSM et RAM (haut), résultat de filtrage par correspondance géographique (bas)

3.2.3 Séparation des tronçons

Découper chaque tronçon du réseau à partir de points géographiques précis (Figure 11-6) permet d'obtenir une plus fine granularité des ramifications et de mieux répondre aux objectifs analytiques de la plateforme. Les points de découpage sont récupérés directement sur le réseau OSM en filtrant le type de point. Les types retenus sont :

- Les passages piétons

- Les entrées d'autoroute
- Les sorties d'autoroute
- Les feux de circulation et les arrêts

La Figure 3-4 illustre la stratégie de séparation des tronçons. Dans cet exemple est illustré le cas d'un tronçon de l'autoroute 15 incluant une entrée et une sortie d'autoroute. Le tronçon 1 est ainsi séparé en trois nouveaux tronçons maintenant nommés 1, 2 et 3.

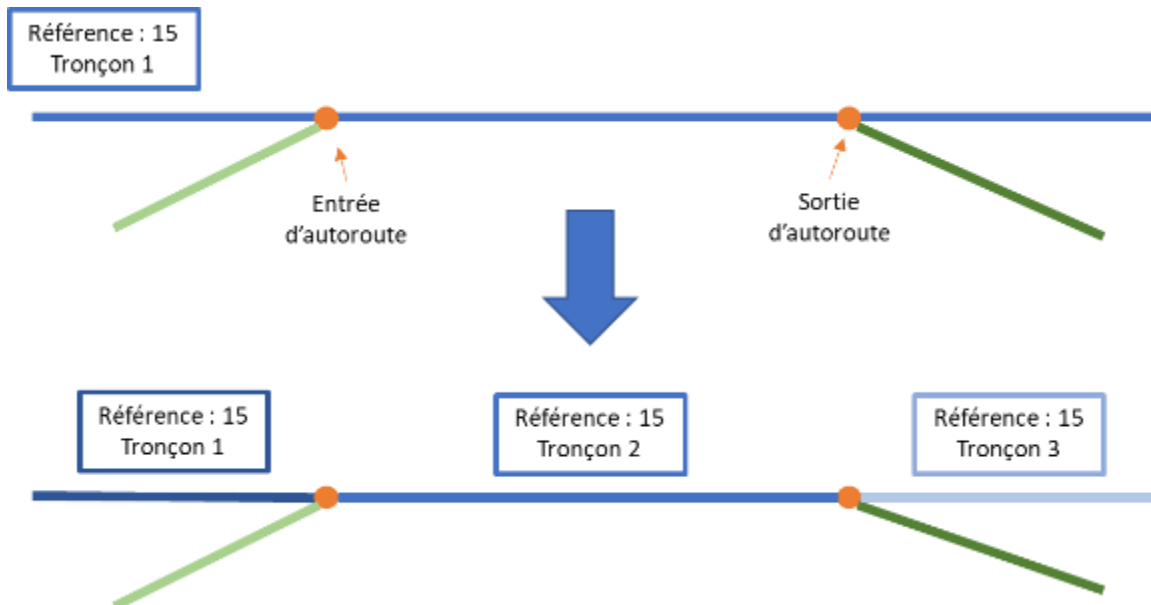


Figure 3-4. Exemple de stratégie de séparation d'un tronçon d'autoroute

3.2.4 Doublage du réseau (création d'un réseau directionnel)

Le réseau OSM n'est pas doublé, c'est-à-dire qu'il n'y a qu'une seule représentation géométrique pour les deux sens de circulation (ce n'est pas un réseau directionnel). Pour des fins pratiques, il a été décidé de doubler le réseau uniquement lorsque requis (Figure 11-7). La Figure 3-5 montre un cas de figure dans lequel il n'est pas nécessaire de doubler le réseau. En effet le tronçon présent entre les voies à sens unique n'a pas d'intérêt à être doublé puisque le reste de la voie doublée n'est pas conservé pour le réseau OSC²AR. Lors de cette manipulation, il est important de changer l'ordre des points qui constituent la polygline du tronçon afin d'en changer le sens. Les routes doublées gardent ainsi leur géométrie initiale (non orientée) générant conséquemment des superpositions de segments au milieu de la route.

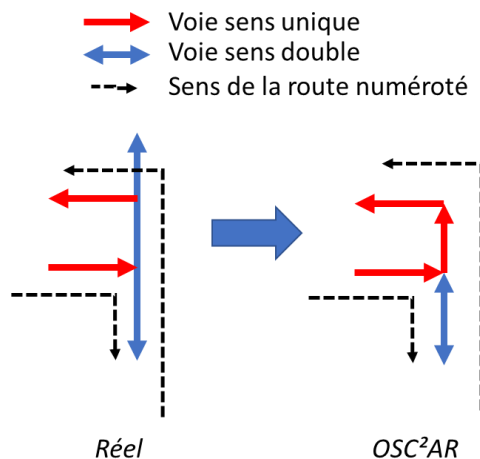


Figure 3-5. Schéma d'exemple dans lequel une route à double sens réel n'est pas doublée sur le réseau OSC²AR

3.2.5 Séquençage du réseau

On ordonne maintenant les tronçons successifs sur chaque variante de route (Figure 11-8). Il s'agit d'une étape indispensable à la performance de l'outil puisque celle-ci permet de définir un ordre précis des tronçons sur les corridors. Les étapes suivantes sont réalisées : regroupement des tronçons par référence (ref), identification des tronçons de début de corridor puis ajout par récurrence des tronçons successifs. Plusieurs tronçons de début de corridor peuvent exister : le séquençage à partir de chacun donnera suite à une nouvelle variante de la référence.

Une variante est donc une manière de différencier des groupes de tronçons continus dans une route (la référence est commune) discontinue. La Figure 3-6 présente six variantes appartenant à deux références différentes :

- L'autoroute 15 qui comporte les variantes 10, 11, 6 et 8
- L'autoroute 15, 40 qui comporte les variantes 0 et 1

Cela permet entre autres un séquençage des tronçons propre à chaque variante, ainsi qu'une sélection plus intuitive de sous-corridors. Il n'y a aucun ordre associé à la valeur de la variante puisqu'il s'agit d'un identifiant.

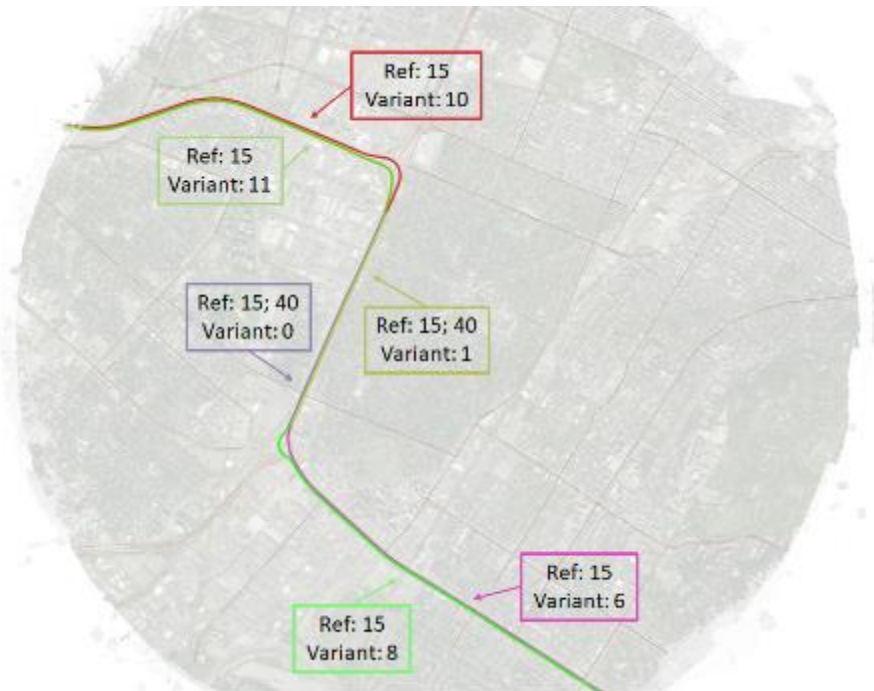


Figure 3-6. Exemple de situation de variante, carte de Montréal centrée sur l'autoroute 40 entre les deux portions de l'autoroute 15

3.2.6 Ajout d'information

Par correspondance géographique entre le réseau AQ et le réseau OSC²AR, on vient ajouter l'information sur le nombre de voies et les limites de vitesse (Figure 11-9). Si aucune valeur n'est fournie par AQ, alors il est défini de conserver les valeurs disponibles dans OSM. Ces informations pourront évoluer à travers le temps.

3.2.7 Segmentation du réseau

Depuis le découpage du réseau, on travaille avec une granulosité très fine, ce qui veut dire une géométrie composée d'un grand nombre de tronçons de petite taille. Ceci va poser un problème dans le stockage des données de vitesses. En effet, on enregistre les vitesses observées toutes les 15 minutes pour chaque tronçon, pour chaque source de données. Dans le pire des cas, c'est plus de 35 000 listes de vitesses par an pour chaque nouveau segment par source de données qui seraient enregistrées. Il devient donc indispensable d'agréger les tronçons qui n'ont pas besoin d'être séparés afin de réduire significativement la mémoire requise pour le stockage de données (Figure 11-10).

Pour parvenir à ce résultat, une liste de règles permettant le regroupement des tronçons est définie. Deux tronçons successifs peuvent donc être réunis si toutes ces règles sont validées :

- Les tronçons ont le même nombre de voies (seulement pour les autoroutes)
- Les tronçons ont la même limite de vitesse
- Les tronçons ont le même type de circulation (sens unique / double sens)
- Les tronçons ont le même type de voie (autoroute / artériel)
- Leur nœud de liaison n'existe pas avec d'autres routes présentes sur le réseau
- Leur nœud de liaison ne possède aucune des caractéristiques suivantes :

- Jonction d'autoroute (« motorway_junction »)
- Céder le passage (« give_way »)
- Arrêt (« stop »)
- Feux de circulation (« traffic_signals »)

La Figure 3-7 présente une situation probable où l'algorithme va réunir les tronçons 2 et 3.

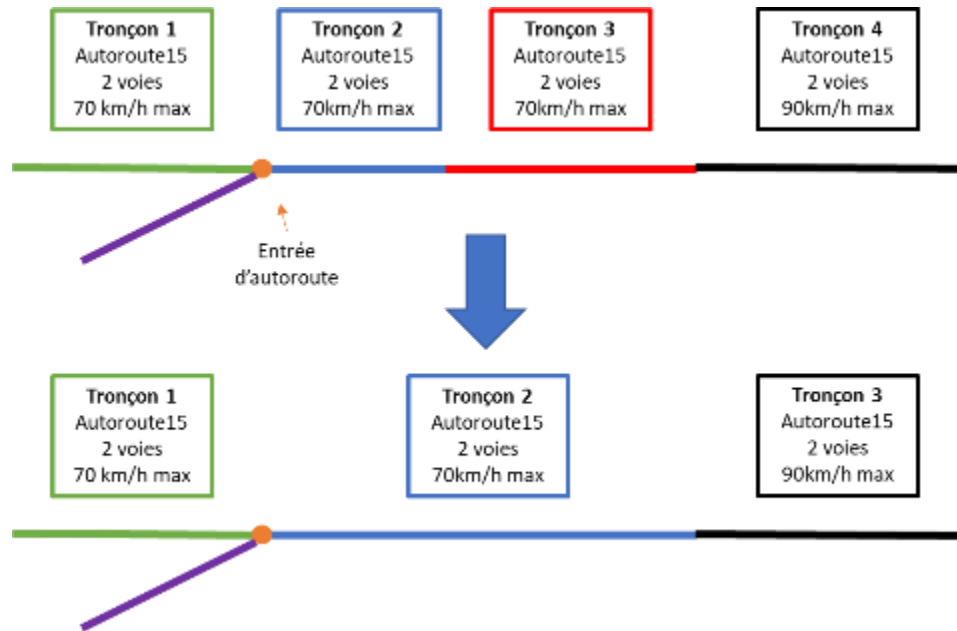


Figure 3-7. Exemple de situation de segmentation

3.3 Description du fichier

Le réseau obtenu est de format GeoJSON et présente les attributs suivants :

- **uuid** : Chaque tronçon possède un identifiant unique défini en hexadécimal.
- **ref** : Nom/Numéro ou combinaison de Nom/Numéro de la route. Par exemple, l'autoroute 40 entre les deux 15 s'appelle [40, 15], puisqu'elle fait aussi bien partie de la continuité de l'autoroute 40 que de la continuité de l'autoroute 15. Cela permet à l'outil d'appeler plus facilement les tronçons sélectionnés.
- **variant** : Il existe plusieurs variantes de route pour une même référence. On donne une valeur différente à des portions discontinues d'une même référence. Par exemple : la 15 au nord de la 40 en direction nord et sud et la 15 au sud de la 40 en direction nord et sud seront caractérisées (4 variantes) par une valeur différente.
- **sequence** : Numéro de la position du tronçon dans la variante.
- **oneway** : Booléen compté comme Vrai si le tronçon est à sens unique.
- **maxspeed** : La vitesse maximale affichée.
- **azimuth** : Angle trigonométrique formé entre le vecteur nord horaire et le vecteur formé du point de départ et du point d'arrivée.
- **osm_start_node_id** : Identifiant du nœud de départ du segment (OSM).
- **osm_end_node_id** : Identifiant du nœud d'arrivée du segment (OSM).
- **azimuth_start_node** : Azimut au nœud de départ.
- **azimuth_end_node** : Azimut au nœud de fin.

- **beforeExit** : Les tronçons figurant en amont d'une sortie d'autoroute sont notés True.
- **direction** : Direction cardinale de la circulation sur la route ref ou combinaison de directions cardinales si ref est une combinaison (nord-ouest).
- **length** : Longueur du segment (m).
- **roadType** : Type de voie (autoroute ou artère).
- **lanes** : Nombre de voies sur la largeur de la route obtenu à partir de la correspondance géographique entre OSM et AQ. Sur les segments de type artère, le nombre de voies est agrégé sur la longueur.

Ce fichier est ensuite transmis à la base de données sous la forme de la table « tr_network_segments » définie par :

- **id** (*uuid*) : uuid
- **data_source_id** (*uuid*): identifiant unique qui définit la source de données
- **interger_id** (*integer*): index du tronçon
- **osm_start_node_id** (*bigint*)
- **osm_end_node_id** (*bigint*)
- **geography** (*geography*) : géométrie du tronçon
- **data** (*json*): contenant les information de oneway, beforeExit, roadType et direction
- **category** : null (pourrait définir un type de voie OSC²AR)
- **max_speed_kph** (*smallint*) : maxspeed
- **freeflow_speed_kph** (*smallint*) : null (vitesse en écoulement à définir)
- **lanes_count** (*smallint*) : lanes
- **references** (*character varying*): ref
- **group_integer_id** (*smallint*) : variant

3.4 Analyse descriptive du réseau

3.4.1 Étude sur la longueur des tronçons

Le réseau résultant est composé de 12 418 tronçons de 538 références et 2085 variantes (dont 662 variantes de bretelles). Les longueurs des segments vont de 1 m à 22,3 km, pour un total de 7 500 km. La distribution des segments se répartit logiquement : les petits tronçons sont situés en ville à l'inverse des segments de taille plus conséquente. La Figure 3-8 montre que les très petits segments (<100m) se concentrent dans le centre de Montréal, mais également sur la rive sud et quelques autres villes traversées par le réseau. Une approche d'amélioration dans la construction du réseau consistera à investiguer ces tronçons de très petites tailles, afin d'évaluer les opportunités de fusion avec des tronçons de plus grande longueur, dans le but de réduire la mémoire requise pour le stockage de la base de données. Néanmoins, cette fine granulosité permet une étude plus précise de la congestion. La plupart des tronçons à l'extérieur de Montréal font plus d'un kilomètre puisqu'aucune règle actuellement appliquée ne vise à les réduire leur taille.

Les tronçons qui se sont vu attribuer la propriété de type de route : « motorway » sont :

- Ceux désignés comme « motorway » dans OSM;
- Ceux qui appartiennent au même corridor que des tronçons de type « motorway » de OSM;
- Ceux dont la route est numérotée.

Cette inconsistance face au réel ne permet pas d'identifier un tronçon de type « motorway » comme appartenant à une autoroute. Il s'agit ici d'une piste d'amélioration du réseau : définir un ensemble de type de voies logique et pertinent.

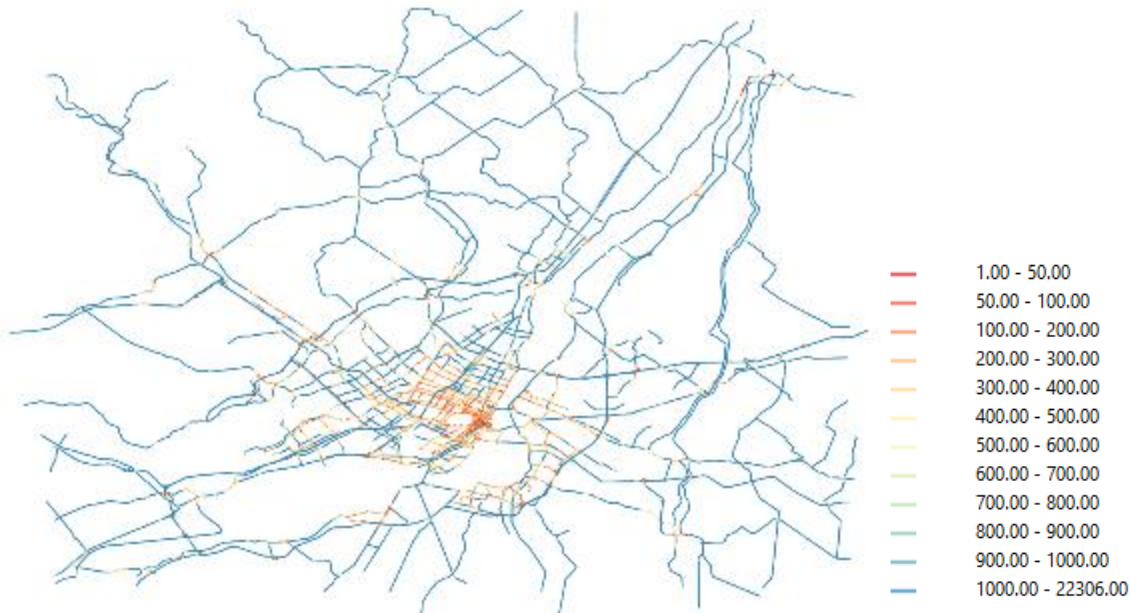


Figure 3-8. Distribution géographique de la longueur des tronçons

En traçant la distribution des longueurs de tronçons en fonction du type de voie, par boîte de 500 m (Figure 3-9), on remarque que 86% des tronçons font moins de 1 km. La distribution semble logique dans le sens où la part des tronçons « motorway » augmente quand leur longueur augmente. Ainsi, les bretelles font rarement plus de 1 km et le réseau artériel est principalement composé de segments de moins de 500 m. Toutefois, la proportion du réseau « motorway » composé de segments de moins de 500 m paraît assez importante. En traçant la distribution des longueurs de tronçons en fonction du type de voie, par boîte de 25 m, de 0 à 500 m (Figure 3-10), on peut confirmer l'enjeu des courts tronçons « motorway ». Il faut maintenant tenter de comprendre pourquoi la part des tronçons « motorway » de moins de 25 m est si importante et identifier des stratégies d'agrégation de segments (par voisinage) permettant de pallier cet enjeu.

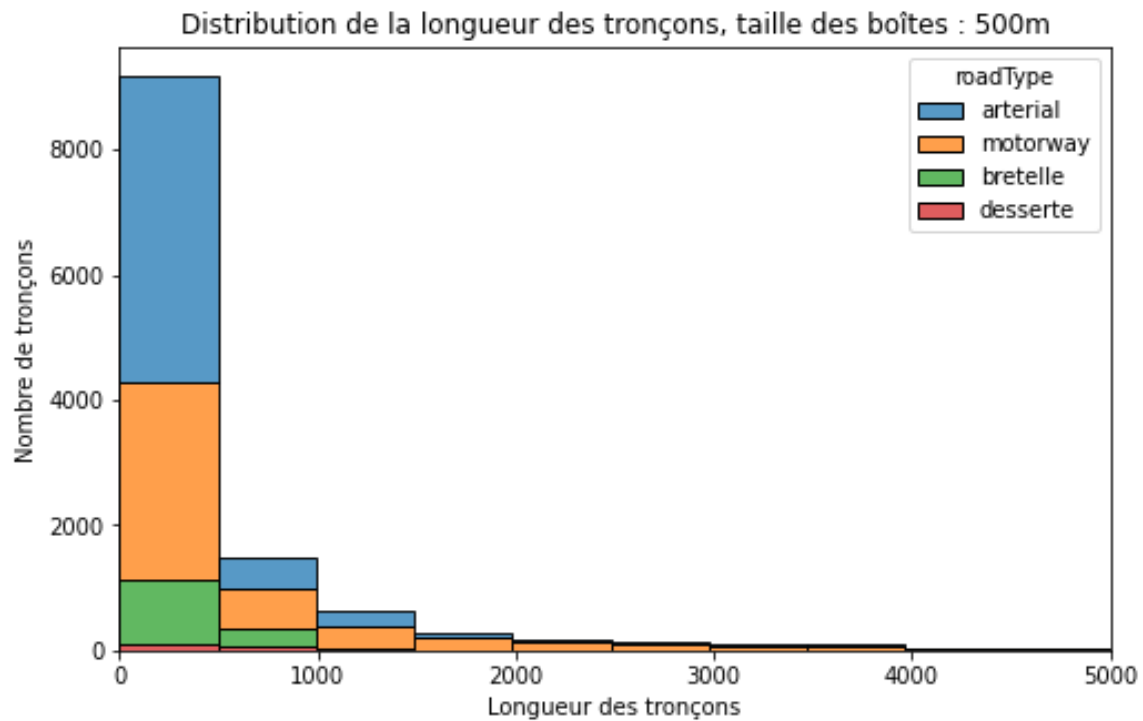


Figure 3-9. Distribution de la longueur des tronçons par type de voie (500 m)

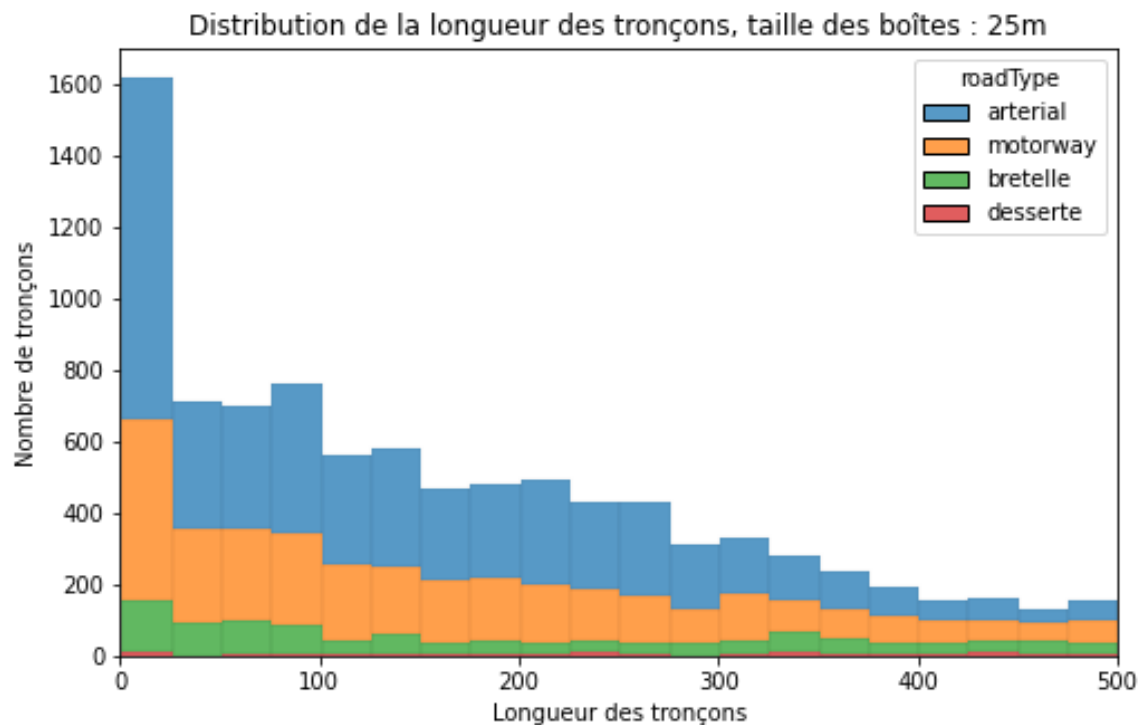


Figure 3-10. Distribution de la longueur des tronçons par type de voie (25 m)

Lorsque l'on cherche à représenter sur la carte les tronçons de moins de 25 mètres (Figure 3-11), on observe que la plupart de ces tronçons sont sur l'île de Montréal et la rive sud. Ceux de type artériel se démarquent par une forte concentration dans le centre-ville de Montréal, alors que ceux de type « motorway » se positionnent particulièrement à proximité des jonctions d'autoroute.

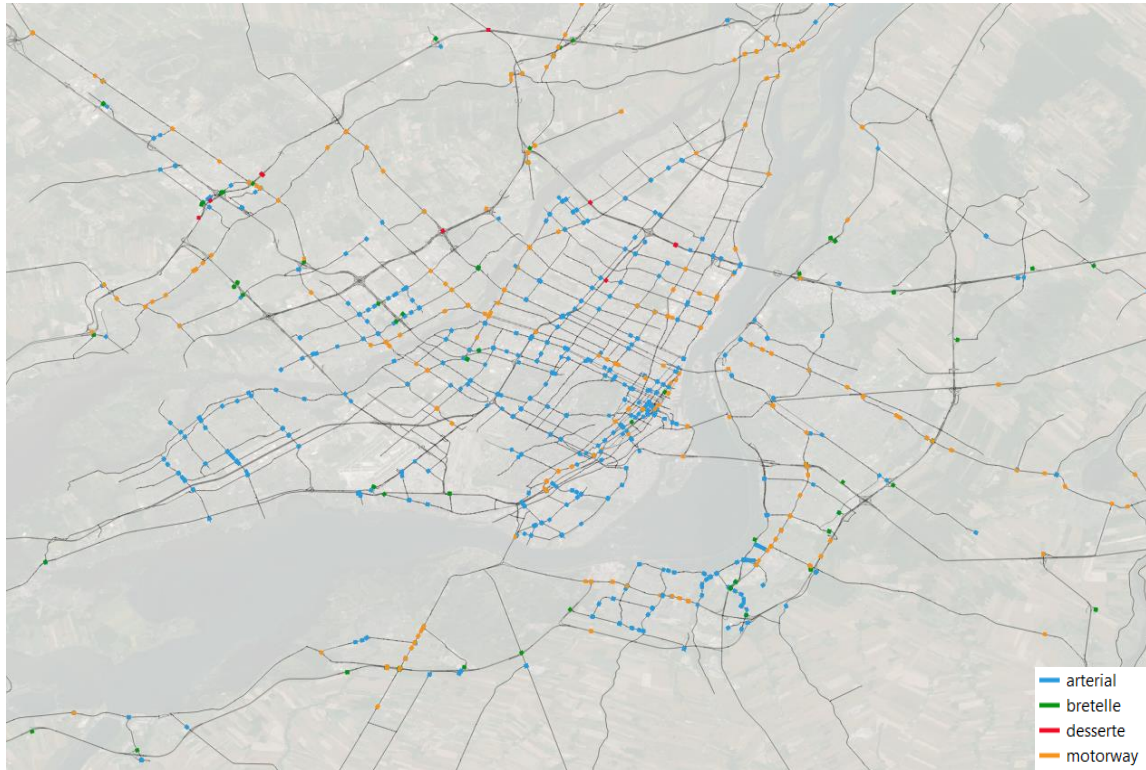


Figure 3-11. Répartition géographique des tronçons de moins de 25 mètres par type de voie

Il existe plusieurs causes potentielles à ce découpage trop fin; parmi elles, on relève visuellement que :

- Pour le type artériel, la présence d'un terre-plein central de faible longueur fait en sorte que la route à double sens devient deux voies à sens unique sur une faible distance (Figure 3-12). Or le type de circulation est une règle utilisée pour l'agrégation des tronçons, tel que mentionné précédemment (3.2.7).

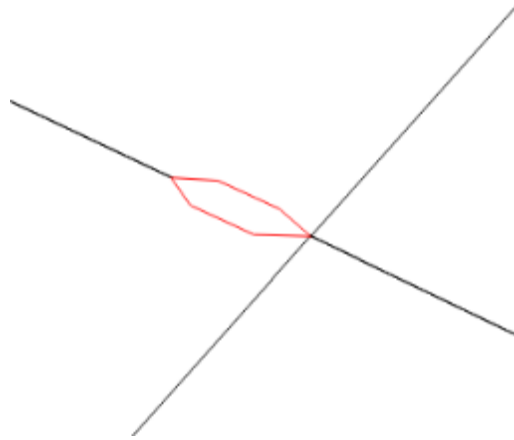


Figure 3-12. Géométrie d'un terre-plein central : Rue Berri – Rue Sainte Catherine

- Pour les types artériel et autoroute, le croisement de deux axes avec terre-plein central est représenté par une grille de quatre lignes; or, les quatre tronçons de jonction font moins de 25 mètres (Figure 3-13).

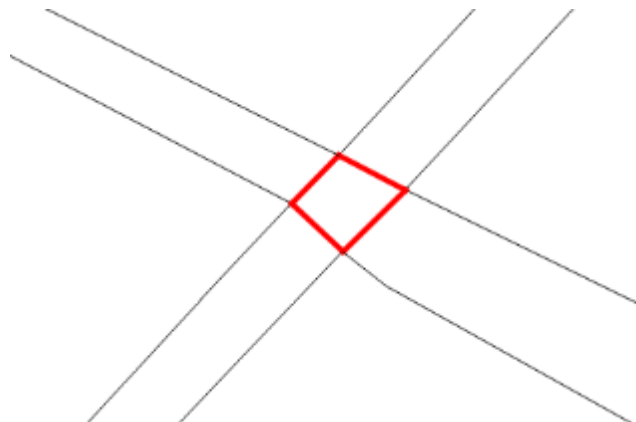


Figure 3-13. Croisement de deux voies à terre-plein central : Boul. René Lévesque - Boul. Robert Bourassa

3.4.2 Étude sur la proportion des attributs

Types de voies

L'étude sur la proportion des attributs permet de mettre en lumière les erreurs que peuvent engendrer l'association des données AQ et OSM. Ces erreurs pourront, à terme, être corrigées en identifiant et complétant correctement les informations de routes dans OSM.

Dans un premier temps, il s'agit d'identifier la part que représentent les différents types de voies identifiés dans OSC²AR. Cette information de types de voies est sujette à être modifiée si un nouvel indicateur pertinent le demande. Ainsi, la Figure 3-14 présente la proportion des types de voies existants dans le réseau, calculée non pas sur le nombre de segments observés, mais sur la longueur totale du réseau. De cette manière, le réseau OSC²AR est constitué d'environ 55% de « motorway » contre 38% d'artères sur les 7 500 km de réseau.

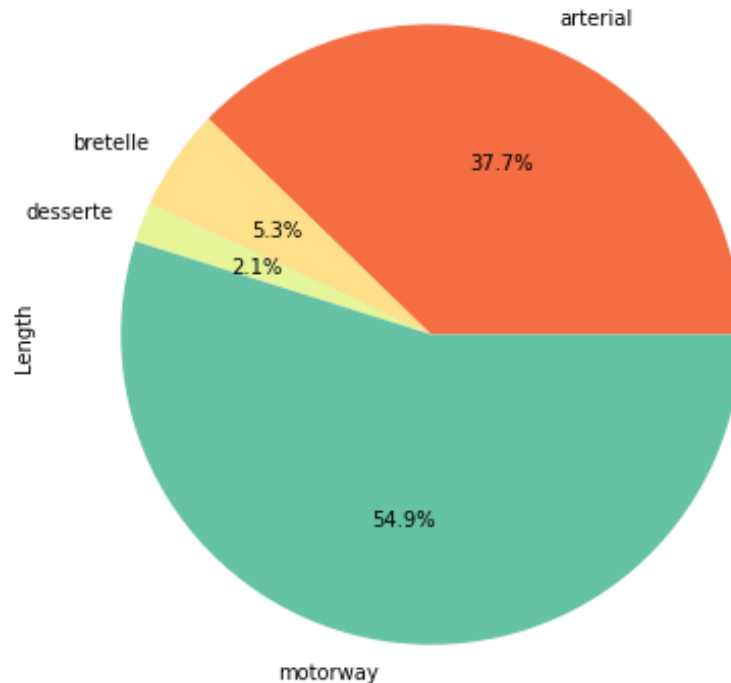


Figure 3-14. Proportion des types de voies pondérées par la longueur des tronçons

Nombre de voies

La Figure 3-15 présente la proportion du nombre de voies calculé en termes de longueur de réseau. De cette manière on témoigne que 65% du réseau est à deux voies, chiffre notamment explicable par le fait que la plupart des routes du réseau autoroutier et artériel est à deux voies (Figure 3-16). Les bretelles se distinguent comme étant principalement à une voie tandis que les dessertes sont à deux voies. La diversité des valeurs de nombre de voies est plus conséquente sur l'autoroute puisque certains segments peuvent compter jusqu'à six voies. Une analyse des photos satellites montre que sur la plupart des cinq, six voies, l'information donnée par OSM induit en erreur puisqu'il s'agit en réalité d'un nombre de voies partagées par les deux sens de circulation.

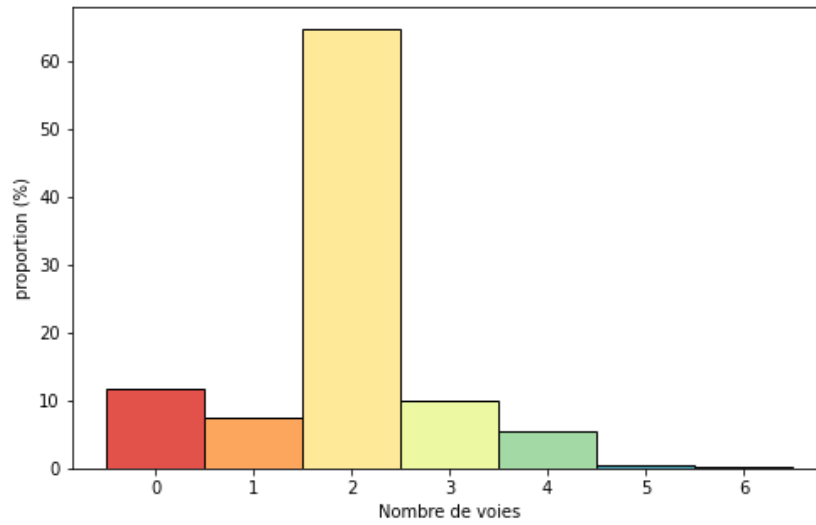


Figure 3-15. Proportion du nombre de voies pondérées par la longueur

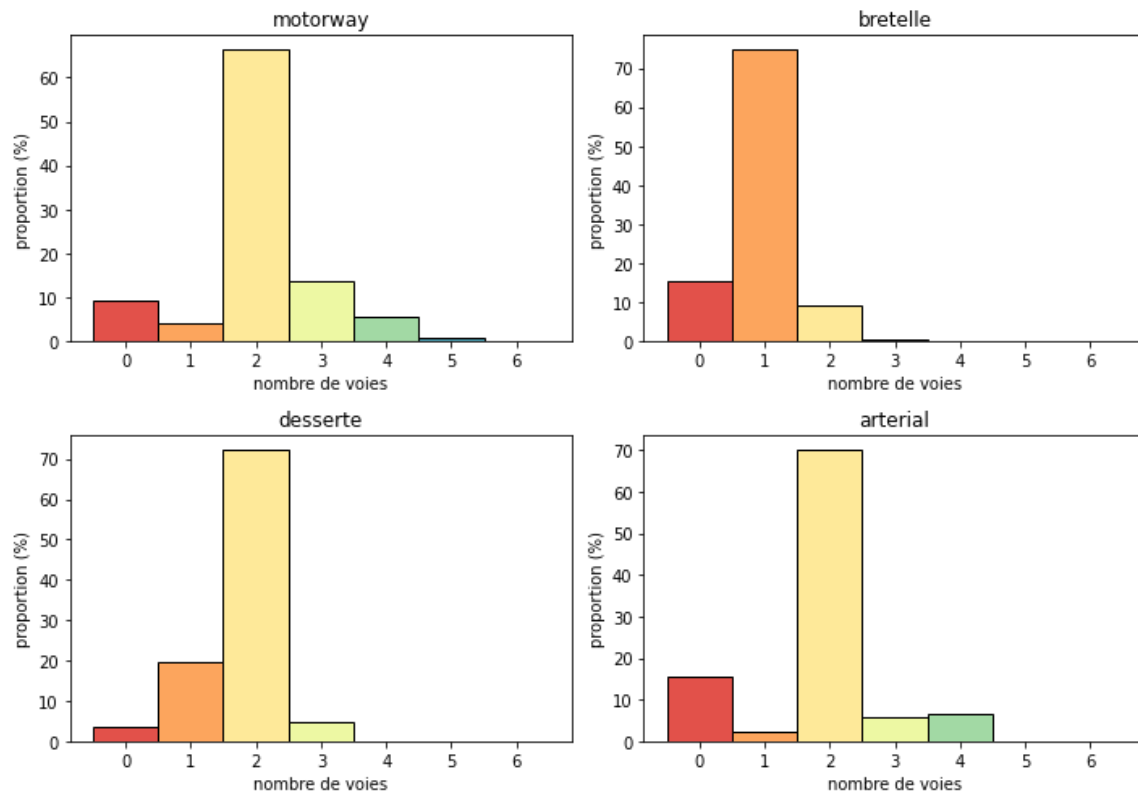


Figure 3-16. Proportion du nombre de voies pondérées par la longueur des tronçons par type

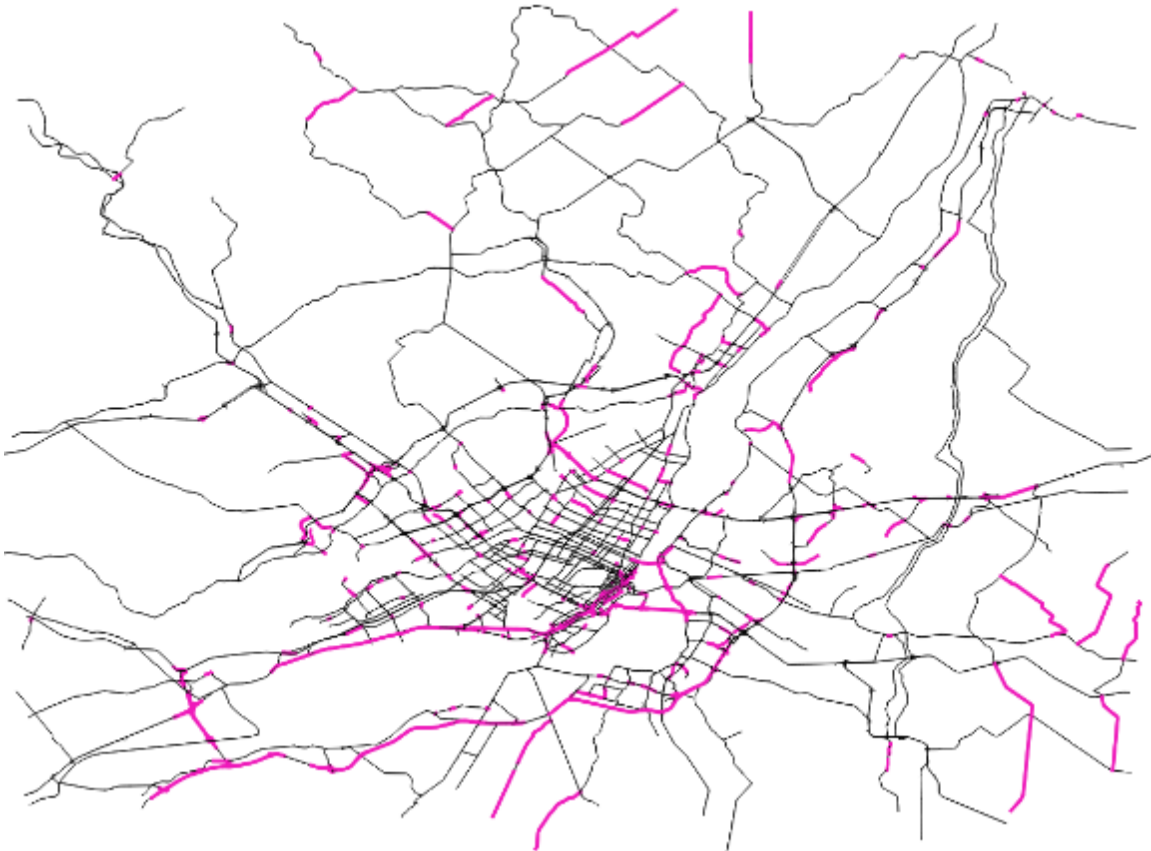


Figure 3-17. Carte des tronçons où l'information du nombre de voies est manquante

De plus, on peut relever que 12% du réseau obtient une valeur de 0, c'est-à-dire que l'information du nombre de voies n'a pas pu être récupérée. Ainsi, ni AQ ni OSM ne possède cette information. Ces valeurs manquantes ont été corrigées en saisissant manuellement le nombre de voies observées sur la base de la photo satellite de la zone étudiée. Ce manque d'information se concentre particulièrement sur le réseau artériel, les bretelles et le long de l'autoroute 20 et 30, entre l'île Perrot et Brossard (Figure 3-17).

Vitesses limites affichées

La diversité des vitesses affichées sur les tronçons est présentée à la Figure 3-18. En effet, ce graphique montre la proportion des limites de vitesse calculées à partir de la longueur des segments sur tout le réseau. Le graphique témoigne d'une grande part de vitesses à 50 km/h. Ce résultat était attendu puisque l'on étudie plus particulièrement la ville de Montréal. Ces vitesses de 50 km/h se déclinent sur plusieurs types de voies (plus de 50% en artériel, 23% en « motorway » et 30% en voie de desserte). Le réseau « motorway » se compose majoritairement de routes à haute vitesse; ainsi, plus de 60% de ce réseau est annoncé à plus de 90 km/h. Les bretelles admettent une valeur principale de 65 km/h, tandis que les voies de desserte partagent leur réseau entre 50 et 70 km/h.

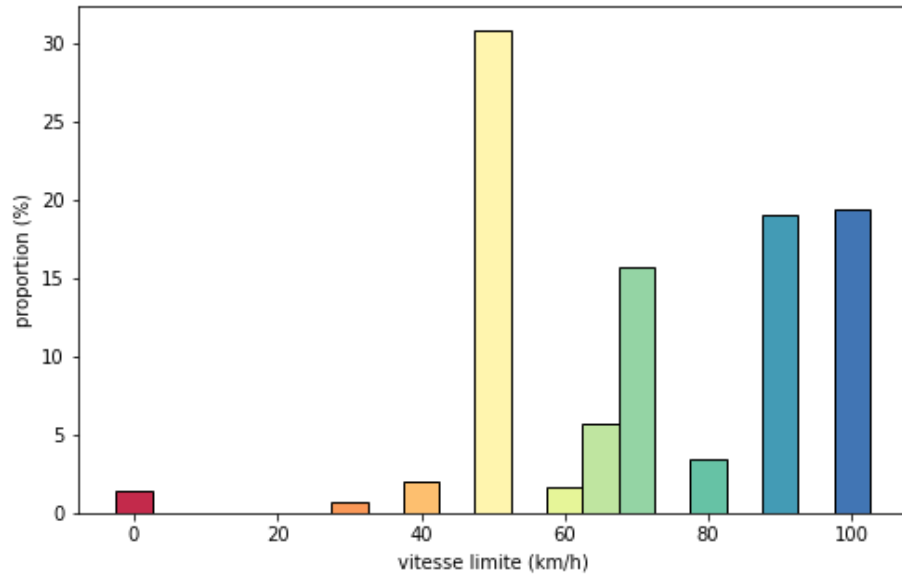


Figure 3-18. Proportion des limites de vitesse pondérées par longueur des tronçons

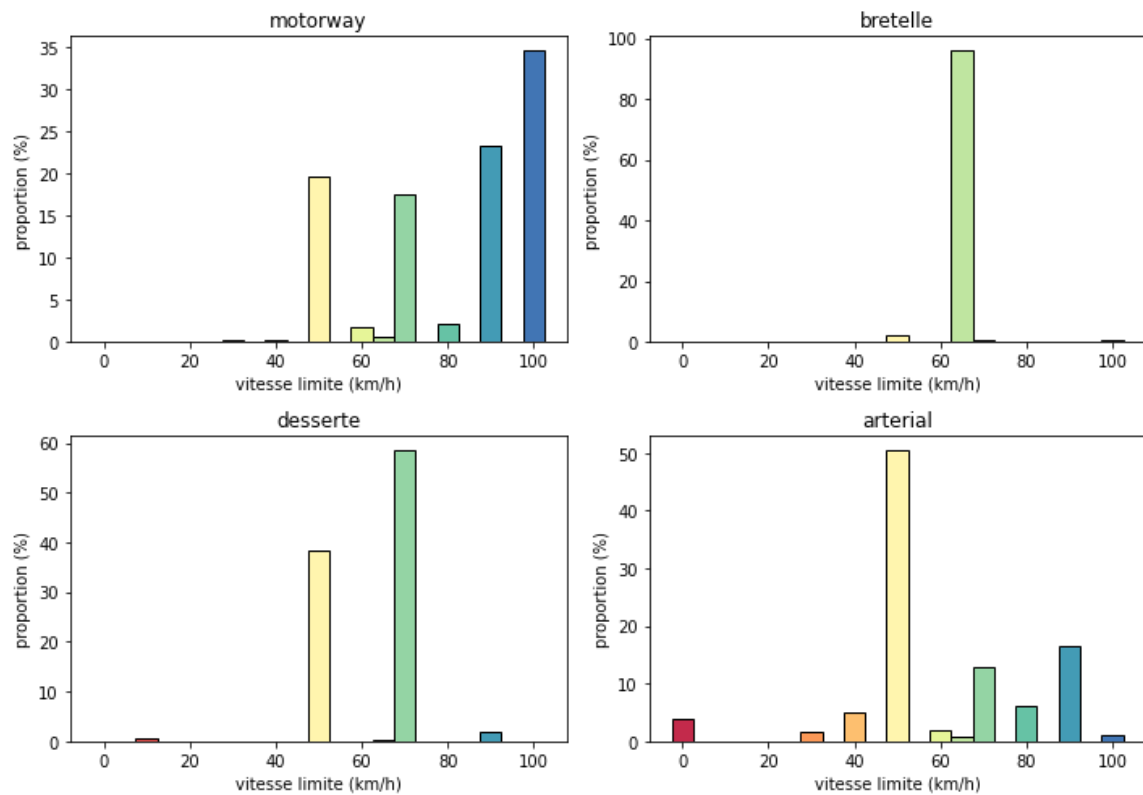


Figure 3-19. Proportion des limites de vitesse pondérées par longueur des tronçons par type

On distingue sur la Figure 3-18 1.4% de vitesses à 0 km/h; il s'agit de la longueur sur le réseau où l'information de limite de vitesse n'a pas pu être récupérée. Ainsi, ni AQ, ni OSM ne possède l'information de vitesse limite sur ces tronçons. Pour pallier ce problème, on pourrait se référer aux vitesses proposées par le réseau HERE et ainsi compléter les informations manquantes dans OSM. La carte (Figure 3-20) montre qu'il s'agit d'un très petit nombre de tronçons, mais qui sont de grandes tailles et principalement localisées au nord de la région de Montréal. Cette information pourra facilement être complétée sur OSM après identification des valeurs de vitesses.

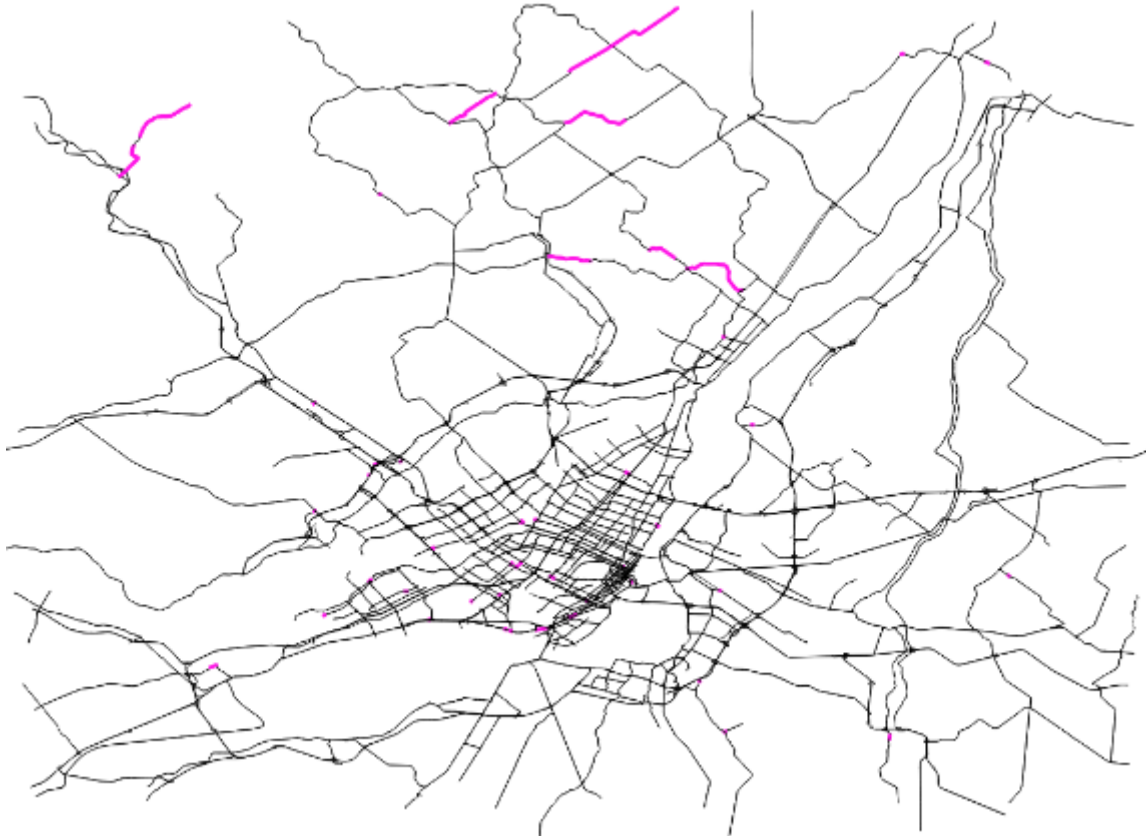


Figure 3-20. Carte des tronçons où l'information de limite de vitesse est manquante

3.4.3 Typologie des segments du réseau OSC²AR

Une classification automatique a été réalisée afin de créer une typologie de segments routiers du réseau OSC²AR. Cette typologie a utilisé le nombre de voies (variable « lanes »), la vitesse affichée (variable « maxspeed »), le sens de circulation (variable « oneway »), la présence d'une sortie (variable « beforeexit ») et la longueur (variable « length »). Chacune des variables a été centrée et réduite, c'est-à-dire que sa moyenne a été ramenée à 0 et son écart-type a été ramené à 1 avec la formule suivante :

$$Y = (X - \mu) / \sigma$$

Deux graphiques ont été utilisés pour identifier un nombre de classes offrant une bonne différentiation des propriétés des segments, soit le dendrogramme (Figure 3-21), qui permet de visualiser la pertinence d'agréger ou non deux classes en fonction du pas

(longueur du bras) qui sépare deux niveaux d'agrégation, et la méthode du coude basée sur l'évolution de la variabilité à l'intérieur des classes (Figure 3-22). Il a été décidé de créer 7 groupes pour la typologie. L'usage d'une telle typologie vise à mieux saisir la composition des tronçons.

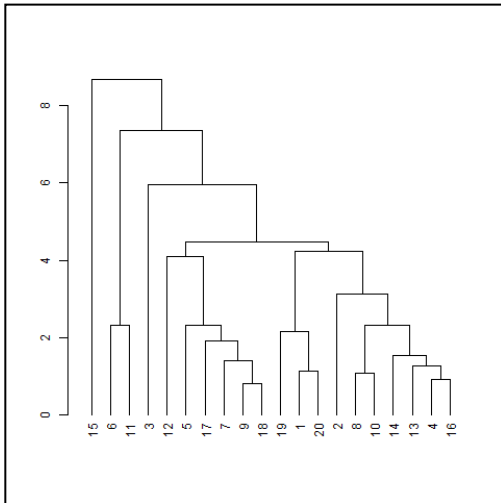


Figure 3-21. Dendrogramme pour le classement des segments OSC²AR

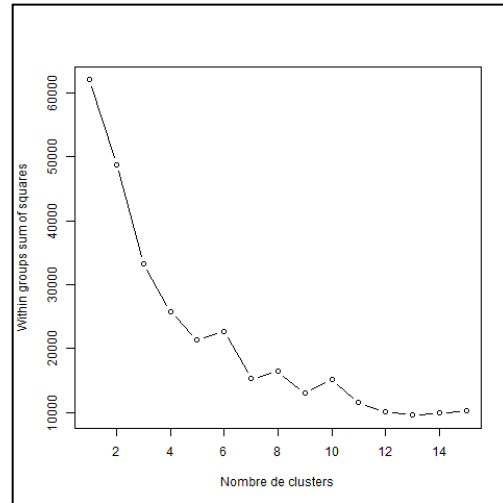


Figure 3-22. Graphique WSS pour le classement des segments OSC²AR

La Figure 3-23 montre le nombre de voies (variable « lanes ») par classe. La classe 1 est majoritairement constituée des segments de 4 voies et plus, la classe 2 est majoritairement constituée de segments de 2 voies, et la classe 3 est majoritairement constituée de segments de 3 voies. À noter que le nombre de voies peut être pour plus d'une direction dans les cas où les débits de circulation ne sont pas physiquement séparés. Ceci pourra être ajusté si les propriétés des tronçons sont modifiées.

La Figure 3-24 montre quant à elle la vitesse affichée (variable « maxspeed ») par classe. Les classes 4, 5 et 6 ont des vitesses affichées plus élevées, alors que les autres classes ont des vitesses affichées plus faibles.

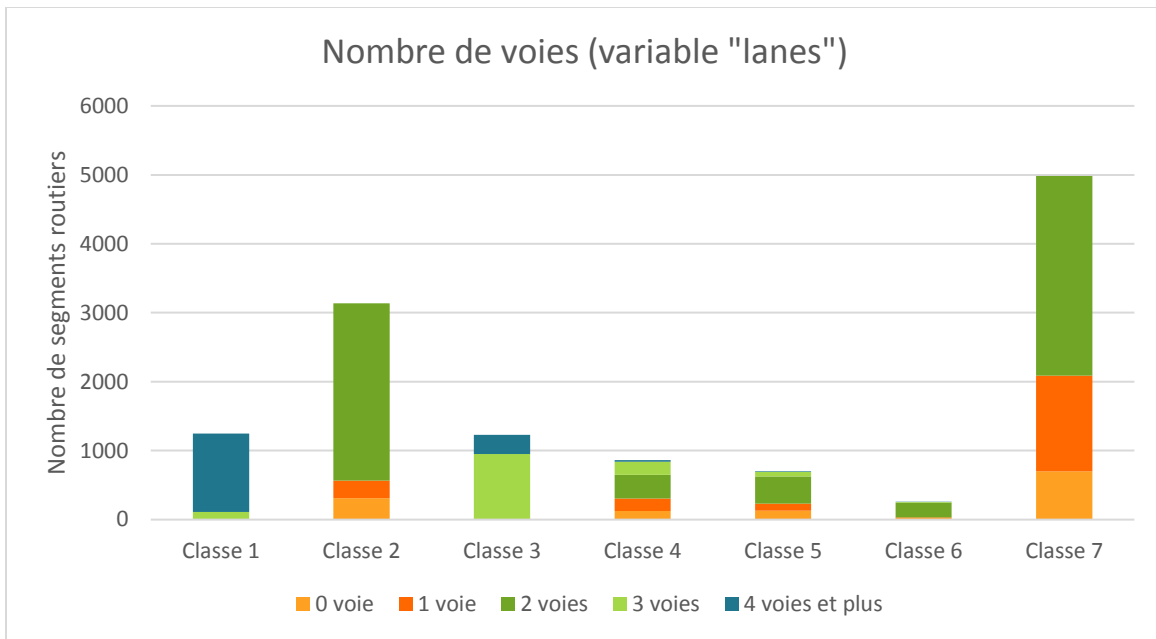


Figure 3-23. Distribution des segments routiers par classe en fonction du nombre de voies (variable « lanes »)

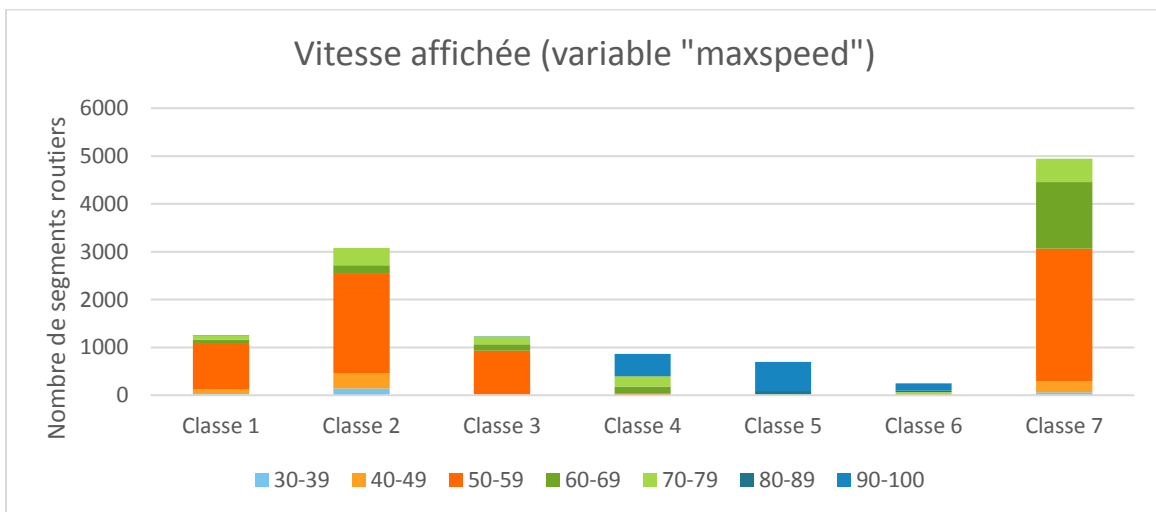


Figure 3-24. Distribution des segments routiers par classe en fonction de la vitesse affichée (variable « maxspeed »)

La Figure 3-25 montre le sens de circulation (variable « oneway ») par classe. Les classes 1 et 2 sont entièrement bidirectionnelles, les classes 3,4 et 7 sont entièrement à sens unique, et les classes 5 et 6 sont partiellement à sens unique.

La Figure 3-26 montre la présence d'une sortie ou non après le segment (variable « beforeexit ») par classe. La classe 4 contient uniquement des segments qui sont avant une sortie, et la classe 6 en contient une faible proportion (moins de 10 %).

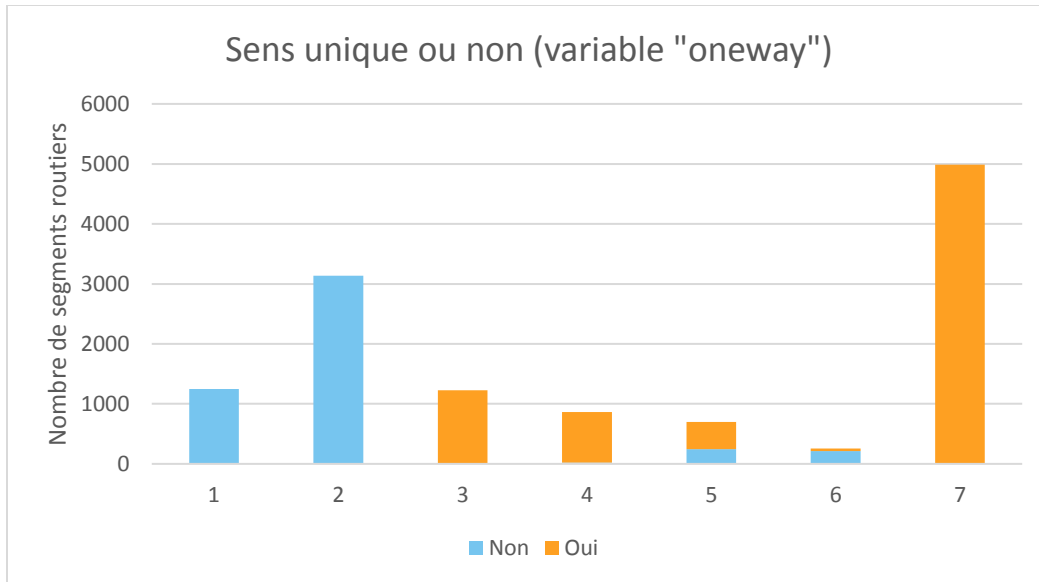


Figure 3-25. Distribution des segments routiers par classe en fonction du sens unique (variable « oneway »)

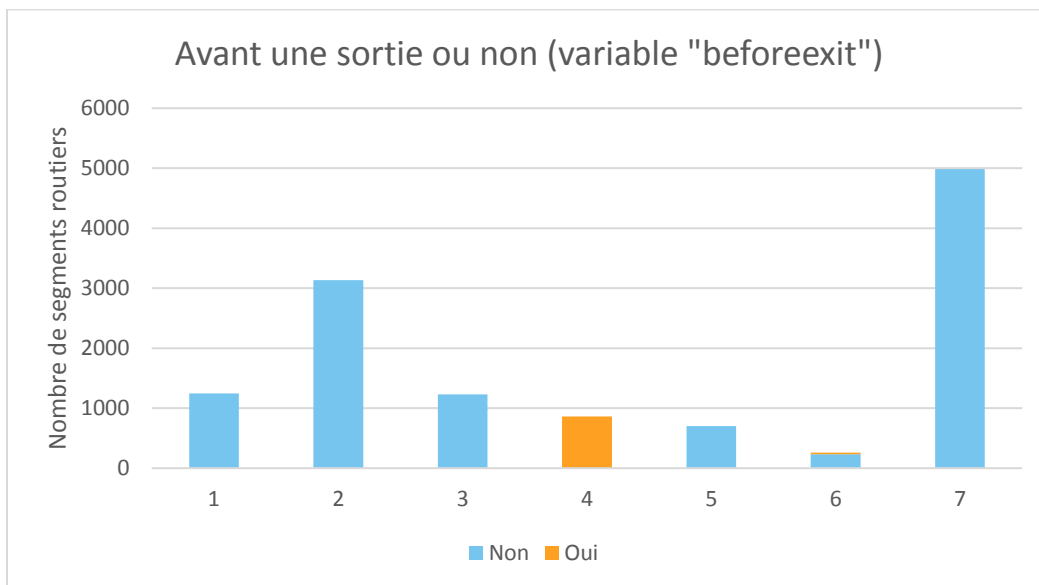


Figure 3-26. Distribution des segments routiers par classe en fonction de la position ou non avant une sortie (variable « beforeexit »)

La Figure 3-27 montre les longueurs (variable « length ») par classe. La classe 6 contient uniquement des segments de plus de 1000 mètres, tandis que les classes 5 et 6 en contiennent plus de 40 %.

Finalement, la Figure 3-28 montre le type de route (variable « roadtype ») par classe, cette variable n'a pas été utilisée pour la construction des classes, mais il peut être intéressant de comparer les types de segments avec la typologie développée. Les classes 4 et 5 contiennent une grande majorité de segments de type « motorway », tandis que plus de 87 % de segments de type « bretelle » se retrouvent dans la classe 7.

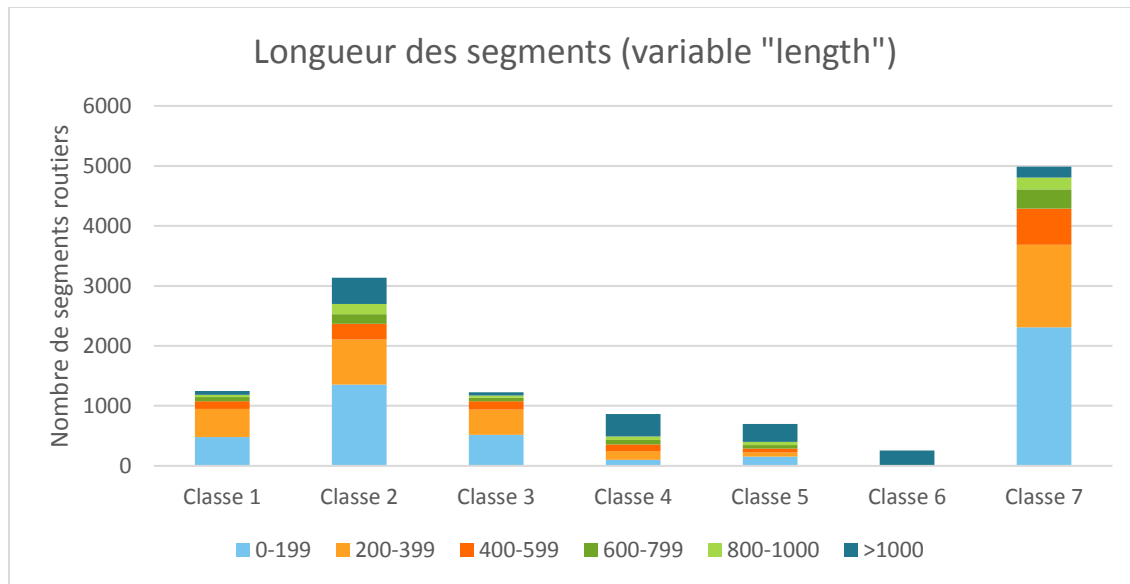


Figure 3-27. Distribution des segments routiers par classe en fonction de la longueur du segment (variable « length »)

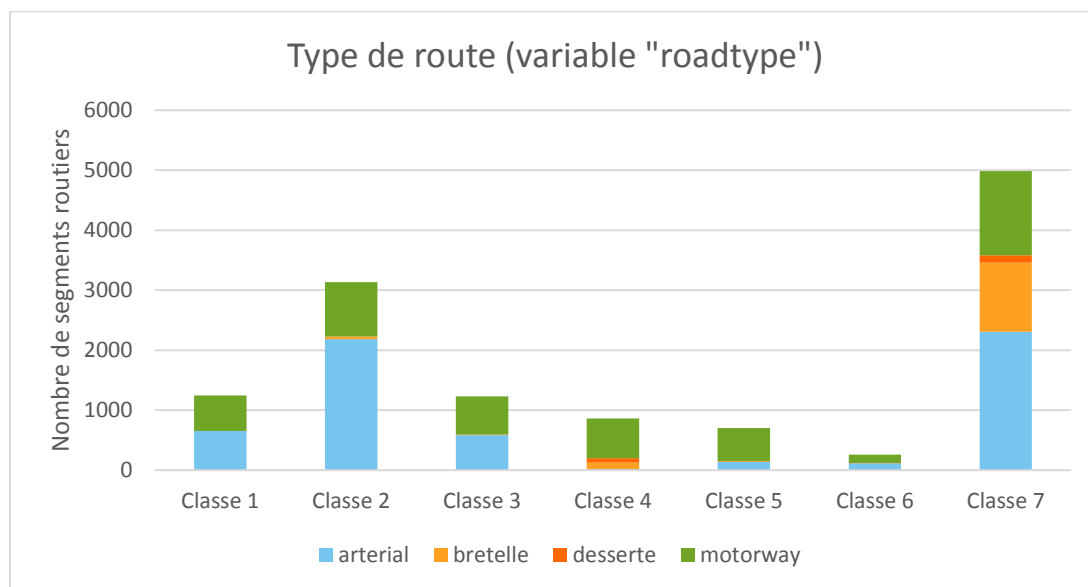


Figure 3-28. Distribution des segments routiers par classe en fonction du type de route (variable « roadtype »)

Le Tableau 3-1 résume les caractéristiques dominantes de chacune des classes. Les classes 1, 2, 3 et 7 sont constituées en majorité de segments moins rapides, tandis que les classes 4, 5 et 6 sont constituées de segments rapides. La classe 4 regroupe à elle seule la presque totalité des segments qui se trouvent avant une sortie. Finalement, les classes 4, 5 et 6 sont des classes qui regroupent des segments plus longs. En regardant le type de route, il est possible de voir que les classes 1, 3 et 6 sont partagées entre les types « arterial » et « motorway » et la classe 7 contient les types « arterial », « motorway » et « bretelle ». Seules les classes 2 (« arterial »), 4 et 5 (« motorway ») sont constituées en majorité d'un seul type de route.

Tableau 3-1. Résumé des caractéristiques dominantes des classes

	Variables utilisées pour la construction des classes					Type de route
	Nombre de voies	Vitesse maximale	Sens unique	Avant une sortie	Longueur	
Classe 1	4 voies et plus	50 à 59 km/h	Non	Non	Court	Mi arterial, mi motorway
Classe 2	2 voies	50 à 59 km/h	Non	Non	Court	Arterial
Classe 3	3 voies	50 à 59 km/h	Oui	Non	Court	Mi arterial, mi motorway
Classe 4	2 voies (<50 %)	90 à 100 km/h	Oui	Oui	Long	Motorway
Classe 5	2 voies	90 à 100 km/h	Oui	Non	Long	Motorway
Classe 6	2 voies	90 à 100 km/h	Non	Non	Très long	Mi arterial, mi motorway
Classe 7	2 voies	50 à 59 km/h	Oui	Non	Court	Arterial, bretelle et motorway

La Figure 3-29 montre les classes 1 à 7 sur une carte. Il est difficile d'identifier spatialement où se trouvent les classes. Pour ce faire, les Figure 3-30 à Figure 3-36 montrent chacune des classes sur une carte.

Sur la Figure 3-30, il est possible de voir que les segments de la classe 1 sont en majorité localisés sur l'île de Montréal. Quelques segments vont jusqu'à l'extrémité du réseau.

La Figure 3-31 montre sur une carte les segments de la classe 2. Ceux-ci sont présents sur la presque totalité du territoire.

La Figure 3-32 montre sur une carte les segments de la classe 3. Ceux-ci sont localisés en majorité sur l'île de Montréal, avec certains segments à Laval et dans l'agglomération de Longueuil.

La Figure 3-33 montre sur une carte les segments de la classe 4. Les principales autoroutes de la région de Montréal font partie de cette classe.

La Figure 3-34 montre sur une carte les segments de la classe 5. Ces segments sont presque tous situés hors de l'île de Montréal.

La Figure 3-35 montre sur une carte les segments de la classe 6. Ces segments sont très longs et se trouvent principalement en périphérie où les intersections sont moins rapprochées.

Finalement, la Figure 3-36 montre sur une carte les segments de la classe 7. Comme la presque totalité des bretelles est dans cette classe, il est possible de remarquer que les segments de cette classe sont souvent à proximité d'axes autoroutiers.

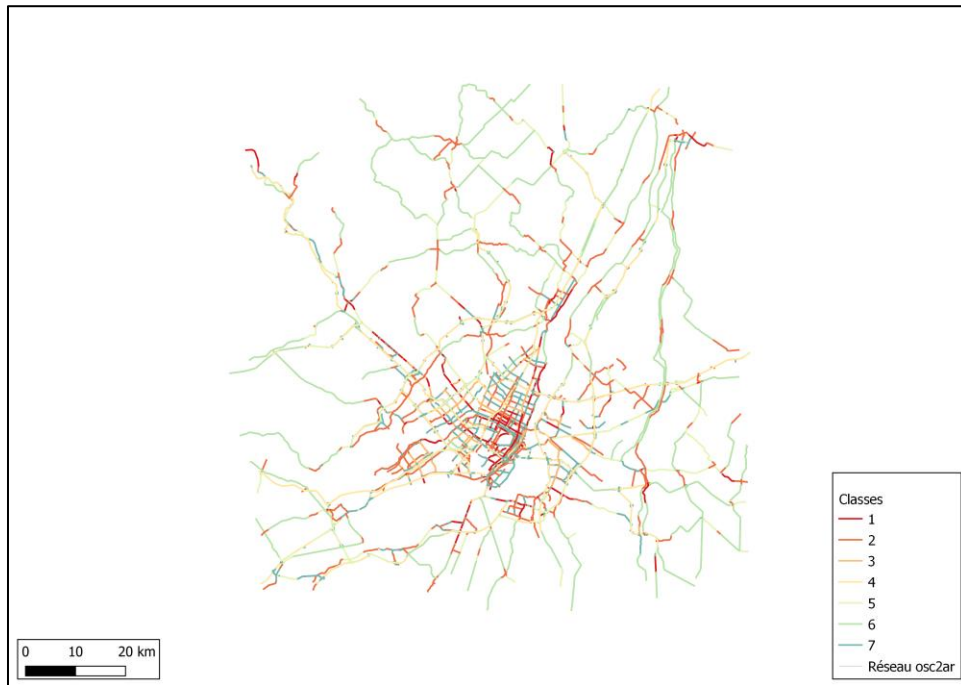


Figure 3-29. Cartographie des classes : Classes 1 à 7

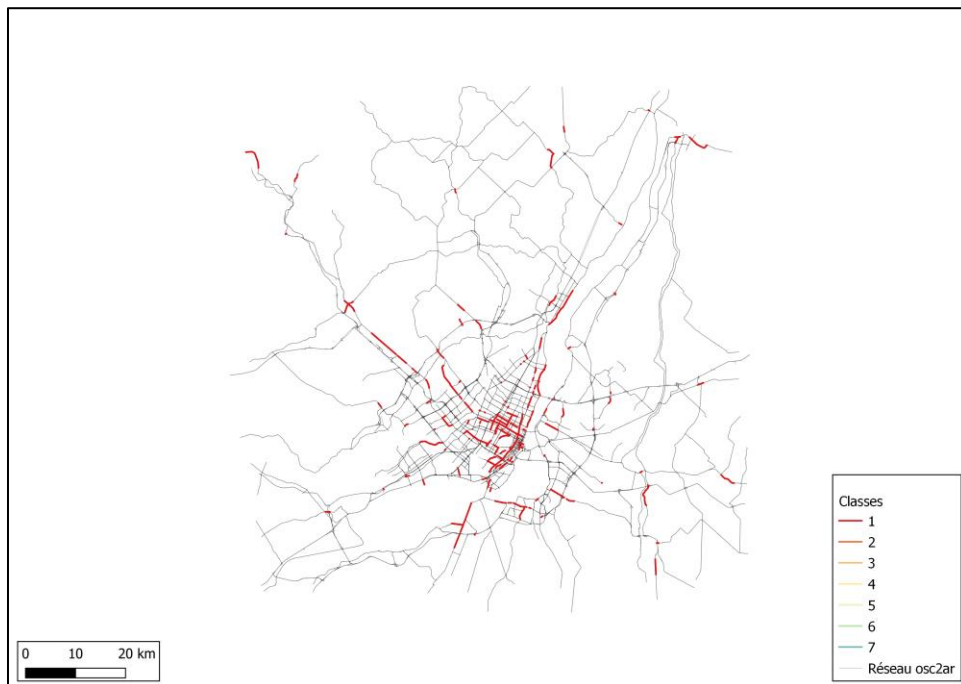


Figure 3-30. Cartographie des classes : Classe 1

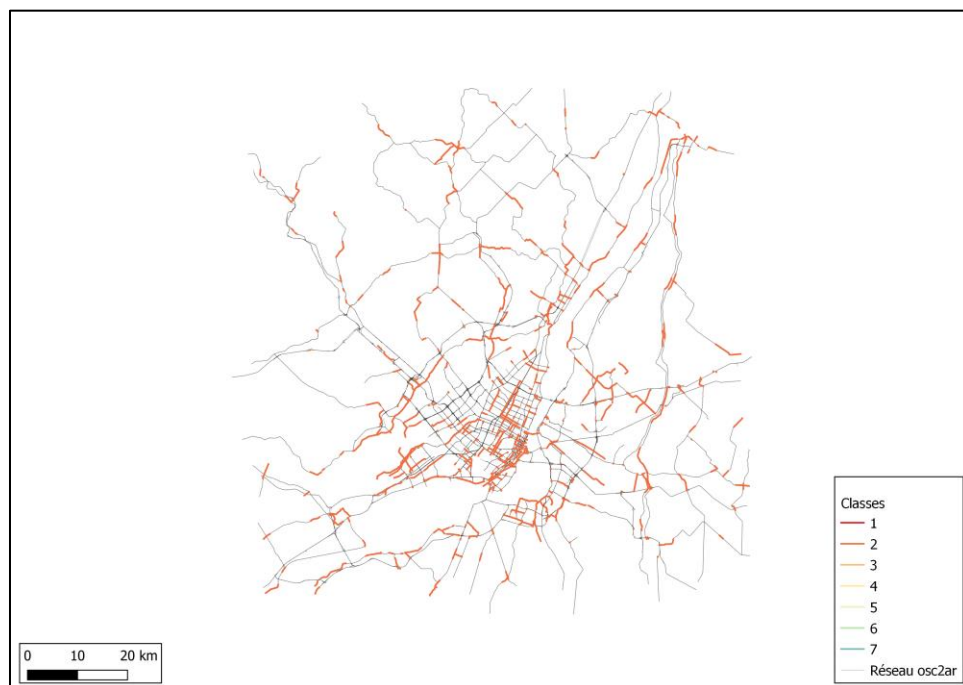


Figure 3-31. Cartographie des classes : Classe 2



Figure 3-32. Cartographie des classes : Classe 3

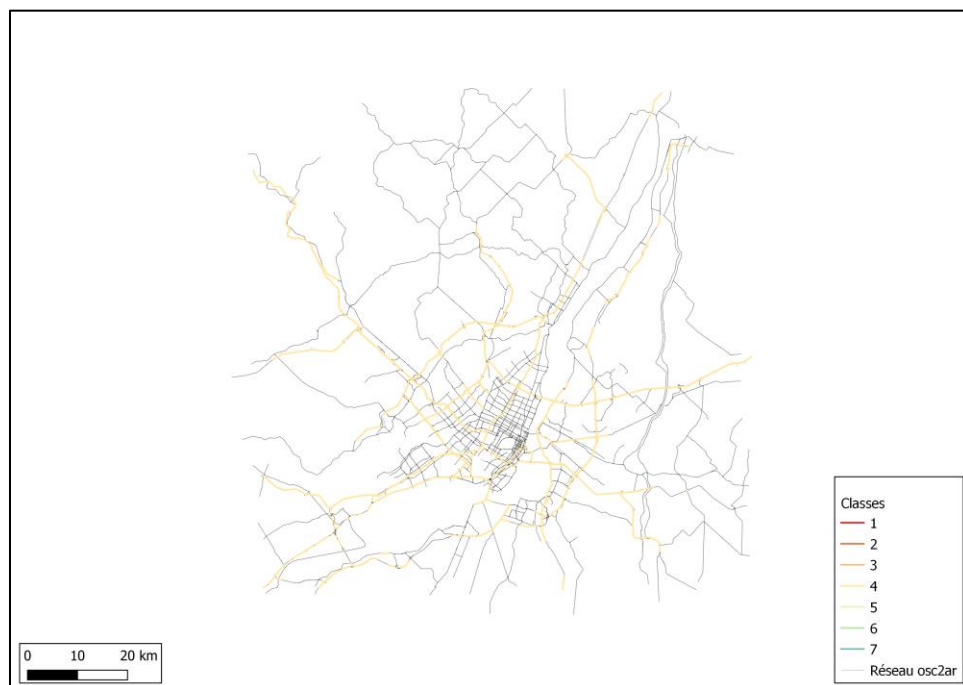


Figure 3-33. Cartographie des classes : Classe 4



Figure 3-34. Cartographie des classes : Classe 5



Figure 3-35. Cartographie des classes : Classe 6



Figure 3-36. Cartographie des classes : Classe 7

4 INVENTAIRES DES BESOINS

4.1 Introduction

Ce volet avait pour objectif d'assurer la prise en compte des besoins en indicateurs et en mesure de différents types d'utilisateurs dans la conception des interfaces de l'outil à développer. L'équipe a tenté le plus possible de tenir compte des constats tirés de cette démarche dans la conception de l'outil.

Ainsi, des entrevues ont été réalisées dans les bureaux du MTQ au mois de décembre 2018 auprès de 19 professionnels provenant de différentes directions. Nous leur avons demandé de décrire :

- leurs responsabilités professionnelles;
- les données, les indicateurs et autres mesures à leur disposition;
- l'usage qu'ils en font et la forme dans laquelle ils préfèrent consulter ces informations;
- les défis auxquels ils sont confrontés dans leurs tâches quotidiennes en lien avec les données, les indicateurs et les outils à leur disposition;
- l'outil idéal auquel ils pourraient rêver.

Si les entrevues ont été menées sans restreindre les réponses des participants aux contraintes financières, technologiques, temporelles et organisationnelles du MTQ, la conception finale de l'outil devra cependant tenir compte de ces éléments.

Cette section du rapport d'avancement présente donc la littérature et les concepts ayant servi à bâtir le questionnaire et les méthodes d'analyse des résultats des entrevues. Elle présente ensuite plus spécifiquement la méthodologie d'enquête retenue, le profil des participants ainsi que les résultats de l'analyse des réponses. La section 3.5 présente finalement les prochaines étapes relatives à ce volet.

4.2 Revue de la littérature

Ce travail est lié à plusieurs domaines de la littérature scientifique axés sur (1) l'approche générale de la conception centrée sur l'utilisateur, (2) la création et l'utilisation de personas, (3) la conception d'interaction basée sur le rôle et (4) les stratégies et objets de visualisation pertinents pour l'analyse de la circulation. Dans les sections suivantes, nous passons brièvement en revue la littérature dans chacun de ces axes.

4.2.1 Conception centrée sur l'utilisateur

La conception centrée sur l'utilisateur (UCD, « user-centered design »), parfois aussi appelée « conception centrée sur l'homme » ou « design thinking », est un terme général qui décrit une méthodologie qui aide les concepteurs et les développeurs à créer de meilleures technologies de l'information et de la communication pour répondre aux besoins des utilisateurs. Le processus UCD se concentre essentiellement à impliquer les utilisateurs finaux tout au long du processus de conception, dans des activités allant du conseil utilisateur occasionnel à la conception participative intensive. Le concept est issu du laboratoire de recherche de Donald Norman de l'Université de Californie à San Diego (UCSD) et a été élaboré dans l'ouvrage fondateur de Norman intitulé « Le design des

choses de tous les jours » (The Design of Everyday Things, 2013). Norman (2013) a décrit l'UCD comme un processus de conception mettant l'accent sur: (1) la résolution du bon problème et (2) une manière de le faire qui réponde aux besoins et aux capacités de l'humain (Norman, 2013). Le processus implique un cycle itératif avec quatre phases qui se chevauchent, décrites dans la Figure 4-1 (Norman, 2013).

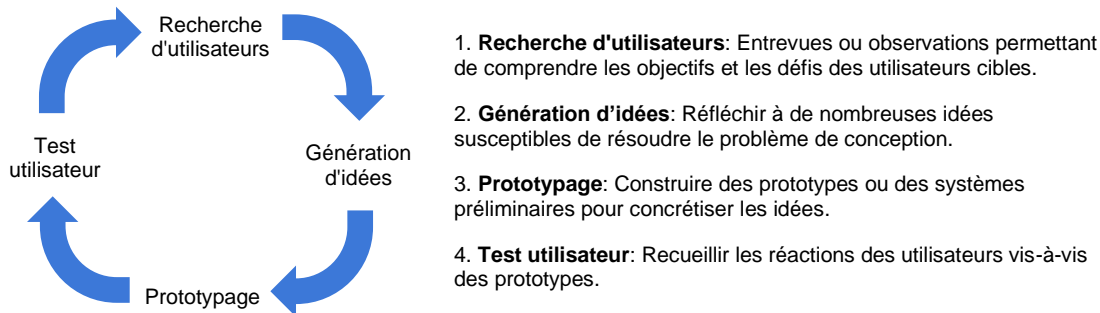


Figure 4-1. Le processus itératif de conception centrée sur l'utilisateur

À la suite des travaux de Norman, les chercheurs ont identifié les caractéristiques clés de l'UCD. Par exemple, Gould et Lewis (1985) ont recommandé trois principes de conception de systèmes qui représentent l'essence même de l'UCD. Ces principes sont les suivants: (1) focalisation précoce sur les utilisateurs et les tâches, (2) mesure empirique de l'interaction de l'utilisateur et (3) conception itérative (Gould & Lewis, 1985). Gulliksen et al. (2003) ont également procédé à un examen des théories existantes et analysé un grand nombre de projets de logiciels afin d'identifier les principes pratiques de l'UCD. En fin de compte, 12 principes UCD ont été proposés, ceux-ci capturant des facteurs tels que la participation des utilisateurs, le développement incrémental, le prototypage, l'évaluation des utilisateurs et une attitude centrée sur l'utilisateur par l'équipe de développement (Gulliksen et al., 2003). Afin de soutenir l'application de ces principes dans la pratique de l'UCD, les auteurs ont ensuite construit des listes d'activités (une pour chaque principe) spécifiant les techniques et méthodes principales permettant de satisfaire aux principes (Gulliksen et al., 2003). Par exemple, les entrevues avec les utilisateurs, les groupes de discussion, les études sur le terrain et les personas sont recommandés pour soutenir le « focus utilisateur ».

Pour la phase d'idéation de l'UCD, de nombreux chercheurs ont proposé des directives de conception générales afin de faciliter la création d'une interaction appropriée. Les plus influentes sont les huit règles d'or (« Golden Rules ») de Shneiderman et les dix méthodes heuristiques générales de Nielsen pour la conception des interactions humain-machine (IHM). Nous résumons les deux ensembles de lignes directrices et d'heuristiques ci-dessous.

Basé sur le concept de manipulation directe, qui vise à tirer parti des métaphores physiques pour créer des représentations visuelles et des interfaces utilisateurs, Shneiderman a proposé les huit règles d'or de la conception d'interfaces (Shneiderman et al., 2016).

1. **Assurer la cohérence**, qui spécifie que les éléments de conception, y compris la mise en page, la couleur, les terminologies et les séquences d'actions doivent être

utilisées de manière cohérente dans l'ensemble du système. Les exceptions devraient être limitées et faciles à comprendre.

2. **Viser l'utilisabilité universelle de l'interface**, c.-à-d. reconnaître la diversité des besoins des utilisateurs et en tenir compte dans la conception notamment via la disponibilité d'explications pour les débutants et les raccourcis pour les experts.
3. **Offrir des rétroactions informatives**, spécifiant que le système doit fournir un retour d'information approprié aux actions de l'utilisateur. Par exemple, des retours et des réponses modestes doivent être fournis pour les actions fréquentes et mineures, tandis que des retours substantiels doivent être fournis aux actions majeures et peu fréquentes.
4. **Offrir des dialogues confirmant la fin d'une opération**, ce qui exige que les séquences d'actions (basées sur les tâches), doivent être organisées en conversations comprenant un début, un milieu et une fin.
5. **Assurer une gestion simple des erreurs**, d'abord en assurant que l'interface utilisateur soit conçue afin d'empêcher que les utilisateurs ne fassent des erreurs graves puis en offrant des mécanismes simples de récupération lorsque des erreurs sont réalisées.
6. **Permettre l'inversion facile des actions**, sur la base desquelles l'interface utilisateur doit proposer autant que possible des actions d'annulation et de rétablissement.
7. **Donner le contrôle aux utilisateurs**, ce qui nécessite une interface conçue afin qu'ils puissent exécuter la tâche souhaitée et à minimiser les surprises et les inconvénients, donc faire en sorte que l'interface se comporte selon leurs attentes.
8. **Réduire la charge de mémoire à court terme**, en spécifiant que les concepteurs doivent éviter les interfaces dans lesquelles les utilisateurs doivent mémoriser les informations d'un écran à un autre.

Jakob Nielsen et ses collègues ont également proposé un ensemble de directives pour la création et l'évaluation de la conception d'interfaces utilisateurs, appelées « heuristiques d'utilisabilité » (Nielsen, 1995). Certaines de ces directives chevauchent les « règles d'or » de Shneiderman. Nous discutons ici de chaque heuristique et mentionnons ce chevauchement, le cas échéant.

1. **Visibilité de l'état du système**. Elle chevauche la 3^e directive des « règles d'or » de Shneiderman et identifie en outre l'importance d'une visibilité continue et de la mise à jour de l'état du système.
2. **Adéquation entre le système et le monde réel**. Elle capture l'objectif global de la manipulation directe, en spécifiant que le système doit utiliser des termes, des concepts et une séquence d'actions familiers pour les utilisateurs, en respectant de préférence les conventions du monde réel plutôt qu'en utilisant des termes orientés système.
3. **Contrôle utilisateur et liberté**. Cela recoupe les directives 6 et 7 de Shneiderman.
4. **Cohérence et standards**. Elle se superpose à la première directive des « règles d'or » de Shneiderman. Elle met également l'accent sur le respect des standards de conception et des conventions de la plateforme.
5. **Prévention des erreurs**. Elle chevauche la 5^e directive des « règles d'or » de Shneiderman.

6. **Reconnaissance plutôt que rappel.** Elle se superpose à la 8^e directive des « règles d'or » de Shneiderman et propose une solution générique pour réduire la charge de la mémoire à court terme.
7. **Flexibilité et efficacité d'utilisation.** Elle se superpose à la 2^e directive de Shneiderman.
8. **Conception esthétique et minimaliste.** Elle spécifie que les interfaces utilisateurs doivent être organisées de manière logique et ne doivent pas contenir d'informations non pertinentes.
9. **Aider les utilisateurs à reconnaître, diagnostiquer et récupérer des erreurs.** Cela recoupe les directives 6 et 7 de Shneiderman.
10. **Aide et documentation,** qui exige des concepteurs qu'ils fournissent une aide et une documentation succinctes et informatives à l'appui de la tâche de l'utilisateur.

Dans ce projet, nous suivons une approche UCD dans la conception de l'outil d'information pour l'analyse des conditions de circulation sur le réseau routier. En particulier, nous avons utilisé une méthode d'entrevue pour effectuer des recherches sur les utilisateurs et tiré parti du concept de personas (voir la section suivante) pour saisir les besoins de ces derniers. Nous allons utiliser les directives de conception de Shneiderman et de Nielsen pour soutenir le développement de l'interface utilisateur.

4.2.2 Personas

Le terme *persona* a été emprunté à un mot grec ancien signifiant « masques de théâtre ». Un *persona* peut être défini comme un utilisateur virtuel qui synthétise un groupe d'utilisateurs réels en ce qui a trait au type d'interaction qu'ils souhaitent avoir avec un système. Cooper a été l'un des premiers à avoir introduit ce terme dans le contexte de l'UCD pour décrire « des archétypes hypothétiques d'utilisateurs réels », c'est-à-dire des groupes d'utilisateurs réels partageant des besoins et des caractéristiques communes, représentés par des individus fictifs, mais à la fois concrets et vivants (Cooper, 2004). Dans le contexte de l'UCD, les personas sont le résultat principal de la première étape de la recherche sur les utilisateurs. Chaque persona contient généralement un nom réaliste, une photo représentative et des descriptions de ses rôles, tâches, objectifs, motivations et défis typiques.

Depuis son introduction, le concept et le terme persona ont été largement adoptés dans le domaine de l'UCD et intégrés dans le processus de conception de nombreuses entreprises afin d'aider l'équipe de conception et de développement à décrire les caractéristiques de leurs utilisateurs cibles et à développer l'empathie envers les utilisateurs finaux de leurs systèmes. Par exemple, Nielsen et Hansen (2014) ont mené une étude auprès de 13 entreprises danoises pour enquêter sur l'utilisation du persona. Ils ont constaté que les personas avaient été créés tôt dans le processus de conception et utilisés tout au long de la communication sur les besoins des utilisateurs pour prendre des décisions de conception (L. Nielsen & Hansen, 2014). Miaskiewicz et Kozar (2011) ont résumé 22 avantages de l'utilisation de personas selon les opinions de 19 experts en conception (Miaskiewicz & Kozar, 2011). Nous résumons les cinq principaux avantages dans le Tableau 4-1.

Tableau 4-1. Avantages des personas dans l'UCD selon l'étude de Miaskiewicz et Kozar (Miaskiewicz & Kozar, 2011)

Avantage	Description
Focus sur l'audience	Concentrer le développement de produits sur les utilisateurs / clients et leurs objectifs (plutôt que sur les limitations ou opportunités spécifiques offertes par la technologie).
Priorisation des exigences du produit	Donner la priorité aux exigences du produit et aider à déterminer si les bons problèmes sont résolus.
Priorisation de l'audience	Donner la priorité aux audiences et mettre l'accent sur les audiences les plus importantes.
Défier les présuppositions	Faire émerger et remettre en question des présuppositions organisationnelles (souvent incorrectes) concernant les utilisateurs.
Prévention de la conception autoréférentielle	Aider les individus à comprendre à quel point les utilisateurs / clients sont différents d'eux-mêmes

De nombreuses études antérieures ont rapporté des cas dans lesquels l'utilisation de personas a soutenu le processus UCD et la conception de produits réussis. Par exemple, Pruitt et Grudin (2003) ont décrit leur processus utilisant les personas chez Microsoft. Une fois les personas créés, ils ont été utilisés tout au long du processus de développement, notamment lors de la conception, de la priorisation des fonctionnalités, de la documentation et des tests (Pruitt & Grudin, 2003). Par exemple, l'équipe a évalué l'importance de chaque caractéristique du produit par rapport à chaque persona afin de justifier les priorités des fonctionnalités. Dotan et al. (2009) ont fourni un rapport détaillé sur la manière dont les personas ont été utilisés lors de la refonte d'une plateforme d'apprentissage (Dotan, Maiden, Lichtner, & Germanovich, 2009). Dans leur projet, les personas ont été créés au moyen d'entrevues et d'observations avec les utilisateurs cibles, puis complétés par des réunions avec l'équipe de développement. Une fois créés, les personas ont d'abord été discutés lors d'une « session de familiarisation » au cours de laquelle les développeurs de produits ont formulé des commentaires généraux et des hypothèses pour chaque persona. Elle a ensuite été suivie d'une session formative de révision du prototype, au cours de laquelle la version précédente du produit a été examinée par rapport aux objectifs et aux besoins des personas. Enfin, une liste d'exigences spécifiques pour chaque persona a été générée au cours de ce processus. Margaret Burnett et ses collègues ont également beaucoup travaillé sur le rôle des personnalités dans la promotion de la prise en compte du genre dans la conception de logiciels. Dans leur récente étude, Burnett et al. (2016) ont constaté que GenderMag, une méthode d'inspection logicielle pilotée par les persona qu'ils ont développée, a aidé avec succès les praticiens de logiciels à détecter les problèmes d'inclusion de genre dans leur produit (Burnett, Peters, Hill, & Elarief, 2016).

L'utilisation de personas a été étudiée de manière plus formelle dans le cadre du génie des exigences logicielles. Par exemple, Aoyama (2005) a proposé une approche du génie des exigences basée sur le persona, appelée méthode Hanako (Aoyama, 2005). Cette méthode comprend deux activités principales: (1) l'analyse de Persona, dans laquelle les personas et leurs scénarios correspondants (c.-à-d. Des histoires idéalisées sur l'utilisation du système du point de vue du persona) ont été créés en fonction du regroupement des utilisateurs et de leurs besoins, et (2) l'analyse de la valeur d'exigences, dans laquelle les « points chauds » des exigences et les « points d'extension » du produit ont été identifiés sur la base d'une analyse de l'interaction entre les personas et les scénarios. Almaliki et al. (2015) ont proposé PAFA, une méthode basée sur le persona pour « l'acquisition adaptative de la rétroaction » (Almaliki, Ncube, & Ali, 2015). Cette méthode s'est concentrée sur l'utilisation des personas dans l'analyse et l'adaptation des commentaires des utilisateurs afin de faire évoluer un système logiciel. Il comportait quatre phases itératives: (1) dériver un ou plusieurs scénarios en fonction de chaque persona, (2) créer des modèles d'objectifs pour capturer les exigences de chaque persona en fonction de ses scénarios, (3) concevoir des cas d'utilisation basés sur les modélisations d'objectifs d'interaction souhaitée de l'utilisateur, et (4) en utilisant ces artefacts pour analyser la variabilité et les points communs des fonctionnalités pour différents personas afin d'adapter les retours des utilisateurs.

Des recherches antérieures ont également identifié diverses limitations des personas. Blomquist et Arvola (2002) ont présenté une étude d'observation longitudinale sur l'utilisation des personas dans une entreprise de taille moyenne. Ils ont constaté que, même si les personas étaient disponibles, ils n'étaient pas intégrés au processus de conception de cette entreprise, principalement parce que les membres de l'équipe autres que les concepteurs d'interaction n'avaient pas une connaissance suffisante de ce concept (Blomquist & Arvola, 2002). Ceci indique qu'il faudra peut-être beaucoup de temps et d'efforts pour familiariser toutes les parties prenantes avec ce concept afin de concrétiser ses valeurs. Matthews et al. (2012) ont mené une étude d'entrevue avec 12 experts en conception d'une entreprise mondiale basée en Amérique du Nord, afin d'étudier leur utilisation pratique des personas. Ils ont constaté que dans cette entreprise, les personas étaient principalement utilisés pour communiquer les besoins des utilisateurs finaux entre les parties prenantes, plutôt que pour alimenter la conception de leurs interactions (Matthews, Judge, & Whittaker, 2012). Les auteurs ont donc fait valoir que cela était dû au fait que leurs personas étaient quelque peu détachés des données de l'étude utilisateur et n'étaient donc ni réalistes ni précis.

En résumé, les personas sont depuis longtemps introduits et utilisés dans le processus UCD. Ils doivent d'abord être vus comme un outil de communication et de clarification des besoins. S'ils sont créés et utilisés correctement, ils peuvent aider l'équipe de conception à rester concentrée sur les besoins de leurs utilisateurs cibles et à prioriser les différentes fonctionnalités du système. En général, la création de personas doit s'appuyer sur de vraies données d'études utilisateurs. Il n'y a pas de règle quant au nombre idéal de personas. Idéalement, chaque persona synthétisera un groupe d'utilisateurs, mais la façon dont le groupement sera fait dépendra des objectifs de conception. L'utilisation de personas nécessite des connaissances et l'adhésion de toute l'équipe de développement.

4.2.3 Interaction basée sur les rôles

Les personas des professionnels du MTQ développés dans le cadre de ce projet saisissent les besoins et les défis des rôles importants qui pourraient bénéficier du système. Ces personas soutiennent donc la conception d'une interaction basée sur les rôles, grâce à laquelle les utilisateurs assumant différents rôles peuvent interagir différemment avec le système. La conception de systèmes interactifs basés sur des rôles a longtemps été un sujet d'investigation. Patterson a été le premier à envisager ce type de conception dans le contexte d'une application multi-utilisateur synchrone, une tâche de conception et de programmation complexe (Patterson, 1991). Greenberg a discuté de l'importance de satisfaire les besoins et les compétences variés des utilisateurs de logiciels collaboratifs et a proposé le concept de « groupware » personnalisé permettant de modifier le comportement du système pour répondre aux besoins de différents rôles (Greenberg, 1991). Zhu et al. ont précisé que les rôles dans les systèmes d'information et de communication impliquent deux aspects: les droits et les responsabilités (Zhu, Zhou, & Hou, 2015). Ils ont proposé un modèle « E-CARGO » qui place les rôles d'utilisateurs dans l'environnement des classes, des agents, des groupes et des objets.

Des travaux antérieurs ont exploré des modèles et des techniques permettant d'identifier et de soutenir les rôles différents des outils et techniques de développement logiciel (Tomakyo & Hazaan, 2005). Zhu et al. ont préconisé une prise en compte complète et cohérente des rôles dans tous les aspects du génie logiciel et ont promu la recherche sur les outils de développement de logiciels à travers le prisme du développement de logiciel basé sur le rôle (RBSD) (Zhu, Zhou, & Seguin, 2006). Selon ce concept, un rôle définit un ensemble de responsabilités, d'attentes comportementales, de capacités requises et de droits associés à une phase du développement de logiciels. De même, Acuña et Juristo (2004) ont proposé un modèle comprenant 20 capacités générales essentielles au développement de logiciels et les ont cartographiées avec 20 rôles prédéterminés dans des projets de logiciels (Acuña & Juristo, 2004). Tirant profit de ce modèle, ils ont présenté une procédure permettant d'affecter des personnes à des rôles en fonction de leurs capacités. Plus récemment, des chercheurs ont étudié la dynamique des rôles dans des équipes auto-organisées de développement de logiciels. Hoda et al. (2013) ont mené une recherche de « théorie ancrée » avec 58 praticiens agiles issus de 23 sociétés de logiciels afin de comprendre la dynamique des rôles dans les équipes. Ils ont identifié six rôles « informels, implicites, transitoires et spontanés » remplis par des praticiens pour renforcer la nature auto-organisatrice de la pratique agile (Hoda et al., 2013). Ces rôles incluent, par exemple, des *mentors* qui guident et informent l'équipe dans l'utilisation de méthodes agiles, des *traducteurs* qui communiquent entre les clients et l'équipe technique et des *champions* qui obtiennent le soutien de la direction.

Outre les outils de génie logiciel, les rôles sont également examinés dans divers domaines d'application des technologies de travail collaboratif (Zhu & Zhou, 2008), y compris les outils d'aide à la décision (Barlow, 2013), les systèmes de contrôle d'accès (Ben Fadhel, Bianculli, & Briand, 2018) et les plateformes de coproduction de connaissances (Arazy et al., 2016; Guzdial et al., 2000). Par exemple, Barlow a utilisé la théorie des rôles et la théorie des actes de langage pour étudier l'émergence de rôles dans des groupes de prise de décision. Ils ont constaté que quatre rôles (à savoir les partageurs, les auditeurs, les organisateurs et les leaders d'opinion) ont émergé au travers d'un processus décisionnel

collaboratif (Barlow, 2013). Arazy et al. (2016) ont identifié sept rôles des contributeurs de Wikipedia, tels que *contributeurs complets* et *concepteurs de mise en page*, via une analyse de regroupement des actions des utilisateurs dans les articles de Wikipédia (Arazy et al., 2016). À partir de cette analyse, ils ont fourni plusieurs implications pour la conception de plateformes de co-production. Guzdial et al. (2000) ont également examiné une étude de cas où huit rôles ont été pris en compte dans la conception d'un système de création en collaboration (Guzdial et al., 2000). Dans leur approche, les préoccupations et activités centrales de chaque rôle ont d'abord été définies, puis des fonctionnalités et des outils ont été conçus pour y répondre. Par exemple, les préoccupations et les activités du rôle *auteur* comprenaient l'ajout de matériel, la recherche des matériels nouveaux et la recherche de matériel connexe; en conséquence, des fonctionnalités pour la composition du contenu et la surveillance des contenus associés ont été incluses pour ce rôle.

Des études antérieures ont également exploré les techniques de visualisation basées sur les rôles. Par exemple, Wu et al. ont proposé un prototype de visualisation d'information basé sur des cartes pour la gestion des urgences, prenant en compte différents rôles dans les équipes (Wu, Zhang, Convertino, & Carroll, 2009). En raison du domaine d'application, leur système a adopté une conception de collaboration qui permet aux utilisateurs ayant différents rôles d'annoter sur la carte pour communiquer leurs raisonnements et leurs jugements. Mckenna et al. (2015) ont rapporté avoir adopté une approche UCD pour concevoir un tableau de bord de cybersécurité destiné à différents types d'utilisateurs (Mckenna et al., 2015). Ils ont utilisé deux personas (un gestionnaire de réseau et un cyberanalyste) créés dans le cadre d'une étude d'entrevue avec 12 utilisateurs potentiels pour cerner les besoins des rôles critiques. Ils ont ensuite utilisé une technique d'esquisse de données pour explorer les solutions de conception potentielles; ce processus s'est concentré sur la création rapide de visualisations basées sur un ensemble de données de petite échelle afin d'avoir un retour rapide des utilisateurs. Tokola et al. (2016) ont conçu un système de tableau de bord de fabrication représentant trois niveaux de hiérarchie en fonction des rôles des utilisateurs : un pour les gestionnaires, un pour les superviseurs et un autre pour les opérateurs. Une méthode d'enquête avec différents experts de la fabrication a été utilisée pour identifier les indicateurs de performance clé que différents types d'utilisateurs ont appréciés (Tokola et al., 2016). Mahmoodpour et al. (2018) ont utilisé ces indicateurs pour créer une visualisation basée sur les rôles pour les systèmes industriels basés sur l'internet des objets (Mahmoodpour et al., 2018).

Dans notre étude, nous exploitons les approches des travaux précédents. En particulier, nous avons généré des personas (à travers une étude d'entrevue) pour saisir les besoins (*ce à quoi doit répondre l'outil*) et les objectifs (*ce que les usagers visent à réaliser avec l'outil*) des rôles importants (*fonctions d'un groupe d'utilisateurs*) des utilisateurs potentiels (*individus qui utilisent l'outil*) du MTQ. Notre prochaine étape consiste à développer les indicateurs de performance clé pour chaque persona et à explorer la visualisation et la conception de tableaux de bord avec une technique de dessin de données.

4.2.4 Visualisation pour l'analyse de la circulation

La visualisation des données pour l'analyse de la circulation est un domaine de recherche difficile et actif. De nombreux travaux antérieurs ont étudié les techniques et les outils de visualisation dans ce domaine (Elbaham, Nguyen, & Cheriet, 2016; Pack, 2010; Wang et

al., 2014). Par exemple, Guo et al. ont créé un système pour appuyer l'inspection interactive des données de circulation sous trois perspectives (vues spatiales, temporelles et multidimensionnelles) afin d'analyser les schémas de circulation microscopiques et les comportements anormaux (Guo et al., 2011). Ferreira et al. ont proposé un modèle de visualisation qui permet aux utilisateurs d'interroger de manière itérative et exploratoire des données de circulation, pour différentes heures et ce, grâce à des données de taxis (Ferreira et al., 2013). De même, Pu et al. ont mis au point un système interactif utilisant plusieurs techniques de visualisation avancées pour surveiller et analyser des conditions de circulation complexes dans les grandes villes (Pu et al., 2013). Cruz et Machado (2016) ont proposé une nouvelle technique de visualisation de la circulation utilisant des métaphores sémantiques inspirées par des vaisseaux sanguins pulsés (Cruz & Machado, 2016). Gomes et al. (2017) ont également étudié la représentation des modèles d'oscillation de la circulation par une technique inspirée de la visualisation de champs de vecteurs (Gomes, Santos, & Vidal, 2017). Cependant, dans de nombreux travaux précédents, l'analyse des tâches que les utilisateurs doivent effectuer avec des données de circulation est insuffisante. En particulier, la connaissance des besoins des planificateurs et des experts en circulation sur la visualisation des données de circulation est extrêmement limitée. Notre travail comble cette lacune en utilisant une approche d'UCD. Il faut comprendre que l'UCD est à la fois un outil de recherche et un outil de développement; c'est par ailleurs une approche relativement récente. Ceci peut expliquer pourquoi il n'a pas été possible de trouver beaucoup d'information publique autour des utilisateurs d'outils tels que développés dans ce projet.

4.3 Méthodologie

L'objectif de notre étude était de comprendre les besoins des utilisateurs de l'outil permettant de suivre et d'analyser les conditions de circulation sur le réseau routier. Pour atteindre notre objectif, nous avons mené des entrevues auprès de 19 professionnels du ministère des Transports du Québec (MTQ).

4.3.1 Les participants

Pour notre étude, nous avons recruté 19 professionnels (12 hommes et 7 femmes) du MTQ qui ont utilisé ou ont l'intention d'utiliser des données sur les conditions de circulation dans leur travail. Leur expérience professionnelle varie de deux ans à plus de 30 ans. Les participants travaillent dans sept directions du MTQ: (1) Modélisation des systèmes de transport, (2) Planification et mobilité durable, (3) Expertise en conception routière, (4) Expertise en chaussée et en circulation, (5) Mobilité (de la Direction générale de la Coordination et relations avec le milieu), (6) Grand projet du tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine et (7) Grands projets Pont de l'Île-aux-Tourtes et échangeur Saint-Pierre. Les participants ont été invités à passer une entrevue au MTQ ou par téléphone pendant environ 45 minutes. Avant chaque entrevue, nous avons recueilli le consentement éclairé de chaque participant afin qu'il sache que sa participation était volontaire et que son identité resterait confidentielle tout au long de l'étude. Le Tableau 4-2 propose un résumé des participants.

Tableau 4-2. Participants à l'étude d'entrevue

Participant	Département / expertise	Expérience
P1	Planification et mobilité durable	Plus de 10 ans
P2	Expertise en chaussée et circulation	Moins de 10 ans
P3	Expertise en conception routière	Plus de 10 ans
P4	Modélisation des systèmes de transport	Moins de 10 ans
P5	Expertise en chaussée et circulation	Moins de 10 ans
P6	Modélisation des systèmes de transport	Moins de 10 ans
P7	Expertise en réalisation des projets	n.d.
P8	Planification et mobilité durable	Plus de 10 ans
P9	Grands projets Pont de l'Île-aux-Tourtes et échangeur Saint-Pierre	Moins de 10 ans
P10	Mobilité	Moins de 10 ans
P11	Grand projet du tunnel Louis-Hippolyte-La Fontaine	Moins de 10 ans
P12	Modélisation des systèmes de transport	Moins de 10 ans
P13	Planification et mobilité durable	n.d.
P14	Modélisation des systèmes de transport	Moins de 10 ans
P15	Modélisation des systèmes de transport	Plus de 10 ans
P16	Expertise en chaussée et circulation	Plus de 10 ans
P17	Expertise en chaussée et circulation	n.d.
P18	Modélisation des systèmes de transport	Plus de 10 ans
P19	Planification et mobilité durable	Moins de 10 ans

4.3.2 Méthode d'entrevue

En raison du grand nombre de participants, les entrevues ont été réalisées au MTQ à trois dates différentes, les 3, 5 et 11 décembre 2018; chaque session a duré environ 45 minutes. Au cours des entrevues, nous avons posé quatre grandes questions ouvertes auxquelles se sont ajoutées des questions complémentaires : (1) leur rôle au sein du ministère des Transports et leur nombre d'années d'expérience, (2) l'utilisation qu'ils font des données sur les conditions de circulation et de congestion, (3) les défis qu'ils rencontrent lors de l'utilisation de telles données et (4) de décrire à quoi ressemblerait, selon eux, un outil de rêve pour l'analyse des conditions de circulation sur le réseau routier. Les entrevues ont été entièrement enregistrées (audio) puis transcrites pour analyse.

4.3.3 Analyse des données d'entrevue

Nous avons adopté une approche de codage qualitatif inductif pour analyser les données de l'entrevue, avec l'aide du logiciel de recherche qualitative ATLAS.ti.

Tout d'abord, les transcriptions ont été lues attentivement à plusieurs reprises afin de nous permettre de nous familiariser avec le contenu des entrevues, en accordant une attention particulière aux tendances observées. Des idées et des schémas initiaux ont ensuite été notés de manière à attribuer des codes préliminaires à différentes parties des transcriptions. Les réponses des participants ont été classées en fonction de quatre thèmes principaux soit 1) les objectifs et les valeurs des participants, 2) les pratiques adoptées dans le cadre de leur travail, 3) les défis rencontrés lors de la mise en œuvre de ces pratiques et 4) leurs besoins en données et en outils pour améliorer leur pratique.

Cet exercice de codage a été suivi d'une activité de création de diagrammes d'affinités afin de classer les codes selon les thèmes développés selon une hiérarchie qui révèle les pratiques, défis et besoins communs des participants. Après avoir examiné les codes et les transcriptions à plusieurs reprises, nous avons finalisé un diagramme d'affinités (voir la Figure 4-2) résumant les principaux résultats et présentant les thèmes principaux et sous-thèmes générés à partir des réponses des participants. Cette figure vise à illustrer le processus de création de diagrammes d'affinités et les résultats issus de cette démarche sont résumés dans ce rapport.

La dernière étape de l'analyse a été de trouver des caractéristiques communes et différentes parmi les participants afin de les catégoriser en fonction de leurs rôles. À cette fin, nous avons créé des tableurs pour enregistrer les responsabilités des participants et indiquer s'ils mentionnaient chaque code que nous avons identifié. Nous avons résumé les participants en quatre personas en fonction de leurs responsabilités professionnelles. Nous avons ensuite renseigné les attributs de chaque persona à l'aide des codes, c'est-à-dire des thèmes qu'ils ont mentionnés lors de l'entrevue relativement à leurs pratiques, les défis qu'ils rencontrent et les besoins qu'ils ont relativement aux données de circulation. Dans les sections suivantes, nous rapportons d'abord les thèmes communs identifiés par tous les participants dans les quatre catégories. Nous présentons ensuite les personas qui ont été créés.

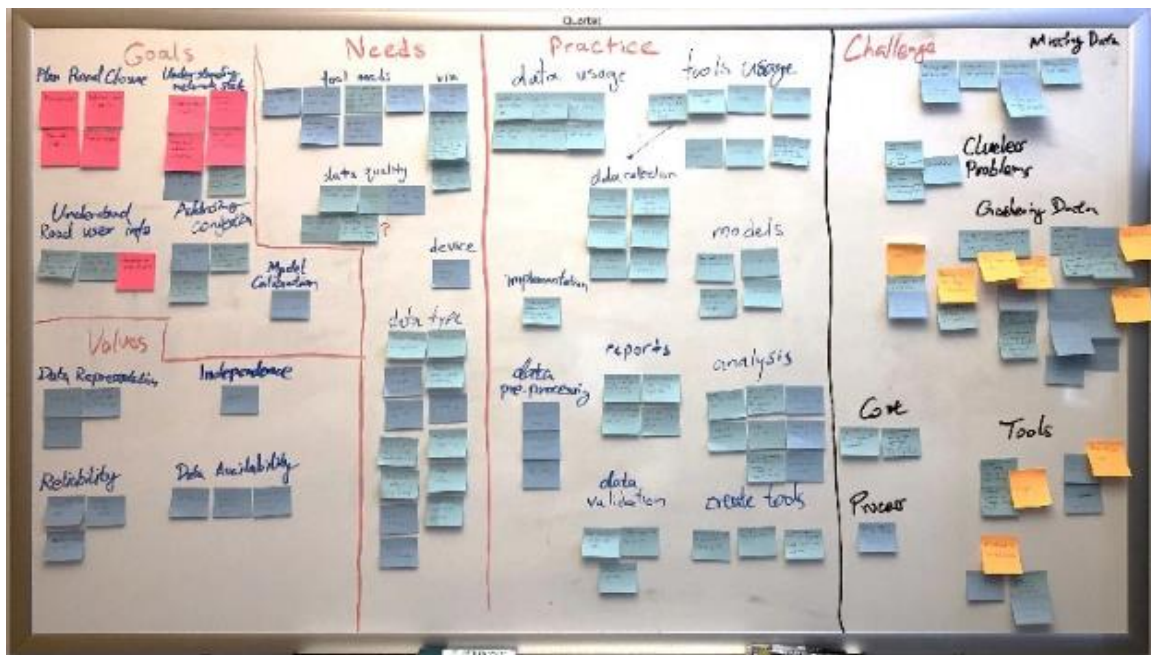


Figure 4-2. Diagramme d'affinités qui montre les codes groupés et leurs relations

4.4 Résultats

4.4.1 Synthèse des réponses des participants

Cette section présente une synthèse des éléments de réponse qui ont été donnés par les participants au regard de trois des thèmes qui ont été retenus aux fins de l'analyse, soit les pratiques, les défis et les besoins. Le premier thème, portant sur les valeurs et les objectifs, n'a pas été directement discuté, à travers nos questions lors des entrevues, et n'a pas émergé de manière significative à travers les réponses des participants. Ce thème n'a donc pas été retenu aux fins de l'analyse. Cette section contient des citations des participants. Pour préserver l'anonymat ou alléger certaines citations et faciliter la compréhension, certains éléments ont été reformulés ou ajoutés et sont identifiés [entre parenthèses carrées].

Pratiques

Les différentes directions du MTQ forment un écosystème complexe à travers lequel l'usage des données et des outils sur les conditions de circulation et de congestion varie grandement selon les rôles professionnels, les tâches et les projets.

Les professionnels du MTQ utilisent essentiellement quatre grands types de données :

1. Des débits de circulation, comptages routiers, idéalement classifiés par type de véhicules;
2. Des temps de parcours, auxquels s'ajoutent idéalement les vitesses, et la longueur des files d'attente;
3. Des informations sur les origines et des destinations (ex. débits, part modale);
4. Des données contextuelles, variables selon les tâches à accomplir, incluant les entraves à la circulation, les accidents routiers, les conditions météorologiques, la

géométrie des voies, le profil socio-économique des secteurs géographiques et des usagers, les comptages piétons et cyclistes, l'utilisation du sol et le développement résidentiel, l'achalandage TC.

Presque tous les participants ont indiqué utiliser les trois premiers types de données, sous des formes diverses selon leurs fonctions respectives. À cet égard, deux grands types de tâches ont été identifiés, entre lesquelles se dessine un spectre plus nuancé de pratiques:

- La gestion de chantier nécessite principalement des données de circulation récentes ou en temps réel avec une temporalité et une résolution géographique relativement fine. Des segments précis sont analysés par tranche de 15 minutes. Les données d'origine et de destination, idéalement obtenues par des relevés de plaques, servent à prévoir les stratégies de contournement et de rabattement. Les données doivent refléter à la fois la congestion récurrente et la congestion incidente pour mitiger les impacts sur les conditions de circulation. Les prévisions météorologiques, la géométrie routière et les comportements de circulation observés par caméra sont utilisés pour mesurer les risques d'accidents et de congestion.
- La planification de projets nécessite davantage des données historiques ou des projections de la demande. Les données en temps réel sont utilisées ponctuellement pour valider certaines hypothèses. La temporalité est plus large (pointe, hors pointe, saison, semaine, fin de semaine), alors que la couverture géographique touche toutes les échelles, allant d'un tronçon particulier au territoire régional dans son ensemble. Selon les tâches particulières, des données sur l'utilisation du sol, le développement immobilier ou le profil sociodémographique des usagers de la route ou des secteurs géographiques peuvent s'avérer nécessaires, pour ne mentionner que quelques exemples.

Pour recueillir, valider et analyser ces données, les participants ont indiqué utiliser une variété d'outils, certains plus basiques comme des feuilles de calcul ou Google Maps et d'autres plus complexes comme MapInfo, SQL ou R. Certains outils sont le fruit de développement interne tel que SIGO ou CIR alors que d'autres font l'objet de projet de recherche en partenariat avec le secteur privé ou sont utilisés occasionnellement selon les budgets disponibles, tels que Waze, StreetLight et INRIX.

La nature des données et des outils aurait beaucoup évolué dans le temps comme le mentionne un participant:

« Au début, on n'avait pas des outils qu'on a actuellement. Quand on implantait une voie réservée, on pouvait installer des instruments pour faire des comptages, mais on faisait surtout des comptages manuels. On faisait aussi des relevés de temps de parcours, à l'aide de véhicules flottants, et on relevait visuellement la longueur des files d'attente (...) donc au début c'était davantage manuel (...) éventuellement on a eu accès à des outils un peu plus avancés. C'est sûr que Google nous aide beaucoup maintenant (...). À l'occasion, nous avons pu bénéficier des données d'INRIX. Ce qui est fort utile. Nous complétons l'analyse des conditions de circulation par le biais de l'information donnée par nos caméras de circulation. »

Le besoin en données varie par ailleurs d'une région à l'autre en fonction d'enjeux spécifiques :

« On a besoin de beaucoup de données pour faire un modèle qui représente la réalité. On bâtit un modèle à partir des données de l'enquête OD, (...), mais après ça il faut que les données qu'on modélise collent sur ce qu'on voit sur le terrain. Donc il y a de la calibration à faire (...). Pour le MOTREM, ça fait longtemps qu'on le fait [intégrer les véhicules légers commerciaux], mais pour les autres régions on ne le fait pas. À Montréal il y a un gros biais d'Enquête. Il nous manque énormément de déplacements hors pointe. L'enquête OD nous donne seulement 40 % des déplacements sur l'heure du midi. Nous il faut qu'on compense ça, donc on crée une matrice de légers commerciaux (...) en faisant l'hypothèse que ce qui nous manque et qui n'est pas capté dans l'enquête OD c'est les véhicules légers commerciaux. »

Nous avons noté deux grands types de préférences quant au choix des données et des outils par les participants.

- Les premiers préfèrent avoir accès aux chiffres bruts, pour calculer eux-mêmes les indicateurs dont ils ont besoin et réaliser leurs propres représentations graphiques. Ce niveau d'accès leur assure un meilleur contrôle et une meilleure connaissance de la qualité des données qui entrent dans leurs analyses.
- Les seconds préfèrent des outils leur offrant des analyses graphiques et des indicateurs prémâchés. Pour ces personnes, les données de circulation sont souvent des intrants secondaires à leurs tâches. On peut penser, entre autres choses, aux responsables de projets ou aux chefs de direction qui doivent valider ou transmettre rapidement des informations.

Les uns et les autres adaptent cependant leurs pratiques en fonction des tâches à accomplir ou encore pour faciliter les discussions et se faire comprendre de leurs collègues.

À l'aide de ces outils, les participants se sont concentrés sur l'analyse des données de comptage et du temps de déplacement. Parfois, ils réalisent des graphiques 3D pour observer l'évolution de la congestion à travers le temps et l'espace. En outre, ils ont calculé divers indicateurs et procédé à la codification du réseau. Certains participants ont produit des rapports quotidiens en utilisant les données de Google et ont réalisé des visualisations pour justifier une intervention. Les participants prennent également des captures d'écran de Google Maps pour les insérer dans leurs rapports.

Certains des outils ont été développés à l'interne, tels que des scripts et des interfaces permettant de rechercher automatiquement des données:

« Les données sont récoltées dans les compteurs que l'on installe (...) nous avons une équipe spécifique pour traiter les données, qui vont les déposer ensuite sur le programme CIR. C'est une interface développée par le ministère qui calcule les DJMA et les DJMH. Les historiques de tous les comptages sont là. Les données de circulation sont disponibles

pour la semaine courante, les périodes estivales ou hors estivales, selon les besoins. »

Un participant a également mentionné : *« On a fait des scripts avec l'API Google, en ligne, pour sortir des matrices de temps de parcours, à différentes journées de la semaine comme ça, pour justement se faire une banque de données de temps, pour calibrer nos modèles. »*

Les participants ont expliqué que beaucoup d'efforts doivent être déployés pour le nettoyage et la validation des données. P4 a déclaré : *« une donnée, comme le Bluetooth, ça donne énormément de bruit. Il faut enlever le bruit. C'est un peu la même chose pour le comptage. Tu enlèves les journées qui ne fonctionnent pas, puis après ça tu es sûr d'avoir la bonne moyenne détaillée horaire. »* Certains participants ont mentionné avoir mené des études à long terme pour recueillir et valider des données, en exploitant parfois Google Trafic, les bases de données SAAQ et les enquêtes ARTM. Par exemple, P18 a dit : *« On veut connaître la longueur moyenne d'un véhicule par classe parce que c'est une chose importante pour le modèle. Donc avec les données de la SAAQ, on est capable de classifier en fonction des formats. »*

Défis

Les participants ont identifié des défis autant au niveau des données que des outils, mais également au niveau de l'état de la connaissance sur les conditions de circulation et du phénomène de congestion.

Le premier grand défi concerne la disponibilité et la fiabilité des instruments de collecte des données de comptage:

« On a trois types d'instruments sur le réseau. On a des boucles de détection, qu'on appelle des instruments intrusifs, qui sont dans la chaussée (...). On dit que c'est intrusif parce que quand il y a quelque chose à faire, il faut aller sur la chaussée. Après ça on a des systèmes semi-intrusifs. C'est un genre de puck que l'on met dans un trou dans la chaussée au milieu de la voie (...). On a aussi des instruments non intrusifs. C'est un radar sur le côté qui, par ondes, détecte les véhicules. Ces trois instruments-là nous permettent de collecter des données, mais ne sont pas partout sur le réseau (...) 80 %, voire même 85 %, des instruments déployés sur le réseau sont des boucles de détection. Les autres sont en déploiement graduel. C'est des critères de coûts et de faisabilité et de fiabilité aussi, de précision. Donc pas toute la même précision. Les radars, théoriquement c'est beau, mais dans la pratique on a de belles surprises. Ce qui fait qu'on ne peut pas les mettre n'importe où. Ça coûte cher aussi (...) Les boucles elles c'est l'entretien. Quand il n'y a personne pour l'entretenir, la boucle elle meurt là puis il n'y a plus de données (...). Sur la précision des données, malheureusement pour le radar et le magnétomètre, ils ne se sont pas encore prouvés efficaces au niveau de la classification des véhicules. Les données sur ces sites de collecte ne sont pas officielles ».

Seuls les tronçons les plus importants sont équipés de sites de comptage permanents. Ailleurs sur le territoire, des sites de comptage temporaires sont installés à tous les trois à cinq ans. Parfois, lorsqu'il y a défaillance d'un instrument, la collecte est reportée au prochain cycle. Les données les plus récentes sur certains tronçons peuvent ainsi remonter à 10 ans. Pour certains employés, le manque de données ne constituerait pas une problématique majeure puisque les débits de circulation n'évolueraient pas de manière significative à travers le temps. Pour d'autres, attirés à la gestion d'entraves et de chantiers, le manque de précision dans les données peut occasionner des situations imprévues et des maux de tête.

Plusieurs participants ont, par ailleurs, mentionné leur difficulté à interpréter les données en l'absence de variables contextuelles :

« On valide les données de comptage, mais parfois on ne sait plus pourquoi il y a eu une baisse. Elle est officielle, elle a été observée, mais on ne sait pas pourquoi (...) est-ce que c'est à cause de la température, est-ce qu'il y a eu un accident quelque part, est-ce que c'est tout simplement une baisse saisonnière ? Quand il y a de trop grosses baisses c'est souvent dû à autre chose. On a des données sur le serveur, mais ce n'est croisé avec rien (...). Au moins un des facteurs à inclure c'est la météo »

Le second enjeu le plus souvent cité concerne la qualité et la transparence quant au niveau de précision des données. Cela est particulièrement vrai pour les données de temps de parcours qui proviennent presque exclusivement du secteur privé depuis quelques années:

« J'ai un gros souci de transparence. Surtout avec les big data aujourd'hui. On parle ici entre autres des données Google. C'est une grosse boîte noire. On ne les connaît pas (...) il faut utiliser des données qui sont transparentes et que nous sommes capables de comprendre (...) de fixer un intervalle de confiance. De mesurer l'échantillon. Des fois on a des chiffres, mais on ne sait absolument pas c'est sur combien de relevés ? (...) La manière et la transparence, c'est aussi important que la donnée elle-même. Souvent on met ces éléments-là de côté. On a des chiffres, on les utilise. C'est très dangereux. À la DMST on a un souci de rigueur dans les données de comptage, de temps de parcours, de file d'attente (...) tout ça c'est des intrants pour nos modèle (...), mais si on cale avec de mauvaises données, garbage in, garbage out, on n'aura pas de bons modèles ».

De manière générale, les participants considèrent la dépendance qu'ils entretiennent à l'égard de Google comme étant très préoccupante en l'absence de données pour contre-vérifier les conditions de circulation observées et pour se prémunir contre d'éventuels changements dans les termes et les conditions d'utilisation. L'incapacité de pouvoir consulter l'historique et d'archiver les données est un irritant qui entretient autant la dépendance que l'incertitude concernant la qualité et la signification de ces données. Comme le mentionne un participant : *« On va voir les conditions de circulations sur*

Google Map. Mais on n'a pas la licence pour aller voir dans l'historique, pour stocker les données, c'est-à-dire on fonctionne seulement avec l'état présent. »

En ce qui a trait aux outils d'analyse, la nécessité de devoir passer d'une plate-forme à l'autre a été identifiée comme un irritant important et auquel s'ajoutent des problématiques de découpage spatio-temporel différent d'une plateforme à l'autre :

« le fait qu'il faut passer d'une application à l'autre ça ne facilite pas le travail (...) c'est sûr que nous on va chercher nos informations un peu partout. On veut tenir compte des voies réservées, des pistes cyclables, des chemins de fer (...) je préférerais que tout soit dans SIG. Quand je vais vérifier un tronçon que je puisse déjà aller consulter les données de circulation pour ce tronçon-là, comme on le fait pour les données de circulation aux intersections (...) Une des limitations de cet outil-là [SGE-intervention], c'est que les chemins de détours ne sont pas indiqués dans la cartographie. Donc il pourrait y avoir un conflit de chemin de détour dont on n'est pas conscient »

Le manque de flexibilité et de fonctions de certaines plateformes externes, comme MapInfo jugée plutôt fermée, mais aussi internes a été soulevée par certains participants : *« C'est un peu fou qu'on n'ait pas encore ça [une interface d'analyse pour utiliser les données sur CIR]. Le développement de systèmes à travers le ministère est toujours très compliqué. Les départements informatiques, ils ont d'autres priorités (...) quand tu demandes du développement ».*

Certains participants ont mentionné des thèmes de recherche qu'ils souhaiteraient voir être explorés afin d'enrichir l'état des connaissances sur le phénomène de la congestion et ses impacts. Le premier est la différence entre la congestion récurrente et la congestion incidente. Si la distinction entre ces deux concepts est claire en théorie, elle le serait moins en pratique:

"J'ai travaillé sur l'analyse des incidents sur la métropolitaine (...) À ma grande surprise, il y avait entre 13 et 20 accidents par direction juste entre le début de la pointe du matin et la fin de la pointe du soir. Il y en a continuellement. Éventuellement il faudrait être capable de les modéliser ces incidents-là (...) parce qu'ils ont une incidence sur la congestion et sur les temps. Les temps sont excessivement variables (...) C'est quoi la normalité ?"

Le second thème de recherche concerne l'impact du développement immobilier sur la congestion récurrente et le phénomène de demande induite. Le troisième thème de recherche est l'identification du point d'inflexion de la congestion face à différents types de géométrie routière. Le quatrième et dernier thème de recherche identifié est la relation entre le réseau routier local et le phénomène de congestion, d'une part afin de mieux anticiper les détournements de circulation lors de travaux routiers en milieu urbain et d'autre part pour mieux comprendre l'impact des nouvelles technologies. Des plateformes comme Google optimisent la durée des trajets en temps réel, ce qui amène dans certains secteurs des détournements de circulation sur les rues locales qui n'étaient peut-être pas empruntées par le passé.

Besoins

En ce qui concerne les données, les participants ont mentionné plusieurs besoins qui demeurent insatisfaits :

- disposer de davantage de données sur les temps de parcours, idéalement indépendantes du secteur privé, de manière à pouvoir se valider, arrive au sommet des priorités de la majorité des participants;
- des données historiques de comptages plus complètes à l'échelle du réseau, mais surtout reliées à des variables contextuelles qui permettraient de mieux les interpréter et de les utiliser de manière appropriée dans le cadre d'un projet ;
- des informations sur la méthode de collecte des données, la taille des échantillons et la précision des estimations;
- collecter et consigner davantage d'informations sur la gestion des chantiers et des entraves, soit les conditions d'intervention, les mesures de mitigation et les résultats obtenus, de manière à améliorer les pratiques.

Le besoin de données en temps réel a également été mentionné par quelques participants, en particulier ceux qui effectuent de la gestion de chantiers ou d'entraves:

« l'historique c'est bien pour la planification, mais pour les questions plus d'exploitation et de réaction rapide, le temps réel est absolument nécessaire (...) on a recours à une foule de caméras, mais à moment donné ça devient difficilement gérable (...) de voir l'ensemble des caméras (...) d'avoir une représentation en temps réel des conditions de circulation pour être capable de mieux cibler les endroits à analyser et pouvoir donner des bons messages aux usagers (...) l'information en temps réel, lors d'un incident, permet de diagnostiquer rapidement ce qui se passe sur le réseau et de réagir convenablement, soit en faisant appel à des services d'urgence ou en donnant de l'information par la biais de la radio ou de nos panneaux à messages variables ».

Certains participants ont indiqué souhaiter un indicateur qui permettrait de témoigner de l'évolution de la congestion sur un segment particulier, à l'échelle d'un secteur ou de la région dans son ensemble ou encore d'obtenir la liste des points de congestion les plus importants :

« C'est des questions qu'on a chaque année à la rentrée, à savoir est-ce que c'est pire ou moins pire que l'année dernière. Pis on n'est pas capable de répondre. On n'a pas d'outils pour répondre (...) avoir un indicateur de congestion comme un PIB par exemple. Ça vaut ce que ça vaut, mais au moins c'est un indicateur la croissance économique. Ben ce serait le fun d'avoir un indicateur de congestion qui nous dit bon ben on a chuté ou augmenté de 0,2 % (...) quand on fait des audiences publiques ont nous demande toujours ça : est-ce que la congestion va empirer ? »

Une participante a énoncé une mise en garde à cet égard :

« Parfois on me demande une analyse évolutive de l'étalement urbain. Est-ce que les distances parcourues ont augmenté. De la même façon parfois j'aimerais savoir, est-ce que pour de vrai, la congestion a augmenté ? Puis ça pour différentes régions, différents découpages, à l'intérieur de la région ou par corridor. Des fois ça peut être pour un générateur. Est-ce que en allant vers un endroit la congestion a augmenté ? (...) parfois les gens cherchent à savoir l'évolution pour mettre des cibles de diminution de congestion, mais ça c'est d'autres considérations et je ne suis pas nécessairement pour ça. Parce qu'on le sait que c'est le résultat d'un équilibre en fait. Entre la vitalité économique dans une région. Sinon c'est juste mort comme endroit, s'il n'y a personne qui ne veut aller nulle part. D'un côté [ce genre d'indicateur] c'est bien, mais d'un autre côté ce n'est pas bien. Quand les gens pensent qu'il y en a trop, mais qu'est-ce que c'est trop ? (...) un indicateur comme dans une politique ou un plan je trouve ça difficile (...) ça peut mener à mettre en place des solutions, qui vont empirer le problème à plus long terme. Donc je ne suis pas tant pour, mais c'est vrai que ça revient souvent dans les plans. Les gens veulent mettre un indicateur pour au moins si ce n'est pas la diminuer, la contenir »

Selon un participant cité précédemment, certains secteurs subissent une congestion incidente quasi quotidienne. Un participant, parlant de l'importance de disposer d'information en temps réel :

« Tsé quand on dit dans les grandes métropoles, il y a comme une règle générale qui s'applique, que la congestion incidente représente à peu près 50 % de l'ensemble de la congestion. C'est majeur, mais c'est celle qu'on peut adresser le mieux possible avec les outils dont on dispose. Pis c'est aussi la congestion la plus choquante pour l'utilisateur, parce que c'est celle pour laquelle il y aurait eu des options avoir eu l'information ».

En ce qui a trait à l'interface et à la visualisation, l'outil idéal a été résumé par les participants comme étant simple d'utilisation, flexible et multifonctionnel. Il facilite le croisement des données de circulation avec des variables contextuelles pertinentes et permet l'importation de nouvelles couches d'information. Il renseigne sur la qualité, la disponibilité et la précision des données. Il permet la création d'indicateurs, de mesures de performance et de classements sous différentes résolutions spatiales (ex. tronçon, secteur, polygone, paire OD) et temporelles (ex. quart d'heure, heure, pointe, hors pointe, période estivale, jours fériés), de manière à favoriser l'autonomie des employés. Il permettrait l'exportation des données, des indicateurs et autres résultats d'analyse sous différents formats (ex. csv, shp, pdf) et permet l'automatisation de rapports synthèse périodiques. Idéalement le design devrait être visuel et attrayant de manière à favoriser l'adhésion des employés. Certaines plateformes du secteur privé ont été mentionnées en exemple à cet égard :

« INRIX, ont eu une permission d'utiliser certains résultats de façon très circonstancielle. Je trouvais que la façon de présenter les résultats c'est intéressant quand on a accès à un diagramme, par exemple qui permet sur un tronçon de présenter des données de temps de parcours pour

différentes périodes de la journée avec une indication de la variance (...) ce qu'on trouve intéressant aussi c'est d'avoir accès à des heatmap selon les heures de la journée et différents points sur le réseau, avec une représentation couleur des conditions de circulation avec des vitesses précises ».

L'importance de la flexibilité a été soulignée par de nombreux participants et pourrait être d'autant plus importante dans l'avenir:

« Traditionnellement, c'est la pointe du matin à laquelle les gens s'intéressent. Mais en fait avec l'évolution démographique, les personnes âgées qui vont augmenter en proportion, selon les secteurs évidemment, ça va changer les patrons de déplacements parce que c'est gens-là se déplacent moins en pointe du matin (...) aussi qu'est-ce que la pointe ? Parfois c'est difficile à définir (...) un outil qui permet cette malléabilité-là, en fonction de la question Bon c'est pas évident à faire parce que les données ne sont pas réparties uniformément dans le temps, ni dans l'espace »

En ce qui concerne la visualisation, les participants ont mentionné qu'ils avaient besoin d'outils pour représenter les informations de synthèse afin de faciliter l'analyse de données et d'accélérer la production de rapports comme le mentionne un participant : *« C'est sûr que la visualisation est super importante. Souvent, on veut faire des choses répétitives -- c'est-à-dire des rapports soit pour le mois d'avant, le mois d'après, la semaine, peu importe... Donc c'est important d'avoir la visualisation qui est rapide à faire, attrayante et informative. »*. Une fonction qui permettrait de publier rapidement des bulletins d'indicateurs, dans un format vulgarisé pour des dirigeants ou des médias, a également été mentionnée.

En général, la manipulation directe lors de l'analyse et de la visualisation des données est un besoin courant: *« Je trouvais que la façon de présenter les résultats est intéressante quand on a accès à un diagramme, par exemple, qui permet, sur un tronçon qu'on spécifie, de présenter des données de temps de parcours pour différentes périodes de la journée avec indication de la variance de ce temps. »*

Les participants ont également indiqué qu'ils avaient besoin d'outils pour partager facilement des images et des informations visuelles, pour évaluer facilement l'accessibilité et pour calculer la capacité routière. Une plateforme unifiée d'analyse et de visualisation des données, une prise en charge de l'analyse exploratoire des données et une interopérabilité avec d'autres outils sont les fonctionnalités les plus demandées. Par exemple: *« Si on est capable de coupler ça à l'intérieur d'une plateforme intégrée, ben là je rêve, je ne verrai peut-être pas ça dans ma carrière, mais d'avoir accès à des données sur l'écoulement de la circulation, donc temps de parcours et files d'attente, avec des comptages de circulation, avec des images aussi qui nous permettent de voir ce qui s'est passé sur le réseau pour être capable de valider ces données-là. Tout ça, ça permettrait de planifier de façons plus performantes »*.

4.4.2 Les « personas »

À partir de l'analyse des données, nous avons créé quatre personnages que nous présentons ici: 1) **Mona**, l'experte en *modélisation*, qui se concentre sur la création et l'analyse de modèles de transport, 2) **Pierre**, le planificateur des transports, qui se concentre sur l'analyse de la demande, des impacts de réseaux et d'interventions sur ces réseaux, 3) **Sam**, l'expert en *sécurité* qui se concentre sur divers aspects de la sécurité routière et 4) **Caroline**, la *coordinatrice* qui supervise divers projets et réalise des études d'opportunité.


	<p>Pratiques</p> <ul style="list-style-type: none">• Traiter et nettoyer les données de différentes sources• Intégrer des données de différentes sources dans des modèles• Étalonnage et validation de modèles à l'aide de données de comptage et de temps de parcours <p>Outils</p> <ul style="list-style-type: none">• Google Maps: Créer un script qui produit des captures de sections prédéfinies et récupération de données sur Google• SIGO: Visualiser le comptage par section lors de la validation du modèle• StreetLight: Vient de commencer à utiliser cette plateforme, car il y a plus de données à interpréter <p>Défis</p> <ul style="list-style-type: none">• De nombreux types de données ne sont pas disponibles :<ul style="list-style-type: none">• Les camions et le transport commercial ne sont pas inclus dans les enquêtes OD• Données manquantes sur certaines intersections• Pas assez de données pour calculer la capacité routière sur une base mensuelle ou hebdomadaire• Difficulté à mesurer les taux d'occupation des véhicules• Doit s'appuyer sur Google Maps pour valider le modèle, mais l'API a diverses limitations• L'accès et l'extraction des données sur les serveurs du ministre sont lents <p>Besoins</p> <ul style="list-style-type: none">• Obtenir des données pour construire des modèles• Comprendre la tendance dans les données• Automatiser les procédures d'analyse des données <p>Outils</p> <ul style="list-style-type: none">• Soutenir le calcul de la capacité routière• Remplacer Google Maps avec des données réelles• Extraire des données sous différents types de fichiers (par exemple, csv, pdf)• Exporter et importer des données parmi outils différents <p>Visualisation</p> <ul style="list-style-type: none">• Visualiser différents indicateurs sur la carte• Graphiques simples pour aider à la compréhension des données• Manipuler et visualiser les données brutes pour la construction de modèles• Manipuler la visualisation, par exemple, par des requêtes sur les dates, types et des régions, pour soutenir l'exploration de données.
---	---

Figure 4-3. Persona d'experte en modélisation



Pierre
Planificateur des transports

Tâches principales:

- Analyser des demandes et des impacts d'entrave et d'intervention sur les routes.
- Analyser et soutenir des transports collectifs

Pratiques

- Faire des projections et des estimations DJMA
- Utiliser les données CIR pour valider les résultats de l'analyse d'intervention
- Comparer les conditions des sites pendant la construction à l'état normal
- Utilisez des caméras de circulation et les données de comptage pour connaître l'état actuel de la route

Outils

- Google Maps: Valider des analyses
- Excel: Traiter et calculer les données
- Inrix: Effectuer des analyses de performances routières

Défis

- Collecter les données et la qualité des données
- Recueillir des données en temps réel d'un grand nombre de caméras n'est pas possible
- Les capteurs ne sont pas toujours fonctionnels et il manque des données
- Certaines plateformes contiennent des données obsolètes

Outils

- Les données fournies par des outils tels que Google sont difficiles à interpréter
- Les feuilles de calcul Excel sont lentes pour les données volumineuses

Besoins

- Obtenir et analyser des données sur les incidents de congestion afin de réagir ou d'intervenir correctement
- Analyser les données de flux de trafic sur une plateforme intégrée qui présente divers indicateurs.

Visualisation

- Représentation de données pour les réseaux artériel et municipal
- Bonne visualisation pour la rédaction de rapports

Figure 4-4. Persona de planificateur des transports

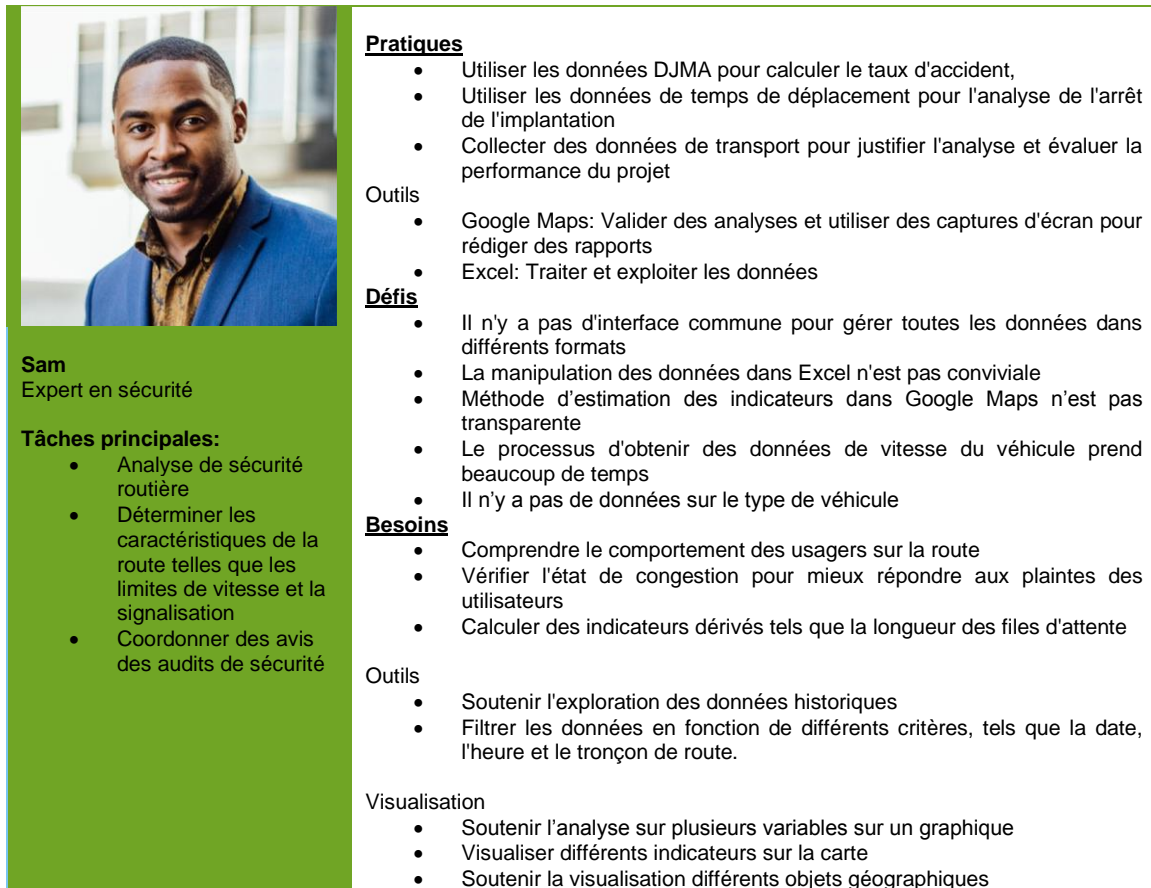


Figure 4-5. Persona d'expert en sécurité



Figure 4-6. Persona de coordinatrice

4.5 Prochaines étapes

4.5.1 Utilisation des personas

Sur la base des personas identifiés, nous allons étudier la conception d'interactions basée sur les rôles de l'outil. En particulier, nous allons développer les indicateurs de performance clés pour chaque persona et explorer la visualisation et la conception de tableaux de bord avec une technique de dessin de données (Mckenna et al., 2015). En outre, un thème qui a émergé lors des entrevues est celui du manque de données et de la compréhension et de l'analyse de la fiabilité des données. Nous allons donc explorer des moyens de visualisation de l'incertitude des données.

4.5.2 Rencontre avec des partenaires hors-MTQ

Des entrevues ont par ailleurs été réalisées auprès de neuf professionnels oeuvrant dans quatre organisations de la région de Montréal : Exo, CMM, STM, Ville de Montréal. Ceux-ci ont été informés des objectifs et des limites du projet, de même que de la présence des besoins du MTQ dans la conception finale de l'outil. Le contenu de ces rencontres doit être analysé. Déjà, les éléments suivants ont été notés :

- Objectifs associés à l'usage de données de temps de déplacements / vitesses: prévoir les heures d'arrivée aux arrêts de bus, comprendre les alternatives, planification de nouveaux feux de circulation, gestion de la congestion, modélisation.
- Principaux outils utilisés dans ce contexte: PostgreSQL QGIS, Aimsun, etc.
- Défis rencontrés avec les outils/données actuellement disponibles: différents outils produisent différents résultats, manque de données. Enjeux d'incertitude et non fiabilité des données.
- Vue sur l'outil idéal: données précises dans le temps et l'espace, flexibilité dans le choix des données, choix d'objets de visualisation faciles à comprendre, possibilité d'inclure des données brutes, choisir un point sur une carte et obtenir des informations, indicateurs de base, présenter les pointes, facilité de manipulation et de transformation des données.
- Préoccupation : identifier le niveau de résolution pour lequel les données sont fiables.

5 MÉTHODOLOGIE D'ANALYSE DES FILES D'ATTENTE

Cette section propose différentes perspectives possibles pour analyser plus spécifiquement les files d'attente à partir de données GPS (ou « global navigation satellite systems » (GNSS)). Alors que les indicateurs typiques de congestion se concentrent sur les zones* périodes de congestion, l'analyse des files d'attente cible davantage l'identification des zones d'amorce et fin des épisodes de congestion à travers la construction et l'analyse d'événements de décélération (entrée en zone de congestion) et (sortie de file d'attente). Les sections qui suivent proposent différents points de vue sur les expérimentations menées pour évaluer les opportunités de valorisation des données GPS pour documenter les files d'attente.

5.1 Méthodologie générale

De façon générale, la décélération et les vitesses avant/après cette décélération sont les éléments clés de valorisation des données GPS pour fins d'identification des files d'attente. Un véhicule est en file d'attente si la gêne des autres véhicules empêche le conducteur d'atteindre sa vitesse désirée. Il faut donc définir des seuils de vitesse pour identifier les véhicules en file d'attente, et les points auxquels ils en entrent et en sortent.

Ainsi, les données GPS sont traitées afin de construire une base de données représentant les événements de décélération et accélération. Puisque chaque paire de points GPS successifs est susceptible de représenter une décélération ou une accélération, il est nécessaire de procéder à l'agrégation de points successifs dans la mesure où ceux-ci sont considérés représenter un même événement (d'accélération ou de décélération). Il est donc nécessaire d'identifier des critères pour cette agrégation de points successifs. Ainsi, pour chaque paire de points successifs (gps_i , gps_{i+1}), nous retrouvons :

- La vitesse du point gps_i : est-elle supérieure ou inférieure à un seuil donné (le seuil de congestion par exemple) ?
- Le taux de décélération (accélération) : calculé à l'aide des vitesses observées aux points (gps_i , gps_{i+1}) ainsi qu'au temps écoulé entre les deux valeurs
- La vitesse du point gps_{i+1} : est-elle supérieure ou inférieure à un seuil donné ?

Par le biais de différentes combinaisons de seuils de vitesse et décélération (accélération), il s'agit donc de créer des événements de décélération ou accélération puis de les classer comme représentant différents phénomènes d'intérêt par exemple :

- Événement d'entrée en file d'attente qui implique une vitesse initiale au-dessus du ratio de vitesse exprimant la congestion et une vitesse finale sous le ratio exprimant le seuil de congestion;
- Événement d'entrée en hyperattente impliquant une vitesse finale approchant l'immobilité (0.1 de la vitesse en écoulement libre par exemple – seuil à valider)
- Événement de sortie de l'hyperattente impliquant l'attente d'une vitesse sous le ratio exprimant le seuil de congestion, mais supérieure au seuil de ratio exprimant l'hyperattente
- Événement de sortie de la zone de congestion lorsque la vitesse initiale est sous le ratio de vitesse exprimant la congestion et la vitesse finale est au-dessus de ce seuil.

L'identification des événements de décélération et d'accélération ainsi que leur classification sur la base de décélération/accélération suffisante et seuils de ratios de vitesse vise à identifier les courbes enveloppes spatio-temporelles des zones de congestion.

5.1.1 Méthodologie de création des microévénements

Ainsi, il a été défini que pour l'analyse de files d'attente il est nécessaire d'étudier des événements d'accélération et de décélération. Pour ce faire, on passe par une étape de génération de microévénements. Un microévénement d'accélération est constitué de deux points successifs présentant une augmentation de la vitesse. Inversement, un microévénement de décélération est constitué de deux points successifs présentant une diminution de la vitesse du véhicule.

L'outil développé vient donc agréger les points successifs deux à deux formant un ensemble de microévénements dont on retiendra les informations suivantes : le jour-heure de départ et d'arrivée, l'identifiant du tronçon et sa position sur celui-ci pour le départ et l'arrivée, la vitesse de départ et d'arrivée, et enfin la valeur d'accélération (ou de décélération) entre les deux points.

5.1.2 Analyse

Prenons comme exemple l'autoroute 13 en direction Nord, pour la période de janvier 2019. D'après la méthodologie ci-dessus, la méthode fournit un ensemble de données de microévénements pour cette plage spatio-temporelle. Ici, puisqu'aucun filtre n'a encore été effectué, on retrouve dans cet ensemble toutes les formes d'accélération et de décélération. C'est-à-dire, que l'ensemble peut être constitué aussi bien de freinages d'urgence qui peuvent être responsables/ témoins d'une file d'attente, que d'événements plus banals comme le ralentissement dû à un changement de vitesse, ou une accélération à la suite d'une entrée sur l'autoroute.

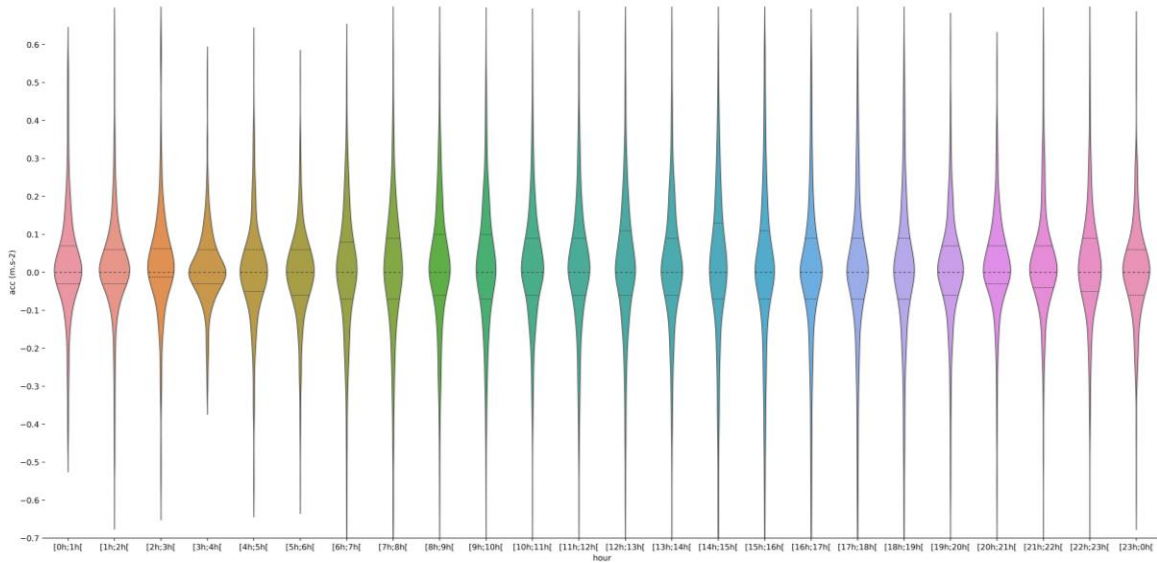


Figure 5-1. Distribution horaire des accélérations, A13 Nord janvier 2019

En traçant la distribution des valeurs d'accélérations de cet ensemble sur chacune des heures de la journée en Figure 5-1, on peut témoigner d'un plus grand étalement des accélérations en période de pointe. En effet, plus les valeurs d'accélération se regroupent autour de 0, meilleure est la fluidité du trafic. Puisque la médiane se situe pour chaque heure au niveau d'une accélération nulle, on peut conclure qu'on retrouve autant d'événements d'accélération que de décélération. Le premier quartile fait donc office de médiane pour les données de décélérations et le troisième quartile pour les données d'accélérations.

Chez les décélérations, on retrouve une médiane autour de -0.03 m.s^{-2} hors-pointe, alors qu'elle se rapproche plus de -0.1 m.s^{-2} en période de pointe. Ceci traduit donc une augmentation de la proportion des microévénements où la valeur d'accélération est inférieure à -0.1 m.s^{-2} . Chez les accélérations, on retrouve le même phénomène où la médiane se situe autour de 0.06 m.s^{-2} hors-pointe, alors qu'elle se rapproche plus de 0.11 m.s^{-2} en période de pointe. Ce phénomène se retrouve sur l'ensemble des autoroutes étudiées sur la même période (voir annexe, section 11.3).

Cette étude montre notamment que la proportion de microévénements en condition de circulation fluide est très importante et qu'il est nécessaire de les filtrer afin de pouvoir traiter uniquement les files d'attente.

5.2 Agrégation des événements de files d'attente

Un ensemble de critères a été défini afin de ne conserver que les événements intéressants et d'agréger les événements successifs.

En filtrant les microévénements sur une accélération minimale ainsi qu'une décélération minimale, on est en mesure de dire que l'événement conservé ne peut être un événement banal en circulation fluide. En posant un seuil d'accélération de 0.5 m.s^{-2} (-0.5 m.s^{-2} pour les décélérations) on ne récupère que 8% des microévénements, ce qui est permet

d'avoir une base de données légère, mais n'étant constituée que de l'essentiel des files d'attente.

L'agrégation des données fonctionne sur le principe suivant : si deux microévénements successifs sont de même type (toutes deux accélérations, ou toutes deux décélérations), et si la distance temporelle entre la fin du premier et le début du deuxième est inférieure à 20 secondes, alors les deux microévénements sont fusionnés en un seul événement de file d'attente. Cet événement conservera les caractéristiques de début d'événement du premier microévénement, ainsi que les caractéristiques de fin d'événement du deuxième microévénement. Un indicateur d'accélération maximale sera calculé pour chaque agrégat d'événements.

Dans le but de ne pas conserver de données inutiles, cet ensemble est filtré sur la vitesse, en ne conservant que les événements ayant une vitesse de début et de fin inférieure à 80% de la vitesse limite.

La Figure 5-2 et la Figure 5-3 montrent l'effet du filtre et de l'agrégation des microévénements en événements de files d'attente sur la distribution des vitesses et accélérations de 08h à 09h et de 18h à 19h. Ici, on voit bien que la forte densité d'événements d'accélération nulle cache les événements de files d'attente à étudier.

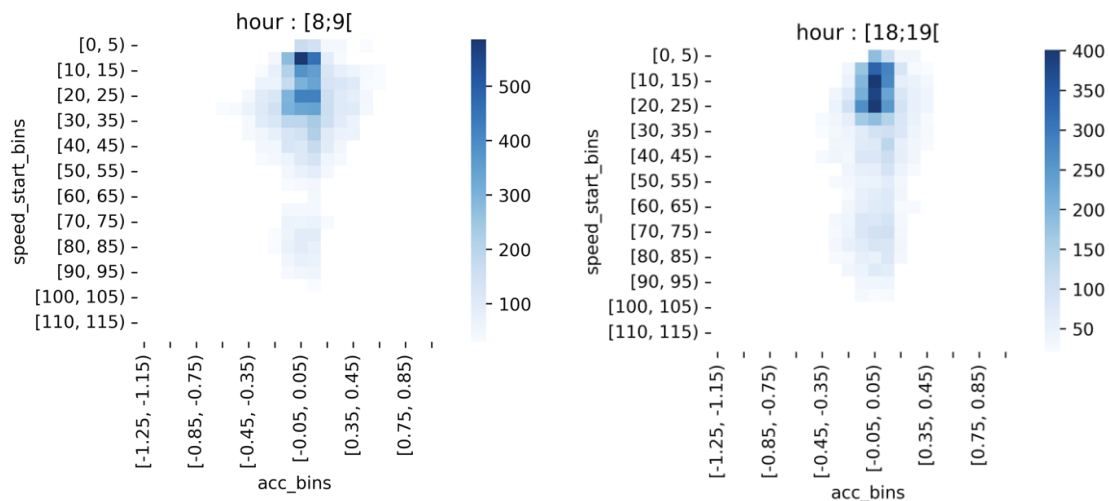


Figure 5-2. Carte de chaleur de la distribution des accélérations et des vitesses des micro-événements avant traitement

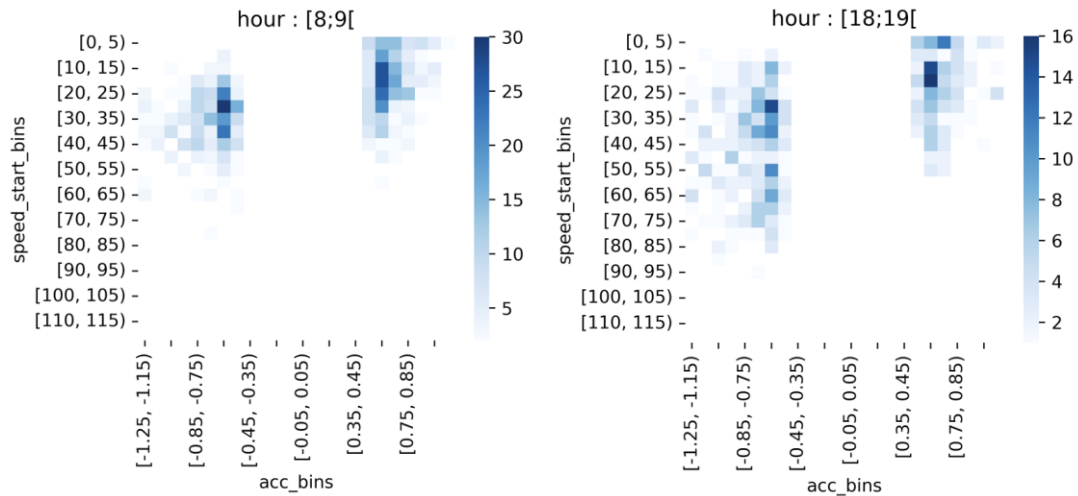


Figure 5-3. Carte de chaleur de la distribution des accélérations et des vitesses des événements de files d'attente (après traitement)

La base de données d'événements ainsi constituée a été intégrée dans la plateforme OSC2AR afin de permettre la visualisation de certaines statistiques associées. Les sections 8.5.7 et 8.5.8 présentent les visualisations qui ont été développées sur la base des événements ainsi constitués.

6 STRATÉGIE D'INTÉGRATION DES DONNÉES GPS ET HERE

Cette section s'intéresse plus spécifiquement à l'articulation de stratégies permettant d'intégrer les données de HERE aux données GPS et ce, en vue de les valoriser pour l'estimation de différents indicateurs de congestion prévus dans la plateforme.

6.1 Analyse descriptive des données de HERE

L'échantillon de données HERE qui est décrit dans cette section porte sur la période du 1^{er} septembre 2019 au 30 avril 2020. La Figure 6-1 montre la distribution du nombre d'observations de vitesse par heure du jour pour les données HERE pour les huit mois entre septembre 2019 et avril 2020. Le mois d'avril 2020 est de loin celui avec le plus faible nombre d'observations par heure (ce qui n'est sans doute pas étranger au fait que le Québec ait été plongé en confinement à cette période en raison de la pandémie de COVID-19). Il est aussi possible de remarquer que la période de la journée avec le plus faible nombre d'observations se trouve durant la nuit, entre minuit et 4 heures du matin.

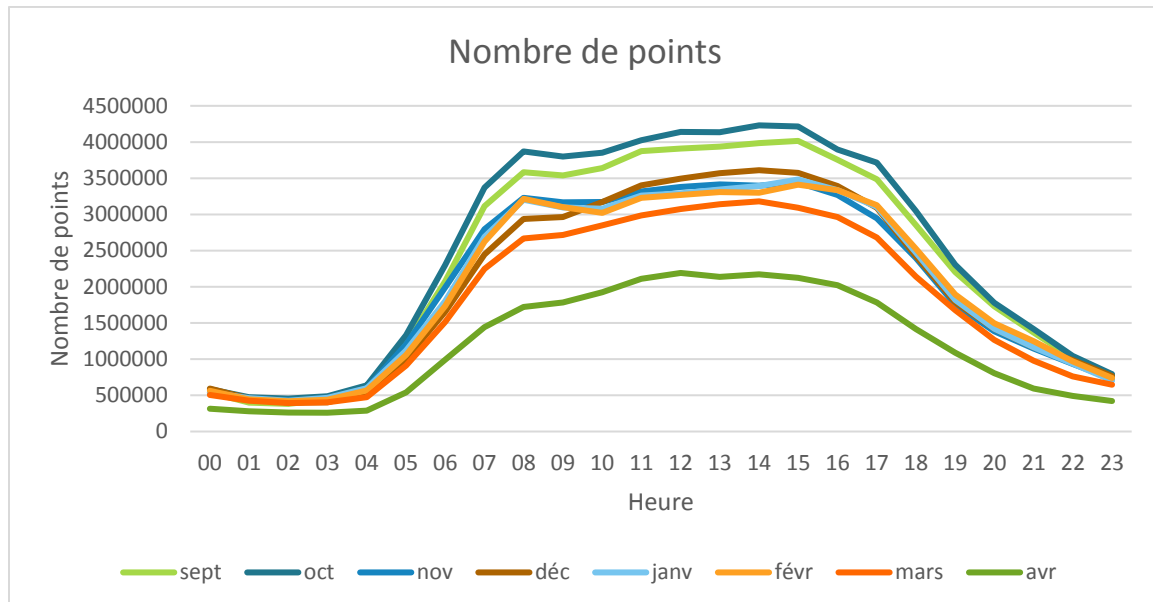


Figure 6-1. Distribution du nombre d'observations de vitesse HERE par mois selon l'heure du jour entre septembre 2019 et avril 2020

La Figure 6-2 montre quant à elle les 85^e centiles de vitesse par mois pondérés par le nombre d'observations dans les données HERE. Il est possible de remarquer que le mois d'avril 2020 a les centiles de vitesse les plus élevés pour toutes les heures de la journée. Le mois de mars a aussi des vitesses légèrement plus élevées que les mois précédents, surtout en pointe du matin et de l'après-midi.

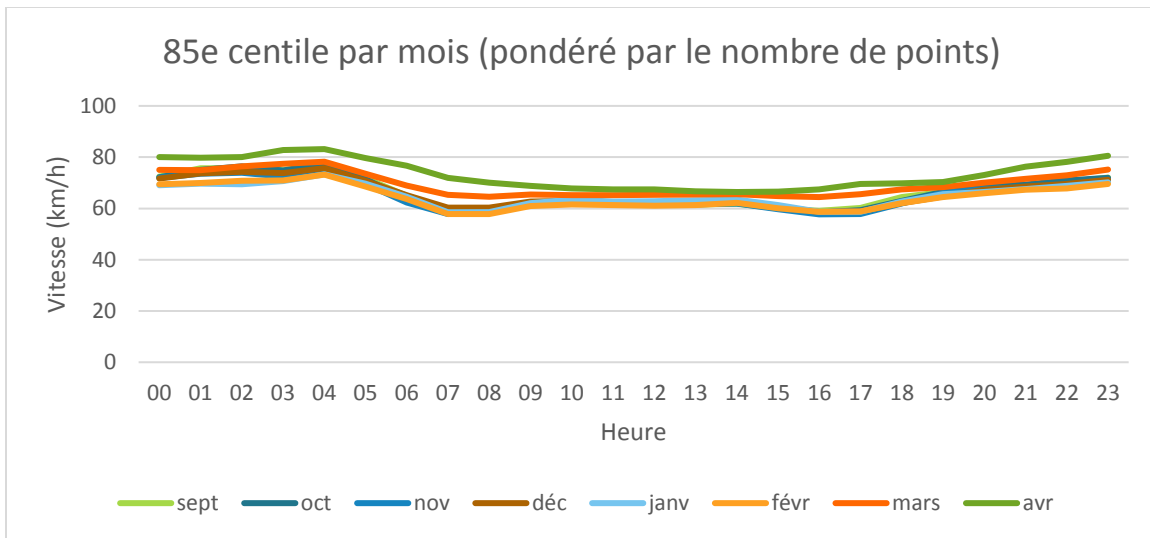


Figure 6-2. Distribution des 85e centiles de vitesses par mois pour les données Here entre septembre 2019 et avril 2020

La Figure 6-3 montre sous forme de calendrier le nombre d'enregistrements par jour pour les données HERE entre septembre 2019 et avril 2020. Un enregistrement correspond à une unité spatiotemporelle (lien HERE et 15 minutes) où on retrouve au moins une observation de vitesse. Il est notamment possible de voir qu'il y a moins d'observations le 25 décembre et le 1^{er} janvier. De plus, le nombre d'observations diminue à partir du samedi 14 mars, ce qui correspond au début du confinement associé à la COVID-19.

La Figure 6-4 montre le nombre d'observations sous forme de calendrier pour les données HERE. Il est encore possible de voir qu'il y a moins de points le 25 décembre et le 1^{er} janvier, ainsi que le vendredi et le lundi de Pâques en avril. Certaines journées pour lesquelles moins d'observations sont disponibles sont cependant plus difficiles à expliquer par exemple le 3^e samedi de novembre, le 3^e dimanche de novembre, le 1^{er} samedi de février ou le 1^{er} mercredi d'avril.

La Figure 6-5 montre quant à elle la vitesse moyenne pondérée sous forme de calendrier pour les données HERE. Des vitesses moyennes plus élevées sont observées en avril. Il est intéressant de noter que les vitesses moyennes les plus élevées pour le mois d'avril sont observées la semaine.

La Figure 6-6 montre quant à elle le 85^e centile de vitesse pondéré en fonction du nombre d'observations sous forme de calendrier pour les données HERE. Il est intéressant de noter que le 85^e centile des vitesses n'est pas beaucoup plus élevé que la vitesse moyenne, ce qui pourrait laisser croire que la vitesse médiane est plus élevée que la vitesse moyenne.

	Nombre d'enregistrements						
	Dimanche	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi
Septembre	362503	601835	1312174	1289783	1362036	1339056	774339
	639192	1240977	1298378	1323850	1359227	1353241	759622
	658938	1270354	1320972	1341992	1366975	1351478	787332
	650740	1260374	1303670	1352883	1365049	1335055	771472
	713869	1226122	1293144	1321367	1374184	1344363	779689
Octobre	636500	1272203	1294566	1303887	1341167	1381022	769987
	629835	662611	1318005	1331086	1313187	1349699	784118
	627613	1240682	1306235	1311208	1376732	1346224	774496
	585332	1256636	1315030	1334973	1233589	962133	790788
Novembre	623306	1234565	1277806	1327846	1306638	1289474	765914
	589869	1120024	1146290	1300633	1010048	874067	323099
	230382	868455	854252	1163204	1308597	1244859	725674
	580720	1174552	1254768	1278044	1281801	1259189	715184
Décembre	577853	1168260	1224850	1256548	1298343	1279524	693578
	583620	1168668	1223879	1253285	1296002	1290024	728305
	591551	1143869	1246944	1287315	1277592	1232540	661015
	568072	1038140	821403	381773	573472	881438	629330
	518659	845768	703239	247208	694968	904845	585005
Janvier	511100	1004582	1132607	1130270	1161686	1153085	576735
	414078	1093963	1158413	1228725	1203632	1187121	634865
	560070	1142520	1160549	1207620	1223384	1218472	676768
	542378	1126598	1198535	1206853	1196002	1133465	389610
Février	566056	1095768	1143593	1214861	1188698	948751	749079
	605029	1111342	1218583	1225504	1227110	1237093	700233
	620688	1124730	1158599	1244088	1254428	1238302	738242
	610412	1140388	1211907	1196037	1048971	1231492	701099
Mars	610209	1096240	1154000	1185880	1212454	1127947	698858
	592234	1145423	1190990	1234094	1282838	1158285	615331
	504579	1034005	1028009	1015261	1018844	955783	464203
	389279	875289	903825	773720	746790	730866	371124
	258758	676304	730281	549431	708431	680575	369057
Avril	231545	697326	732975	754360	744861	594468	352474
	259349	422522	770831	807096	814148	773530	414889
	263495	723766	788290	789117	827903	808422	460095
	322967	801371	847174	852813	828616		

Figure 6-3. Nombre d'enregistrements par jour pour les données HERE entre septembre 2019 et avril 2020

	Nombre de points						
	Dimanche	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi
Septembre	577276	1014578	2214214	2199304	2320915	2311217	1324718
	1113560	2097761	2190837	2233013	2320761	2328499	1319190
	1152194	2154655	2232950	2275894	2319432	2323072	1359259
	1117120	2153499	2194375	2300118	2321568	2305383	1320783
	1254521	2068945	2208846	2240956	2340472	2294329	1344602
Octobre	1098362	2176224	2172916	2195202	2265040	2370319	1321392
	1103627	1118934	2217879	2244096	2214779	2319032	1360756
	1074827	2079977	2198110	2224905	2343154	2308163	1346851
	1001780	2124584	2239893	2283189	2072173	1450861	1361380
Novembre	1087002	2128039	2193219	2282538	2244764	2235355	1340223
	1028606	1901247	1916210	2205909	1534737	1250889	412657
	300263	1247820	1222078	1872836	2210224	2104456	1235720
	987294	1957842	2112720	2154759	2176467	2128952	1214974
Décembre	992816	1927158	2054221	2102243	2208189	2171750	1168898
	1000607	1930044	2036729	2099480	2169576	2183504	1242373
	1004436	1894891	2090161	2147966	2144634	2093583	1115376
	961135	1717315	1344100	659731	962609	1422590	1053564
	881432	1349377	1109538	375540	1133682	1459928	967186
Janvier	859363	1622245	1838639	1839740	1907013	1905922	955869
	694477	1816896	1938820	2029991	2001656	2004077	1059670
	968223	1898953	1921522	1997660	2050315	2074644	1166205
	944255	1875176	1985549	2014498	1978369	1909683	574844
Février	975106	1810435	1918963	2038381	1984803	1566423	1298052
	1035127	1842121	2047875	2037090	2050674	2111858	1194585
	1084638	1884113	1926366	2104894	2121907	2110692	1278597
	1074301	1912818	2037580	2001300	1729028	2084748	1191004
Mars	1050164	1820106	1917484	1985187	2036639	1889595	1201090
	1036474	1923001	2001679	2080757	2177330	1938011	1023865
	852654	1690397	1626038	1611632	1624861	1524228	738631
	631120	1364420	1421204	1166440	1134287	1122889	574954
Avril	406201	1021914	1104351	740094	1059964	1026125	587031
	355307	1058014	1101167	1140544	1113967	882731	571784
	420811	631534	1181951	1231035	1245961	1184706	662654
	414397	1125695	1216711	1212659	1285839	1272746	743371
	510416	1258030	1311585	1335540	1286094		

Figure 6-4. Nombre d'observations par jour pour les données HERE entre septembre 2019 et avril 2020

	Vitesse moyenne pondérée						
	Dimanche	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi
Septembre	65	68	60	60	60	61	63
	65	62	61	60	60	60	62
	64	61	61	61	61	61	63
	66	62	61	61	60	62	62
	64	62	60	62	61	61	62
Octobre	64	62	60	62	61	61	62
	64	68	60	61	59	61	62
	66	61	61	60	60	61	62
	63	62	61	61	59	62	62
Novembre	64	61	60	61	60	60	61
	64	60	52	57	61	61	66
	71	67	64	60	60	61	63
	66	62	62	61	59	61	62
Décembre	65	62	62	61	59	61	62
	65	60	61	59	61	62	61
	63	61	61	58	59	61	63
	64	64	65	69	67	62	65
	70	58	59	66	66	63	64
Janvier	67	61	63	60	64	62	60
	52	58	59	60	59	62	62
	59	59	61	61	62	63	61
	62	61	62	63	62	64	66
Février	65	63	63	63	57	45	61
	63	52	60	61	57	61	64
	65	62	56	59	62	63	65
	66	63	63	62	53	59	62
Mars	67	62	63	65	65	65	64
	67	63	60	63	63	63	65
	67	67	66	68	68	68	66
	70	69	71	72	71	70	68
	67	70	70	74	69	68	65
Avril	67	70	70	71	69	66	63
	66	68	70	70	71	69	64
	70	69	70	70	70	68	64
	67	70	69	69	70		

Figure 6-5. Vitesse moyenne pondérée en fonction du nombre d'observations par jour pour les données HERE entre septembre 2019 et avril 2020

	85e percentile pondéré						
	Dimanche	Lundi	Mardi	Mercredi	Jeudi	Vendredi	Samedi
Septembre	67	70	63	63	64	64	65
	68	65	64	63	63	63	64
	67	64	64	64	64	64	65
	68	65	64	65	63	66	64
	67	65	63	65	64	64	64
Octobre	66	65	63	65	64	65	65
	66	70	64	64	62	64	64
	68	64	64	63	64	64	64
	65	65	64	65	62	65	64
Novembre	67	65	63	65	63	63	64
	67	62	55	60	63	63	67
	72	69	66	62	64	64	65
	68	65	65	64	62	64	65
Décembre	67	65	65	64	62	64	64
	67	63	65	62	64	65	63
	66	64	64	62	62	64	66
	66	67	68	71	69	65	68
	72	61	61	68	68	66	66
Janvier	69	64	65	63	66	65	62
	54	60	62	63	62	65	64
	61	62	64	64	65	66	63
	64	64	65	66	65	67	67
Février	67	66	66	66	60	47	63
	66	55	63	64	60	64	66
	67	65	58	63	65	66	67
	69	66	66	65	56	62	65
Mars	69	65	66	67	68	68	67
	70	66	63	66	66	66	67
	69	70	68	70	71	71	68
	71	71	73	74	73	72	69
	69	72	72	75	71	70	66
Avril	69	72	72	73	71	68	65
	68	69	72	72	73	71	66
	72	71	72	72	72	71	66
	69	72	71	72	72		

Figure 6-6. 85^e centile de vitesse pondéré en fonction du nombre d'observations par jour pour les données HERE entre septembre 2019 et avril 2020

6.2 Intégration des données

Le choix du stockage de la vitesse s'est porté sur un système de données agrégées en intervalles de 5 km/h successifs. Pour chaque tronçon du réseau, aux 15 minutes, on vient compter le nombre de vitesses observées appartenant à ces intervalles. Les intervalles se distribuent de la forme suivante : 24 boîtes de 5 km/h de 0 à 120 km/h sachant que la borne inférieure est incluse, et la borne supérieure exclue. On complète par une dernière catégorie, de « 120 km/h et plus », dans le but de récupérer les dernières valeurs. De cette manière la base de données a une taille fixe relativement au nombre de vitesses observées et permet une manipulation efficace des données dans OSC²AR. Toutes les

sources de données de vitesses sont enregistrées dans cette même table, le champ « source » définissant leur provenance.

Exemple :

S'il est relevé dans la base de données de vitesses de TAXI, sur le tronçon A, le 1er janvier 2019 entre 00:00 et 00:15, les vitesses suivantes : 16, 17 et 24 km/h, le tableau d'agrégation de vitesses sera sous la forme suivante (Tableau 6-1). Les autres colonnes de type : « boîtes de vitesses » recevront une valeur de 0.

Tableau 6-1. Exemple de stockage des informations de vitesse

Tronçon	Date Début	Date Fin	Nb. Obs.	0-5 km/h	...	15- 20 km/h	20- 25 km/h	...	Moy. km/h	Source
A	01/01/2019 00 :00	01/01/2019 00 :15	3	0	0	2	1	0	19	TAXI

6.3 Remplir la base de données de vitesses avec les données GPS de Taxi

L'algorithme étayant la logique du programme Python permettant la transformation des points GPS de Taxi en une base de données de vitesses agrégées en boîtes est disponible en Figure 11-13.

Les informations disponibles dans les données Taxi sont : l'identifiant de taxi, les coordonnées géographiques (latitude, longitude), la date, l'heure, le statut du taxi, la vitesse instantanée et l'azimut.

Dans un premier temps, chaque position est associée à un tronçon du réseau et à un intervalle temporel de 15 minutes. Puis, après filtrage des vitesses aberrantes, les données GPS correspondantes à chaque couple jour, numéro de taxi, tronçon, intervalle temporel, permettent de calculer une unique vitesse basée sur la distance parcourue par le taxi sur le tronçon.

Soit x_0 et x_n , respectivement le premier et le dernier point observé sur le tronçon et t_0 , t_n leur horodatage.

Équation 1. Calcul de la vitesse spatiale

$$Vitesse = \frac{\text{distance}(x_n, x_0) \text{ sur le réseau}}{t_n - t_0}$$

Finalement, cette nouvelle table de vitesse définie pour chaque valeur de jour, numéro de taxi, tronçon et intervalle temporel est agrégée dans la table des boîtes de vitesses présentées ci-dessus. Le calcul des vitesses se base sur les tronçons d'un découpage défini du réseau OSC²AR. Toute modification du réseau exigera de recalculer l'ensemble des vitesses associées au nouveau réseau.

6.4 Remplissage de la base de données de vitesse avec les données HERE

L'algorithme étayant la logique du programme Python permettant la transformation des vitesses agrégées en centiles en une base de données de vitesses agrégées en boîtes est disponible à la Figure 11-14.

Les informations disponibles dans les données HERE sont : l'identifiant du lien directionnel sur le réseau HERE (combinaison de l'identifiant HERE et sa direction de circulation), la date, l'intervalle temporel, la longueur du tronçon, la vitesse en écoulement libre, la vitesse maximale autorisée, le nombre d'observations, la vitesse moyenne, l'écart-type, la vitesse minimale, la vitesse maximale, le pourcentage de confiance et les centiles (5,10,20,30,40,50,60,70,80,85,90,95) de vitesse.

Les vitesses de HERE ont ainsi été extraites sous une forme agrégée en centiles et pour une segmentation particulière du réseau routier : le réseau HERE. Il est donc indispensable de procéder à une estimation des vitesses réellement observées, afin de pouvoir sauvegarder ces vitesses dans la même base de données que celle des vitesses de taxis.

Un algorithme de tirage d'ensembles de vitesses synthétiques a été développé. Il forme des ensembles dont le nombre d'éléments est égal au nombre d'observations donné par HERE. L'algorithme se base sur les variables HERE suivantes : vitesse minimale, vitesse maximale, vitesse moyenne et les centiles de la distribution. L'algorithme de tirage (Figure 11-15) fonctionne selon la logique suivante :

Les vitesses synthétiques sont notées $e_1, e_2, e_3, \dots, e_N$ où N est le nombre d'observations. Soit $x = \frac{100}{N-1}$ arrondi au 5 supérieur, le facteur de choix de centile.

Tableau 6-2. Estimation des vitesses pour les n nombre d'observations allant de 1 à 6

N	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6
1	<i>min</i>					
2	<i>min</i>	<i>max</i>				
3	<i>min</i>	<i>max</i>	$3 * \text{moy} - \sum_{i=1}^2 (e_i)$			
4	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>centile</i> (x)	$4 * \text{moy} - \sum_{i=1}^3 (e_i)$		
5	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>centile</i> (x)	<i>centile</i> ($100 - x$)	$5 * \text{moy} - \sum_{i=1}^4 (e_i)$	
6	<i>min</i>	<i>max</i>	<i>centile</i> (x)	<i>centile</i> ($100 - x$)	<i>centile</i> ($2 * x$)	$6 * \text{moy} - \sum_{i=1}^5 (e_i)$

Exemple :

Tableau 4. Exemple d'enregistrement HERE

N	Moy.	Min.	Max.	p5	p10	p20	p30	p40	p50	p60	p70	p80	p85	p90	p95
4	25.5	21	31	21	21	21	22	23	25	27	29	31	31	31	31

$$e_1 = \min. = 21$$

$$e_2 = \max. = 31$$

$$x = \frac{100}{N-1} \approx 35 \text{ donc } e_3 = \frac{\text{centile}(30) + \text{centile}(40)}{2} = \frac{22 + 23}{2} = 22.5$$

$$e_4 = 4 * \text{moy.} - \sum_{i=1}^3 (e_i) = 4 * 25.5 - 21 - 31 - 22.5 = 27.5$$

Les vitesses synthétiques pour l'enregistrement sont donc 21, 22.5, 27.5, et 31.

Dans de rares cas, il est possible que la valeur du dernier élément estimé soit inférieure à la vitesse minimale ou supérieure à la vitesse maximale. Un algorithme de correction a été mis en place afin de répondre à ce problème :

- Cas Inférieur au minimum : Tant que le **dernier élément estimé** est inférieur à la **vitesse minimale**, on diminue les valeurs des **éléments provenant des centiles** et on recalcule le dernier élément.
- Cas Supérieur au maximum : Tant que le **dernier élément estimé** est supérieur à la **vitesse maximale**, on augmente les valeurs des **éléments provenant des centiles** et on recalcule le dernier élément.

Cet algorithme a été testé sur des combinaisons de centiles provenant de 100 000 tirages aléatoires d'ensemble de vitesses synthétiques, pour chaque nombre d'observations (de 1 et 40). L'indicateur MAPE (pourcentage d'erreur absolue moyen) a été calculé pour chacune des 40 * 100 000 estimations (Figure 6-7).

L'indicateur maximal relevé atteint les 12%, c'est-à-dire qu'il existe un ensemble de vitesses synthétiques où l'estimation a engendré en moyenne une erreur de 12% sur chaque vitesse. Ceci signifie une erreur de décalage de 0 à 2 boîtes pour le résultat, dépendant des valeurs de vitesses en jeu. La Figure 6-7, proposant l'évolution de l'erreur moyenne par la taille de la liste, montre qu'en moyenne il y a rarement plus de 1% d'erreur. Les nombres d'observations inférieurs à 5 représentent 98.9% des listes de vitesses chez HERE. Sur notre graphique cela correspond à une erreur moyenne de 0.26% ce qui est largement acceptable.

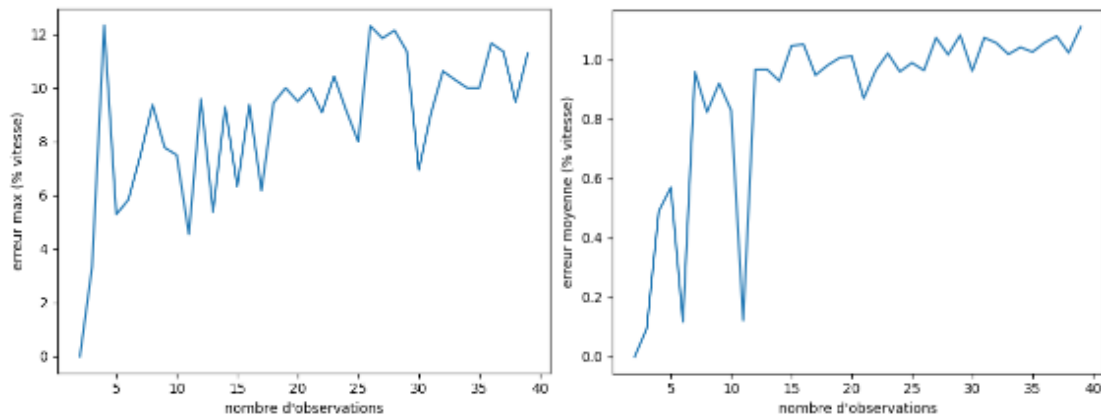


Figure 6-7. Évolution de l'erreur maximale et de la moyenne des erreurs en fonction du nombre d'observations

Suivant la Figure 6-8, les ensembles de vitesses synthétiques calculés pour chaque couple jour, intervalle temporel, tronçon HERE sont ensuite associés aux tronçons OSC²AR grâce à un dictionnaire provenant d'une correspondance géographique (cartospondance) entre les deux réseaux. La dernière tâche consiste à remplir les boîtes d'intervalle de 5 km/h de la table de vitesses agrégée en boîtes pour chaque couple date, tronçon OSC²AR.

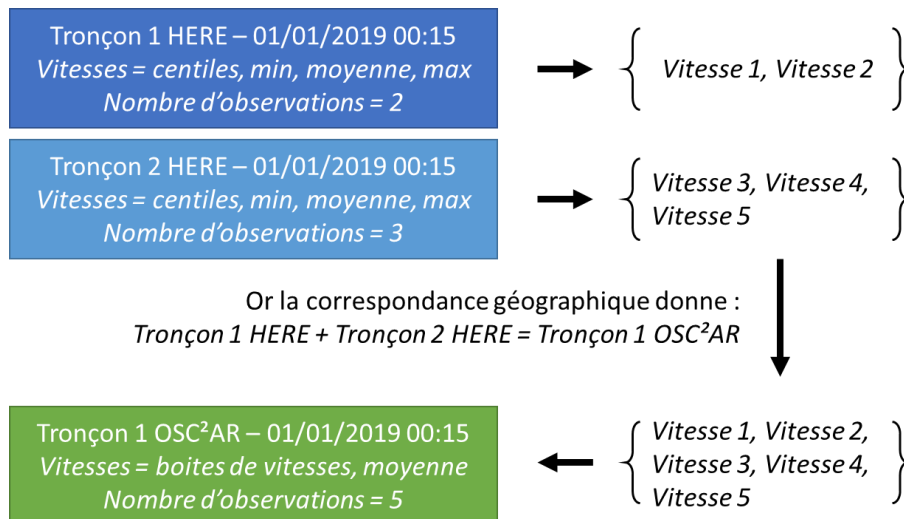


Figure 6-8. Schéma de compréhension de l'intégration des données HERE

L'estimation des vitesses synthétiques se basant sur les tronçons d'un découpage du réseau OSC²AR défini. Toute redéfinition du réseau exigera de recalculer l'ensemble des vitesses associées au nouveau réseau.

7 COÛTS DE LA CONGESTION

Les objectifs spécifiques de ce volet étaient de proposer une méthodologie d'estimation des coûts de la congestion, des indicateurs qui puissent soutenir une évaluation annualisée du phénomène ainsi que favoriser l'appréhension de son évolution par des non-spécialistes. La méthode développée devait s'ancrer sur la démarche cycliquement entreprise par le Ministère.

Le plan de travail de ce volet est structuré en trois tâches : 1) l'analyse de la démarche cycliquement entreprise par le Ministère, 2) la revue des pratiques et de la littérature scientifique en la matière et 3) l'évaluation des opportunités offertes par une estimation en continu de la congestion en vue de formaliser une mécanique d'annualisation.

L'analyse de la démarche cyclique du MTQ tient compte des évaluations produites par Les Conseillers ADEC Inc (ADEC 1993, 1998, 2003 et 2008). Elle se concentre sur l'évolution du cadre méthodologique d'évaluation des coûts de la congestion, mais présente aussi brièvement les changements méthodologiques apportés aux modèles de transport (MOTREM, MADITUC, MOVES). Il est apparu important de traiter de ces changements puisqu'ils ont rendu difficile, voire impossible, la comparaison des coûts de la congestion à travers le temps. L'analyse synthèse des résultats permet d'illustrer le niveau de sensibilité de certains indicateurs potentiels en regard des changements méthodologiques.

En ce qui a trait aux pratiques observées ailleurs, il est apparu que très peu de pays et de villes dans le monde procèdent à une évaluation systématique des coûts de la congestion. Il s'agit principalement de pays développés où l'usage de l'automobile est important, soit les États-Unis, le Canada, le Royaume-Uni et l'Australie. L'analyse des pratiques a été effectuée à un très haut niveau.

L'estimation des coûts de la congestion implique un grand nombre d'hypothèses qui sont propres à chacune des catégories de coûts. Pour faciliter la lecture et la compréhension des enjeux spécifiques, cette section est divisée en quatre sections :

1. L'analyse synthèse de la démarche cyclique du MTQ présente les changements méthodologiques et l'évolution des résultats;
2. L'analyse synthèse des pratiques internationales présente, à haut niveau, les pays qui ont des pratiques d'évaluation des coûts de la congestion;
3. Pistes méthodologiques pour l'actualisation des coûts de la congestion via OSC²AR.

7.1 Analyse synthèse de la démarche cyclique du MTQ

Une étude sur les coûts de la congestion a été commandée pour la première fois par le MTQ en 1997 aux Conseillers ADEC. Cette étude portait sur la grande région de Montréal et fut réalisée à partir des données de l'enquête origine-destination (EOD) de 1993 et du modèle régional de transport MOTREM93. Afin de suivre l'évolution de la situation, des mises à jour de cette étude ont été commandées aux Conseillers ADEC suivant le cycle de publication des données de l'EOD. Les quatre évaluations produites portent sur les années de référence des EOD de 1993, 1998, 2003 et 2008. Pour faciliter la lecture,

seules les années de référence sont utilisées dans le texte. L'année de publication du rapport correspondant est disponible au Tableau 7-1.

Les Conseillers ADEC ont développé une méthodologie d'évaluation des coûts de la congestion similaire à celle qui est utilisée pour les analyses avantages-coûts. Il s'agit d'une méthode comptable largement utilisée pour évaluer la rentabilité dite sociale d'une politique ou d'un investissement public. Le cadre considère donc non seulement les impacts financiers pour les particuliers et les entreprises, mais cherche également à quantifier et monétiser les impacts pour la société, notamment en ce qui a trait à la qualité de vie et à l'environnement. L'apport d'ADEC fut essentiellement d'établir les grandes catégories de coûts à considérer ainsi que les valeurs unitaires correspondantes sur la base des pratiques et de la littérature scientifique. L'évaluation du phénomène de congestion (ex. véhicules-heures, retard moyen, volumes d'émissions) a été réalisée par le MTQ.

Au fil des ans, Les Conseillers ADEC ont raffiné et complexifié leurs hypothèses, en particulier pour les valeurs du temps utilisées pour estimer le coût des retards en situation de congestion. Au cours de cette même période, l'EOD et le MOTREM ainsi que les modèles de simulation des impacts du transport routier sur les émissions atmosphériques et les passagers du transport en commun ont eux aussi connu des changements significatifs.

Ces changements, présentés à la section 7.1.1, ont rendu difficile, voire impossible, la comparaison des coûts de la congestion à travers le temps, puisque ceux-ci ont été mesurés au moyen de modèles de simulation et de paramètres différents. Les tentatives de réconcilier les résultats se sont par ailleurs avérées non concluantes, comme discuté à la section 7.1.2.

Ce chapitre se décompose en deux sous-sections :

1. Bref portrait des changements apportés à la couverture de l'EOD, au modèle MOTREM et au cadre méthodologique d'évaluation des coûts de la congestion.
2. Présentation des résultats obtenus par les Conseillers ADEC et réinterprétation des résultats au moyen de certains indicateurs.

7.1.1 Portrait des changements méthodologiques

Le Tableau 7-1 présente les grandes lignes des changements méthodologiques derrière l'évaluation des coûts de la congestion. Les changements au cadre d'évaluation des coûts de la congestion seront discutés et comparés à d'autres juridictions dans la comparaison détaillée.

Tableau 7-1. Synthèse des intrants à l'évaluation des coûts de la congestion, 1993-2008

Rapport ADEC	1997	2004	2009	2014
EOD	1993	1998	2003	2008
Territoire (km²)	4 740	5 400	5 520	8 200
Population (millions)	3,3	3,5	3,6	3,9
Emplois (millions)	1,1	1,2	1,3	1,4
Autos (millions)	1,4	1,7	1,8	2,1
Transport routier	MOTREM-93	MOTREM-98	MOTREM-03	MOTREM-08
Changements majeurs	s.o.	Classification routière et seuil de congestion	Pointe du soir et matrice endogène	Ajustement des matrices et chargement horaire
Pointes	PPAM (x2)	PPAM (x2)	PPAM et PPPM	PPAM et PPPM
Seuil de congestion	HCM 1995	60 % de la vitesse en écoulement libre		
Véhicules	Voitures résidents Camions réguliers Camions lourds	Voitures résidents Camions réguliers Camions lourds	Voitures résidents Camions réguliers Camions lourds	Voitures résidents Camions réguliers Camions lourds Voitures commerc. Voitures non résidents Autobus
Taux d'occupation	s.o.	Matrice OD de déplacements		
Annualisation	250	250	250	250
Voies-km (congest.)	9 809 (12 %)	9 950 (14 %)	11 929 (17%)	12 585 (23 %)
Veh.km (congest.)	11 153 (22 %)	13 468 (25 %)	16 360 (27%)	15 670 (30%)
Veh-h (congest)	218 774 (22 %)	281 218 (26 %)	370 400 (29 %)	378 415 (26 %)
Retard moyen (min)	3,3	4,3	5,8	7,4
Durée moyenne (min)	21,4	22,7	26,1	26,1
Vitesse moy. (km/h)	43,8	42	n.d	n.d
Autobus	Hypothèse	s.o.	MADITUC	MADITUC
Changements majeurs	Vitesse proportionnelle autos	Exclus de l'analyse	Estimation des passagers-heures	Passerelle avec EMME et vitesse proportionnelle autos
Environnement	SMST	MOBILE6	MOBILE6C	MOVES
Émissions incluses	CO, HC, NO _x	+ CO ₂	Idem	+ COV, PM _{2,5} , PM ₁₀
Utilisation véhicules	HDM-III, ARFCOM			HDM-III + MOVES
Changements	Équations de coûts basées sur étude de Bein et al (1993) pour le MTBC, sauf carburant estimé avec ARFCOM			Idem sauf carburant estimé avec MOVES
Monétisation	ADEC	ADEC	ADEC	ADEC
Retards	Auto : 3 motifs Bus : valeur loisir Salaires chauffeurs	Auto : 6 classes de revenus x 4 motifs Bus : Valeur moyenne proportion motif Salaires moyens des chauffeurs		Auto : + ajout du sexe Bus : même que auto Salaires chauffeurs
Environnement	Littérature	Litman (1995) + indexation		
Utilisation véhicules	Enquête détaillants	Régie énergie		

Sources : ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008) et AMT (1998, 2003 et 2008)

Enquête Origine-Destination

La première portion du Tableau 7-1 présente l'évolution de la couverture de l'EOD. Les chiffres présentés correspondent aux données originales de l'EOD (territoires non comparables), tels que présentés par l'ARTM (anciennement AMT) dans ses rapports de faits saillants pour chacune des années de référence. L'agrandissement du territoire d'enquête de 3 460 km² (+73 %) et du nombre de véhicules (+49 %) sont les changements les plus importants à noter (Figure 7-1). Typiquement, le territoire d'enquête sera ajusté afin d'inclure les nouveaux territoires développés et intégrer des résidents susceptibles

d'utiliser les infrastructures routières de la région de Montréal. L'extension de la limite du territoire à des zones périurbaines moins denses et moins congestionnées complexifie l'utilisation de certains indicateurs moyens des coûts de la congestion à l'échelle du territoire, mais demeure néanmoins essentielle pour inclure les nouveaux développements résidentiels susceptibles de générer des déplacements métropolitains. D'ailleurs, le Tableau 7-1 montre une évolution territoriale beaucoup plus importante que l'évolution de la population, suggérant un étalement et une dispersion de la population précédemment comptabilisée dans un territoire plus restreint.

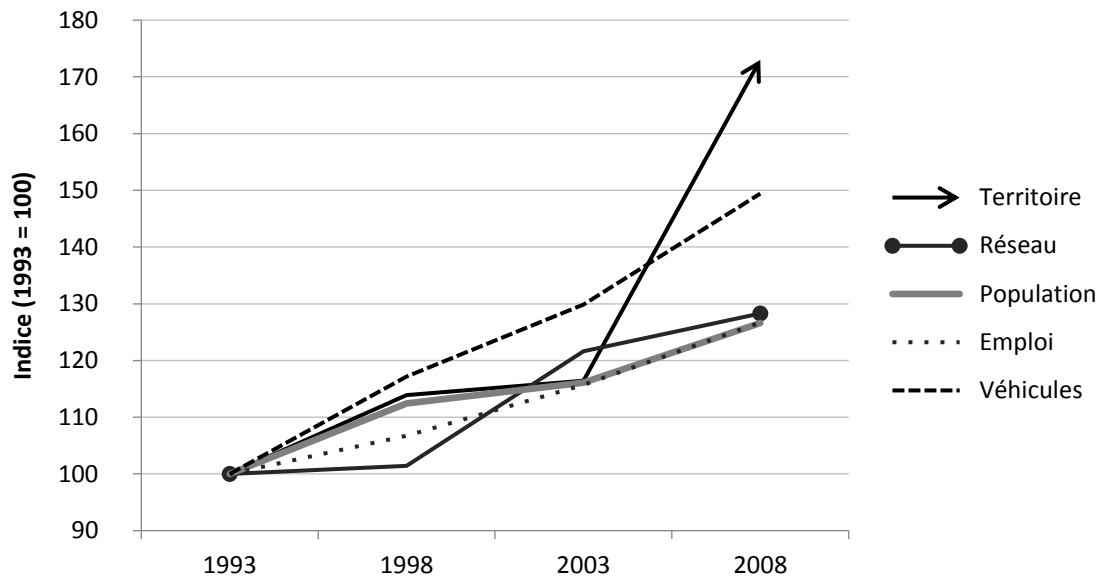


Figure 7-1. Évolution des intrants de l'EOD dans l'évaluation des coûts de la congestion, 1993-2008 (Sources : données AMT (1998, 2003 et 2008) et compilation Polytechnique Montréal)

Modèle de simulation des impacts sur le transport routier (MOTREM)

La seconde partie du Tableau 7-1 présente les changements méthodologiques les plus importants apportés au MOTREM, comme rapporté dans les rapports d'ADEC :

- Entre 1993 et 1998, la codification du réseau MOTREM a été revue afin de la rendre conforme à la hiérarchie proposée par la Communauté urbaine de Montréal et le MTQ. Les vitesses en écoulement libre et les capacités des liens routiers ont été revues à la hausse afin de refléter les observations récentes. Les seuils de congestion ont été également modifiés. Dans le MOTREM93, différentes hypothèses ont été dérivées du Highway Capacity Manual (HCM), version 1995, par les Conseillers ADEC pour déterminer les seuils de congestion et évaluer les coûts de la congestion (ADEC, 1993). À partir de 1998, le seuil de congestion est fixé à 60 % de la vitesse en écoulement libre (ADEC, 1998). L'impact de ces changements sur l'évaluation des coûts de la congestion n'a pas été formellement documenté. Il est cependant mentionné que les résultats ne peuvent être comparés directement.
- Depuis 2003, il est possible de mesurer séparément les deux périodes de pointe quotidiennes. Une matrice des déplacements commerciaux, qui ne sont pas couverts par l'EOD, a également été développée cette année-là (ADEC, 2003).

- En 2008, les déplacements sont affectés sur une base horaire plutôt que par période de la journée. Les matrices de demande OD ont également été réajustées par rapport aux comptages de circulation. Certains flux auto simulés se sont ainsi avérés plus élevés que les données de comptage, ce qui aurait entraîné une surestimation du phénomène de congestion et de ses coûts dans les années précédentes, en particulier sur les corridors-ponts (ADEC, 2008).

Les Figure 7-2, Figure 7-3, Figure 7-4 et Figure 7-5 présentent les chiffres rapportés dans les rapports des Conseillers ADEC et utilisés pour estimer les coûts de la congestion. On peut observer une progression constante des voies-kilomètres congestionnées, mais une importante correction à la baisse du nombre de véhicules-heures en congestion entre 2003 et 2008 en raison du réajustement des matrices OD et du chargement horaire (Figure 7-3). La durée moyenne de déplacement stagne entre ces deux années, mais le retard moyen, lui, continue de progresser (Figure 7-5). L'estimation du temps moyen de retard est l'intrant principal de l'évaluation des coûts de la congestion, représentant près de 90 % des coûts (Figure 7-9).

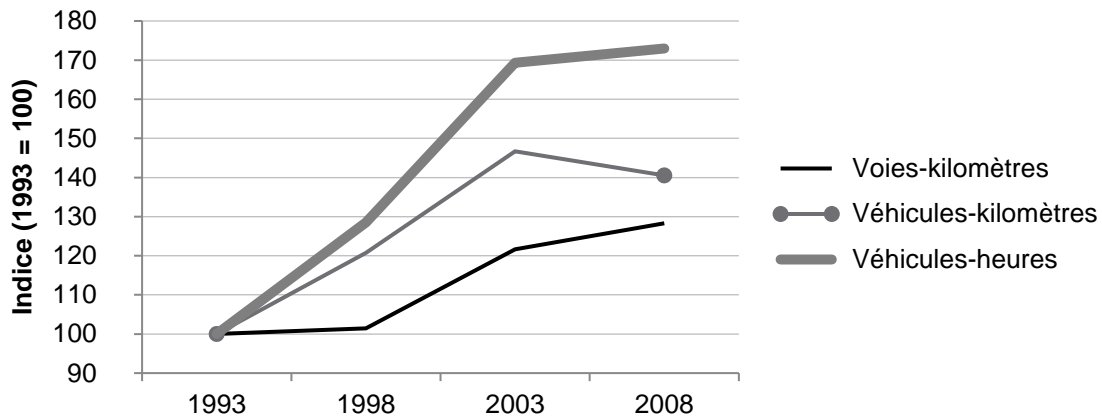


Figure 7-2. Intrants MOTREM, réseau non congestionné, 1993-2008 (Sources : ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008) et compilation de Polytechnique Montréal)

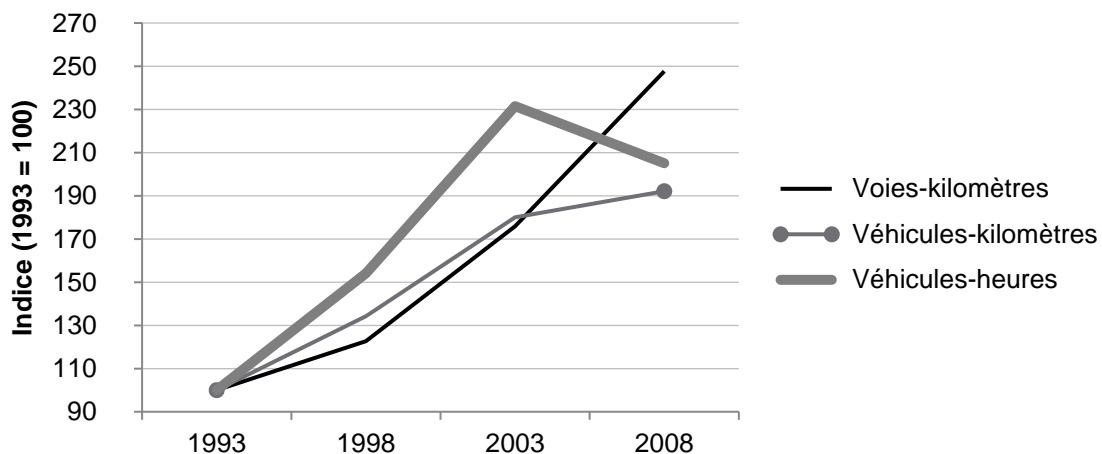


Figure 7-3. Résultats MOTREM, réseau congestionné, 1993-2008 (Sources : ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008) et compilation de Polytechnique Montréal)

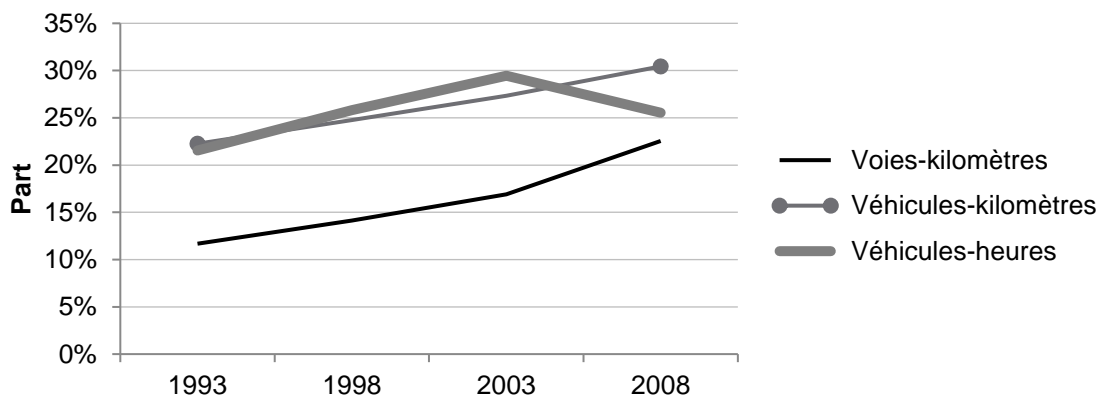


Figure 7-4. Résultats MOTREM, part du réseau congestionné, 1993-2008 (Sources : ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008) et compilation de Polytechnique Montréal)

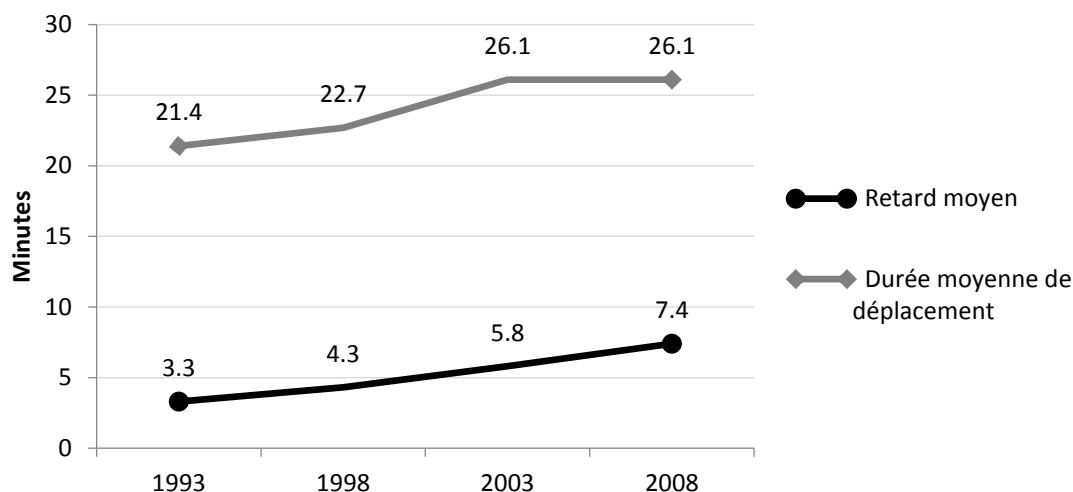


Figure 7-5. Résultats MOTREM, Retard et durée moyenne de déplacements, 1993-2008 (Sources : ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008) et compilation de Polytechnique Montréal)

Modèle de simulation des impacts sur le transport en commun (MADITUC)

En 1993, la STCUM a transmis des vitesses moyennes pour les circuits desservant le centre-ville de Montréal. Une hypothèse de 30 passagers par bus a été formulée par les Conseillers ADEC.

Dans le rapport de 1998, il est précisé que la congestion subie par les usagers de l'autobus avait été estimée, en 1993, de façon proportionnelle à l'augmentation de temps subie par les automobilistes. Cette hypothèse a été reconnue inadéquate puisque les autobus ne circulent pas à la même vitesse que les autres véhicules puisqu'ils doivent s'arrêter fréquemment pour faire monter ou descendre des passagers et qu'ils ont la possibilité d'utiliser des voies réservées par endroit. La vitesse des autobus ne serait donc pas directement corrélée à celle des automobiles. Les retards pour les usagers des autobus n'ont pas été pris en considération cette année-là.

À partir de 2003, il est fait mention du modèle MADITUC. L'offre de service d'autobus est codifiée, mais l'achalandage des autobus qui n'y est pas associé explicitement est simulé sous une codification du réseau distincte.

En 2008, la méthode utilisée pour calculer les temps de déplacement des autobus aurait été considérablement bonifiée par la création d'une passerelle avec EMME qui aurait permis de tenir compte des caractéristiques individuelles des usagers (itinéraire, motif, revenu et valeur du temps) pour mieux déterminer le coût de leur temps perdu. L'approche suppose que la détérioration des vitesses des autobus est identique à celle modélisée pour les automobiles sur chacun des liens qu'ils partagent.

Très peu de résultats sont présentés quant aux impacts de la congestion sur le transport en commun. En 2008, il est rapporté que les autobus ont circulé 39 % du temps en congestion (ce qui correspond à 51 306 véh-km) et que les usagers et les chauffeurs ont passé 32 % de leur temps en congestion (1 662 véh-h). Le coût de la congestion pour les usagers et les chauffeurs d'autobus serait passé de 2 M\$ en 1993 à 78 M\$ en 2003, puis à 72,5 M\$ en 2008 (Figure 7-6). L'influence de la valeur du temps ne peut être vérifiée puisque les valeurs ne sont pas rapportées explicitement dans les rapports.

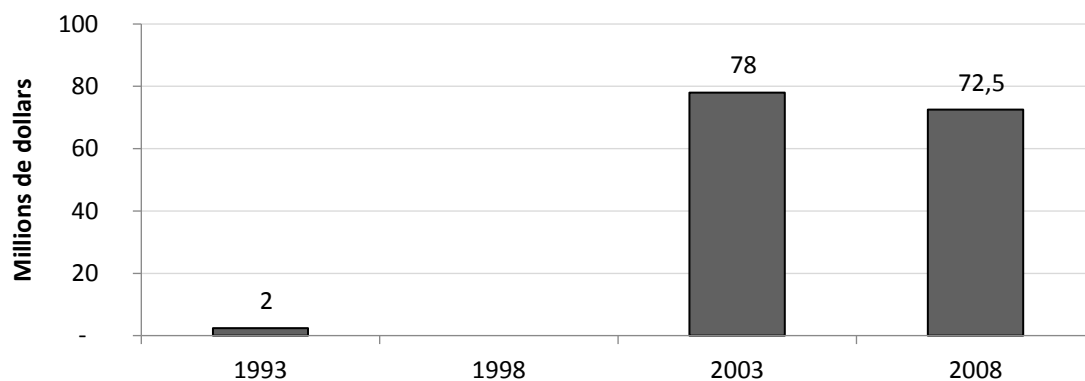


Figure 7-6. Coût des retards pour les passagers et les chauffeurs des autobus, M\$, 1993 et 2003 (Sources : ADEC (1993, 2003 et 2008) Note : le TC est exclu de l'analyse en 1998)

Modèles de simulation des impacts sur les coûts d'opération des véhicules

En 1993, les Conseillers ADEC ont effectué une revue de la littérature concernant les modèles d'évaluation des coûts d'opération des véhicules (VOC). Les cinq modèles analysés étaient :

- HDM-III, Banque mondiale
- MicroBENCOST, Texas Transportation Institute, États-Unis
- VETO, Statens väg-och transportforskningsinstitut, Suède
- Australian Road Fuel Consumption Model (ARFCOM), Australie
- New Zealand Vehicle Operation Costs (NZVOC), Nouvelle-Zélande
- Modèle et paramètres utilisés par le ministère des Transports de la Colombie-Britannique (MTBC), Canada

Il s'est avéré que ces modèles ne permettaient pas de refléter adéquatement les coûts de fonctionnement des véhicules générés par la congestion en milieu urbain. Les Conseillers

ADEC ont finalement retenu les équations développées par Bein et al. (1993) pour le compte du MTBC. À titre d'exemple, pour les automobiles :

$$\text{Coût d'opération des véhicules} = -61,6375 + 14,9257 \cdot G + 3,92726 / (G+1) + 1253,51 \cdot V^{-1/2} + 1,33748 \cdot V - 68,1542 \cdot G \cdot V^{-1/2} - 0,063320 \cdot G \cdot V$$

Où V correspond à la vitesse en km/h et G à la pente en pourcentage. Des simulations auraient ensuite été réalisées avec HDM-III et ont permis de générer une matrice de coûts d'opération pour différents types de véhicules (voiture, camions réguliers, camions lourds et autobus) et intervalles de vitesse. La composante de calcul de consommation de carburant du modèle HDM-III a cependant été remplacée par un estimé dérivé du modèle ARFCOM. Les Conseillers ADEC ont également souligné les travaux de Winfrey (1969), qui compile des tables de coûts par vitesse de circulation et type de route.

C'est la même méthode qui a été utilisée jusqu'en 2008 à une exception près : la consommation de carburant aurait été estimée au moyen du modèle MOVES cette année-là plutôt que ARFCOM les années précédentes. Les valeurs obtenues par les équations, exprimées en dollars de 1990, sont simplement actualisées en dollars de l'année de référence au moyen de l'indice de prix du panier de biens lié à l'achat, la location et l'entretien d'un véhicule privé au Québec.

En 1998, Les Conseillers ADEC précisent que les taux de consommation tiennent compte de la composition du parc de véhicules suivant les années de production des véhicules à partir des données de la SAAQ. Des facteurs de correction ont été ajoutés pour tenir compte du type de route (autoroute ou artère) et de la vitesse à partir des données des relevés des voitures « flottantes » et de tableaux de consommation instantanée de carburant selon la vitesse et l'accélération.

Il est à noter que ces formules peuvent être retrouvées dans le Guide de l'analyse avantages-coûts (GAAC) des projets publics en transport du MTQ jusqu'en 2006 (MTQ, 2006a; MTQ, 2006c). La version la plus récente du GAAC réfère plutôt aux coûts de fonctionnement par kilomètre développés par des consultants pour le compte de CAA-Québec (MTQ, 2015; CAA, 2013).

La Figure 7-7 présente l'évolution des coûts d'utilisation des véhicules. Les coûts rapportés par ADEC ont été convertis en dollars constants de 2018 au moyen de l'indice de prix à la consommation (IPC) lié à l'achat et à la location à bail d'un véhicule ainsi que pour l'essence. L'augmentation observée des coûts ne devrait donc être attribuable qu'à la détérioration des conditions de circulation et non pas à l'indexation des paramètres. Aucune explication n'a été trouvée pour la diminution en 1998. Le nombre de véhicules-kilomètres devrait être en croissance comme le montre la Figure 7-4.

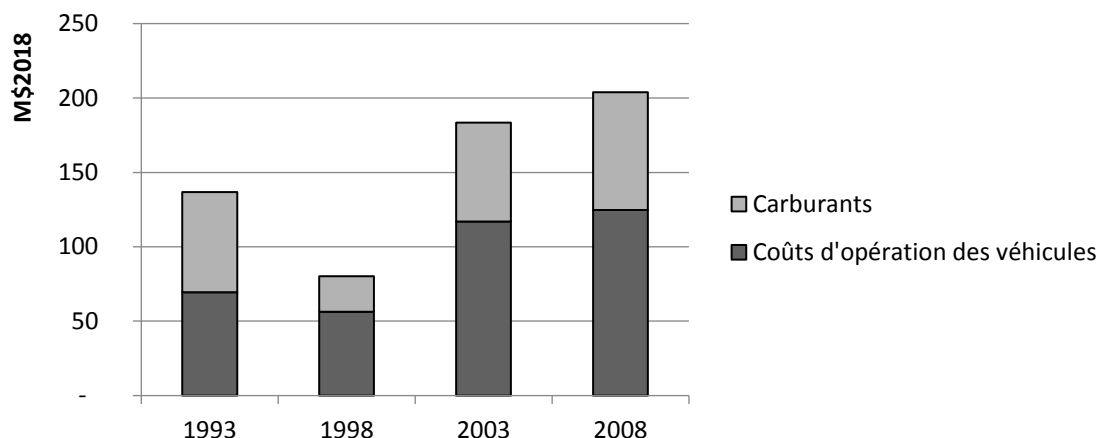


Figure 7-7. Coûts d'utilisation additionnels des véhicules liés à la congestion, millions de dollars constants de 2018, 1993 et 2003 (Sources : ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008) et Statistique Canada, Tableau: 18-10-0005-01 (anciennement CANSIM 326-0021), IPC pour l'achat et à la location à bail de véhicules automobiles et IPC essence, ensemble du Québec)

Modèles d'estimation des émissions atmosphériques polluantes et des GES

En 1993, le modèle utilisé pour estimer les émissions atmosphériques n'est pas spécifié. Les données auraient été transmises par le SMST. En 1998 et 2003, les émissions des véhicules ont été dérivées du modèle MOBILE6 distribué par la *Environment Protection Agency* (EPA) aux États-Unis. En 2008, ils sont estimés avec le modèle MOVES. Le Tableau 7-2 présente le nombre de tonnes de polluants atmosphériques et les émissions de GES estimées avoir été produites par la congestion au moyen des différents modèles. Les valeurs unitaires seront présentées dans la comparaison détaillée.

Tableau 7-2. Polluants atmosphériques selon les différents modèles, tonnes métriques, 1993-2008

Année de	1993	1998	2003	2008
Tonnes	SMST	MOBILE6	MOBILE6C	MOVES
CO	17 913	2 392	5 976	7 530
HC/COV	1 745	375	960	795
NOX	0	135	324	531
SOX	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
PM	s.o.	s.o.	s.o.	s.o.
PM25	s.o.	s.o.	s.o.	48
PM10	s.o.	s.o.	s.o.	77
GES (CO2)	s.o.	108 600	257 000	277 922
Coût (M\$)	34,7	9,3	26,6	44,9

Sources : ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008)

Cadre méthodologique d'évaluation des coûts de la congestion

Le prochain rapport présentera en détail les valeurs unitaires qui ont été utilisées pour monétiser les impacts de la congestion par Les Conseillers ADEC pour chacune des trois grandes catégories de coûts. La plupart des valeurs unitaires utilisées pour estimer les coûts de fonctionnement des véhicules et les coûts environnementaux qui en découlent ont été établies en 1993 ou en 1998 à la suite d'une revue de la littérature scientifique. Puis, ils ont simplement été indexés dans les années subséquentes au moyen d'indices

de prix. Les hypothèses derrière le choix des valeurs du temps ont cependant été considérablement raffinées et complexifiées au fil des évaluations. Les explications fournies ne nous ont d'ailleurs pas permis de déterminer avec précision les valeurs qui ont été utilisées. Une valeur moyenne du temps a été estimée en divisant l'estimation du coût de la congestion attribuable aux retards par le nombre total de véhicules-heures de retard. Cette approbation ne tient pas compte de la classification des véhicules. Les valeurs moyennes du temps obtenues ont ensuite été converties en termes réels au moyen de l'IPC pour la région de Montréal.

La Figure 7-8 présente une synthèse des différents éléments traités dans cette section. Sans surprise, l'évolution des coûts de la congestion est fortement corrélée au nombre de véhicules-heures de retard et à la valeur moyenne du temps, étant donnée sa forte prépondérance dans le cadre d'évaluation. En 2008, les coûts de la congestion continuent de progresser malgré une diminution du nombre de véhicules-heures et ce, semble-t-il, selon nos calculs, en raison d'une forte augmentation de la valeur moyenne du temps. Il est par ailleurs étonnant de constater que le temps moyen de retard continue de progresser alors que le nombre de véhicules-heures de retard est en baisse entre 2003 et 2008. Celui-ci serait passé de 3,3 minutes en 1993 à 7,4 minutes en 2008 (Tableau 7-3).

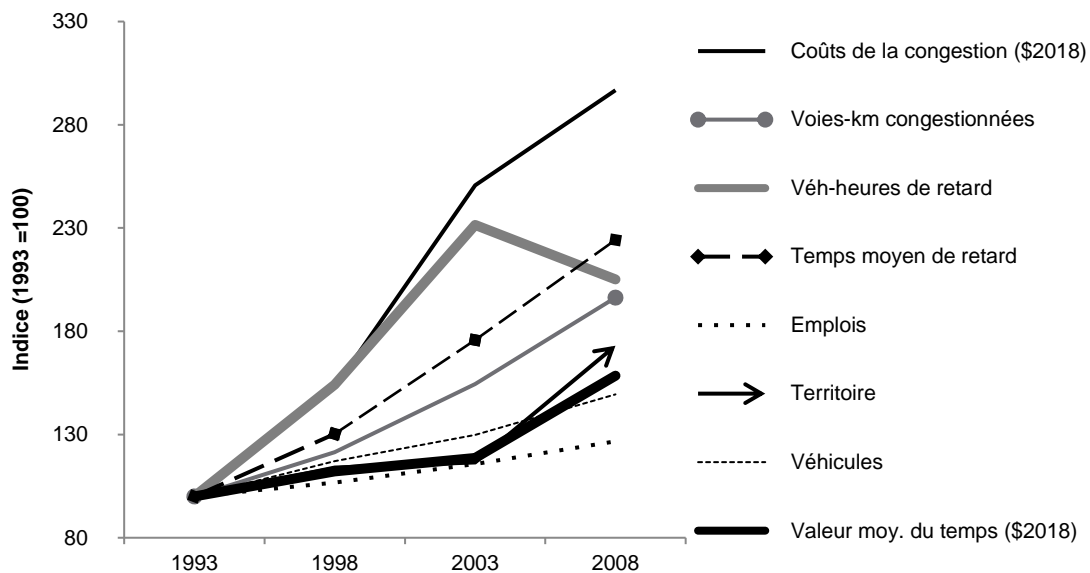


Figure 7-8. Synthèse des intrants et des coûts de la congestion, 1993-2008

7.1.2 Évolution des résultats

Dans ses rapports, ADEC a procédé à différents ajustements méthodologiques afin de réconcilier les résultats. Ceux-ci sont présentés dans cette section, en plus d'une comparaison que nous avons réalisée à l'aide de ces résultats.

Réconciliation des résultats produits par ADEC

Le Tableau 7-3 présente une synthèse des résultats des exercices de comparaison effectués par les Conseillers ADEC et qui ont été retracés dans les rapports:

- En 1998, les Conseillers ADEC ont transposé les données de l'EOD 1993 dans le MOTREM98. Le retard moyen se serait accru d'une minute, passant de 3,3 à 4,3 minutes. À l'échelle d'une année, cela représente une hausse de 54 % des retards et de 56 % des coûts de la congestion.
- En 2003, les Conseillers ADEC ont fait des hypothèses d'ajustement, mais n'ont pas transposé les données dans la version la plus récente du MOTREM. Ils ont notamment soustrait les coûts relatifs au transport en commun, multiplié par deux la période de pointe du matin et pris en considération la répartition des passagers-heures entre les automobiles et les camions. Cet exercice montre une hausse des coûts de la congestion de 50 %. Les Conseillers ADEC indiquent avoir observé une augmentation de la valeur moyenne du temps des automobilistes en raison d'une augmentation du nombre de déplacements liés au travail.
- En 2008, les précédents résultats ont simplement été indexés, sans ajustement supplémentaire. Les faits saillants de l'EOD y sont, par ailleurs, présentés dans ce rapport sur une base territoriale comparable, alors que les résultats de l'évaluation des coûts de la congestion n'ont pas été révisés de la même façon. L'indexation montre une croissance plus faible des coûts de la congestion (+19%) entre 2003 et 2008. Ce résultat s'expliquerait en partie par la recalibration du MOTREM, tel que souligné à la précédente section.

Tableau 7-3. Comparaison des coûts de la congestion réalisée par ADEC, 1993-2008

Année de référence	1993	1998	2003	2008	1993-2008
Coûts socioéconomiques de la congestion					
EOD93 transposé dans MOTREM98 (M\$1998)	498	779	-	-	-
Hypothèses comparables (M\$2003)	n.d.	841	1264	-	-
Indexation des lignes précédentes (M\$2008)	665	953	1565	1852	-
Variation (%)	-	+ 56 %	+ 50%	+19 %	-
Retards (PPAM)					
Déplacements en mode auto-conducteur	n.d.	n.d.	+ 8 %		
Véhicules-heures de retard Variation (%)	-	+ 54 %	+49 %		+105 %
Retard moyen (minutes)	3,3	4,3	5,8	7,4	
Durée moyenne de déplacement (minutes)	21,4	22,7	26,1	26,1	
Vitesse moyenne de déplacement (km/h)	43,8	42	n.d.		

Sources : ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008)

Comparaisons des résultats au moyen d'indicateurs

Cette section propose de revisiter les résultats obtenus à travers les années en les reportant sur les intrants originaux des EOD (territoires non comparables). Une synthèse des résultats est présentée au Tableau 7-4. Contrairement à la section précédente, aucun ajustement méthodologique n'a été effectué aux coûts de la congestion. Cet exercice nous permet de constater les indicateurs les plus sensibles aux changements méthodologiques.

La première section de ce tableau présente tout d'abord les coûts de la congestion en « dollars courants », c'est-à-dire les résultats tels qu'ils ont été présentés dans les rapports des Conseillers ADEC. Les résultats ont ensuite été convertis en « dollars constants » de 2018, en vue d'éliminer l'effet de l'inflation. L'évolution des coûts de la congestion ne serait donc attribuable qu'à la détérioration des conditions de circulation ou aux changements

méthodologiques. L'indice des prix à la consommation pour la région de Montréal de Statistique Canada a été utilisé à cette fin. Ces coûts ne peuvent être comparés directement étant données les différences au niveau de la couverture du territoire et de la méthodologie. Ils sont combinés aux intrants et aux extrants du Tableau 7-1 dans la troisième partie du tableau (Tableau 7-4) pour construire des indicateurs.

Tableau 7-4. Comparaison des coûts de la congestion, 1993-2008

Année de référence	1993	1998	2003	2008
1. Coûts de la congestion				
Dollars courants (M\$)	502	779	1 423	1 852
IPC, Région de Montréal [1]	70	71	79	87
Dollars constants (M\$2018)	718	1 096	1 800	2 130
2. Répartition des coûts (%)				
Retards	80	90	87	87
Coûts de fonctionnement (incluant le carburant)	13	8	11	10
Environnement	7	1	2	2
3. Indicateurs des coûts de la congestion (\$2018) [2]				
Par habitant	231	313	498	541
Par emploi	636	910	1 379	1 491
Par km ²	151 442	202 982	326 014	259 766
Par automobile	507	661	979	1 007
Par déplacement auto-conducteur [3]	1,78	2,09	3,41	3,74
Par voies-kilomètres congestionnées	916 773	1 152 581	1 488 499	1 385 868
Par véhicules-kilomètres congestionnés	289	329	403	447
Par véhicules-heures de retard	15 231	15 091	16 495	22 035

Sources : ADEC (1993), ADEC (1998) ADEC (2003), ADEC (2008), Statistique Canada, Tableau 18-10-0005-01, Indice des prix à la consommation, moyenne annuelle, non désaisonnalisé, ensemble, région de Montréal (Québec); et calculs des auteurs. **Notes :** [1] Pour l'AR93, les coûts de la congestion étaient présentés en dollars de 1997. [2] Les indicateurs ont été calculés au moyen des facteurs d'influence (population, emploi, motorisation, déplacement, territoire) originaux (territoires non comparables) des EOD tels que présentés au Tableau 7-1. [3] Les déplacements en pointe du matin ont été multipliés par deux et annualisés par un facteur de 250. Les données pour la pointe du soir n'étaient pas disponibles dans les faits saillants, ce qui aurait été idéal d'utiliser en 2003 et 2008. Le taux d'occupation des véhicules a été utilisé pour estimer les déplacements auto-conducteurs en 1993, 1998 et 2008. Le taux d'occupation des véhicules n'était pas disponible en 1993 et 2003, une hypothèse de 1.2 a été utilisée, soit un taux légèrement inférieur au taux d'occupation en 2003 (1.24) et en 2008 (1.23).

La seconde section du Tableau 7-4 présente la répartition des coûts de la congestion. On peut constater l'effet des changements méthodologiques apportés entre 1993 et 1998. Le poids des coûts environnementaux est passé de 7 % à 1 %, alors que celui des retards est passé à près de 90 % depuis 1998. Les résultats ne sont cependant pas significativement différents de ceux observés dans la région de Toronto à la même période. Les coûts attribuables aux accidents, qui ne sont pas considérés par ADEC, ont été exclus pour permettre une meilleure comparabilité. Les retards vécus par les usagers du transport en commun représentent cependant une proportion plus importante des retards.

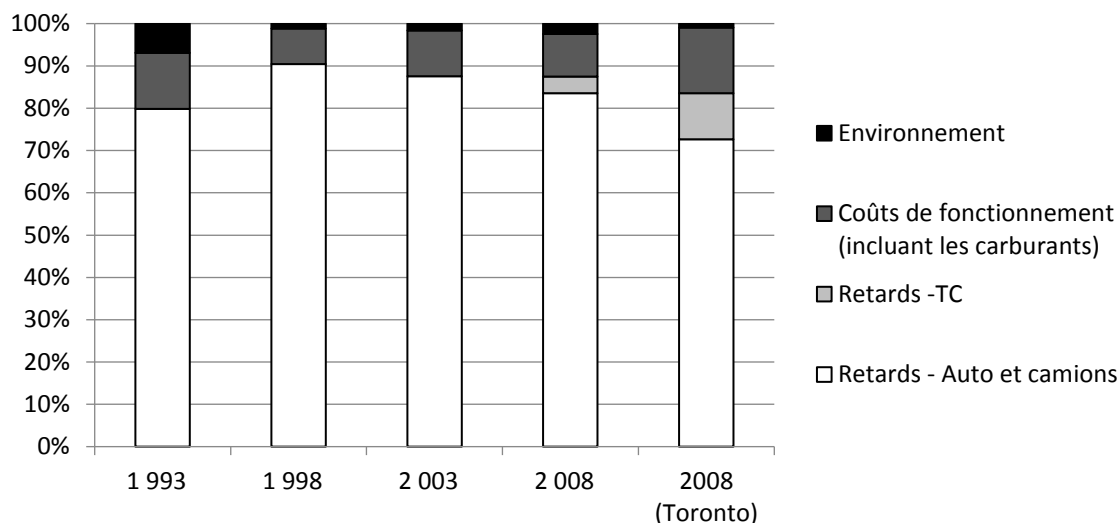


Figure 7-9. Évolution des intrants de MOTREM dans l'évaluation des coûts de la congestion. 1993-2008 (Sources : données ADEC (1993, 1998, 2003 et 2008), Metrolinx (2008) et compilation de Polytechnique Montréal.)

La troisième section du Tableau 7-4 présente différents indicateurs mettant en relation les coûts de la congestion, en dollars constants, avec les intrants et les extrants du MOTREM (voir Tableau 7-1). Les intrants incluent les facteurs d'influence de la mobilité (population, emploi, motorisation, territoire). Il est important de rappeler qu'il s'agit des facteurs originaux des EOD, territoires non comparables, soit ceux qui ont été employés pour estimer les coûts de la congestion. Les extrants incluent les résultats de l'affectation des déplacements, à savoir les voies-kilomètres et les véhicules-kilomètres congestionnés ainsi que les véhicules-heures de retard.

Certains de ces indicateurs offrent une perspective intéressante sur le niveau de tarification qui devrait être mis en place pour compenser les coûts de la congestion. À titre d'exemple, en supposant que le cadre d'évaluation des coûts soit adéquat, le tarif d'un péage en heure de pointe pourrait s'élever à 3,75 \$, soit le coût moyen de la congestion par déplacement. Une taxe additionnelle sur les droits d'immatriculation pourrait s'élever à 1000 \$, soit le montant moyen par véhicule. Une taxe sur la masse salariale, similaire au versement transport en France, pourrait s'élever à 1500 \$, soit le coût de la congestion par emploi.

D'autres indicateurs pourraient être pertinents dans le cadre d'une analyse avantages-coûts visant à évaluer le bénéfice d'une nouvelle infrastructure. Sur la base des conditions de 2008, une voie-km congestionnée coûte en moyenne 1,4 M\$ par année à la société. Dans la région de Toronto, les évaluations de la congestion viennent appuyer l'analyse avantages-coûts des projets de transport.

L'utilisation d'indicateurs moyens n'est cependant pas appropriée lorsque ceux-ci sont reportés sur l'ensemble du territoire ou du réseau routier. Les zones moins denses et congestionnées tendent à réduire l'importance des niveaux réels de congestion observés dans les zones plus centrales. Il vaut mieux en telle situation proposer des indicateurs davantage spatialisés.

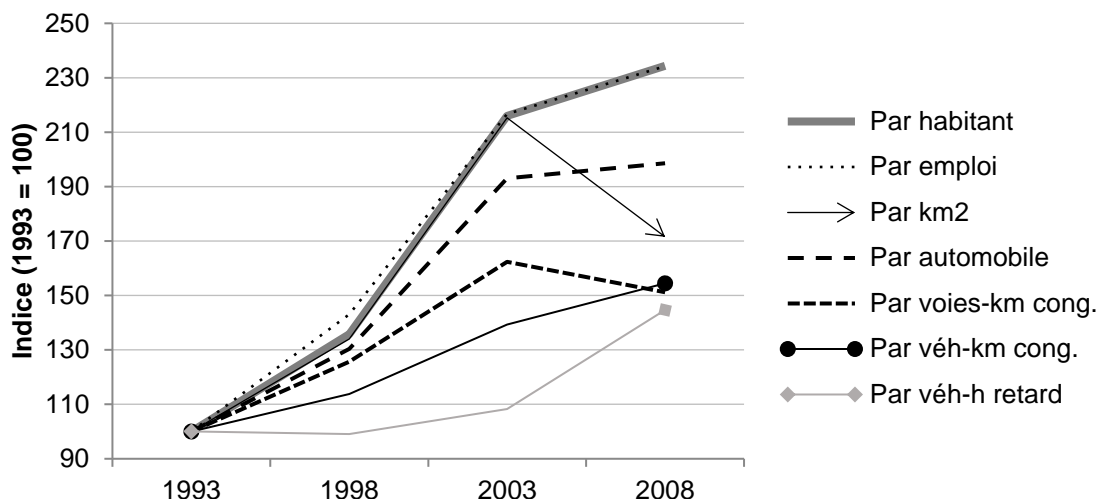


Figure 7-10. Indicateurs de l'évolution des coûts de la congestion, 1993-2008

Conclusions des Conseillers ADEC

Cette section présente une synthèse des conclusions des Conseillers ADEC pour chacune des évaluations des coûts de la congestion.

En 1993 :

- Les facteurs socioéconomiques peuvent influencer significativement la rentabilité économique et l'ordonnancement des projets de transports, d'où l'importance de s'assurer de la fiabilité des méthodes et des paramètres de coûts utilisés.
- Les méthodes et les paramètres qui ont été utilisés pour cette première évaluation ont été calibrés dans des contextes sociaux, économiques et géographiques extérieurs au Québec. Des paramètres uniformes et spécifiques au Québec devraient être utilisés dans les études de rentabilité économique de projets de transports.

En 1998 :

- L'intensité de la congestion routière varie considérablement d'une grande ville à l'autre, mais aucune d'elles n'en est exempte. À Montréal, certains usagers ne sont pas du tout affectés par la congestion (18 %), alors que d'autres subissent des retards de 20 minutes ou plus (14 %). La congestion est également très inégalement distribuée sur le territoire. L'île de Montréal et la Rive-Sud immédiate sont beaucoup plus touchées que les autres sous-régions. Sous l'angle du réseau routier, ce sont les autoroutes qui supportent la majeure partie des coûts de la congestion (56 %), sauf à Montréal où c'est davantage le réseau artériel qui subit les impacts de la congestion (55%). Le réseau de Montréal subit par ailleurs 60 % des coûts de la congestion et sa part pourrait être encore plus grande si la période de pointe du soir était estimée.
- La méthode d'estimation de la congestion du Texas Transportation Institute montre que Montréal est privilégiée par rapport aux villes américaines de même taille. La situation enviable de Montréal est vraisemblablement attribuable à sa très forte densité résidentielle, à l'achalandage particulièrement élevé de son réseau

de transport en commun, lequel donne accès à un centre-ville qui concentre une part relativement importante des emplois de l'agglomération, à son taux d'emploi plutôt faible et, possiblement, à ses bas salaires. On compte d'ailleurs nettement moins d'automobiles à Montréal que dans les villes américaines de même taille, ce qui est conséquent avec sa forte densité et son taux d'utilisation élevé du transport en commun.

En 2003 :

- La période de pointe de l'après-midi a une incidence plus importante que celle du matin, soit 53 % des coûts de la congestion.

En 2008 :

- L'importance relative de la congestion augmente constamment dans les couronnes, mais elle demeure plus importante à Montréal en termes absolus.
- Cette évaluation, comme les autres, ne tient pas compte des coûts de la congestion incidente, des accidents, des impacts sur la productivité des entreprises et des impacts sur la santé.

7.2 Analyse synthèse des pratiques internationales

La comparaison des coûts de la congestion est un exercice complexe en ce sens que les réseaux considérés, le type de congestion, les catégories de coûts et les méthodes d'estimation varient d'un pays à l'autre, voire d'une région à l'autre. Au Canada, par exemple, les méthodologies développées pour estimer les coûts de la congestion dans les régions métropolitaines de Montréal et de Toronto diffèrent substantiellement. À première vue, très peu de pays ont une méthodologie d'évaluation des coûts de la congestion. Il s'agit principalement de pays développés où l'usage de l'automobile est important :

- Toronto: HDR Corporation – Metrolinx (2008)
- Canada: Transport Canada étude sur les coûts récurrents et non récurrents
- États-Unis : Highway Performance Monitoring System (HPMS), TAMU et Inrix
- Royaume-Uni: UK Department for Transport
- Australie: Australian Bureau of Transport and Regional Economics et Austroads

Aux États-Unis, le gouvernement fédéral américain a constitué, en 1978, un protocole de collecte de données sur les caractéristiques géométriques, l'achalandage et l'état du réseau routier. La base de données qui en découle, intitulée Highway Performance Monitoring System (HPMS), est mise à jour annuellement. Depuis 1982, cette base de données sert à produire une estimation du niveau de congestion dans les villes américaines (ADEC, 1998). Il s'agit du plus large exercice d'évaluation des coûts de la congestion. Celle-ci ne prend cependant en compte que les coûts des retards et d'utilisation des véhicules (TAMU, 2015). À des fins de comparaison, les statistiques sur les coûts de la congestion ont été relevées pour les très grandes villes, incluant Atlanta, Boston, Dallas, Houston, Miami, Philadelphie, San Francisco, Washington et New York (voir tableau 5). Ces villes ont en moyenne 4,7 millions d'habitants. Les coûts de la congestion par habitant y sont significativement plus élevés, soit 7210 \$ par habitant par

année contre 2120 \$ à Montréal. Les données ont été converties en dollars canadiens et indexées au coût de la vie au moyen de l'IPC d'ensemble pour le Canada.

La Ville de Toronto a elle aussi développé sa propre méthodologie. La première évaluation de la congestion dans la région aurait été réalisée en 1987 par le MTO, soit dans les années précédant la construction de l'autoroute express 407. Les coûts, incluant les pertes de temps, les coûts d'opération pour les véhicules et les pertes de productivité pour les entreprises, auraient été estimés à environ 2 G\$. Plusieurs évaluations auraient été réalisées subséquemment sans être publiées (ADEC, 1993). Une étude récente, datant de 2006, indique que la congestion dans le GTHA s'élèverait à 3,3 G\$ pour les navetteurs, incluant le coût des accidents qui ne sont pas pris en considération dans la démarche d'ADEC, et 2,7 G\$ en perte de croissance économique. Cette étude aurait servi à appuyer les investissements dans le cadre du plan régional de transport de la région. Une analyse coûts-bénéfices a été réalisée afin d'évaluer le bénéfice net de ce plan relativement au statu quo. Les résultats indiquent un taux de rendement interne de 19 % et une valeur présente nette de 15,5 G\$ sur 25 ans (Metrolinx, 2008).

Le Tableau 7-5 présente une comparaison préliminaire des coûts de la congestion et de différents indicateurs.

Tableau 7-5. Comparaison internationale des coûts de la congestion, 1993-2008

	Montréal (2008)	Toronto (2006)	États-Unis (2007)
Population (million)	3,9	5,9	4,7
Véh-km	15 671	31 125	65 029
Coûts de la congestion (CAD\$2018)	2 120	3 972	7 210
Par habitant (CAD\$2018)	538	672	1240
- Retards (automobilistes) (%)	84%	67%	n.d.
- Retards (transport en commun) (%)	4%	10%	s.o.
- Coûts d'opération des véhicules (%)	10%	14%	0%
- Émissions atmosphériques (%)	2%	8%	s.o.
- Accidents (%)	s.o.	1%	s.o.
Travel Time Index (TTI)	s.o.	1,63	1,32
Part des véh-km en congestion (%)	30%	15%	42%
Valeur du temps (navetteurs)	19	32	19
Valeur du temps (commerciale)	35	s.o.	1102
Prix de l'essence	0,715	0,901	0,849
Prix du diesel	0,972	s.o.	0,959

Source : ADEC (2008), Metrolinx (2008), TAMU (2007) et Statistique Canada.

Les éditeurs de logiciels et de planification d'itinéraires, tels que TomTom, ou les gestionnaires de données de circulation, comme INRIX, ont également développé des palmarès des conditions de circulation et de la congestion. Les données d'INRIX ont d'ailleurs servi d'intrant à l'évaluation des conditions de circulation réalisée par Texas A&M en 2014, qui utilisait auparavant les données du HPMS (TAMU, 2015). INRIX a développé une méthodologie d'évaluation des coûts de la congestion pour les villes des États-Unis, du Royaume-Uni et de l'Allemagne. L'évaluation tient compte des coûts directs pour les conducteurs (ex. temps perdu dans la congestion, consommation additionnelle de carburants ainsi que coûts sociaux des émissions polluantes) et des coûts indirects (perte

de productivité). Les valeurs utilisées reposent sur les travaux réalisés par les organisations publiques américaine ou britannique par l'EPA, le Texas Transportation Institute et le UK Department for Transport (INRIX, 2018). Les comparaisons peuvent cependant être intéressantes comme le montre la Figure 7-11. Les coûts de la congestion ont été convertis en dollars canadiens de 2018. Le point représentant Montréal correspond aux résultats d'ADEC en 2008, convertis en dollars constants de 2018.

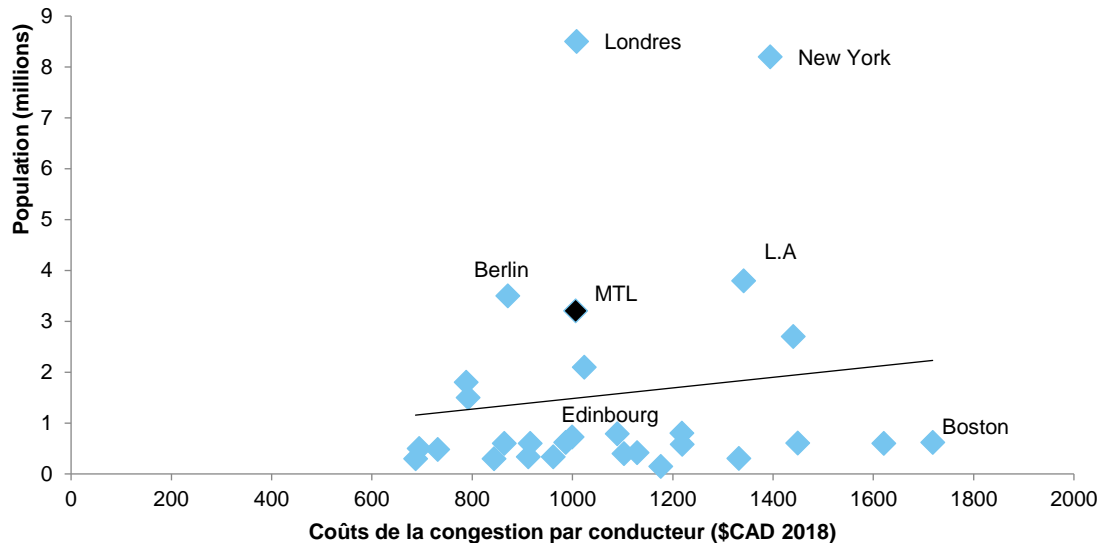


Figure 7-11. Comparaison des coûts de la congestion dans 30 villes américaines, britanniques et allemandes avec Montréal sur la base de leur population, dollars canadiens de 2018 (Sources : INRIX (2018) et ADEC (2008). Note : graphique préliminaire, plusieurs calculs devront être revus)

7.3 Pistes méthodologiques pour l'actualisation des coûts de la congestion via OSC²AR

Une matérialisation complète d'une méthodologie d'estimation des coûts de la congestion à partir des données ayant été intégrées dans la plateforme OSC²AR n'a pas été possible dans le cadre de ce projet. Certaines données fondamentales pour assurer une couverture exhaustive et suffisamment détaillée des déplacements sur le réseau ne sont pas disponibles. Néanmoins, des pistes méthodologiques pour l'actualisation de la méthode d'estimation des coûts de la congestion à partir de données alimentant OSC²AR sont discutées dans cette section. Les exigences informationnelles pour assurer la faisabilité d'actualiser les estimations cycliques des coûts de la congestion sont aussi discutées.

7.3.1 Principales composantes méthodologiques

Tel qu'exposé dans les sections précédentes, l'estimation des coûts de la congestion à Montréal s'appuie d'abord et avant tout sur les données provenant des enquêtes Origine-Destination. Le fait que ces enquêtes ne soient réalisées qu'à chaque cinq ans limite la possibilité de suivre l'évolution des coûts de la congestion à un niveau permettant la prise de décisions à une échelle opérationnelle. C'est dans cette perspective que l'idée de valoriser des données témoignant des conditions de circulation en continu pour actualiser

les estimations les plus récentes de la congestion a été énoncée. Puisque les données alimentant la plateforme ne permettent que de caractériser des objets statiques du réseau (des liens), il faut pouvoir utiliser ceux-ci comme témoins des évolutions survenues sur le réseau. D'un côté, l'enquête permet de produire une représentation statique de la mobilité lors d'un jour moyen de semaine d'automne alors que de l'autre, les données passives font le suivi de différents paramètres exprimant les conditions de circulation comme le temps de parcours, la vitesse et, lorsque disponible, le débit de circulation.

Le schéma qui suite illustre les principales étapes méthodologiques envisagées pour procéder à la mise à jour des coûts de la congestion (composante mobilité des personnes) tels qu'estimés avec la plus récente enquête OD.

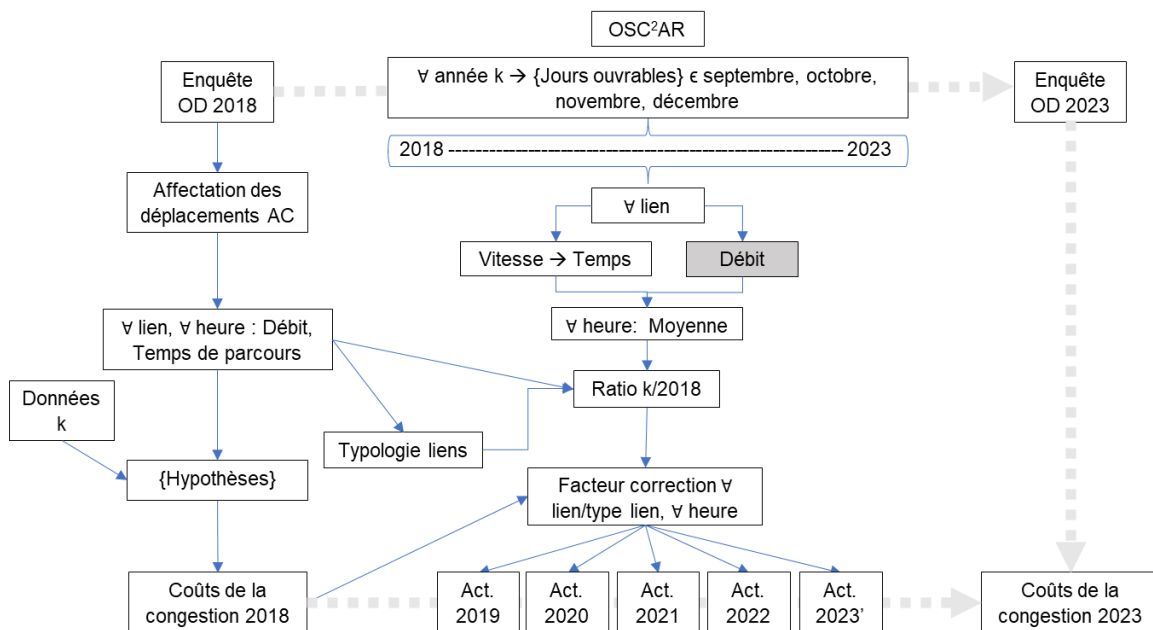


Figure 7-12 Composantes d'une méthodologie d'actualisation annuelle des coûts de la congestion

La logique consiste à développer des facteurs de correction (de la plus récente estimation) à partir de ratios de temps de parcours et débits de circulation obtenus des données passives d'OSC²AR. L'affectation des déplacements observés dans l'enquête OD permet d'obtenir la charge (débit) sur les différents segments du réseau ainsi que d'estimer le temps de parcours (et de le comparer avec le temps en écoulement libre pour estimer des retards et leur attribuer une valeur selon les propriétés du voyageur). Comme les données passives ne témoignent que des changements dans les conditions de déplacement (donc le temps de parcours) et dans le débit total (actuellement les comptages disponibles ne sont même pas classifiés), la seule option est d'analyser les changements dans ces deux métriques afin d'en déduire des facteurs de correction. En outre, comme le réseau OSC²AR n'est pas exhaustif (il ne représente qu'un sous-ensemble du réseau modélisé dans EMMÉ pour faire les affectations), il est essentiel de pouvoir imputer des facteurs de correction aux segments non-observés dans OSC²AR en vue de généraliser l'actualisation des estimés de coûts de congestion. Une approche possible est de créer une typologie de segments et d'imputer des facteurs de correction sur la base de cette classification.

7.3.2 Données requises

Les données nécessaires pour permettre l'actualisation de l'estimation des coûts de la congestion via OSC²AR sont des données de vitesses (voir le chapitre 6 pour plus de détails sur les données de vitesses GPS et Here) et des données de débits de circulation provenant du système CIR (voir la section 2.4). En ce qui concerne les données de circulation, celles-ci n'ont pas été intégrées à la plateforme en raison d'enjeux liés à l'association des sections de comptages avec le réseau d'OSC²AR (voir la section 2.4.5). Une fois les deux types de données - vitesses et débits - intégrées, il serait possible d'estimer les retards totaux (en véh-hr) et moyens (en minutes) subis pour chaque type de clientèle (automobiles et camions – dans la mesure où les comptages sont classifiés) à divers endroits sur le réseau routier et à différentes périodes temporelles en fonction de la saison, du jour de la semaine et de période de la journée.

Les données de comptages CIR (2013 à 2017) et les données de vitesses (à partir de 2019) n'étant pas disponibles pour une plage temporelle commune, il n'est pas possible, actuellement, de tenter une estimation des coûts de la congestion pour les segments où des comptages existent. Néanmoins, les données de comptages permettraient de témoigner de l'augmentation des débits journaliers moyens annuels (DJMA), comme le montre la Figure 7-13 pour certaines sections de comptages pour lesquelles les données sont disponibles toutes l'année. Toutes ces sections ont des ratios DJMA 2016 / DJMA 2013 supérieurs à 1.00 confirmant une croissance; c'est ce type de facteur de croissance qui permettrait d'actualiser les estimés basés sur la plus récente enquête OD. Il est également à noter que les données de comptages, bien que directionnelles, ne permettent pas de segmenter les types de véhicules, ce qui serait important dans l'estimation des coûts de la congestion pour permettre l'attribution de facteurs de correction aux principales clientèles pour lesquelles des hypothèses différentes (notamment valeur du temps) sont posées.

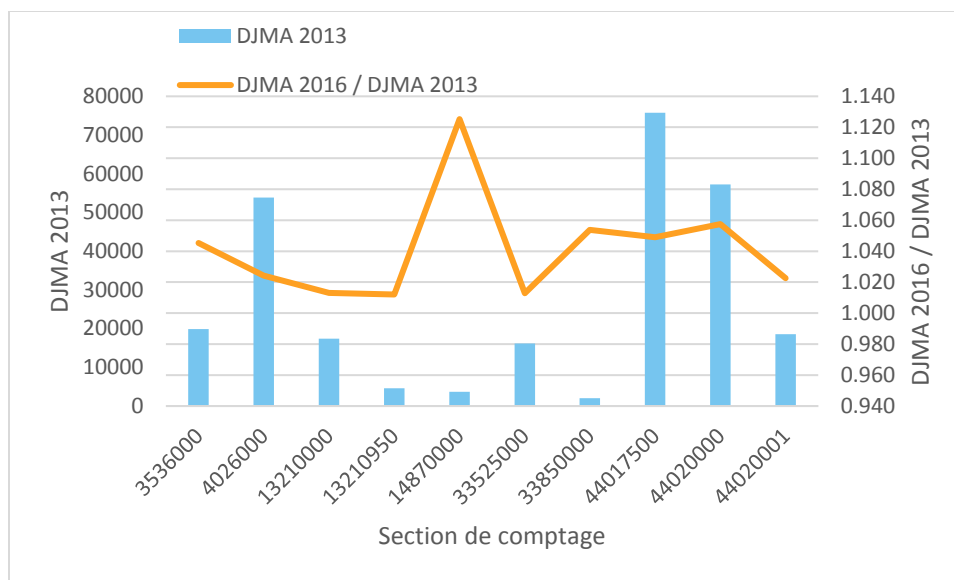


Figure 7-13 Évolution des DJMA entre 2013 et 2016 pour certaines sections de comptages du système CIR

8 PLATEFORME OSC²AR

Dans cette section, nous présentons la structure de la plateforme OSC²AR (*Outil de Suivi des Conditions de Circulation et d'Analyse Réseau*). Nous en décrivons premièrement l'architecture informatique, puis en présentons les fonctionnalités. La plupart des problématiques de développement sont référencées et explicitées sur le service web d'hébergement et de gestion de développement logiciel GitHub, dans le projet privé OSC²AR. Un échange continu avec le ministère permet d'enrichir ce GitHub en problématiques (appelées « issue » sur GitHub), et ainsi d'avancer dans l'amélioration continue du tableau de bord OSC²AR, amélioration qui se poursuivra au fil de l'utilisation par les professionnels du ministère.

8.1 Architecture de l'outil

Dans cette section, nous présentons l'architecture de l'outil informatique en développement dans le cadre de ce projet de recherche. Nous aborderons d'abord le schéma fonctionnel, puis les composantes informatiques, pour enfin décrire le modèle relationnel de données.

8.1.1 Schéma fonctionnel

L'outil OSC²AR est monté dans un environnement client-serveur avec une architecture en couches, c'est-à-dire avec la partie dorsale (backend), la partie frontale (frontend) et une base de données dédiée. La Figure 8-1 présente son schéma fonctionnel.

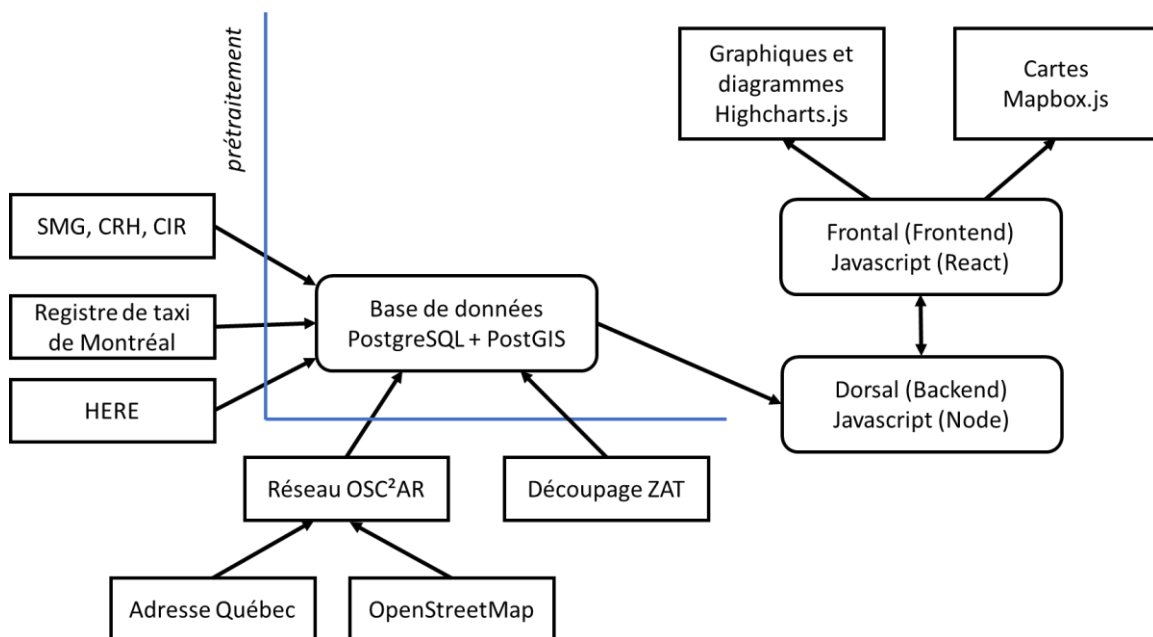


Figure 8-1. Schéma fonctionnel de l'outil OSC²AR

Tout d'abord, à l'extrême gauche, sont présentées les différentes sources de données de vitesse:

- Les données du registre des taxis, mis en place par le bureau de taxi de Montréal qui collecte les données GPS de près de 4000 voitures-taxis, et dont l'extraction de données est automatisée.
- Les données de la compagnie HERE, transmises par Transport Canada au MTQ, et dont le transfert vers OSC²AR est pour le moment fait de façon manuelle.
- Les données d'incidents (SMG), de comptages de véhicules (CIR) et de condition routière hivernale (CRH).

Au bas du schéma, nous identifions les données de support :

- Les découpages territoriaux, tels que les zones d'analyse de transport (ZAT);
- Les données sur le réseau routier, provenant de AQDirection, mais converties dans un format OpenStreetMap en données locales non publiées ;

Le format OpenStreetMap est utilisé, car il est compatible avec les bibliothèques informatiques utilisées dans l'outil.

La base de données utilisée dans ce projet est de format PostgreSQL (version 11 actuellement), à laquelle est adjointe la composante PostGIS (version 2.5 actuellement) pour les informations à caractère spatial. Les données y sont importées sous différents formats, le plus souvent des fichiers textes de type CSV (séparés par des virgules).

L'application dorsale est un programme Javascript (langage Node) qui s'exécute sur un serveur web. Elle gère les fonctions d'import de données, les requêtes de données ainsi que les requêtes provenant de l'application frontale.

L'application frontale est un programme Javascript (bibliothèque React) qui s'exécute à même un navigateur web (à l'exception d'Internet Explorer, qui n'est plus supporté par la communauté de développeurs) et sur n'importe quelle plateforme récente (Windows, Mac, Linux). Elle gère l'affichage de l'interface de OSC²AR et peut effectuer certains traitements de données simples, tels que ceux requis pour l'affichage d'un graphique, par exemple. Cette frontale utilise également la librairie MapBox pour l'affichage cartographique (ce qui nécessite une carte graphique récente) ainsi que HighCharts pour les graphiques.

En bref, l'utilisateur de OSC²AR utilise son navigateur web pour interagir avec les données et les objets de l'interface. Lorsqu'il effectue une requête, cela a pour effet de demander des données d'affichage à l'application dorsale. Celle-ci peut soit récupérer ces données dans un fichier cache, soit envoyer une requête à la base de données. Le tout est complètement transparent à l'utilisateur et s'exécute dans un temps le plus rapide possible.

À noter que tous les langages de programmation utilisés, ainsi que les bibliothèques informatiques sont libres de droits (*open source*). Il n'y a donc pas de licence à acheter pour faire fonctionner OSC²AR.

8.1.2 Prétraitement des données

La section 11.2 (annexe) présente les algorithmes qui décrivent le prétraitement des données avant stockage dans le serveur PostgreSQL. Il s'agit principalement de la génération du réseau, du traitement des vitesses observées (HERE et Taxi), et de la préparation des autres sources de données (SMG, CRH, CIR). L'application web, par le biais d'une interface web interactive, permet d'importer les données, de les traiter et d'afficher des visuels d'analyses (graphiques, diagrammes et cartes).

Les langages Python et Javascript sont utilisés pour l'importation des données. La bibliothèque d'importation actuelle comporte les utilitaires suivants (Figure 8-2):

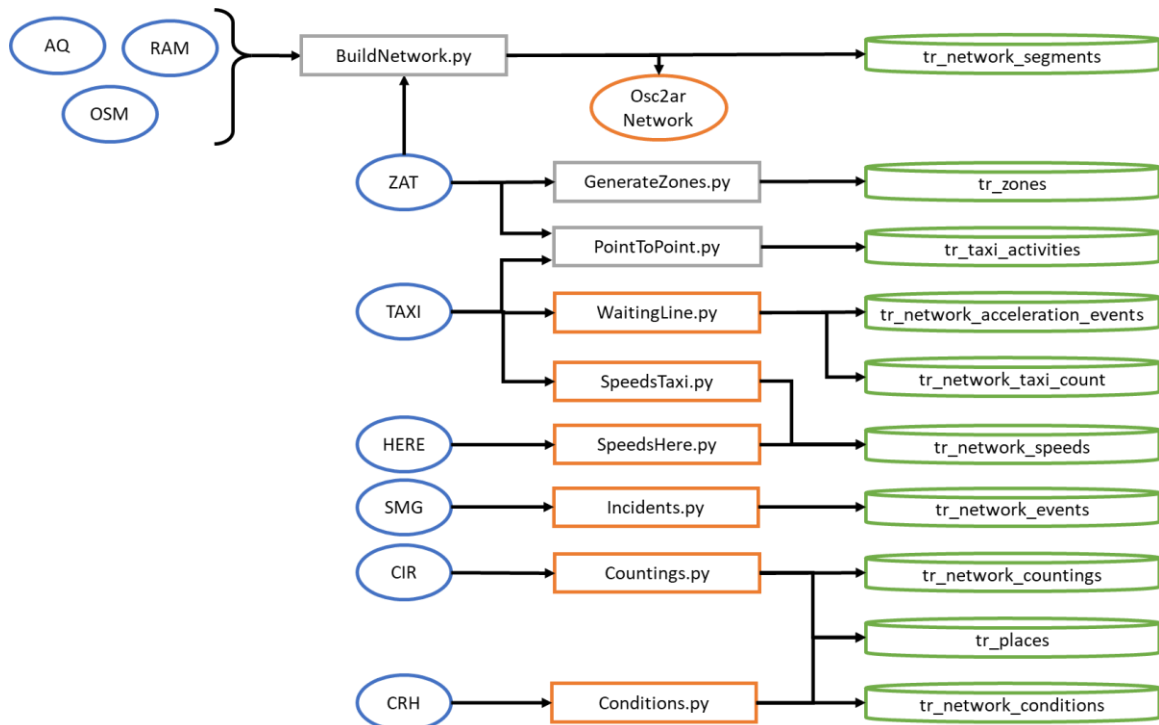


Figure 8-2. Prétraitement des données, Python

- BuildNetwork.py : Traitement des données Adresse Québec, Réseau Artériel Métropolitain, Open Street Map et des secteurs de la région de Montréal afin de générer un réseau commun à toutes les autres bases de données nécessitant la sélection de tronçons.
- GenerateZones.py : Traitement des données de secteurs de la région de Montréal afin de générer un ensemble de zones multicouches qui permet la sélection spatiale de secteurs.
- PointToPoint.py : Traitement des données des voitures-taxis pour créer des enregistrements de déplacements entre deux points du territoire, avec le temps associé.
- WaitingLine.py : Traitement des données de vitesse afin de générer des événements d'accélération et de décélération, information indispensable à l'étude de files d'attente.
- SpeedsTaxi.py : Programme permettant d'agréger les données provenant des Taxis afin de déterminer des profils de vitesse sur les tronçons.

- SpeedsHere.py : Programme permettant d'estimer des distributions de vitesses puis d'agréger les données agrégées de HERE, afin de déterminer des profils de vitesse sur les tronçons.
- Incidents.py : Traitement des données d'incidents provenant de SMG afin de les mettre en forme pour OSC²AR.
- Countings.py : Intégration des données provenant du système CIR du MTQ, selon le format de données transmis.
- Conditions.py : Intégration des données provenant du système d'état des routes du MTQ.

8.1.3 Bibliothèques informatiques

OSC²AR est un logiciel orienté-objet, c'est-à-dire que sa programmation repose sur des classes d'objets provenant de bibliothèques préprogrammées (comme MapBox), programmées sur mesure ou réappropriées pour ce projet. Chaque classe possède des propriétés et méthodes qui lui permettent de réaliser des actions spécifiques. Chaque classe peut être instanciée autant de fois que nécessaire.

Les applications dorsales et frontales comptent un certain nombre de classes qui permettent de réaliser des actions liées aux requêtes de données, à leur mise en forme et à leur affichage. La Figure 8-3 en présente un aperçu rapide ; elles sont décrites dans les tableaux suivants.

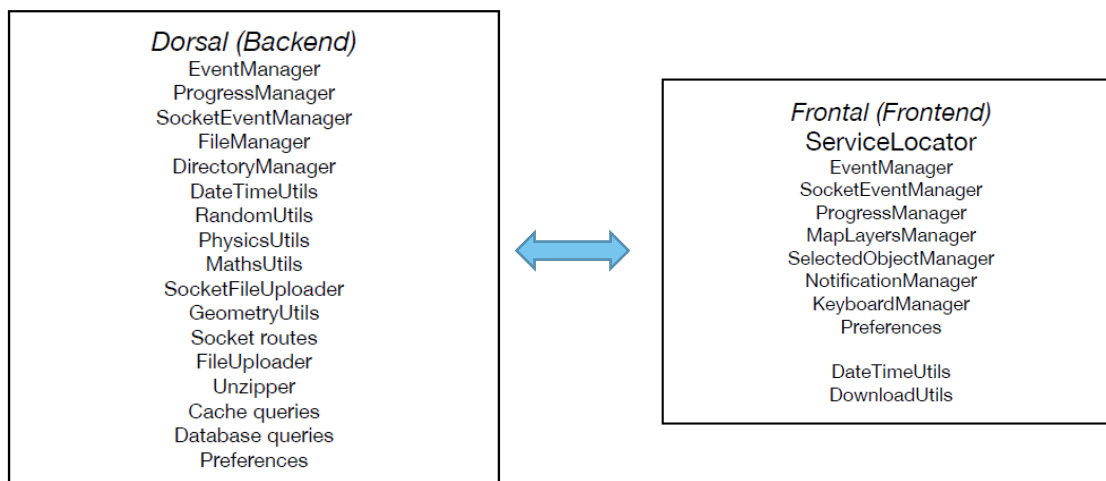


Figure 8-3. Classes de l'outil OSC²AR

Tableau 8-1. Classes de l'application dorsale

Classe	Rôle
EventManager	Gestion des événements, des actions posées sur les classes d'objets de l'application dorsale.
ProgressManager	Permet de renseigner sur l'état d'avancement de différentes tâches.
SocketEventManager	Gestion des événements liés aux échanges avec l'application frontale.
FileManager	Gestion des fichiers situés sur le serveur de l'application dorsale.

DirectoryManager	Gestion des répertoires situés sur le serveur de l'application dorsale.
DateTimeUtils	Banque d'utilitaires et de fonctions applicables aux données de type date et heure.
RandomUtils	Banque de divers utilitaires et fonctions de génération de nombres aléatoires.
PhysicsUtils	Banque d'utilitaires et de fonctions liés aux phénomènes physiques (conversion de vitesses, temps, distance, etc.).
MathsUtils	Banque d'utilitaires et de fonctions mathématiques (arrondis, indicateurs statistiques, etc.).
SocketFileUploader	Gestion des fichiers à télécharger vers l'application frontale.
GeometryUtils	Banque d'utilitaires et de fonctions liés à la géométrie.
FileUploader	Gestion des téléchargements de fichiers vers l'application dorsale.
Unzipper	Utilitaire de compression et de décompression de fichiers.
Cache queries	Gestion des fichiers de cache.
Database queries	Gestion des requêtes vers la base de données (écrites en langage SQL)
Preferences	Gestion des préférences des utilisateurs, au niveau de l'application dorsale.

Tableau 8-2. Classes de l'application frontale

Classe	Rôle
EventManager	Gestion des événements, des actions posées sur les classes d'objets de l'application frontale.
ProgressManager	Permet de renseigner sur l'état d'avancement de différentes tâches.
SocketEventManager	Gestion des événements liés aux échanges avec l'application dorsale.
MapLayersManager	Gestion des couches cartographiques affichées dans le composant carte.
SelectedObjectManager	Gestion de la sélection des objets dans l'interface graphique.
NotificationManager	Gestion des messages aux usagers via le navigateur web.
KeyboardManager	Gestion des interactions avec le clavier, via le navigateur web.
Preferences	Gestion des préférences des utilisateurs, au niveau de l'application dorsale.
DateTimeUtils	Banque d'utilitaires et de fonctions applicables aux données de type date et heure.
DownloadUtils	Gestion des téléchargements de fichiers à travers le navigateur web.

8.2 Modèle relationnel de données

Le modèle relationnel de données de OSC²AR est principalement composé de tables journalisées (dont les enregistrements se distinguent par la date et l'heure de la donnée). La plupart de ces tables sont liées à une table représentant le réseau routier via une clé étrangère correspondant à un numéro de tronçon associé. La ci-dessous, présente une vue simplifiée de ce modèle. Voici une description des principales tables:

- **tr_network_segments** : Cette table sert de dictionnaire d'agrégation entre les segments du réseau routier.
- **tr_zones** : Contient la géométrie et l'identification des zones d'analyse de transport du MTQ, à des fins de représentation spatiale. D'autres découpages territoriaux sont à envisager, au besoin.
- **tr_places** : Ensemble des points de relevés CIR et CRH.
- **tr_network_events** : Stocke les données d'incidents du MTQ. Chaque incident est lié à un segment routier du réseau osc2ar.
- **tr_network_conditions** : Stocke les données sur l'état des routes du MTQ. Chaque statut est lié à un segment routier du réseau osc2ar, ainsi qu'à un point de relevé de tr_places.
- **tr_network_countings** : Stocke les données de comptage sur les tronçons routiers qui sont équipés de stations. Chaque relevé est associé à un segment routier du réseau osc2ar, ainsi qu'à un point de relevé de tr_places.
- **tr_network_speeds** : Cette table stocke, pour chaque segment routier OSC²AR, et toutes les 15 minutes, la distribution des vitesses instantanées enregistrées sur ce tronçon dans des boîtes de vitesses de 5km/h. La vitesse moyenne globale est également stockée, tout comme le nombre d'observations.
- **tr_taxi_activities** : Contient des données de déplacements sur le réseau, avec la date et l'heure, les coordonnées d'origine et de destination, ainsi que le temps de parcours associé.
- **tr_network_acceleration_events** : Cette table accueille les événements d'accélération et de décélérations de Taxi observés sur le réseau. Ces événements sont indispensables à l'étude des files d'attente.
- **tr_network_taxi_count** : Stocke le nombre de taxis uniques observés sur chaque tronçon chaque heure.

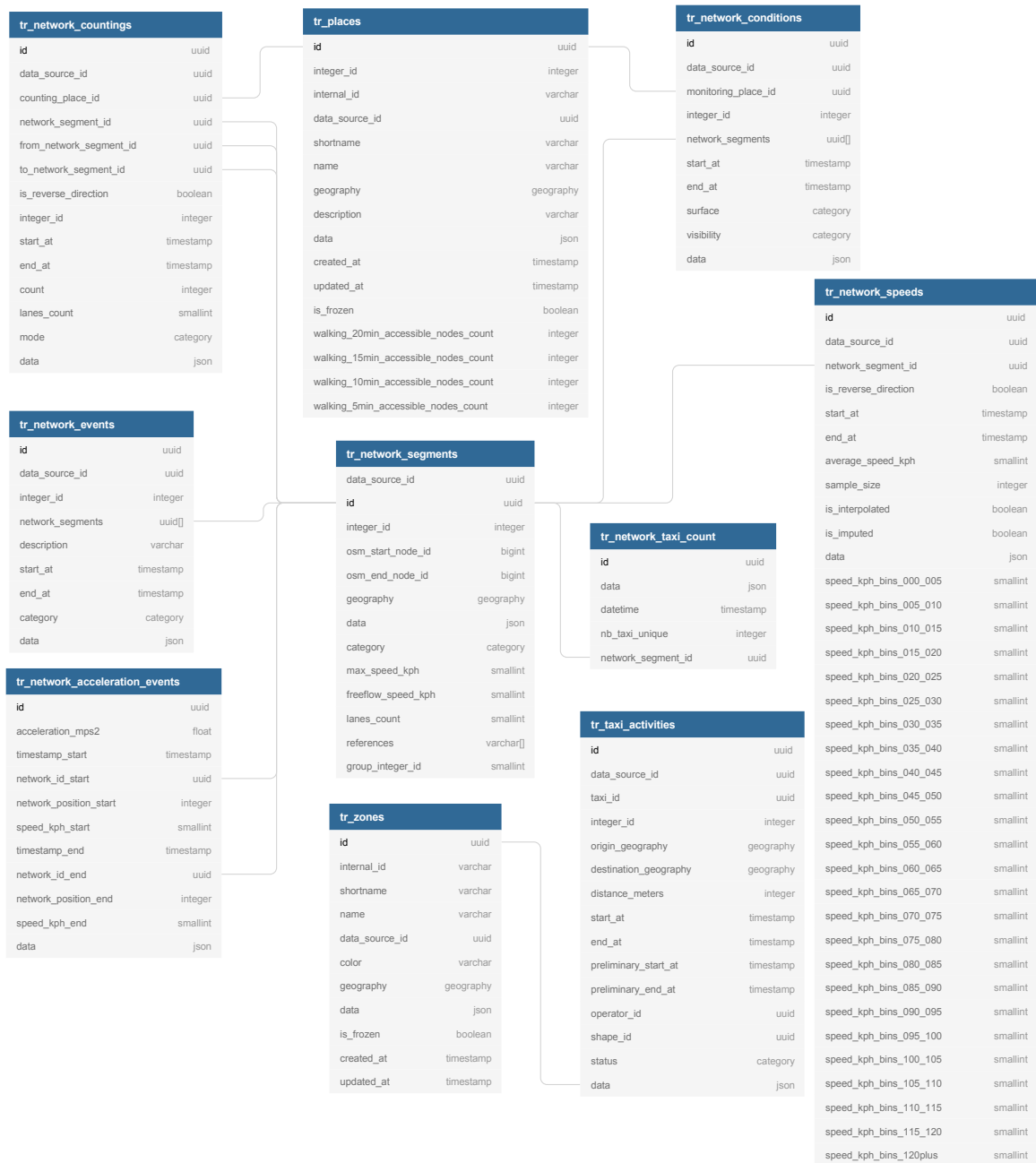


Figure 8-4. Modèle relationnel de données de OSC²AR

8.3 Description de l'outil

La principale manifestation de la plateforme OSC²AR est son application web, qui se présente sous la forme d'un tableau de bord interactif (Figure 8-5). Son interface se décompose en différents panneaux ayant tous une utilité différente :

- **Le panneau central** (encadré en jaune) est réservé à l'affichage, il est scindé en quatre boîtes contenant l'affichage des graphiques et autres éléments sélectionnés par l'utilisateur.
- **Le panneau de droite** (vert) est réservé au paramétrage. Il permet principalement de sélectionner les différents paramètres indispensables à l'affichage de graphiques et autres éléments.
- **La barre de navigation** (violet) permet la navigation sur le panneau central. Chaque icône correspond à une position distincte. Par exemple, cliquer sur la première icône permet de sélectionner la boîte positionnée en haut à gauche. La dernière icône indique un affichage où toutes les boîtes sont de tailles égales.
- **Le menu de gauche** (rouge) est un menu de sélection de projets. Chaque projet possède son propre panneau central contenant un ensemble de graphiques défini par une ou plusieurs sélections spatio-temporelles.
- **Le menu du haut** (orange) est un menu de fonction. Il permet :
 - Ajouter, Supprimer ou Dupliquer un projet
 - Ouvrir et Fermer la carte de sélection spatiale
 - Enregistrer et Importer une sélection spatiale
 - Enregistrer et Importer une sélection temporelle
 - Visualiser et Exporter une trame de données
 - Ouvrir la documentation

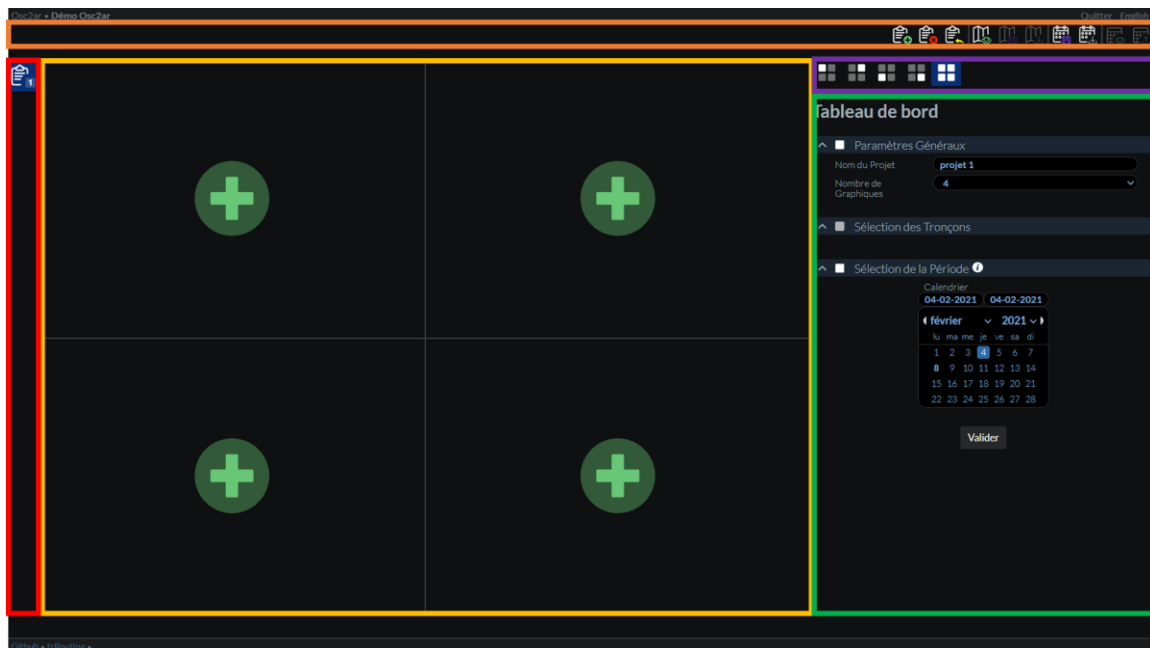


Figure 8-5. Plateforme OSC²AR - Présentation des différents panneaux de l'outil

8.4 Utilisation

8.4.1 Connexion à l'outil

L'outil requiert une identification pour y accéder. Ainsi, chaque compte présent sur un même ordinateur pourra retrouver ses précédents projets après avoir quitté la session.

Pour accéder à l'outil, deux possibilités :

- Si vous ne possédez pas de compte, il suffit de remplir le rapide questionnaire de création de comptes puis de se connecter.
- Si vous possédez un compte, il suffit de se connecter à votre compte

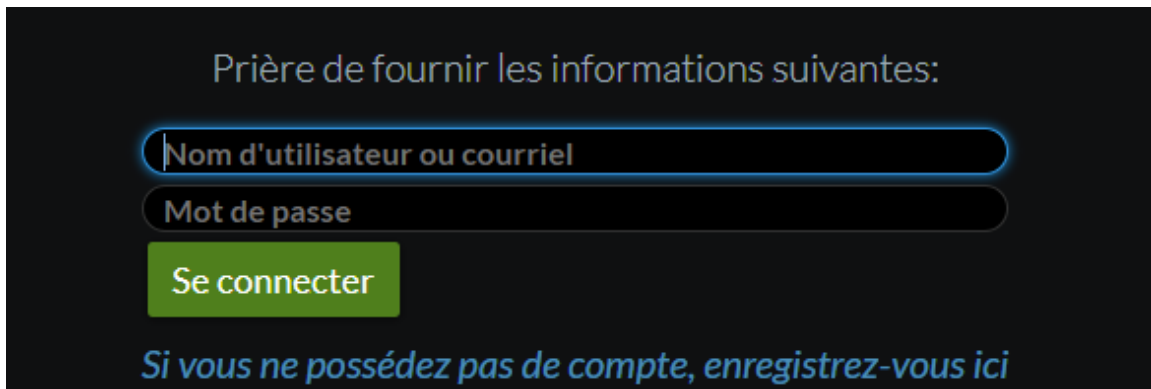


Figure 8-6. Plateforme OSC²AR - Présentation de l'enregistrement de l'utilisateur

8.4.2 Ouvrir un projet

Après première connexion, un projet est automatiquement créé. Il convient à l'utilisateur de le renommer afin de le retrouver efficacement. L'utilisateur peut ensuite choisir le nombre de boîtes à graphique à afficher. Par défaut, ce nombre est fixé à quatre, mais l'utilisateur peut tout aussi bien choisir de n'en montrer qu'un seul. Pour cela, il doit remplir les paramètres prévus à cet effet dans la Figure 8-7, cocher la case en rouge et cliquer sur « Valider ».

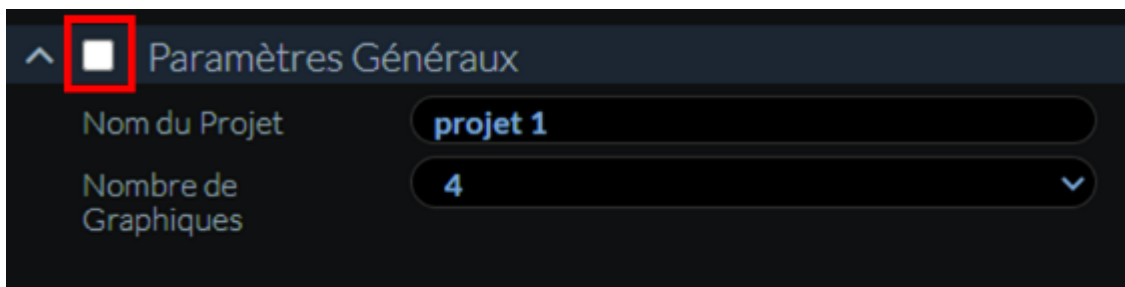


Figure 8-7. Plateforme OSC²AR - Présentation de l'ouverture d'un projet

8.4.3 Ajouter un graphique

Dans le but d'afficher son premier graphique, l'utilisateur devra cliquer sur un « plus » dans l'une des boîtes (fonction permettant d'ajouter un graphique) et obtiendra ainsi la Figure 8-8 sur son écran. Ici trois points principaux sont à retenir :

- La boîte sélectionnée (jaune) prend une majorité de l'espace du panneau central, ce qui permet de confirmer quelle boîte a été sélectionnée et d'optimiser l'espace de travail. Ici elle affiche : « *En attente de la sélection du type de graphique* », ce qui signifie que pour passer à la suite l'utilisateur doit faire un choix dans le panneau de droite.
- Le panneau de droite affiche maintenant la liste des types de graphiques utilisables. Il est affiché en grisé les types en cours de développement et donc non utilisables pour le moment.
- La barre de navigation a également changé ses icônes afin de ressembler au mieux à la disposition du panneau central. L'icône sélectionnée montre bien quelle boîte est affichée.

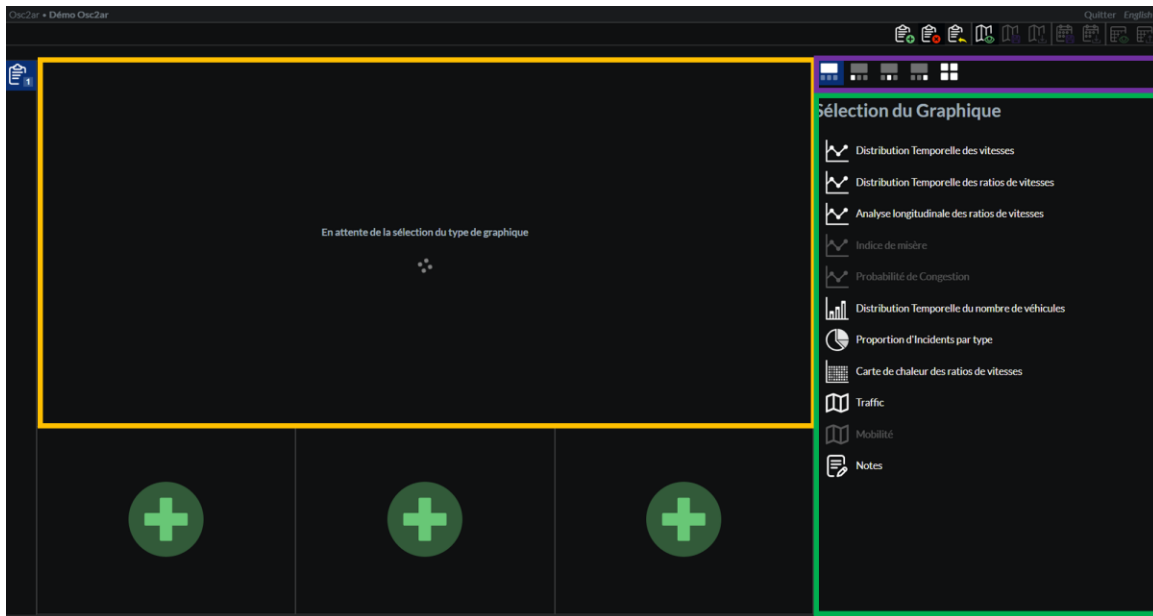


Figure 8-8. Plateforme OSC²AR - Présentation ajout sélection d'un nouveau graphique

L'utilisateur doit maintenant sélectionner le type de graphique désiré en cliquant dessus, l'ensemble des types de graphiques utilisables seront présentés dans la partie 0.

8.4.4 Paramétrer un graphique

Le type de graphique choisi, l'utilisateur fait maintenant face à une nouvelle disposition de son tableau de bord (Figure 8-9) :

- La boîte sélectionnée (jaune) affiche maintenant « *Données non trouvées. Les filtres ne correspondent à aucune donnée existante* ». Résultat logique puisqu'aucun filtre spatio-temporel n'a été sélectionné.
- Le panneau de droite affiche maintenant quatre menus déroulants :
 - Sélection des tronçons : le menu où sera affiché le résumé de la sélection spatiale.
 - Sélection de la période : le menu où il est possible de modifier la sélection temporelle. Selon le type de graphique sélectionné, l'utilisateur pourra sélectionner une période sur un calendrier et paramétrer à partir d'options telles : les jours à prendre en compte, l'intervalle de temps des données et la période de la journée.
 - Options de graphique contient le menu qui gère les options de graphiques. Il est possible de :
 - Modifier le sous-titre
 - Sélectionner une source de données différente
 - Changer le mode de calcul des ratios de vitesses
 - Définir le champ utilisé pour le calcul des ratios de vitesses
 - Mini Carte : Montre sur une petite carte la sélection spatiale en conservant les couleurs proposées dans le résumé sélection des tronçons.

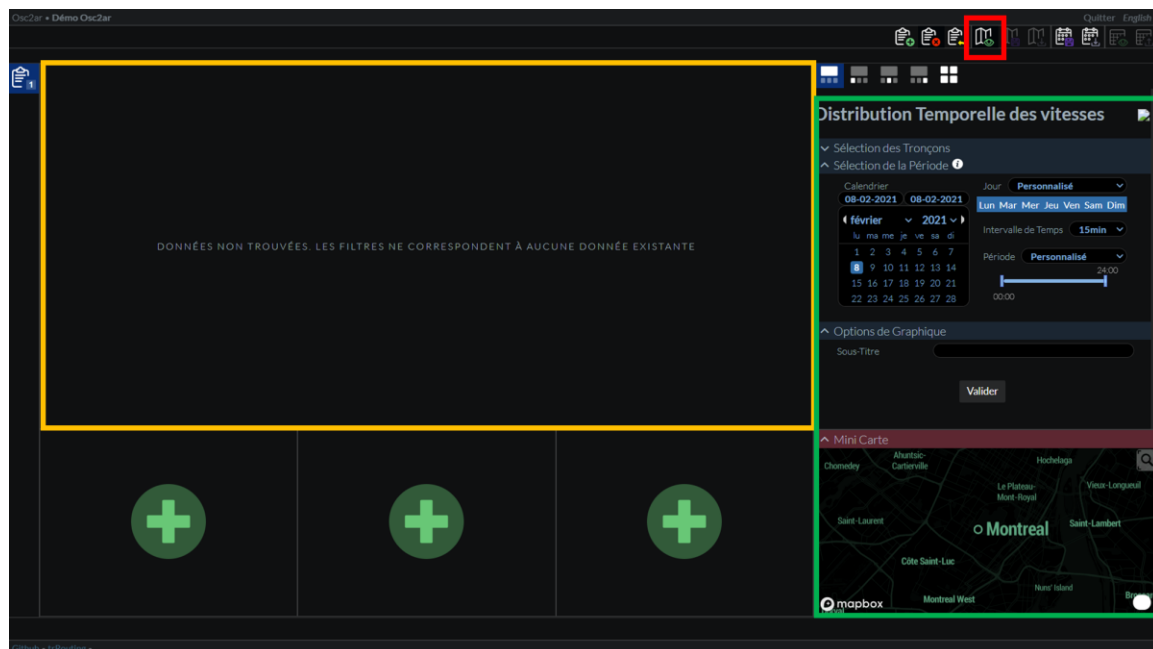


Figure 8-9. Plateforme OSC²AR - Présentation du paramétrage d'un graphique

8.4.5 Les fonctions de base de l'outil

Naviguer dans l'outil

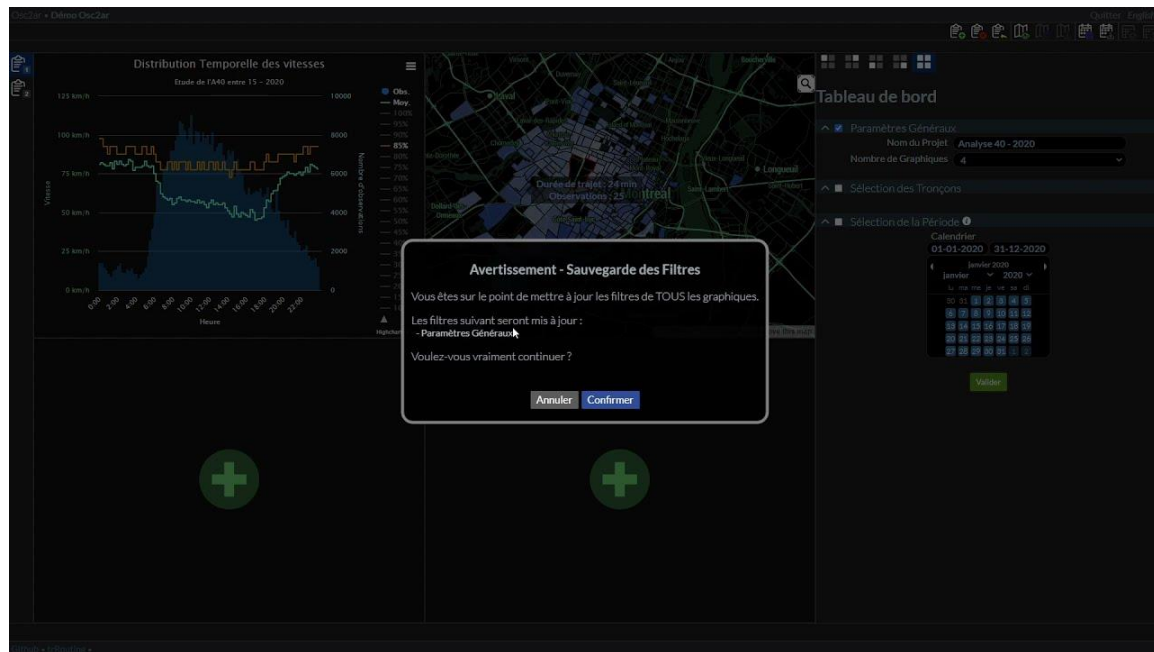


Figure 8-10. Naviguer dans l'outil

8.4.5.1.1 Naviguer entre les graphiques

L'utilisation des icônes en haut à gauche du panneau de droite permet de naviguer entre les graphiques. Il existe deux types de positions différentes :

- Le mode travail, qui met en avant le graphique sur lequel on agit, et qui affiche les autres graphiques en plus petit
- Le mode tableau de bord, qui présente les 4 graphiques sur le même plan

8.4.5.1.2 Naviguer entre les projets

La navigation entre les projets se fait à partir du panneau de gauche. Les fonctions du panneau du haut permettent d'ajouter un projet, de supprimer un projet ou de dupliquer un projet.

8.4.5.1.3 Renommer un projet

L'action de renommer un projet est une modification qui se fait au niveau du mode tableau de bord. Il suffit de renommer le champ de texte et de cocher la case de paramètres généraux pour mettre à jour les nouveaux paramètres généraux.

Utiliser les préférences utilisateur

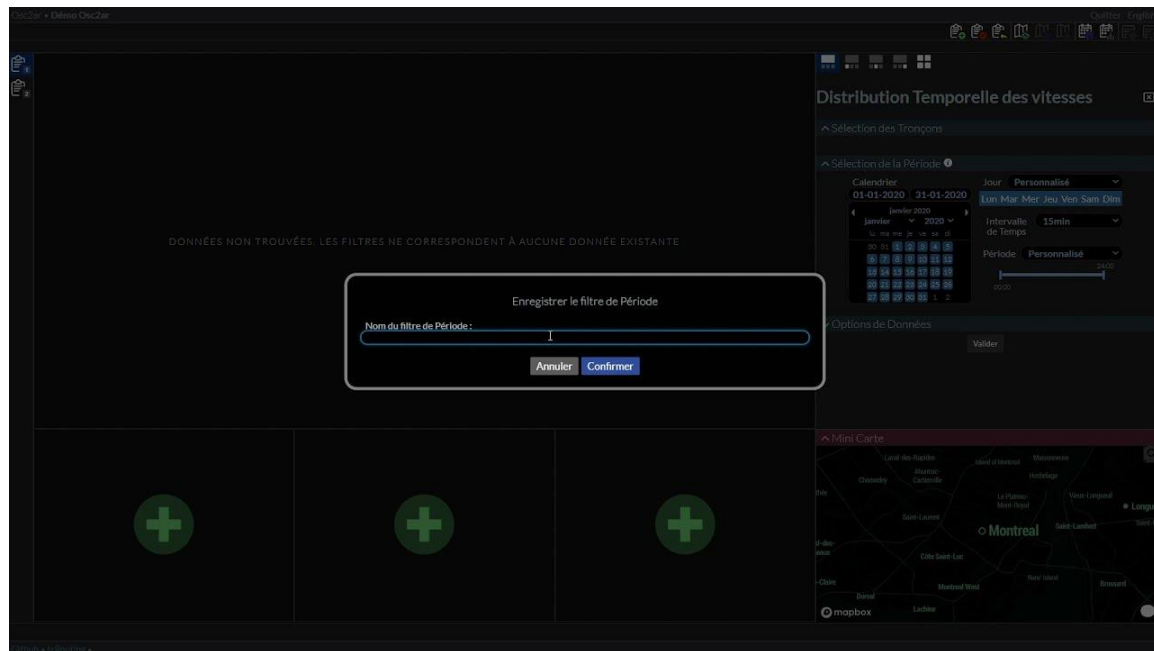


Figure 8-11. Les préférences utilisateur

8.4.5.1.4 Enregistrer un filtre spatial

La fonction d'enregistrement de filtre spatial est disponible uniquement lorsque la carte est activée. Elle permet d'enregistrer une copie du filtre spatial qui pourra être réutilisé pour les autres graphiques et projets. Rien de plus simple lorsque la sélection spatiale vous convient, il suffit de cliquer sur le bouton « enregistrer le filtre spatial », et lui donner un nom. On peut désormais réutiliser ce filtre spatial en cliquant sur le bouton « charger un filtre spatial » et en sélectionnant le filtre précédemment enregistré.

8.4.5.1.5 Enregistrer un filtre temporel

Suivant le même principe que l'enregistrement du filtre spatial, l'enregistrement du filtre temporel nécessite que l'utilisateur ait choisi sa sélection temporelle à partir du calendrier. Ensuite il aura le loisir d'utiliser le bouton, enregistrer le filtre temporel et le bouton charger le filtre temporel pour arriver à ses fins.

8.4.6 La sélection spatiale avancée

Sélectionner des tronçons

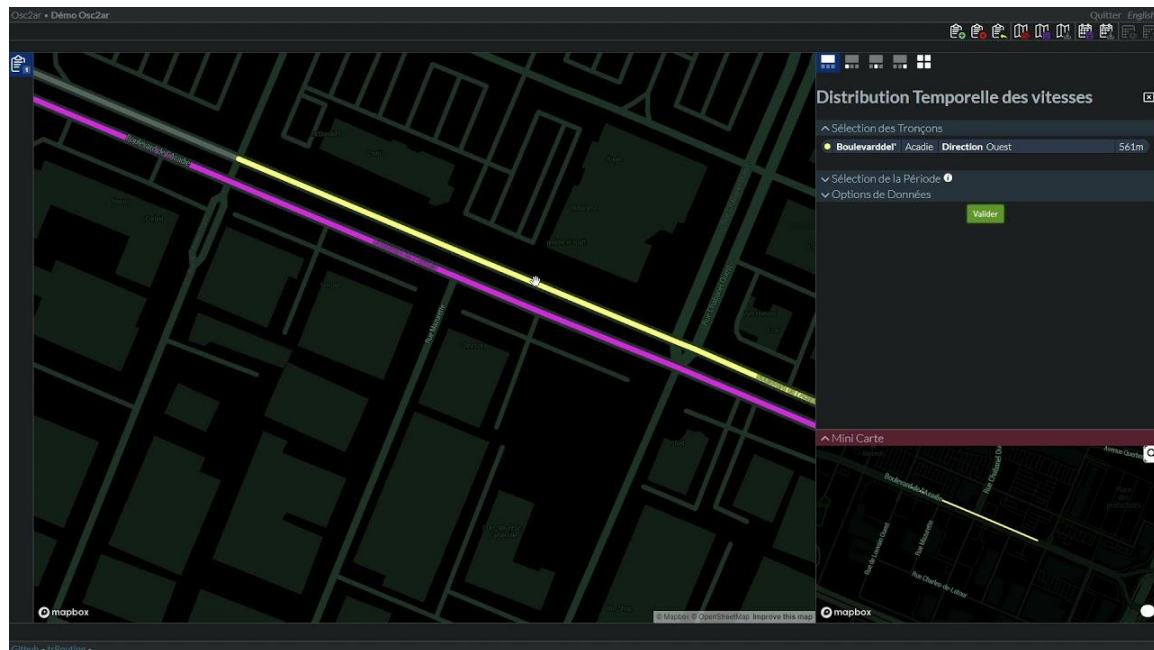


Figure 8-12. La sélection des tronçons

On appellera un tronçon toute portion de route définie par la segmentation du réseau.

8.4.6.1.1 L'ouverture de la carte

L'ouverture de la carte associée au type de graphique choisi est automatique après avoir cliqué sur la fonction « Ouvrir la carte ». Dans l'exemple de la vidéo, le type de graphique choisi est la « distribution temporelle des vitesses », il s'agit d'un graphique se basant sur des données de vitesses relevées sur le réseau, la carte associée est donc la carte de sélection de tronçons.

8.4.6.1.2 Le déplacement sur la carte

Les actions de déplacements sur la carte sont simples :

- Maintenir le clic gauche ou le clic molette, et bouger la souris permet de se déplacer sur la carte
- La rotation de la molette permet d'agrandir la carte pour avoir un gros plan, ou de rétrécir la carte pour obtenir un plan plus large.

8.4.6.1.3 Les fonctions de sélections

Comme rapidement montrée précédemment, l'utilisation des cartes de sélection spatiales se base sur l'utilisation du clic droit de la souris :

Fonction	Description
Valider la sélection	Ajoute le tronçon à la sélection.
Ajouter à la sélection	Ajoute le tronçon à la sélection. Action possible uniquement si le tronçon est continu à la sélection actuelle.

Retirer de la sélection	Retire le tronçon de la sélection. Action possible uniquement si le tronçon est à l'extrémité de la sélection actuelle.
Sélectionner jusqu'à	Sélectionne tous les tronçons entre la sélection actuelle et le tronçon choisi. Action uniquement possible lorsque le tronçon choisi appartient au même corridor que la sélection actuelle.
Sélectionner le sous-corridor	Sélectionne tous les tronçons appartenant au même sous-corridor.
Sélectionner le corridor	Sélectionne tous les tronçons appartenant au même corridor.

Sélectionner des secteurs

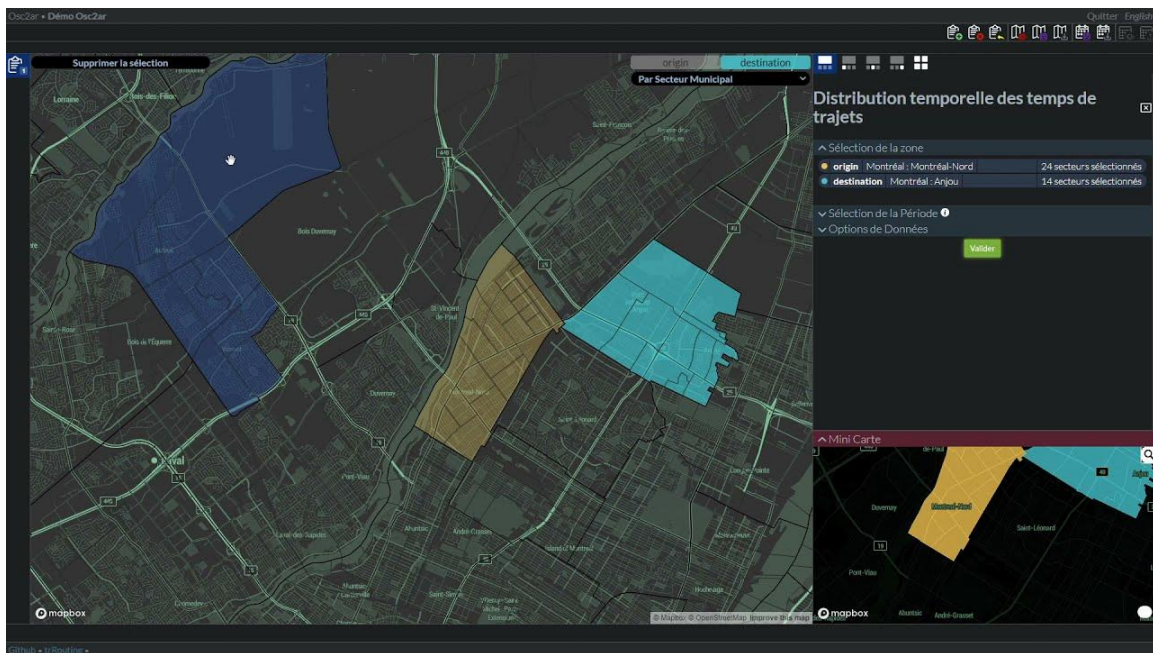


Figure 8-13. La sélection des secteurs

On appellera secteur tout polygone défini par la segmentation géographique de la zone étudiée.

8.4.6.1.4 L'ouverture de la carte

L'ouverture de la carte associée au type de graphique choisi est automatique après avoir cliqué sur la fonction « Ouvrir la carte ». Dans l'exemple de la vidéo, le type de graphique choisi est la « distribution temporelle des temps de trajets », il s'agit d'un graphique se basant sur des données de temps de parcours entre les paires OD de secteurs, la carte associée est donc la carte de sélection de secteurs.

8.4.6.1.5 Le déplacement sur la carte

Les actions de déplacements sur la carte sont simples :

- Maintenir le clic gauche ou le clic molette, et bouger la souris permet de se déplacer sur la carte

- La rotation de la molette permet d'agrandir la carte pour avoir un gros plan, ou de rétrécir la carte pour obtenir un plan plus large.
- Le bouton origine/destination sert à savoir si l'on est en train de définir des secteurs comme étant des filtres sur l'origine ou sur la destination.
- Le menu déroulant en dessous sert à changer le niveau d'agrégation.

8.4.6.1.6 Les fonctions de sélections

Comme rapidement montrée précédemment, l'utilisation des cartes de sélection spatiales se basent sur l'utilisation du clic droit de la souris :

Fonction	Description
Ajouter le secteur de recensement	Ajoute le secteur de recensement à la sélection.
Ajouter le secteur municipal	Ajoute le secteur municipal à la sélection.
Supprimer le secteur de recensement	Supprime le secteur de recensement de la sélection.
Supprimer le secteur municipal	Supprime le secteur municipal de la sélection.
Supprimer tout	Supprime tous les secteurs de la sélection.

Il est possible d'utiliser une version simplifiée de ce sélecteur, un clic gauche sur la zone survolée l'ajoute directement dans la sélection. Le menu déroulant de niveau d'agrégation devient ici indispensable.

Sélectionner des zones

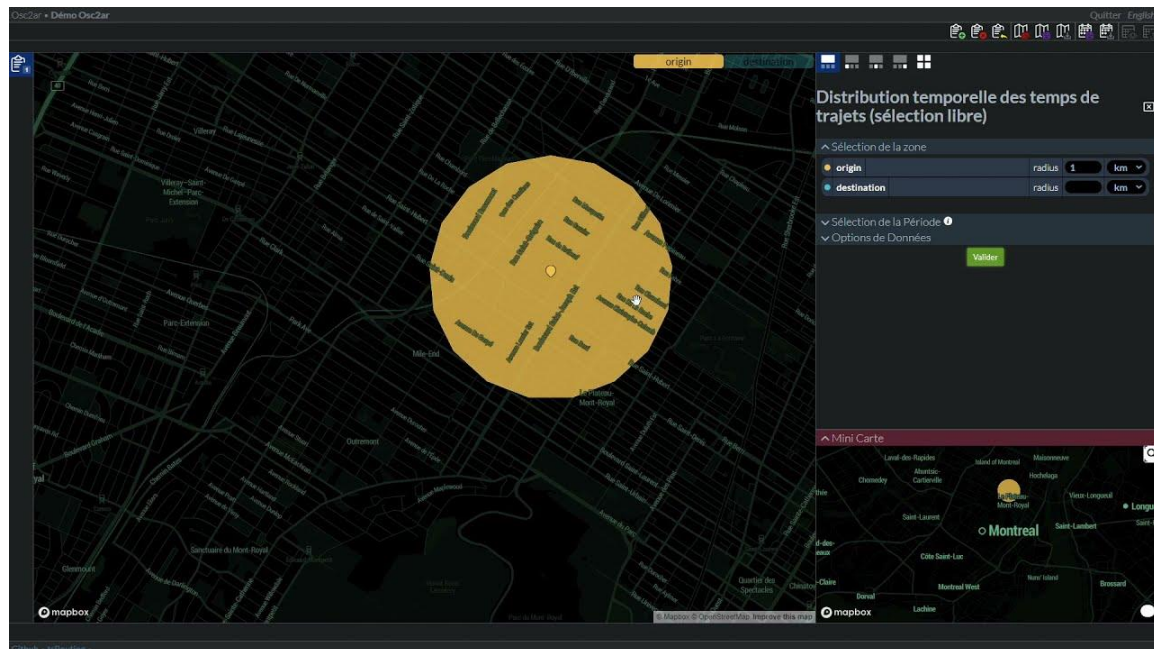


Figure 8-14. La sélection des zones

On appellera zone tout disque défini par un centre et un rayon d'action.

8.4.6.1.7 L'ouverture de la carte

L'ouverture de la carte associée au type de graphique choisi est automatique après avoir cliqué sur la fonction « Ouvrir la carte ». Dans l'exemple de la vidéo, le type de graphique choisi est la « distribution temporelle des temps de trajets avec sélection libre », il s'agit d'un graphique se basant sur des données de temps de parcours entre les paires OD de coordonnées géographiques, la carte associée est donc la carte de sélection de zones.

8.4.6.1.8 Le déplacement sur la carte

Les actions de déplacements sur la carte sont simples :

- Maintenir le clic gauche ou le clic molette, et bouger la souris permet de se déplacer sur la carte
- La rotation de la molette permet d'agrandir la carte pour avoir un gros plan, ou de rétrécir la carte pour obtenir un plan plus large.
- Le bouton origine/destination sert à savoir si l'on est en train de définir des zones comme étant des filtres sur l'origine ou sur la destination

8.4.6.1.9 Les fonctions de sélections

Comme rapidement montrée précédemment, l'utilisation des cartes de sélection spatiales se base sur l'utilisation du clic droit de la souris :

Fonction	Description
Valeur du rayon	Correspond au rayon du disque de sélection de zone.
Unité de rayon	Correspond à l'unité du rayon ci-dessus.
Valider	Valide et trace la zone de filtre.

À partir de maintenant, l'utilisateur peut déplacer la zone en sélectionnant son centre ou en essayant d'en créer une nouvelle.

À la différence des deux précédentes cartes, on ne sélectionne pas directement des éléments, mais une zone à partir de laquelle les courses seront importées.

8.4.7 Afficher un graphique

Après avoir enregistré sa sélection spatiale, l'utilisateur ferme la carte. Il peut notamment témoigner de l'apparition du segment enregistré dans la Mini Carte (encadrée en vert sur la Figure 8-15). Finalement il ne lui reste plus qu'à sélectionner une plage temporelle, selon laquelle les données seront importées à partir du serveur. Une icône information (encadrée en rouge) est présente afin de renseigner sur la plage temporelle disponible en fonction du type de données en jeu. Lorsque l'ensemble des filtres semblent correct il suffit de cliquer sur « Valider » pour lancer l'importation des données ainsi que leur traitement pour l'affichage du graphique (encadré en jaune).

L'utilisateur est également invité à changer le sous-titre ou de paramètres temporels. Pour toute modification dans les filtres présents dans le panneau de droite, il suffit de cliquer sur « Valider » pour actualiser le graphique. Ce bouton devient vert lorsque la fonction est disponible.



Figure 8-15. Plateforme OSC²AR - Affichage d'un graphique

L'utilisateur est parvenu à afficher un graphique, il peut désormais exploiter le tracé, modifier les filtres, travailler sur un autre graphique, afficher les données de tracé, les exporter, travailler sur un nouveau projet, etc.

Il est à noter que toute modification est sauvegardée en tant que préférence utilisateur, ce qui signifie que lorsqu'il quitte sa session et revient plusieurs jours plus tard, il retrouve l'ensemble de ses graphiques en cours. L'application repassera automatiquement par les étapes d'importation et de traitement des données.

8.4.8 Explication de l'arrière-plan de l'affichage d'un graphique

Lorsque l'utilisateur effectue les opérations de sélection de filtres puis de validation (en orange sur la figure), l'outil réalise quelques opérations dans le but d'être le plus efficace.

Dans un premier temps il vient générer un nom unique à partir de l'ensemble des filtres sélectionnés, ce nom sert notamment à filtrer les actions de l'outil dans le but d'être rapide à afficher le résultat.

Si c'est la première fois que ces filtres sont utilisés, alors l'outil vient **importer** la donnée à partir de la base de données correspondante au graphique choisi. Cette importation est généralement responsable d'une grande partie du temps d'attente avant l'affichage d'un graphique. C'est pourquoi après avoir été importées, les données sont stockées dans une collection qui sera accessible pendant toute la session de l'utilisateur. Puis l'outil vient **agréger** les données afin de pouvoir stocker des données plus légères et afficher un résultat pertinent et correspondant aux attentes de l'utilisateur. On stockera cette agrégation dans les données locales du navigateur de la machine utilisateur. Ceci permet une utilisation fluide de l'outil : il est inutile de recalculer les données à chaque fois que l'on change de fenêtre, l'outil a juste à importer ces données. Finalement vient l'étape de **préparation des options**, il s'agit pour l'outil de générer un json lisible par le module d'affichage de graphique ou de carte (highcharts ou mapbox)

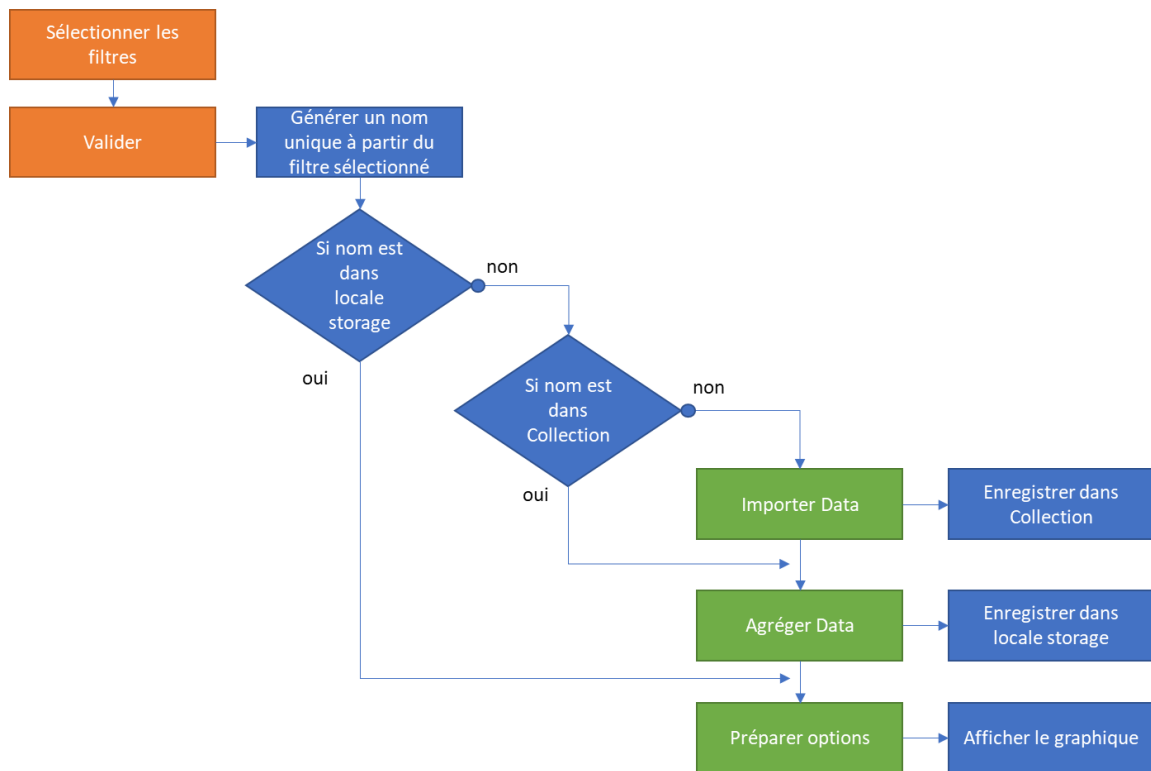


Figure 8-16. Schéma de fonctionnement de l'affichage d'un graphique

8.5 Types de graphiques

8.5.1 Distribution temporelle des vitesses

Guide d'utilisation

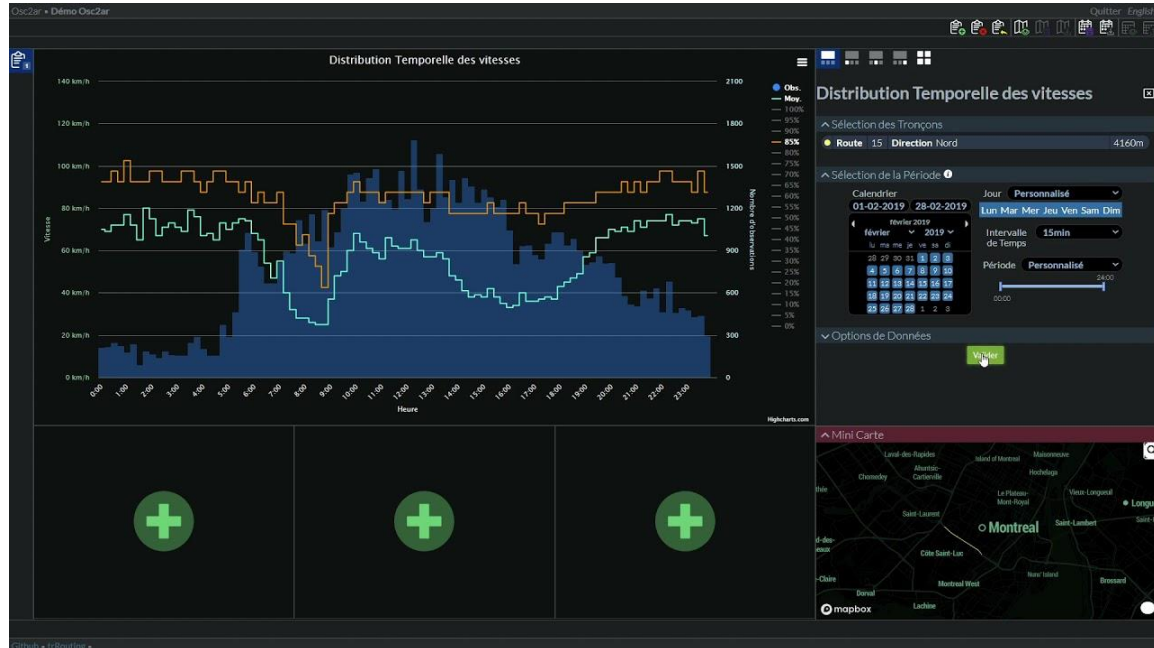


Figure 8-17. Exemple de graphique de distribution temporelle des vitesses

La distribution temporelle des vitesses est un graphique interactif permettant de présenter la distribution des vitesses observées sur la sélection spatiale par intervalle temporel.

8.5.1.1.1 Sélectionner un filtre spatial

Il s'agit d'un graphique qui nécessite la sélection d'un tronçon ou d'un groupe de tronçons voisins.

8.5.1.1.2 Sélectionner un filtre temporel

Il est nécessaire de sélectionner une période (cohérente avec la base de données de vitesse) sur le calendrier. Il est également possible de modifier les jours de semaine concernés, l'intervalle de temps et la période de la journée qui vont modifier l'axe x du graphique.

8.5.1.1.3 Sélectionner des options de données

L'utilisateur va pouvoir choisir la source de données à utiliser, ici deux choix sont possibles, les données de Here et les données de Taxi.

8.5.1.1.4 Valider

Le serveur vient chercher toutes les vitesses associées aux tronçons. L'algorithme vient ensuite calculer la moyenne des observations sur les tronçons, ainsi que tous les centiles de 5 en 5. Puis l'outil vient afficher toutes ces informations dans un même graphique. La validation enclenchant la sauvegarde des filtres, si l'on change de graphique sans avoir

validé on perd nos modifications. Pas de panique, le bouton « valider » rayonne en vert lorsqu'il est nécessaire de cliquer dessus.

8.5.1.1.5 Modifier les options de graphique

Après avoir tracé un graphique, les options de graphiques deviennent disponibles. Elles permettent de modifier en temps réel le style du graphique sans avoir à cliquer sur « valider ». Ici, on peut ajouter un sous-titre, ou en modifier la couleur du tracé. En quittant, le graphique conserve les modifications effectuées.

Traitement de la donnée et calculer des indicateurs

8.5.1.1.6 Importer la donnée

Le serveur vient chercher l'ensemble des données de vitesses correspondant à la plage spatio-temporelle que l'utilisateur souhaite étudier. C'est-à-dire que l'on ajoute des conditions d'import :

- Le champ « segment_id » de tr_network_speeds doit apparaître dans la liste des identifiants de segments sélectionnés par l'utilisateur.
- Le champ « start_at » doit être compris entre la date de début à 00:00 et la date de fin à 23:59, toutes deux renseignées par l'utilisateur.

Après importation, le serveur vient stocker cette table dans une collection (un service de gestion de tables temporaires qui se réinitialise chaque session de l'utilisateur), qui permettra un import plus rapide la prochaine fois que l'on désigne la même plage spatio-temporelle.

8.5.1.1.7 Filtrer la donnée

Le module d'agrégation vient filtrer la donnée sur les options renseignées par l'utilisateur :

- Les heures de journées à étudier
- Les jours de semaine à étudier
- la source de donnée à étudier (HERE ou TAXI)

8.5.1.1.8 Distribuer les vitesses

Le module d'agrégation vient grouper les données suivant l'intervalle de temps renseigné par l'utilisateur, puis il somme le nombre d'observations par boîte de 5 km/h. Obtenant le nombre total d'observations par boîte de 5 km/h par intervalle de temps, l'outil vient générer une distribution de vitesse par intervalle de temps, en prenant comme valeur pour chaque boîte : la vitesse centrale de la boîte.

8.5.1.1.9 Calculer les indicateurs

À partir de ces ensembles pour chaque intervalle de temps, l'outil est capable de calculer tous les centiles de 0 à 100 de 5 en 5, ainsi que la moyenne des vitesses et le nombre d'observations de chaque ensemble.

8.5.2 Distribution temporelle des ratios de vitesses

Guide d'utilisation



Figure 8-18. Exemple de graphique de distribution temporelle des ratios de vitesses

La distribution temporelle des ratios de vitesses est un graphique interactif permettant de présenter la distribution des ratios de vitesses observés sur la sélection spatiale par intervalle temporel. Ici, on vient calculer les ratios de vitesses, c'est-à-dire le rapport de la vitesse relevée sur une vitesse de référence (limite de vitesse ou l'écoulement libre).

8.5.2.1.1 Sélectionner un filtre spatial

Il s'agit d'un graphique qui nécessite la sélection d'un tronçon ou d'un groupe de tronçons voisins.

8.5.2.1.2 Sélectionner un filtre temporel

Il est nécessaire de sélectionner une période (cohérente avec la base de données de vitesse) sur le calendrier. Il est également possible de modifier les jours de semaine concernés, l'intervalle de temps et la période de la journée qui vont modifier l'axe x du graphique.

8.5.2.1.3 Sélectionner des options de données

L'utilisateur va pouvoir choisir la source de données à utiliser, ici deux choix sont possibles, les données de Here et les données de Taxi. De plus il aura le choix de calculer les ratios sous la forme de pourcentage ou de valeur. Finalement comme énoncé précédemment, il pourra choisir la vitesse de référence pour le calcul des ratios de vitesses : la limite de vitesses des tronçons ou la vitesse d'écoulement libre des tronçons.

8.5.2.1.4 Valider

Le serveur vient chercher toutes les vitesses associées aux tronçons. L'algorithme vient ensuite calculer la moyenne des observations sur les tronçons, ainsi que tous les centiles de 5 en 5. Puis l'outil vient afficher toutes ces informations dans un même graphique. La validation enclenchant la sauvegarde des filtres, si l'on change de graphique sans avoir validé on perd nos modifications. Pas de panique, le bouton « valider » rayonne en vert lorsqu'il est nécessaire de cliquer dessus.

8.5.2.1.5 Modifier les options de graphique

Après avoir tracé un graphique, les options de graphiques deviennent disponibles. Elles permettent de modifier en temps réel le style du graphique sans avoir à cliquer sur « valider ». Ici, on peut ajouter un sous-titre, ou en modifier la couleur du tracé. En quittant, le graphique conserve les modifications effectuées.

Traitement de la donnée et calcul des indicateurs

8.5.2.1.6 Importer la donnée

Il s'agit d'effectuer la même importation des données que la distribution temporelle des vitesses

8.5.2.1.7 Filtrer la donnée

Le module d'agrégation vient filtrer la donnée sur les options renseignées par l'utilisateur :

- Les heures de journées à étudier
- Les jours de semaine à étudier
- la source de donnée à étudier (HERE ou TAXI)

8.5.2.1.8 Distribuer les ratios de vitesses

Le module d'agrégation vient grouper les données suivant l'intervalle de temps renseigné par l'utilisateur et sur chaque tronçon sélectionné par l'utilisateur. Puis il somme le nombre d'observations par boîte de 5 km/h. Obtenant le nombre total d'observations par boîte de 5 km/h par intervalle de temps par tronçon, l'outil vient générer une distribution de vitesse par intervalle de temps par tronçon, en prenant comme valeur pour chaque boîte : la vitesse centrale de la boîte. Chaque ensemble de vitesse verra ensuite ses valeurs divisées par la base de calcul de ratios de vitesses sélectionné par l'utilisateur (limite de vitesse ou vitesse d'écoulement libre du tronçon). Finalement, l'outil vient regrouper les sous-ensembles (tronçon + intervalle de temps) pour obtenir les ensembles de ratios de vitesses par intervalle de temps.

8.5.2.1.9 Calculer les indicateurs

À partir de ces ensembles pour chaque intervalle de temps, l'outil est capable de calculer tous les centiles de 0 à 100 de 5 en 5, ainsi que la moyenne des vitesses et le nombre d'observations de chaque ensemble.

8.5.3 Analyse longitudinale des ratios de vitesses

Guide d'utilisation

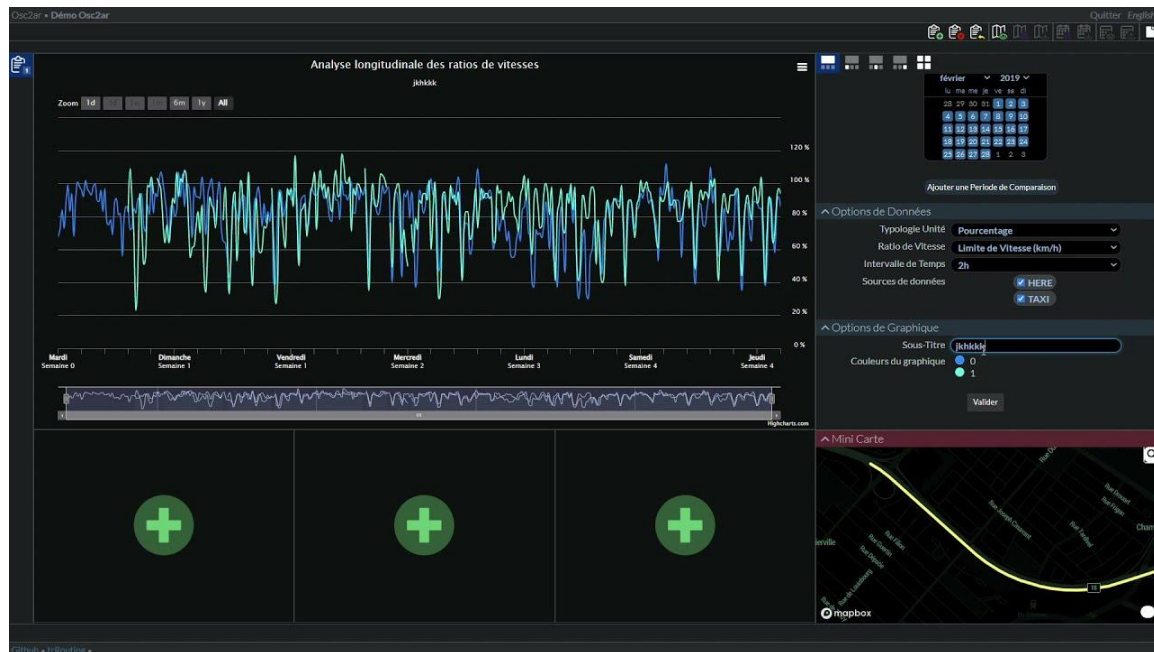


Figure 8-19. Exemple de graphique de l'analyse longitudinale des ratios de vitesses

L'analyse longitudinale des ratios de vitesses est un graphique interactif permettant de présenter l'évolution du ratio de vitesses dans le temps sur la sélection spatiale. Les ratios sont calculés à partir de la vitesse limite ou de l'écoulement libre, au choix de l'utilisateur.

8.5.3.1.1 Sélectionner un filtre spatial

Il s'agit d'un graphique qui nécessite la sélection d'un tronçon ou d'un groupe de tronçons voisins.

8.5.3.1.2 Sélectionner un (ou plusieurs) filtre(s) temporel(s)

Ici l'utilisateur peut sélectionner plusieurs plages temporelles via les calendriers. Celles-ci vont s'ajouter sur le graphique en se synchronisant sur la période principale (période 0). Exemple : période 0 commence un mercredi, période 1 commence un jeudi, le début de la période 1 sera aligné avec le premier jeudi de la période 0.

8.5.3.1.3 Sélectionner des options de données

L'utilisateur va pouvoir choisir :

- La source de donnée (Here ou Taxi ou les deux).
- L'unité des ratios de vitesse (sous forme de valeur ou de pourcentage).
- Le type de vitesse de référence au calcul des ratios de vitesses (la limite de vitesse des tronçons ou la vitesse d'écoulement libre des tronçons).
- L'intervalle temporel entre deux valeurs successives affichées (15min, 30min, 1h, 2h). Ce paramètre régit le niveau d'agrégation temporel.

8.5.3.1.4 Valider

Le serveur vient chercher toutes les vitesses associées aux tronçons et aux (possibles) multiples plages temporelles. Les ratios de vitesses sont calculés puis agrégés sur l'intervalle temporel choisi. Enfin, l'outil vient afficher toutes ces informations dans un même graphique. La validation enclenchant la sauvegarde des filtres, si l'on change de graphique sans avoir validé on perd nos modifications. Pas de panique, le bouton « valider » rayonne en vert lorsqu'il est nécessaire de cliquer dessus.

8.5.3.1.5 Modifier les options de graphique

Après avoir tracé un graphique, les options de graphiques deviennent disponibles. Elles permettent de modifier en temps réel le style du graphique sans avoir à cliquer sur « valider ». Ici, on peut ajouter un sous-titre.

Traitement de la donnée et calcul des indicateurs

8.5.3.1.6 Importer la donnée

Pour chaque plage temporelle renseignée par l'utilisateur, l'importation se réalise de la même manière que pour la distribution temporelle des vitesses. On aura donc une requête serveur par plage temporelle, et donc, un jeu de données par plage temporelle.

8.5.3.1.7 Filtrer la donnée

Pour chaque jeu de données obtenu, le module d'agrégation vient filtrer la donnée sur la source sélectionnée par l'utilisateur.

8.5.3.1.8 Distribuer les ratios de vitesses

Pour chaque jeu de données obtenu :

Le module d'agrégation vient grouper les données suivant l'attribut « epoch » (arrondi au minimum de la valeur temporelle de la donnée suivant l'intervalle de temps renseigné par l'utilisateur). En groupant ce résultat sur chaque tronçon, il est capable de calculer le ratio de vitesse moyen de chaque entrée et donc de générer un ensemble de ratios de vitesses pour chaque « epoch ».

Exemple : si l'on a :

- 2 observations de moyenne 50 km/h sur le tronçon A limité à 50 km/h
- 3 observations de moyenne 60 km/h sur le tronçon B limité à 80 km/h

L'ensemble des ratios de vitesses est donc constitué de 1, 1, 0.75, 0.75, 0.75

8.5.3.1.9 Calcul de l'indicateur

À partir de ces ensembles pour chaque « epoch » successif, l'outil vient calculer un ratio de vitesse moyen pour chaque epoch, pour chaque plage temporelle renseignée par l'utilisateur. Ce qui permet à l'outil de tracer une évolution longitudinale de la moyenne des ratios de vitesses pour chaque plage temporelle. La synchronisation visuelle de ces plages se fait sur le principe où les périodes secondaires se synchronisent sur le premier jour de la période principale.

8.5.4 Carte de chaleur des ratios de vitesses

Guide d'utilisation

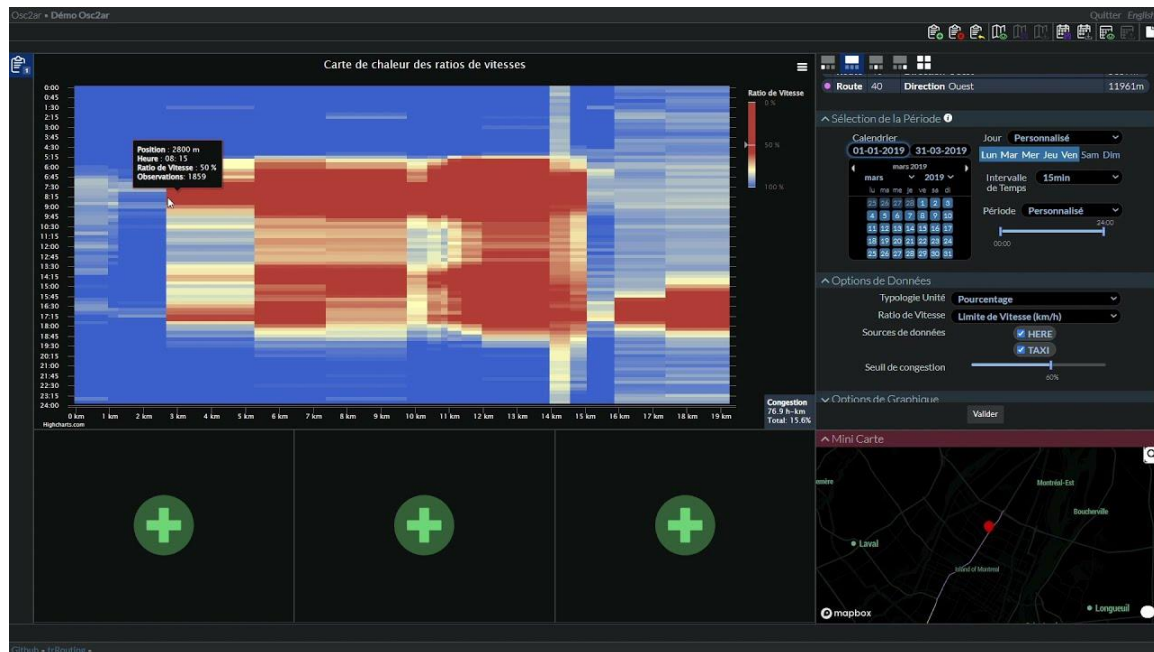


Figure 8-20. Exemple de carte de chaleur des ratios de vitesses

La carte de chaleur des ratios de vitesses est un graphique interactif permettant de présenter l'évolution spatio-temporelle de ratio de vitesses moyen sur la sélection spatio-temporelle. Les ratios peuvent être calculés à partir de la vitesse limite ou de l'écoulement libre, au choix de l'utilisateur.

8.5.4.1.1 Sélectionner un filtre spatial

Il s'agit d'un graphique qui nécessite la sélection d'un tronçon ou d'un groupe de tronçons voisins.

8.5.4.1.2 Sélectionner un filtre temporel

Il est nécessaire de sélectionner une période (cohérente avec la base de données de vitesse) sur le calendrier. Il est également possible de modifier les jours de semaine concernés, l'intervalle de temps et la période de la journée qui vont modifier l'axe x du graphique.

8.5.4.1.3 Sélectionner des options de données

L'utilisateur va pouvoir choisir :

- La source de donnée (Here ou Taxi ou les deux).
- L'unité des ratios de vitesse (sous forme de valeur ou de pourcentage).
- Le type de vitesse de référence au calcul des ratios de vitesses (la limite de vitesse des tronçons ou la vitesse d'écoulement libre des tronçons).
- L'intervalle temporel entre deux valeurs successives affichées (15 min, 30 min, 1 h, 2 h). Ce paramètre régit le niveau d'agrégation temporel.

8.5.4.1.4 Valider

Le serveur vient chercher toutes les vitesses associées aux tronçons. L'algorithme vient ensuite calculer la moyenne des observations sur les tronçons pour chaque intervalle de temps. Puis l'outil vient afficher toutes ces informations dans un même graphique. La validation enclenchant la sauvegarde des filtres, si l'on change de graphique sans avoir validé on perd nos modifications. Pas de panique, le bouton « valider » rayonne en vert lorsqu'il est nécessaire de cliquer dessus.

8.5.4.1.5 Modifier les options de graphique

Après avoir tracé un graphique, les options de graphiques deviennent disponibles. Elles permettent de modifier en temps réel le style du graphique sans avoir à cliquer sur « valider ». Ici, on peut ajouter un sous-titre.

Traitement de la donnée et calcul des indicateurs

8.5.4.1.6 Importer la donnée

Il s'agit d'effectuer la même importation des données que la distribution temporelle des vitesses

8.5.4.1.7 Filtrer la donnée

Le module d'agrégation vient filtrer la donnée sur les options renseignées par l'utilisateur :

- Les heures de journées à étudier
- Les jours de semaine à étudier
- la source de donnée à étudier (HERE ou TAXI)

8.5.4.1.8 Distribuer les ratios de vitesses

Le module d'agrégation vient grouper les données suivant l'intervalle de temps renseigné par l'utilisateur et sur chaque tronçon sélectionné par l'utilisateur. Puis il somme le nombre d'observations par boîte de 5 km/h. Obtenant le nombre total d'observations par boîte de 5 km/h par intervalle de temps par tronçon, l'outil vient générer une distribution de vitesse par intervalle de temps par tronçon, en prenant comme valeur pour chaque boîte : la vitesse centrale de la boîte. Chaque ensemble de vitesse verra ensuite ses valeurs divisées par la base de calcul de ratios de vitesses sélectionné par l'utilisateur (limite de vitesse ou vitesse d'écoulement libre du tronçon). Ces sous-ensembles (temps + tronçons) sont ensuite répétés n fois, où $n = \text{longueur du tronçon} / \text{intervalle spatial}$, et se verront assigner une valeur spatiale correspondant à leur position dans le chaînage. Il est à noter que l'intervalle spatial est ici fixé à 100 mètres par l'outil, mais qu'il pourrait être modifiable par l'utilisateur si besoin (nécessitera le développement d'un sélecteur d'intervalle spatial).

8.5.4.1.9 Calculer les indicateurs

L'outil vient calculer le ratio de vitesse moyen pour chaque combinaison d'intervalle de temps / position dans le chaînage, pour obtenir la table nécessaire à l'affichage de la carte de chaleur. De plus, l'outil peut désormais calculer N , le nombre de paires 100m + intervalle de temps, ayant un ratio de vitesse inférieur au seuil de congestion défini par l'utilisateur. Ce qui permet le calcul, d'une part d'un indicateur de congestion à convertir

en heure par kilomètre, et d'autre part une proportion de la plage spatio-temporelle sous congestion en divisant N par le nombre de paires 100m + intervalle de temps

Exemple : si l'on a :

- 2 observations de 50 à 55 km/h sur un tronçon A de 200m, limité à 50 km/h, à 08 :00
- 1 observation de 70 à 75 km/h sur un tronçon B de 100m, limité à 80 km/h, à 08 :00

On obtiendra l'ensemble de ratios de vitesses suivants :

- A 08 :00 entre 0 et 100m : ratio de vitesses de 1.05
- A 08 :00 entre 100 et 200m : ratio de vitesses de 1.05
- A 08 :00 entre 200 et 300m : ratio de vitesses de 0.90625

8.5.5 Carte des ratios de vitesses moyens

Guide d'utilisation

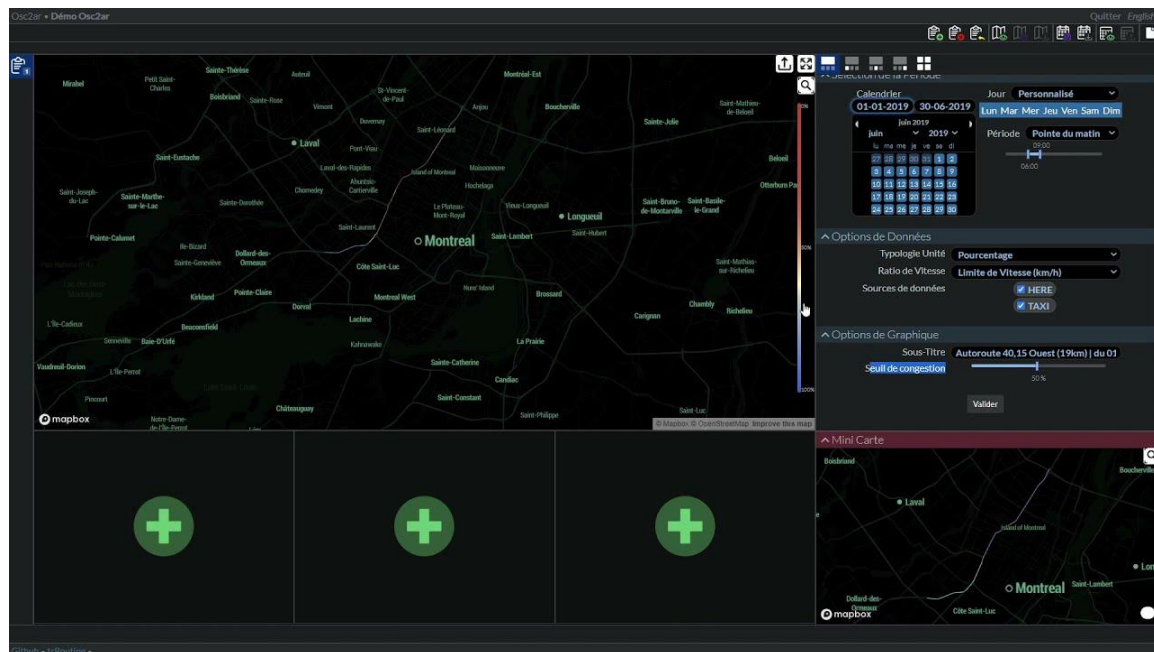


Figure 8-21. Exemple de carte des ratios de vitesses moyens

La carte des ratios de vitesses moyens est une carte interactive permettant de présenter l'évolution spatiale de la moyenne du ratio de vitesse sur une période donnée. Les ratios peuvent être calculés à partir de la vitesse limite ou de l'écoulement libre, au choix de l'utilisateur.

8.5.5.1.1 Sélectionner un filtre spatial

Il s'agit d'un graphique qui nécessite la sélection d'un tronçon ou d'un groupe de tronçons voisins.

8.5.5.1.2 Sélectionner un filtre temporel

Il est nécessaire de sélectionner une période (cohérente avec la base de données de vitesse) sur le calendrier. Il est également possible de modifier les jours de semaine concernés, l'intervalle de temps et la période de la journée qui vont modifier l'axe x du graphique.

8.5.5.1.3 Sélectionner des options de données

L'utilisateur va pouvoir choisir :

- La source de donnée (Here ou Taxi ou les deux).
- L'unité des ratios de vitesse (sous forme de valeur ou de pourcentage).
- Le type de vitesse de référence au calcul des ratios de vitesses (la limite de vitesses des tronçons ou la vitesse d'écoulement libre des tronçons).

8.5.5.1.4 Valider

Le serveur vient chercher toutes les vitesses associées aux tronçons. L'algorithme vient ensuite calculer la moyenne des ratios de vitesses sur les tronçons. Puis l'outil vient afficher toutes ces informations dans une même carte. La validation enclenchant la sauvegarde des filtres, si l'on change de graphique sans avoir validé on perd nos modifications. Pas de panique, le bouton « valider » rayonne en vert lorsqu'il est nécessaire de cliquer dessus.

8.5.5.1.5 Modifier les options de graphique

Après avoir tracé un graphique, les options de graphiques deviennent disponibles. Elles permettent de modifier en temps réel le style du graphique sans avoir à cliquer sur « valider ». Ici, on peut ajouter un sous-titre, ou en modifier la couleur du tracé. En quittant, le graphique conserve les modifications effectuées.

Traitement de la donnée et calcul des indicateurs

8.5.5.1.6 Importer la donnée

Il s'agit d'effectuer la même importation des données que la distribution temporelle des vitesses.

8.5.5.1.7 Filtrer la donnée

Le module d'agrégation vient filtrer la donnée sur les options renseignées par l'utilisateur :

- Les heures de journées à étudier
- Les jours de semaine à étudier
- la source de donnée à étudier (HERE ou TAXI)

8.5.5.1.8 Distribuer les ratios de vitesses

Le module d'agrégation vient grouper les données suivant les tronçons sélectionnés par l'utilisateur. Puis il somme le nombre d'observations par boîte de 5 km/h. Obtenant le nombre total d'observations par boîte de 5 km/h par tronçon, l'outil vient générer une distribution de vitesse par tronçon, en prenant comme valeur pour chaque boîte : la vitesse centrale de la boîte. Chaque ensemble de vitesse verra ensuite ses valeurs

divisées par la base de calcul de ratios de vitesses sélectionné par l'utilisateur (limite de vitesse ou vitesse d'écoulement libre du tronçon), obtenant ainsi un ensemble de ratios de vitesses pour chaque tronçon sélectionné.

Exemple : si l'on a :

- 2 observations de 50 à 55 km/h sur un tronçon A, limité à 50 km/h
- 1 observation de 70 à 75 km/h sur un tronçon A, limité à 50 km/h
- 1 observation de 70 à 75 km/h sur un tronçon B, limité à 80 km/h

Alors on obtient les ensembles suivants :

- Tronçon A : ensemble des ratios de vitesses : 1.05, 1.05, 1.45
- Tronçon B : ensemble des ratios de vitesses : 0.90625

8.5.5.1.9 Calculer l'indicateur

Il ne reste plus qu'à calculer la moyenne des ratios de vitesses pour chaque tronçon afin d'afficher la carte des ratios de vitesses moyens.

8.5.6 Distribution des ratios de vitesses par condition de route

Guide d'utilisation

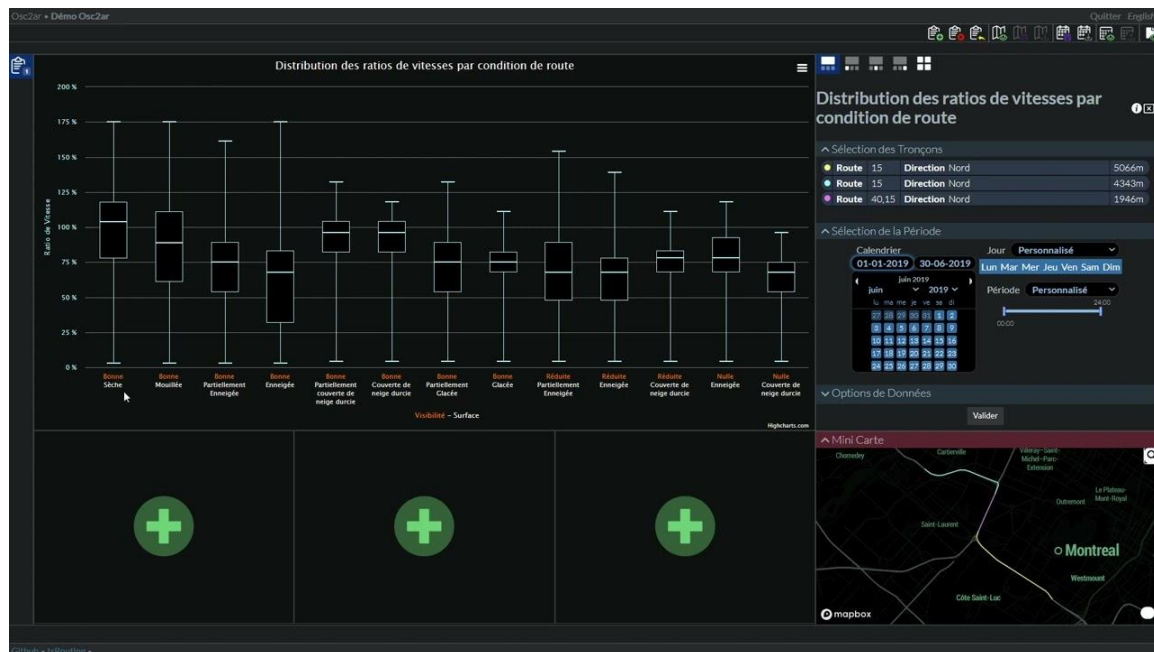


Figure 8-22. Exemple de distribution des ratios de vitesses par condition de route

La distribution des ratios de vitesses par condition de route est un graphique interactif présentant la répartition des ratios de vitesses observés catégorisés en fonction de la visibilité et de l'état de la route. Les ratios peuvent être calculés à partir de la vitesse limite ou de l'écoulement libre, au choix de l'utilisateur.

8.5.6.1.1 Sélectionner un filtre spatial

Il s'agit d'un graphique qui nécessite la sélection d'un tronçon ou d'un groupe de tronçons voisins.

8.5.6.1.2 Sélectionner un filtre temporel

Il est nécessaire de sélectionner une période (cohérente avec la base de données de vitesse et la base de données de condition de route) sur le calendrier. Il est également possible de modifier les jours de semaine concernés et la période de la journée.

8.5.6.1.3 Sélectionner des options de données

L'utilisateur va pouvoir choisir :

- La source de donnée (Here ou Taxi ou les deux).
- L'unité des ratios de vitesse (sous forme de valeur ou de pourcentage).
- Le type de vitesse de référence au calcul des ratios de vitesses (la limite de vitesse des tronçons ou la vitesse d'écoulement libre des tronçons).
- Les catégories de visibilité de route à étudier
- Les catégories d'état de surface de route à étudier

8.5.6.1.4 Valider

Le serveur vient chercher toutes les vitesses associées aux tronçons. L'algorithme vient ensuite répartir ces vitesses en fonction de la catégorie visibilité + surface et calculer les ratios de vitesses en fonction des tronçons en jeu. Puis l'outil vient afficher toutes ces informations dans un même graphique de boîte à moustache. La validation enclenchant la sauvegarde des filtres, si l'on change de graphique sans avoir validé on perd nos modifications. Pas de panique, le bouton « valider » rayonne en vert lorsqu'il est nécessaire de cliquer dessus.

8.5.6.1.5 Modifier les options de graphique

Après avoir tracé un graphique, les options de graphiques deviennent disponibles. Elles permettent de modifier en temps réel le style du graphique sans avoir à cliquer sur « valider ». Ici, on peut ajouter un sous-titre.

Traitement de la donnée et calcul des indicateurs

8.5.6.1.6 Importer les données

Dans un premier temps on vient faire l'importation des données de vitesses de la même manière que la distribution temporelle des vitesses. Puis le serveur vient chercher l'ensemble des données de conditions routières correspondant à la plage spatio-temporelle que l'utilisateur souhaite étudier. C'est-à-dire que l'on ajoute des conditions d'import :

- Le champ « network_segments » de tr_network_conditions doit contenir au moins un élément de la liste des identifiants de segments sélectionnés par l'utilisateur
- Le champ « start_at » doit être compris entre la date de début à 00:00 et la date de fin à 23:59, toutes deux renseignées par l'utilisateur.

8.5.6.1.7 Jointure des données

Dans un premier temps, il s'agit d'effectuer une jointure sur la date + l'arrondi de l'heure entre les deux tables afin que les données de vitesses obtiennent l'information de surface et de visibilité.

8.5.6.1.8 Filtrer les données

Le module d'agrégation vient filtrer cette nouvelle table de données de vitesses sur les options renseignées par l'utilisateur :

- Les heures de journées à étudier
- Les jours de semaine à étudier
- la source de donnée à étudier (HERE ou TAXI)
- Les types de visibilité à étudier
- Les types d'états de route à étudier

8.5.6.1.9 Distribuer les ratios de vitesses

Le module d'agrégation vient grouper les données de vitesses suivant les conditions routières (combinaison de surface + visibilité). Puis il somme le nombre d'observations par boîte de 5 km/h par tronçon. Obtenant le nombre total d'observations par boîte de 5 km/h par conditions routières par tronçon, l'outil vient générer une distribution de vitesse par conditions routières par tronçon, en prenant comme valeur pour chaque boîte : la vitesse centrale de la boîte. Chaque ensemble de vitesse verra ensuite ses valeurs divisées par la base de calcul de ratios de vitesses sélectionné par l'utilisateur (limite de vitesse ou vitesse d'écoulement libre du tronçon). Finalement l'outil vient regrouper les sous-ensembles (condition routière + tronçon) sur chaque condition routière, obtenant ainsi une distribution de ratios de vitesses pour chaque condition routière.

8.5.6.1.10 Calculer les indicateurs

L'afficheur de boîtes à moustache nécessite le calcul des informations de distribution afin de tracer le graphique. Ainsi le minimum, le 1er quartile, la médiane, le 3e quartile et le maximum des ratios de vitesses pour chaque condition routière sont calculés.

8.5.7 Carte de chaleur des files d'attente

Guide d'utilisation

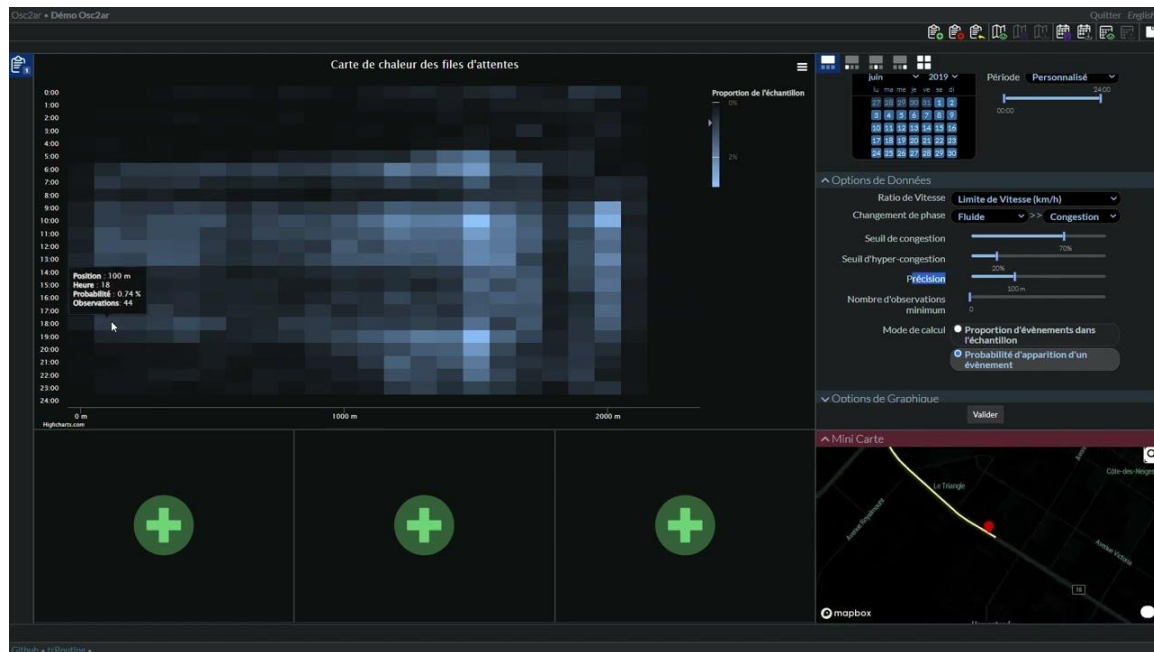


Figure 8-23. Exemple de carte de chaleur des files d'attente

La carte de chaleur des files d'attente est un graphique interactif permettant de suivre l'évolution spatio-temporelle des zones de changements de phases. Les ratios de vitesse peuvent être calculés à partir de la vitesse limite ou de l'écoulement libre, au choix de l'utilisateur.

8.5.7.1.1 Sélectionner un filtre spatial

Il s'agit d'un graphique qui nécessite la sélection d'un tronçon ou d'un groupe de tronçons appartenant au même corridor.

8.5.7.1.2 Sélectionner un filtre temporel

Il est nécessaire de sélectionner une période (cohérente avec la base de données de files d'attente) sur le calendrier. Il est également possible de modifier les jours de semaine concernés et la période de la journée.

8.5.7.1.3 Sélectionner des options de données

L'utilisateur va pouvoir choisir :

Le type de vitesse de référence au calcul des ratios de vitesses (la limite de vitesse des tronçons ou la vitesse d'écoulement libre des tronçons).

- Le domaine d'étude (changement de phases)
- Le seuil de congestion.
- Le seuil d'hypercongestion.
- La précision pour l'agrégation spatiale des données.
- Le nombre d'observations minimum pour filtrer le bruit dans la distribution

- Le mode de calcul :
 - Proportion d'événements dans l'échantillon (nombre d'événements observés pour la paire chaînage-heure / nombre d'événements totaux observés sur la plage spatio-temporelle)
 - Probabilité d'apparition d'un événement (nombre d'événements observés pour la paire chaînage-heure / nombre de taxis observés sur la paire chaînage-heure)

8.5.7.1.4 Valider

Le serveur vient chercher tous les événements d'accélération et de décélération associées aux tronçons. L'algorithme vient ensuite calculer la moyenne des ratios de vitesses sur la précision d'agrégation spatiale. Puis l'outil vient afficher toutes ces informations dans une même carte de chaleur. La validation enclenchant la sauvegarde des filtres, si l'on change de graphique sans avoir validé on perd nos modifications. Pas de panique, le bouton « valider » rayonne en vert lorsqu'il est nécessaire de cliquer dessus.

8.5.7.1.5 Modifier les options de graphique

Après avoir tracé un graphique, les options de graphiques deviennent disponibles. Elles permettent de modifier en temps réel le style du graphique sans avoir à cliquer sur « valider ». Ici, on peut ajouter un sous-titre.

Traitement de la donnée et calcul des indicateurs

8.5.7.1.6 Importer les données

Le serveur vient chercher l'ensemble des données de files d'attente correspondant à la plage spatio-temporelle que l'utilisateur souhaite étudier. C'est-à-dire que l'on ajoute des conditions d'import :

- Le champ « network_id_start » de tr_network_acceleration_events doit apparaître dans la liste des identifiants de segments sélectionnés par l'utilisateur
- Le champ « timestamp_start » doit être compris entre la date de début à 00:00 et la date de fin à 23 :59, toutes deux renseignées par l'utilisateur.

Après importation, le serveur vient stocker cette table dans une collection (un service de gestion de tables temporaires qui se réinitialise chaque session de l'utilisateur), qui permettra un import plus rapide la prochaine fois que l'on désigne la même plage spatio-temporelle.

8.5.7.1.7 Filtrer la donnée

Le module d'agrégation vient filtrer cette nouvelle table de données d'événements sur les options renseignées par l'utilisateur :

- Les heures de journées à étudier
- Les jours de semaine à étudier

8.5.7.1.8 Calculer des informations supplémentaires

Dans un premier temps l'outil vient calculer la position de l'événement dans le chaînage à partir des champs « network_position_start » et « network_id_segment » et de la précision renseignée par l'utilisateur. Puis il définit pour chaque événement l'état de circulation (appelé « phase ») de départ et de fin d'événement, à partir des seuils de congestion et d'hypercongestion définis par l'utilisateur.

8.5.7.1.9 Distribuer les données de proportion d'événements

Si l'utilisateur a choisi le mode de calcul « Proportion d'événements dans l'échantillon », alors le module d'agrégation vient grouper les données d'événements suivant l'heure de la journée et la position dans le chaînage. L'indicateur de proportion d'événements dans l'échantillon est égal au nombre d'événements observés pour la paire heure + position, divisé par le nombre total d'événements observés sur la plage spatio-temporelle définie par l'utilisateur.

8.5.7.1.10 Distribuer les données de probabilité d'apparition d'événement

Si l'utilisateur a choisi le mode de calcul « Probabilité d'apparition d'un événement », alors le serveur vient importer les données de comptage taxi à partir de la table « tr_network_taxi_count » sur la plage spatio-temporelle renseignée par l'utilisateur. Le module d'agrégation vient ensuite grouper les données d'événements et les données de comptage taxi suivant l'heure de la journée et la position dans le chaînage. L'indicateur de probabilité d'apparition d'un événement est égal au nombre d'événements observés pour la paire heure + position, divisé par le nombre de taxis observés pour la paire heure + position.

8.5.8 Carte des événements des files d'attente

Guide d'utilisation

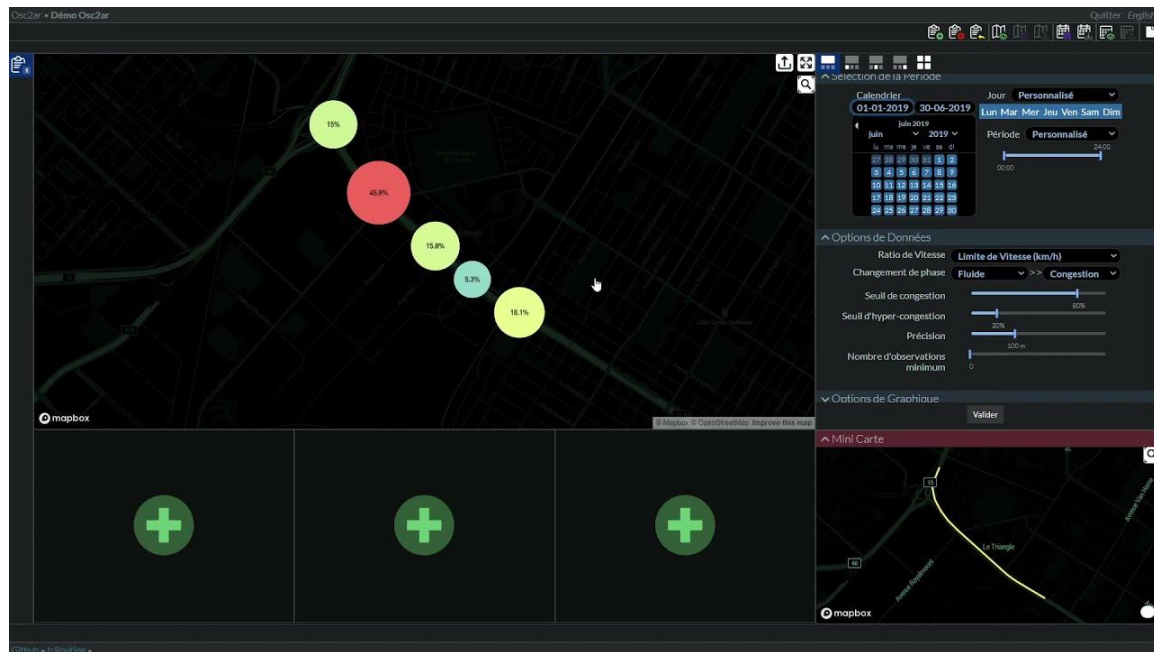


Figure 8-24. Exemple de carte des événements des files d'attente

La carte des événements des files d'attente est une carte interactive permettant d'identifier la répartition spatiale des événements d'accélération et de décélération correspondants aux changements de phases choisis par l'utilisateur.

8.5.8.1.1 Sélectionner un filtre spatial

Il s'agit d'un graphique qui nécessite la sélection d'un tronçon ou d'un groupe de tronçons appartenant au même corridor.

8.5.8.1.2 Sélectionner un filtre temporel

Il est nécessaire de sélectionner une période (cohérente avec la base de données de files d'attente) sur le calendrier. Il est également possible de modifier les jours de semaine concernés et la période de la journée.

8.5.8.1.3 Sélectionner des options de données

L'utilisateur va pouvoir choisir :

- Le type de vitesse de référence au calcul des ratios de vitesses (la limite de vitesse des tronçons ou la vitesse d'écoulement libre des tronçons).
- Le domaine d'étude (changement de phase fluide à phase de congestion par exemple).
- Le seuil de congestion.
- Le seuil d'hypercongestion.
- La précision pour l'agrégation spatiale des données.
- Le nombre d'observations minimum pour filtrer le bruit dans la distribution

8.5.8.1.4 Valider

Le serveur vient chercher tous les événements d'accélération et de décélération associées aux tronçons. L'algorithme vient ensuite positionner l'ensemble des éléments sur une carte et proposer une agrégation en fonction du niveau de zoom, donnant la proportion dans la répartition des événements. La validation enclenchant la sauvegarde des filtres, si l'on change de graphique sans avoir validé on perd nos modifications. Pas de panique, le bouton « valider » rayonne en vert lorsqu'il est nécessaire de cliquer dessus.

8.5.8.1.5 Modifier les options de graphique

Après avoir tracé un graphique, les options de graphiques deviennent disponibles. Elles permettent de modifier en temps réel le style du graphique sans avoir à cliquer sur « valider ». Ici, on peut ajouter un sous-titre.à

Traitement de la donnée et calcul des indicateurs

8.5.8.1.6 Importer les données

L'importation des données de files d'attente se fait de la même manière que pour la carte de chaleur des événements de files d'attente.

8.5.8.1.7 Filtrer la donnée

Le module d'agrégation vient filtrer cette nouvelle table de données d'événements sur les options renseignées par l'utilisateur :

- Les heures de journées à étudier
- Les jours de semaine à étudier

8.5.8.1.8 Calculer des informations supplémentaires

Dans un premier temps l'outil vient calculer la position de l'événement dans le chaînage à partir des champs « network_position_start » et « network_id_segment » et de la précision renseignée par l'utilisateur. Puis il définit pour chaque événement l'état de circulation (appelé « phase ») de départ et de fin d'événement, à partir des seuils de congestion et d'hypercongestion définis par l'utilisateur.

8.5.8.1.9 Distribuer les données de proportion d'événements

Si l'usager a choisi le mode de calcul « Proportion d'événements dans l'échantillon », alors le module d'agrégation vient grouper les données d'événements suivant la position dans le chaînage. En fonction du niveau d'élévation sur la carte, l'outil d'affichage de carte (Mapbox) permet une agrégation spatiale des points les plus proches. L'indicateur de proportion d'événements sera donc égal au nombre d'événements observés dans l'agrégation spatiale divisé par le nombre total d'événements présents sur la plage spatio-temporelle définie par l'utilisateur.

8.5.8.1.10 Distribuer les données de probabilité d'apparition d'événement

Si l'utilisateur a choisi le mode de calcul « Probabilité d'apparition d'un événement », alors le serveur vient importer les données de comptage taxi à partir de la table « tr_network_taxi_count » sur la plage spatio-temporelle renseignée par l'utilisateur. Le

module d'agrégation vient ensuite grouper les données d'événements suivant la position dans le chaînage. En fonction du niveau d'élévation sur la carte, l'outil d'affichage de carte (Mapbox) permet une agrégation spatiale des points les plus proches. L'indicateur de probabilité d'apparition d'un événement sera égal au nombre d'événements observés dans l'agrégation spatiale divisé par le nombre de taxis observés dans l'agrégation spatiale.

8.5.9 Distribution temporelle des temps de trajets

Guide d'utilisation

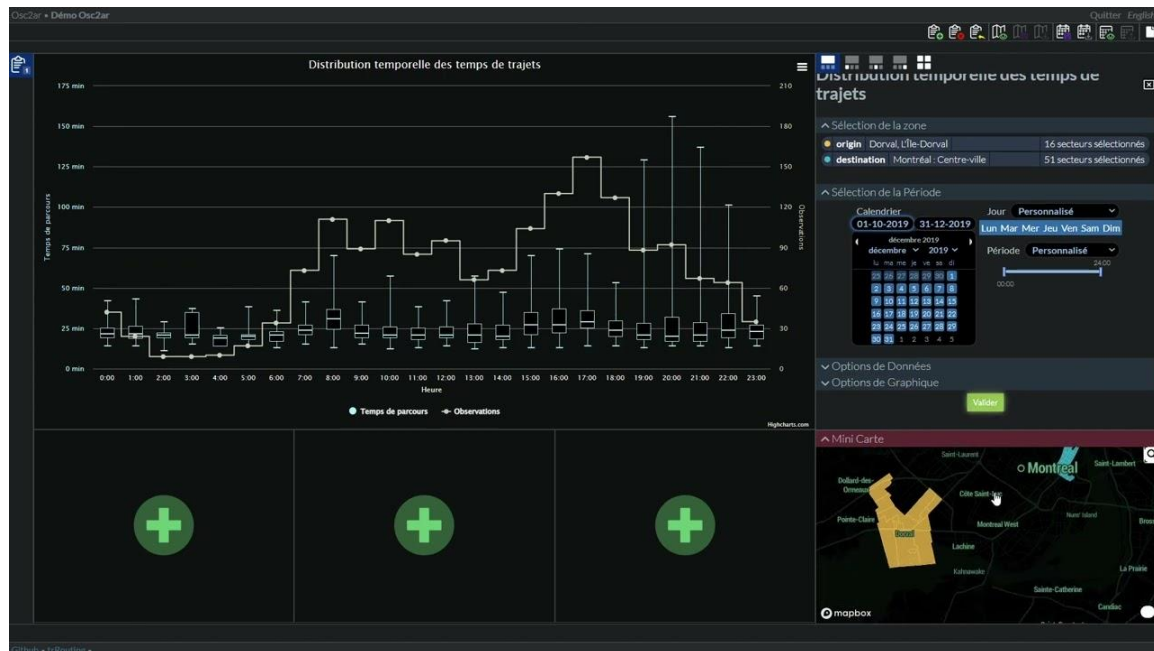


Figure 8-25. Exemple de distribution temporelle des temps de trajets

La distribution temporelle des temps de trajets est un graphique interactif permettant d'identifier la distribution du temps nécessaire pour effectuer le trajet origine-destination. Ici la sélection de l'origine et de la destination se fait sur les secteurs municipaux, ou de recensement de Montréal. L'utilisateur peut choisir de faire apparaître une distribution sur chaque heure d'une journée, sur chaque jour d'une semaine ou sur chaque mois d'une année.

8.5.9.1.1 Sélectionner un filtre spatial

Il s'agit d'un graphique qui nécessite la sélection d'un secteur (ou d'un groupe de secteurs) d'origine et la sélection d'un secteur (ou d'un groupe de secteurs) de destination.

8.5.9.1.2 Sélectionner un filtre temporel

Il est nécessaire de sélectionner une période (cohérente avec la base de données de point à point) sur le calendrier. Il est également possible de modifier les jours de semaine concernés ainsi que la période de la journée.

8.5.9.1.3 Sélectionner des options de données

L'utilisateur peut modifier l'intervalle de temps de l'étude :

- 1 Heure : graphique présentant des boîtes à moustaches sur chaque heure d'une journée moyenne.
- 1 Jour : graphique présentant des boîtes à moustaches sur chaque jour d'une semaine moyenne.
- 1 Mois : graphique présentant des boîtes à moustaches sur chaque mois d'une année moyenne.

8.5.9.1.4 Valider

Le serveur vient chercher l'ensemble des activités de taxi associées à la sélection spatiale (origine + destination) ainsi qu'à la sélection temporelle. L'algorithme vient ensuite répartir les activités sur les heures/jours/mois en fonction de l'option de données choisie, et afficher les distributions en conséquence. La validation enclenchant la sauvegarde des filtres, si l'on change de graphique sans avoir validé on perd nos modifications. Pas de panique, le bouton « valider » rayonne en vert lorsqu'il est nécessaire de cliquer dessus.

8.5.9.1.5 Modifier les options de graphique

Après avoir tracé un graphique, les options de graphiques deviennent disponibles. Elles permettent de modifier en temps réel le style du graphique sans avoir à cliquer sur « valider ». Ici, on peut ajouter un sous-titre.

Traitement de la donnée et calcul des indicateurs

8.5.9.1.6 Importer les données

Le serveur vient chercher l'ensemble des données de point à point (tr_taxi_activities) correspondant à la plage spatio-temporelle que l'utilisateur souhaite étudier. C'est-à-dire que l'on ajoute des conditions d'import :

- Le champ « data.zones.origin » doit apparaître dans la liste des identifiants de secteurs sélectionnés par l'utilisateur
- Le champ « data.zones.destination » doit apparaître dans la liste des identifiants de secteurs sélectionnés par l'utilisateur
- Le champ « start_at » doit être compris entre la date de début à 00:00 et la date de fin à 23 :59, toutes deux renseignées par l'utilisateur.

Après importation, le serveur vient stocker cette table dans une collection (un service de gestion de tables temporaires qui se réinitialise chaque session de l'utilisateur), qui permettra un import plus rapide la prochaine fois que l'on désigne la même plage spatio-temporelle.

8.5.9.1.7 Filtrer la donnée

Le module d'agrégation vient filtrer cette nouvelle table de données d'événements sur les options renseignées par l'utilisateur :

- Les heures de journées à étudier
- Les jours de semaine à étudier

8.5.9.1.8 Distribuer les temps de parcours

Le module d'agrégation vient grouper les données d'activités suivant l'agrégation temporelle sélectionnée par l'utilisateur (Intervalle de temps). Obtenant ainsi un ensemble de temps de trajets entre les deux zones sélectionnées pour chaque intervalle de temps.

8.5.9.1.9 Calculer les indicateurs

L'afficheur de boîtes à moustache nécessite le calcul des informations de distribution afin de tracer le graphique. Ainsi le minimum, le 1er quartile, la médiane, le 3e quartile et le maximum des ratios de vitesses pour chaque condition routière sont calculés.

8.5.10 Distribution temporelle des temps de trajets (sélection libre)

Guide d'utilisation

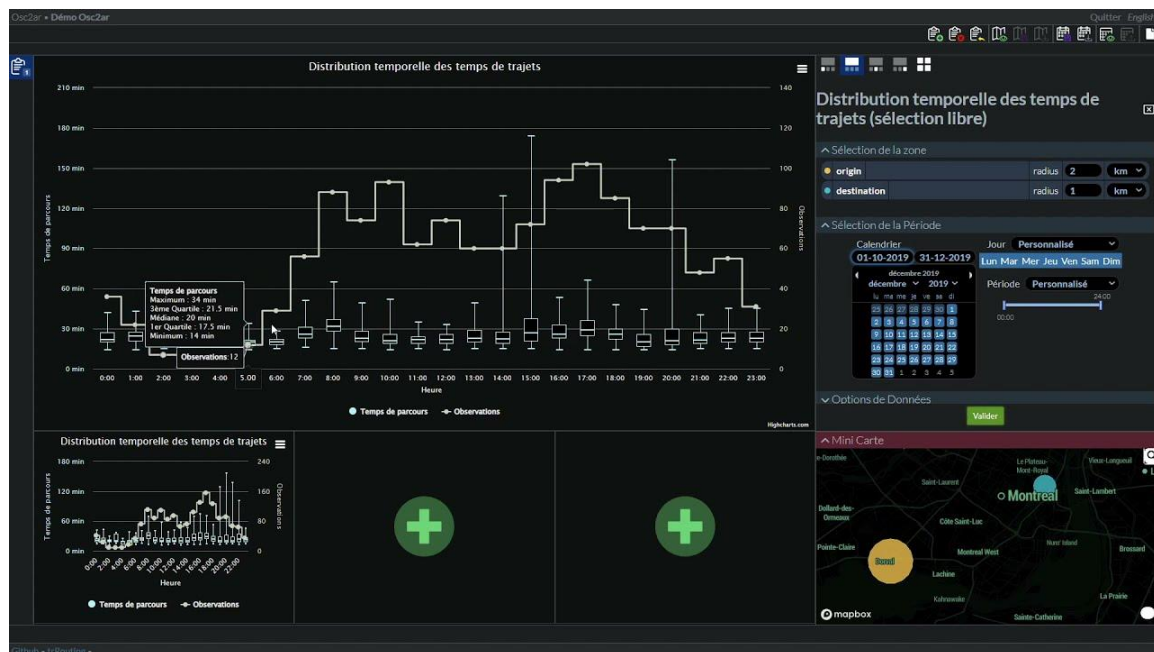


Figure 8-26. Exemple de distribution temporelle des temps de trajets (sélection libre)

La distribution temporelle des temps de trajets est un graphique interactif permettant d'identifier la distribution du temps nécessaire pour effectuer le trajet origine-destination. Ici la sélection de l'origine et de la destination se fait à partir de positions de références et de rayons d'action. L'utilisateur peut choisir de faire apparaître une distribution sur chaque heure d'une journée, sur chaque jour d'une semaine ou sur chaque mois d'une année.

8.5.10.1.1 Sélectionner un filtre spatial

Il s'agit d'un graphique qui nécessite la sélection d'une zone d'origine et la sélection d'une zone de destination.

8.5.10.1.2 Sélectionner un filtre temporel

Il est nécessaire de sélectionner une période (cohérente avec la base de données de point à point) sur le calendrier. Il est également possible de modifier les jours de semaine concernés ainsi que la période de la journée.

8.5.10.1.3 Sélectionner des options de données

L'utilisateur peut modifier l'intervalle de temps de l'étude :

- 1 Heure : graphique présentant des boîtes à moustaches sur chaque heure d'une journée moyenne.
- 1 Jour : graphique présentant des boîtes à moustaches sur chaque jour d'une semaine moyenne.
- 1 Mois : graphique présentant des boîtes à moustaches sur chaque mois d'une année moyenne.

8.5.10.1.4 Valider

Le serveur vient chercher l'ensemble des activités de taxi associées à la sélection spatiale (origine + destination) ainsi qu'à la sélection temporelle. L'algorithme vient ensuite répartir les activités sur les heures/jours/mois en fonction de l'option de données choisie, et afficher les distributions en conséquence. La validation enclenchant la sauvegarde des filtres, si l'on change de graphique sans avoir validé on perd nos modifications. Pas de panique, le bouton « valider » rayonne en vert lorsqu'il est nécessaire de cliquer dessus.

8.5.10.1.5 Modifier les options de graphique

Après avoir tracé un graphique, les options de graphiques deviennent disponibles. Elles permettent de modifier en temps réel le style du graphique sans avoir à cliquer sur « valider ». Ici, on peut ajouter un sous-titre.

Traitement de la donnée et calcul des indicateurs

8.5.10.1.6 Importer les données

Le serveur vient chercher l'ensemble des données de point à point (tr_taxi_activities) correspondant à la plage spatio-temporelle que l'utilisateur souhaite étudier. C'est-à-dire que l'on ajoute des conditions d'import :

- La distance entre le champ « origin_geography » et le point de référence de l'origine sélectionné par l'utilisateur doit être inférieure au rayon de la zone.
- La distance entre le champ « destination_geography » et le point de référence de la destination sélectionnée par l'utilisateur doit être inférieure au rayon de la zone.
- Le champ « start_at » doit être compris entre la date de début à 00:00 et la date de fin à 23 :59, toutes deux renseignées par l'utilisateur.

Après importation, le serveur vient stocker cette table dans une collection (un service de gestion de tables temporaires qui se réinitialise chaque session de l'utilisateur), qui permettra un import plus rapide la prochaine fois que l'on désigne la même plage spatio-temporelle.

8.5.10.1.7 Filtrer la donnée

Le module d'agrégation vient filtrer cette nouvelle table de données d'événements sur les options renseignées par l'utilisateur :

- Les heures de journées à étudier
- Les jours de semaine à étudier

8.5.10.1.8 Distribuer les temps de parcours

Le module d'agrégation vient grouper les données d'activités suivant l'agrégation temporelle sélectionnée par l'utilisateur (Intervalle de temps). Obtenant ainsi, un ensemble de temps de trajets entre les deux zones sélectionnées pour chaque intervalle de temps.

8.5.10.1.9 Calculer les indicateurs

L'afficheur de boîtes à moustache nécessite le calcul des informations de distribution afin de tracer le graphique. Ainsi le minimum, le 1 quartile, la médiane, le 3e quartile et le maximum des ratios de vitesses pour chaque condition routière sont calculés.

8.5.11 Isochrone des temps de parcours par zone

Guide d'utilisation

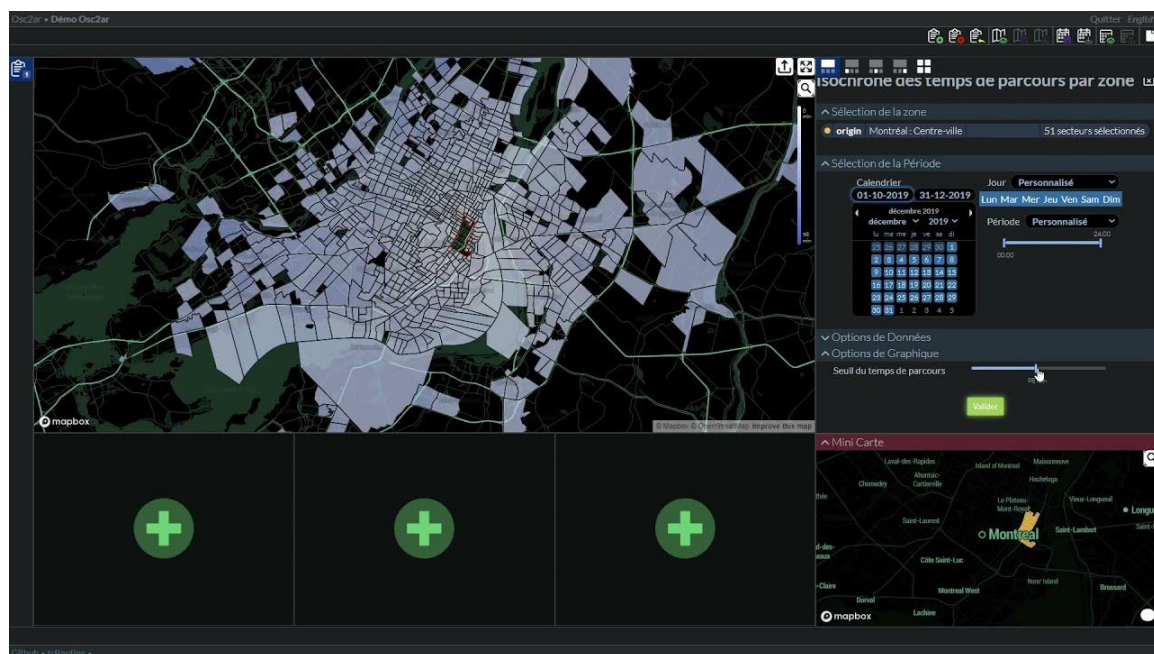


Figure 8-27. Exemple d'isochrone des temps de parcours par zone

L'isochrone des temps de parcours par zone est une carte interactive permettant d'identifier le temps nécessaire pour atteindre les autres zones à partir (ou jusque) d'une zone de référence. Ici la sélection de l'origine OU de la destination se fait sur les secteurs municipaux, ou de recensement de Montréal.

8.5.11.1.1 Sélectionner un filtre spatial

Il s'agit d'un graphique qui nécessite la sélection d'un secteur ou groupe de secteurs en tant qu'origine OU en tant que destination.

8.5.11.1.2 Sélectionner un filtre temporel

Il est nécessaire de sélectionner une période (cohérente avec la base de données de point à point) sur le calendrier. Il est également possible de modifier les jours de semaine concernés ainsi que la période de la journée.

8.5.11.1.3 Sélectionner des options de données

Aucune option de données n'est, pour le moment, nécessaire.

8.5.11.1.4 Valider

Le serveur vient chercher l'ensemble des activités de taxi associées à la sélection spatiale (origine OU destination) ainsi qu'à la sélection temporelle. L'algorithme vient ensuite calculer la moyenne des temps de parcours pour atteindre chaque zone (soit en tant qu'origine si on a choisi une destination en référence, soit en tant que destination si on a choisi une origine en zone de référence). L'outil vient afficher ces résultats sous la forme d'une carte de polygones teintés proportionnellement à leur valeur de temps de parcours. La validation enclenchant la sauvegarde des filtres, si l'on change de graphique sans avoir validé on perd nos modifications. Pas de panique, le bouton « valider » rayonne en vert lorsqu'il est nécessaire de cliquer dessus.

8.5.11.1.5 Modifier les options de graphique

Après avoir tracé un graphique, les options de graphiques deviennent disponibles. Elles permettent de modifier en temps réel le style du graphique sans avoir à cliquer sur « valider ». Ici, on peut modifier la valeur du seuil du temps de parcours qui fera directement varier les couleurs du graphique. L'utilisateur pourra donc adapter la colorimétrie en fonction de ses besoins.

Traitement de la donnée et calcul des indicateurs

8.5.11.1.6 Importer les données

Le serveur vient chercher l'ensemble des données de point à point (tr_taxi_activities) correspondant à la plage spatio-temporelle que l'utilisateur souhaite étudier. C'est-à-dire que l'on ajoute des conditions d'import :

- Le champ « data.zones.origin » (ou « data.zones.destination » si l'utilisateur a sélectionné un ensemble de secteurs comme étant une destination) doit apparaître dans la liste des identifiants de secteurs sélectionnés par l'utilisateur
- Le champ « start_at » doit être compris entre la date de début à 00:00 et la date de fin à 23 :59, toutes deux renseignées par l'utilisateur.

Après importation, le serveur vient stocker cette table dans une collection (un service de gestion de tables temporaires qui se réinitialise chaque session de l'utilisateur), qui permettra un import plus rapide la prochaine fois que l'on désigne la même plage spatio-temporelle.

8.5.11.1.7 Filtrer la donnée

Le module d'agrégation vient filtrer cette nouvelle table de données d'événements sur les options renseignées par l'utilisateur :

- Les heures de journées à étudier
- Les jours de semaine à étudier

8.5.11.1.8 Distribuer les temps de trajets

Si l'utilisateur a choisi d'étudier les temps de trajets à partir d'une origine, alors le module d'agrégation vient grouper les données d'activités suivant leur secteur de recensement de destination. Inversement il agrège sur l'origine, si l'utilisateur veut étudier une destination. Obtenant ainsi un ensemble de temps de trajet pour chaque paire origine-destination.

8.5.11.1.9 Calculer l'indicateur

L'outil vient calculer le temps de trajet moyen pour atteindre chaque zone. Affichant ainsi ses résultats sous la forme d'une isochrone où la couleur de la zone à atteindre est une fonction de la valeur du temps de parcours.

8.5.12 Isochrone des temps de parcours

Guide d'utilisation

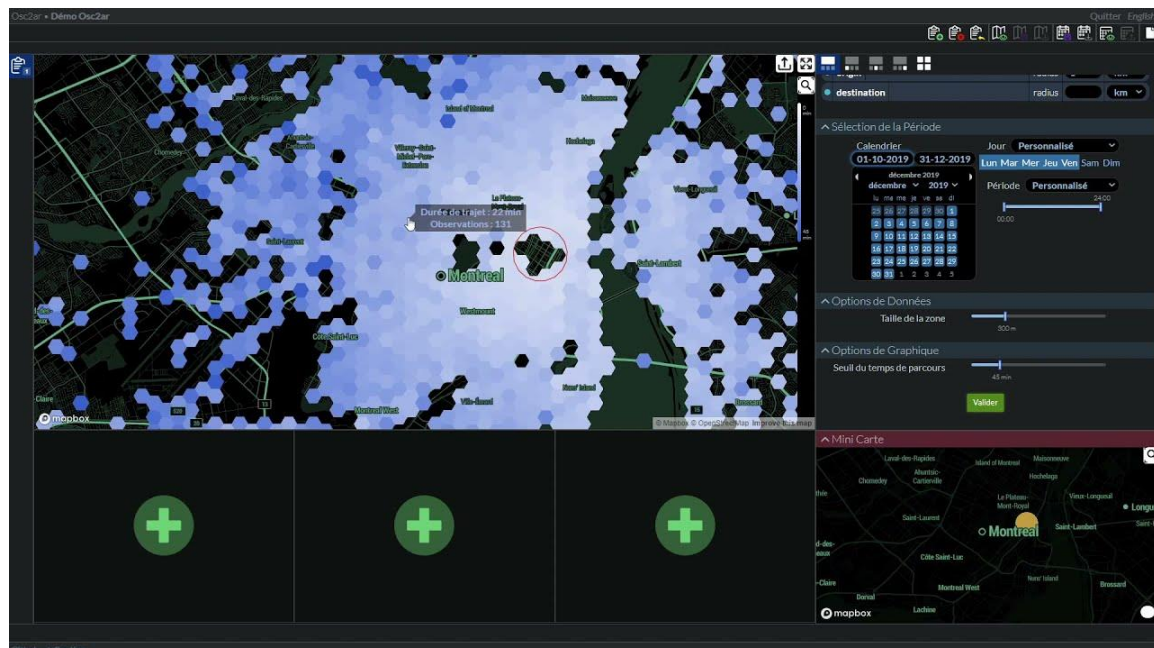


Figure 8-28. Exemple d'isochrone des temps de parcours

L'isochrone des temps de parcours est une carte interactive permettant d'identifier le temps nécessaire pour atteindre les autres zones à partir (ou jusque) d'une zone de référence. Ici la sélection de l'origine OU de la destination se fait à partir d'une position de référence et d'un rayon d'action.

8.5.12.1.1 Sélectionner un filtre spatial

Il s'agit d'un graphique qui nécessite la sélection d'une zone de référence en tant qu'origine ou destination.

8.5.12.1.2 Sélectionner un filtre temporel

Il est nécessaire de sélectionner une période (cohérente avec la base de données de point à point) sur le calendrier. Il est également possible de modifier les jours de semaine concernés ainsi que la période de la journée.

8.5.12.1.3 Sélectionner des options de données

L'utilisateur peut faire varier la taille des hexagones du nid d'abeilles, représentant les zones de destinations ou d'origine (inverse du type de la zone de référence)

8.5.12.1.4 Valider

Le serveur vient chercher l'ensemble des activités de taxi associées à la sélection spatiale (origine OU destination) ainsi qu'à la sélection temporelle. L'algorithme vient ensuite calculer la moyenne des temps de parcours pour atteindre chaque zone (soit en tant qu'origine si on a choisi une destination en référence, soit en tant que destination si on a choisi une origine en zone de référence). L'outil vient afficher ces résultats sous la forme d'une carte d'hexagones teintés proportionnellement à leur valeur de temps de parcours. La validation enclenchant la sauvegarde des filtres, si l'on change de graphique sans avoir validé on perd nos modifications. Pas de panique, le bouton « valider » rayonne en vert lorsqu'il est nécessaire de cliquer dessus.

8.5.12.1.5 Modifier les options de graphique

Après avoir tracé un graphique, les options de graphiques deviennent disponibles. Elles permettent de modifier en temps réel le style du graphique sans avoir à cliquer sur « valider ». Ici, on peut modifier la valeur du seuil du temps de parcours qui fera directement varier les couleurs du graphique. L'utilisateur pourra donc adapter la colorimétrie en fonction de ses besoins.

Traitement de la donnée et calcul des indicateurs

8.5.12.1.6 Importer les données

Le serveur vient chercher l'ensemble des données de point à point (tr_taxi_activities) correspondant à la plage spatio-temporelle que l'utilisateur souhaite étudier. C'est-à-dire que l'on ajoute des conditions d'import :

- La distance entre le champ « data.zones.origin » (ou « data.zones.destination » si l'utilisateur a sélectionné un ensemble de secteurs comme étant une destination) et le point de référence de l'origine sélectionné par l'utilisateur doit être inférieure au rayon de la zone.
- Le champ « start_at » doit être compris entre la date de début à 00:00 et la date de fin à 23:59, toutes deux renseignées par l'utilisateur.

Après importation, le serveur vient stocker cette table dans une collection (un service de gestion de tables temporaires qui se réinitialise chaque session de l'utilisateur), qui permettra un import plus rapide la prochaine fois que l'on désigne la même plage spatio-temporelle.

8.5.12.1.7 Filtrer la donnée

Le module d'agrégation vient filtrer cette nouvelle table de données d'événements sur les options renseignées par l'utilisateur :

- Les heures de journées à étudier
- Les jours de semaine à étudier

8.5.12.1.8 Distribuer les temps de trajets

Dans un premier temps, l'outil vient générer un nid-d'abeilles sous forme de grille hexagonale de rayon défini par l'utilisateur. Si ce dernier a choisi d'étudier les temps de trajets à partir d'une origine, alors le module d'agrégation vient grouper les données d'activités suivant l'hexagone associé à la position géographique des destinations. Inversement il agrège sur l'origine, si l'utilisateur veut étudier une destination. Obtenant ainsi un ensemble de temps de parcours par hexagone de la grille.

8.5.12.1.9 Calculer l'indicateur

L'outil vient calculer le temps de trajet moyen pour atteindre chaque zone hexagonale. Affichant ainsi ses résultats sous la forme d'une isochrone où la couleur de la zone à atteindre est une fonction de la valeur du temps de parcours.

8.5.13 Distribution temporelle du nombre de véhicules

Guide d'utilisation

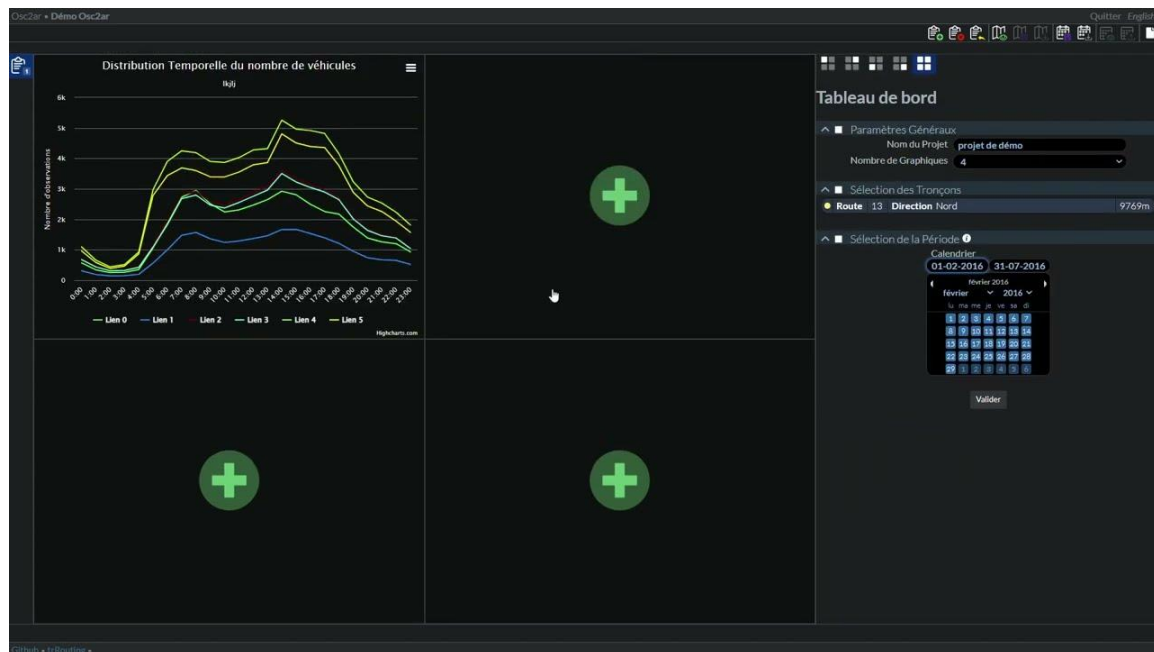


Figure 8-29. Exemple de distribution temporelle du nombre de véhicules

La distribution temporelle du nombre de véhicules est un graphique interactif qui peut être utilisé dans le but de témoigner de l'importance du flux entrant ou sortant au niveau des jonctions du trajet sélectionné. Le graphique se compose en deux parties : Dans le panneau central, on trace l'évolution du nombre de véhicules observés par heure sur chaque lien. Et dans la mini carte, on affiche les zones de comptage sur la sélection spatiale.

8.5.13.1.1 Sélectionner un filtre spatial

Il s'agit d'un graphique qui nécessite la sélection d'un tronçon ou d'un groupe de tronçons voisins.

8.5.13.1.2 Sélectionner un filtre temporel

Il est nécessaire de sélectionner une période (cohérente avec la base de données de comptage véhicule) sur le calendrier. Il est également possible de modifier les jours de semaine concernés. Puisque les données sources sont déjà agrégées par heure, il est impossible d'offrir une agrégation temporelle plus petite.

8.5.13.1.3 Sélectionner des options de données

Aucune option de données n'est, pour le moment, nécessaire.

8.5.13.1.4 Valider

Le serveur vient chercher toutes les données de comptages associées aux filtres, et récupérer l'information des tronçons où s'effectuent les comptages, que l'on appellera « lien ». Enfin, l'outil vient afficher toutes ces informations dans un graphique, et une mini carte. Chaque lien est coloré de la même couleur sur la carte et dans le graphique, pour plus de lisibilité. La validation enclenchant la sauvegarde des filtres, si l'on change de graphique sans avoir validé on perd nos modifications. Pas de panique, le bouton « valider » rayonne en vert lorsqu'il est nécessaire de cliquer dessus.

8.5.13.1.5 Modifier les options de graphique

Après avoir tracé un graphique, les options de graphiques deviennent disponibles. Elles permettent de modifier en temps réel le style du graphique sans avoir à revalider. Ici, on peut ajouter un sous-titre, ou en modifier la couleur du tracé. En quittant, le graphique conserve les modifications effectuées.

Traitement de la donnée et calcul des indicateurs

8.5.13.1.6 Importer les données

Le serveur vient chercher l'ensemble des données de comptages correspondant à la plage spatio-temporelle que l'utilisateur souhaite étudier. C'est-à-dire que l'on ajoute des conditions d'import :

- Le champ « network_segment_id » de tr_network_countings doit apparaître dans la liste des identifiants de segments sélectionnés par l'utilisateur
- Le champ « start_at » doit être compris entre la date de début à 00:00 et la date de fin à 23 :59, toutes deux renseignées par l'utilisateur.

Après importation, le serveur vient stocker cette table dans une collection (un service de gestion de tables temporaires qui se réinitialise chaque session de l'utilisateur), qui permettra un import plus rapide la prochaine fois que l'on désigne la même plage spatio-temporelle.

8.5.13.1.7 Distribuer les comptages de véhicules

Le module d'agrégation vient grouper les comptages suivant l'heure de la journée et le tronçon de mesure. Obtenant ainsi un ensemble de nombre de véhicules observés par tronçon de mesure, pour chaque heure de la journée.

8.5.13.1.8 Calculer l'indicateur

L'outil vient calculer la moyenne du nombre d'observations de véhicules sur chaque heure la journée, pour chaque tronçon de mesure et vient l'afficher sur un graphique de type ligne, en superposant visuellement les résultats de chaque tronçon de mesure.

8.5.14 Proportion d'incidents par type

Guide d'utilisation

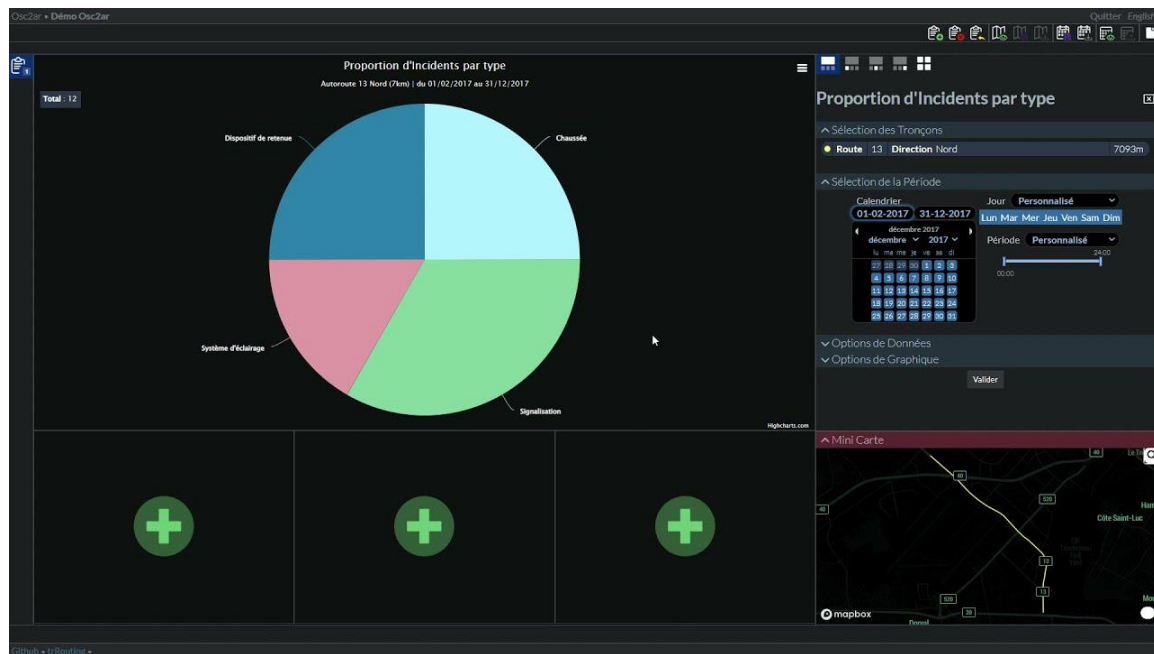


Figure 8-30. Exemple de graphique indiquant la proportion d'incidents par type

La proportion d'incidents par type est un graphique interactif permettant de relever le nombre d'incidents (SMG) observés sur les filtres spatio-temporels sélectionnés par l'utilisateur. Un survol de chaque catégorie donne le nombre d'observations ainsi que la proportion du type d'incident.

8.5.14.1.1 Sélectionner un filtre spatial

Il s'agit d'un graphique qui nécessite la sélection d'un tronçon ou d'un groupe de tronçons voisins.

8.5.14.1.2 Sélectionner un filtre temporel

Il est nécessaire de sélectionner une période (cohérente avec la base de données d'incidents) sur le calendrier. Il est également possible de modifier les jours de semaine concernés ainsi que la période de la journée.

8.5.14.1.3 Sélectionner des options de données

Aucune option de données n'est, pour le moment, nécessaire.

8.5.14.1.4 Valider

Le serveur vient chercher l'ensemble des données d'incidents correspondants au filtre spatio-temporel choisi. L'outil vient afficher la distribution des incidents par type, sous forme d'un diagramme circulaire. La validation enclenchant la sauvegarde des filtres, si l'on change de graphique sans avoir validé on perd nos modifications. Pas de panique, le bouton « valider » rayonne en vert lorsqu'il est nécessaire de cliquer dessus.

8.5.14.1.5 Modifier les options de graphique

Après avoir tracé un graphique, les options de graphiques deviennent disponibles. Elles permettent de modifier en temps réel le style du graphique sans avoir à revalider. Ici, on peut ajouter un sous-titre.

Traitement de la donnée et calcul des indicateurs

8.5.14.1.6 Importer les données

Le serveur vient chercher l'ensemble des données de comptages correspondant à la plage spatio-temporelle que l'utilisateur souhaite étudier. C'est-à-dire que l'on ajoute des conditions d'import :

- Le champ « network_segments » de tr_network_events doit contenir au moins un élément de la liste des identifiants de segments sélectionnés par l'utilisateur.
- Le champ « start_at » doit être compris entre la date de début à 00:00 et la date de fin à 23 :59, toutes deux renseignées par l'utilisateur.

Après importation, le serveur vient stocker cette table dans une collection (un service de gestion de tables temporaires qui se réinitialise chaque session de l'utilisateur), qui permettra un import plus rapide la prochaine fois que l'on désigne la même plage spatio-temporelle

8.5.14.1.7 Filtrer la donnée

Le module d'agrégation vient filtrer cette nouvelle table de données d'événements sur les options renseignées par l'utilisateur :

- Les heures de journées à étudier
- Les jours de semaine à étudier

8.5.14.1.8 Distribuer les incidents

Le module d'agrégation vient grouper les données d'incidents suivant le type d'incident.

8.5.14.1.9 Calcul de l'indicateur

On vient sommer le nombre d'incident par type afin d'afficher une répartition des incidents par type.

9 DISCUSSION

Ce rapport a fait état de l'ensemble des travaux réalisés dans le cadre du projet de recherche et développement R736.2 « Développement et déploiement de l'outil OSC2AR pour le suivi et l'analyse des conditions de circulation sur le réseau routier ».

9.1 Synthèse des travaux

Au montage du projet, 11 principales tâches ont été prévues pour assurer sa réalisation. Évidemment, comme plusieurs projets de recherche et développement, certaines tâches n'ont pas été complètement accomplies et certaines expérimentations n'ont pas mené à des résultats concluants. En outre, il est fréquent que le mandat évolue avec l'avancement du projet à la lumière des données disponibles et des défis rencontrés, tant scientifiques, techniques, méthodologiques qu'organisationnels.

L'équipe propose ci-dessous une synthèse de l'état de réalisation des différentes tâches.

- T1 : Inventaire des besoins et limites du prototype.

Dans le cadre de cette tâche, l'équipe a profité des contributions d'un professeur spécialiste de l'analyse des besoins. Dans ce contexte, des entrevues ont été réalisées avec des professionnels du MTQ afin de mettre en lumière les attentes et mieux cibler celles auxquelles pourraient répondre OSC2AR. Des persona ont été développés en vue d'orienter les discussions de l'équipe autour de l'articulation de l'interface et l'identification de principales fonctions à inclure.

- T2 : Identification des flux de données et procédures de traitement requises

Plusieurs ensembles de données ont été analysés en vue d'évaluer ceux qui avaient le potentiel de contribuer en continu à la plateforme OSC²AR. L'équipe a dû tenir compte de critères restrictifs pour sortir d'un cadre de démonstration des potentialités d'un ensemble « anecdotique » de données et assurer que les données alimentant la version finale de l'outil soient disponibles en continu. Les procédures de conversion des données brutes en structure de données alimentant OSC²AR ont été développées.

- T3 : Indicateurs et adaptation au réseau artériel

Différents indicateurs de congestion ont été identifiés en vue de l'insertion dans la plateforme de consultation. En plus de certains indicateurs plus usuels basés sur les vitesses, des indicateurs de caractérisation des files d'attente ainsi que de temps de déplacement point à point ont été développés.

- T4 : Paramètres optimaux de stockage et d'analyse

Les différents indicateurs ne s'appuient pas tous sur la même table de données. Ainsi, l'équipe a dû identifier la structure des principales tables de données requises pour alimenter l'estimation de plusieurs indicateurs. Trois tables principales de données ont été développées : une de stockage des données de vitesses, une de stockage des données de temps de déplacements entre points et une de stockage des événements d'accélération et décélération. En outre, un travail de transformation de données de type

« Here » en données de type « points de vitesse » comme celles provenant du registre de taxis, a été fait afin de permettre l'usage combiné de ces deux sources de données.

- T5 : Architecture de l'outil et éléments d'interface

L'outil OSC²AR a profité de plusieurs développements logiciels issus de la plateforme Transition.

- T6 : Programmation des modules de l'outil

Les différentes fonctionnalités et modalités de visualisation ont été organisées sur la base des données requises pour les construire.

- T7 : Méthodologie d'estimation des coûts de la congestion

Une analyse de la méthode québécoise d'évaluation des coûts de la congestion a été réalisée et un état des connaissances a été réalisé. Une stratégie d'actualisation, à l'échelle de la région, s'appuyant sur les données alimentant OSC²AR est en cours de développement, mais n'a pas été concluante dans le cadre du projet.

- T8 : Modélisation longitudinale

L'analyse longitudinale de l'évolution de différents indicateurs a été imbriquée dans la plateforme en offrant l'opportunité aux utilisateurs de choisir la période temporelle d'analyse.

- T9 : Implantation et déploiement version finale

La version actuelle d'OSC²AR est accessible aux professionnels du MTQ et permet de consulter plusieurs indicateurs sur une période de plusieurs mois. La plateforme sera enrichie par de nouvelles données à travers le temps.

- T10 : Stratégie de pérennisation

L'équipe a réfléchi aux défis associés à l'actualisation récurrente de l'outil enfin d'en assurer l'utilisation à travers le temps. Cet élément est davantage discuté en section 9.3.

- T11 : Stratégie de transférabilité spatiale

Maintenant que la plateforme a été développée pour la grande région de Montréal, il est possible d'identifier les requis pour en permettre l'adaptation à un autre territoire. Ceci est discuté à la section 9.4.

9.2 Limites et perspectives

Certains éléments n'ont pas pu être réalisés ou n'ont pas mené à des résultats concluants. Les différentes limites identifiées par l'équipe sont discutées ci-dessous en phase avec les perspectives possibles pour la suite des travaux, lorsque pertinentes.

Réseau artériel

- Les segments routiers de type artère n'ont pas été examinés spécifiquement. Bien qu'un réseau intégrant le réseau autoroutier et artériel ait été constitué et intégré

dans OSC²AR, il n'y a pas eu d'analyse segmentée pour identifier si d'autres formulations d'indicateurs seraient plus pertinentes pour les artères.

- Développer un ensemble d'indicateurs spécifiques pour le réseau artériel exigerait de disposer de meilleures données de signalisation puisque la présence de contrôle (feux, arrêts) est très déterminante des conditions de circulation observées.

Données non valorisées

- En raison des critères choisis pour la sélection des données pour l'insertion dans la plateforme, certains ensembles de données n'ont pas été valorisés.
- Il serait utile de démontrer la pertinence de certains ensembles de données pour bonifier le contenu de l'outil et permettre l'insertion de plus de variables de contrôle.

Inclusion de modèles explicatifs

- Bien que des analyses croisées soient intégrées dans la plateforme (météo * indicateur de congestion par exemple), il n'y a pas eu d'intégration de modèles statistiques confirmant l'effet statistique de différentes conditions météorologiques sur les conditions de circulation.
- Les défis ne se trouvent pas au niveau de la formulation d'un modèle statistique, mais davantage au niveau de la programmation des échanges entre la plateforme de consultation et le logiciel d'estimation des modèles. L'équipe prévoit s'attaquer à l'expérimentation de différents connecteurs afin de valider les approches les plus efficaces pour permettre l'estimation de modèles statistiques et le retour de résultats vers OSC²AR.

Vitesse en écoulement libre

- Les indicateurs impliquant des vitesses s'appuient actuellement sur la vitesse affichée alors qu'il serait souhaitable d'offrir le choix de prendre la vitesse affichée ou la vitesse en écoulement libre comme dénominateur.
- Le calcul d'une vitesse en écoulement libre peut se faire de différentes façons et il sera utile de valider la sensibilité de la valeur obtenue selon différentes méthodes et de valider aussi la stabilité de cette valeur à travers le temps, selon les données d'entrées utilisées.

Fusion des réseaux AQ et OSM

- Fusionner les réseaux AQ et OSM n'a pas été trivial. L'étude des propriétés des segments a permis de mettre en lumière les différentes erreurs qui peuvent découler de cette association.
- À terme, cette fusion sera facilitée par la complétion des informations de routes dans OSM.

Coûts de la congestion

- L'équipe n'est pas arrivée à une conclusion claire quant à une méthode permettant d'actualiser les coûts totaux de la congestion à partir des constats tirés d'OSC²AR.

Les données disponibles permettraient d'associer de façon anecdotique une valeur économique de temps perdu à différents segments, mais puisque leur sommation n'offrirait qu'un portrait partiel de la situation, il a été jugé plus risqué que bénéfique de l'inclure.

- L'équipe procède actuellement à l'expérimentation de méthodes qui permettraient d'incrémenter la précédente valeur de référence des coûts de la congestion (par exemple, l'estimation faite à partir de la plus récente enquête Origine-Destination) à partir d'un échantillon de données de débits et de vitesse. Si les analyses sont concluantes, il serait alors possible de proposer une stratégie de mise à jour qui couvrirait la totalité du territoire métropolitain. Des pistes méthodologiques ont été proposées à cet égard.

9.3 Stratégie de pérennisation

Le développement d'une plateforme comme OSC²AR n'est que la phase initiale d'une période d'utilisation qui s'échelonne sur plusieurs années. Il est donc essentiel de réfléchir aux exigences et modalités permettant d'en assurer l'utilisabilité à travers le temps. Plusieurs composantes doivent être considérées, notamment la mise à jour logicielle de la plateforme, l'insertion de nouveaux ensembles de données, l'ajout de fonctionnalités et d'indicateurs, l'archivage de données, etc.

L'un des principaux défis à cette pérennisation est l'obtention, par le Ministère, par des voies contractuelles et informatiques, de données en continu sur la vitesse et la position des véhicules sur son réseau, comme cela a pu être fait dans ce projet par l'équipe de recherche pour les données des véhicules-taxis. Il est important que le Ministère se penche sur cette question, qui est une condition sine qua non à la poursuite de l'utilisation de l'outil OSC²AR.

La mise à jour de la plateforme comporte deux volets principaux. Le premier est la mise à niveau régulière du code source, incluant les mises à jour de sécurité requises, et le deuxième est l'importation de nouvelles données sur une base régulière avec un intervalle de mise à jour à déterminer.

9.4 Stratégie de transférabilité spatiale

Maintenant que la plateforme a été développée pour le contexte montréalais, il est utile de se questionner sur les défis associés à sa transférabilité à un autre contexte spatial. De façon générale, si des données similaires sont disponibles, la transférabilité sera plutôt aisée puisque les codes de traitement des données pourront être utilisés directement, ce qui serait le cas pour la majorité des données pour un transfert spatial à l'intérieur du Québec. Cela risque toutefois de ne pas être parfaitement le cas. Les ensembles de données suivants sont les plus critiques pour assurer les fonctionnalités de base de l'outil pour un autre territoire :

- Identification du réseau ciblé par la plateforme et création de l'ensemble de segments par la fusion AQ + OSM.
- Données témoignant des conditions de circulation :

- La méthode de conversion des données de HERE pourra s'appliquer aux données de HERE d'un autre territoire (ou données exactement dans le même format)
- Toute donnée offrant une vitesse instantanée et localisée pourrait être utilisée à l'image de ce qui est fait avec les données du registre de taxi – des codes spécifiques pourraient devoir être développés pour permettre le remplissage de la table de segments d'OSC²AR.
- La méthode d'identification d'événements d'accélération et décélération pourrait devoir être adaptée selon le niveau de résolution des données disponibles (typiquement, le registre offre des données aux 5 secondes). Les critères de filtrage des événements pertinents (seuils d'accélération et vitesse) pourraient aussi devoir être adaptés pour chaque région.
- Les analyses point à point exigent de disposer de données de trajets complets, ou au moins de pouvoir relier les instants de passage au même véhicule ou usager, et non seulement des points de vitesses instantanées.
- Ainsi, selon les données disponibles, certains indicateurs pourraient ou non être activés/désactivés.
- Données contenant des variables de contrôle :
 - Les données sur les incidents, la météo, les conditions routières, les comptages pourraient être de meilleure ou moins bonne qualité (tant en couverture qu'en contenu). Selon le cas, certaines analyses pourraient ou non être incluses, dégradées ou bonifiées.

Selon le cas, il sera donc nécessaire de faire l'inventaire des données disponibles, cibler correctement le réseau à inclure dans la plateforme et évaluer l'ampleur des ajustements à appliquer aux procédures et indicateurs actuellement utilisés pour Montréal. Cette tâche sera facilitée si les données sont précisément identifiées et décrites pour la région ciblée.

10 RÉFÉRENCES

ADEC (1993). Évaluation des coûts de la congestion routière dans la grande région de Montréal. Conditions de référence de 1993. Publié le 30 décembre 1997 pour le compte du ministère des Transports du Québec. 86 p.

ADEC (1998). Évaluation de la congestion routière dans la région de Montréal pour les conditions de référence de 1998. Publié en 2004 pour le compte du ministère des Transports du Québec, 123 p.

ADEC (2003). Évaluation des coûts de la congestion routière dans la région de Montréal pour les conditions de référence de 2003. Publié en mars 2009 pour le compte du ministère des Transports du Québec, 101 p.

ADEC (2008). Évaluation des coûts de la congestion routière dans la région de Montréal pour les conditions de référence de 2008. Publié le 28 janvier 2014 pour le compte du ministère des Transports du Québec. 66 p.

Bien (1989). Canadian Experience with HDM-III in Road Transportation management, Journal of Transportation Research Forum, Vol. 30, No. 1

Bein (1990). Review of the HDM-III User Cost Model for Suitability to Canadian Heavy Vehicles, Transportation Research Record, No. 1262

Bein et al. (1993). Critique of Texas Research and Development Foundation of Vehicle Operating Cost Model, Transportation Research Record, No. 1395

Boardman, A., Greenberg, D., Vining, A., Weimer, D., (2006). Cost-Benefit Analysis: Concepts and Practices, Third Edition. ed. Pearson-Prentice Hall.

CAA (2013). Coûts d'utilisation d'une automobile, Édition 2013, 12 p.

Inrix (2018). Global Traffic Scorecard, En ligne : <https://inrix.com/scorecard/>

Litman, T. (2019). Congestion costing critique. Victoria Transport Policy Institute.

Metrolinx (2008). Costs of Road Congestion in the Greater Toronto and Hamilton Area: Impact and Cost Benefit Analysis of the Metrolinx Draft Regional Transportation Plan.

MTQ (2006a). Guide de l'analyse avantage-coûts des projets publics en transport, Partie 1 : précis méthodologique, publié en 2006, 72 p.

MTQ (2006b). Guide de l'analyse avantage-coûts des projets publics en transport, Partie 2 : cas d'application, publié en 2006, 30 p.

MTQ (2006c). Guide de l'analyse avantage-coûts des projets publics en transport, Partie 3 : paramètres, valeurs de 2006, publié en 2007, 24 p.

MTQ (2015a). Guide de l'analyse avantage-coûts des projets publics en transport, Méthodologie, publié en 2016, 58 p.

MTQ (2015b). Guide de l'analyse avantage-coûts des projets publics en transport, Paramètres, valeurs de 2015, publié en 2016, 17 p.

MTQ (2019a). Identification des données pour alimenter l'outil OSC²AR – Diagnostic de sécurité routière (DSR), 18 p.

MTQ (2019b). Identification des données pour alimenter l'outil OSC²AR - Système d'information sur les conditions routières et Conditions routières hivernales, 14 p.

MTQ (2019c). Identification des données pour alimenter l'outil OSC²AR - Système Monitoring Routier (SMG), 12 p.

MTQ (2019d). Identification des données pour alimenter l'outil OSC²AR - Système météo routier (SMR), 10 p.

MTQ (2019e). Identification des données pour alimenter l'outil OSC²AR - Système SGE-Interventions, 18 p.

Stiglitz, J., Walsh, C., Lafay, J.-D. (2007). Principes d'économie moderne, 3e édition. ed. De Boeck, Bruxelles.

TAMU (2007). The 2007 Urban Mobility Report, Septembre 2007, En ligne: <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/umr/archive/mobility-report-2007-wappx.pdf> (Consulté le 28 mai 2021), 138 p.

TAMU (2015). Urban mobility scorecard, August 2015, En ligne: <https://static.tti.tamu.edu/tti.tamu.edu/documents/umr/archive/mobility-scorecard-2015.pdf> (Consulté le 28 mai 2021), 50 p.

TAMU, 2019 (2019) Urban Mobility Report and Appendices En ligne: <https://mobility.tamu.edu/umr/report/> (Consulté le 28 mai 2021).

Tessier, Marc-André (2015). Développement d'indicateurs d'analyse et de suivi de la congestion routière. Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal.

Transport Canada (2006). Le coût de la congestion urbaine au Canada.

Zhao, Y., Zheng, J., Wong, W., Wang, X., Meng, Y, Liu, H.X. (2019). Various methods for queue length and traffic volume estimation using probe vehicle trajectories, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 107, October 2019, Pages 70-91

11 ANNEXES

11.1 Fiche de compréhension de l'algorithme



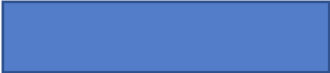

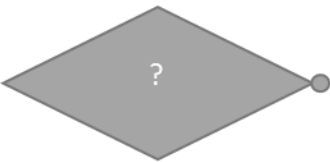




	Base de donnée
	Programme principal
	Fonction
	Fonction unitaire
	Condition (coté ● = Faux/non)
	Sous Programme (peut être utilisé pour simplifier une boucle for)
	Explication du sous programme
	Trame de données
	Variable (texte en jaune également)

Figure 11-1. Fiche compréhension des algorithmes

11.2 Algorithme – Intégration des données OSC2AR

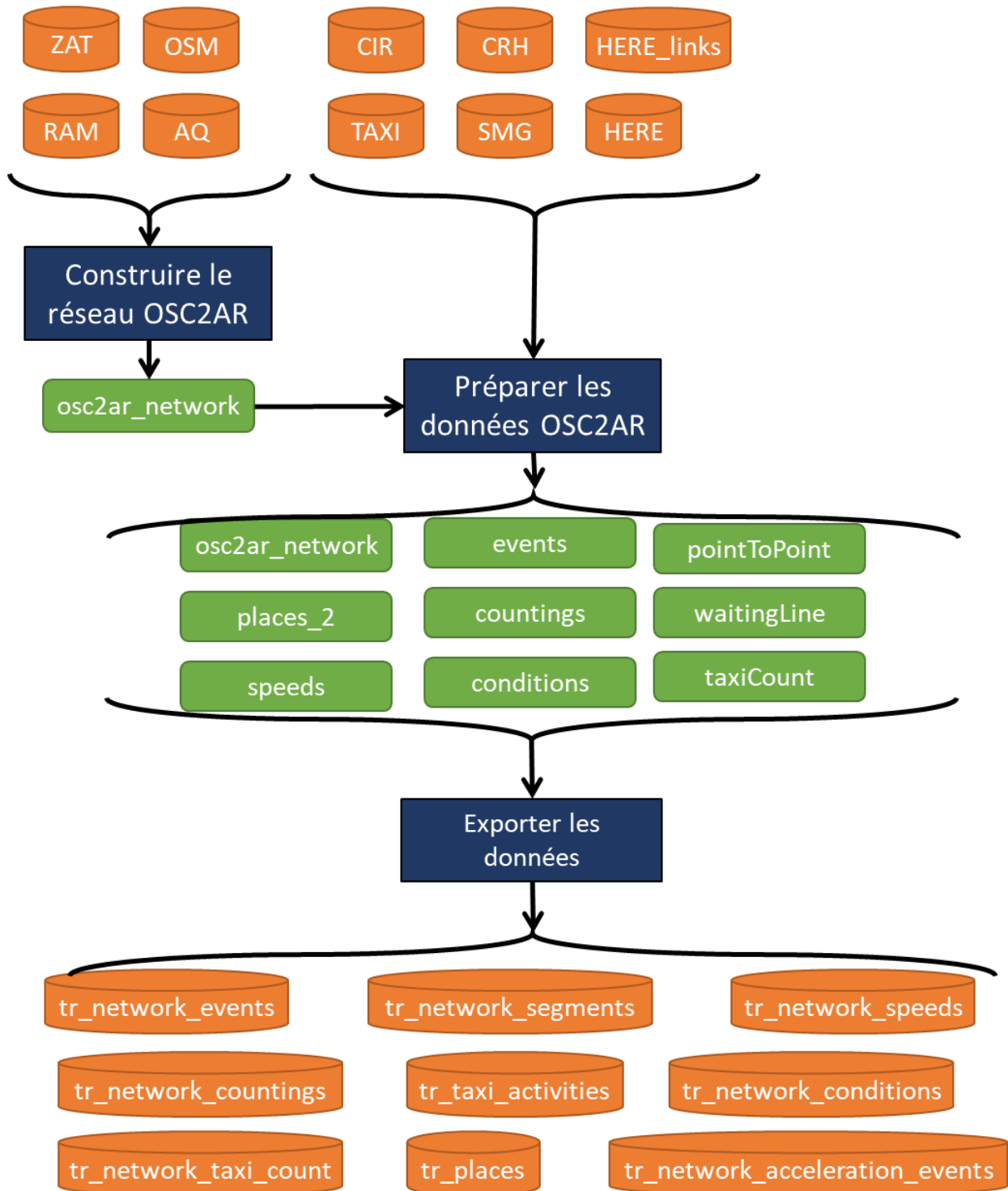


Figure 11-2. Algorithme - Logique principale

Préparer le réseau OSC2AR

Génère une trame de donnée de type geoJson du réseau osc2ar à partir des réseau d'OpenStreetMap, d'Adresse Québec et du Réseau Artériel Métropolitain

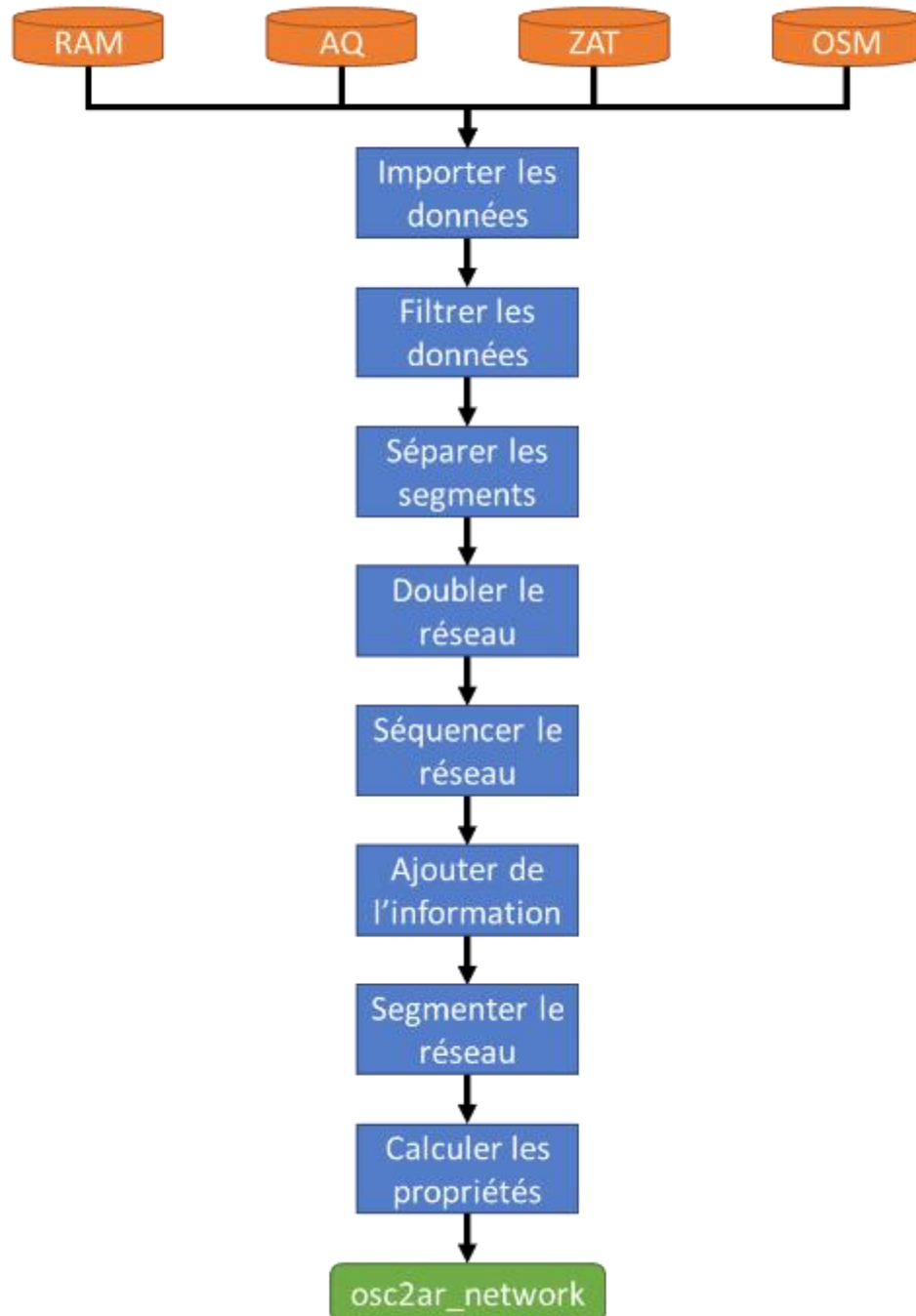


Figure 11-3. Algorithme - Préparer le réseau OSC²AR

Importer les données

Importe des données de différentes sources : OpenStreetMap, Adresse Québec, Réseau Artériel de Montréal, Codes Postaux et projette les coordonnées géographiques en MTM zone 8. Retourne des trames de données.

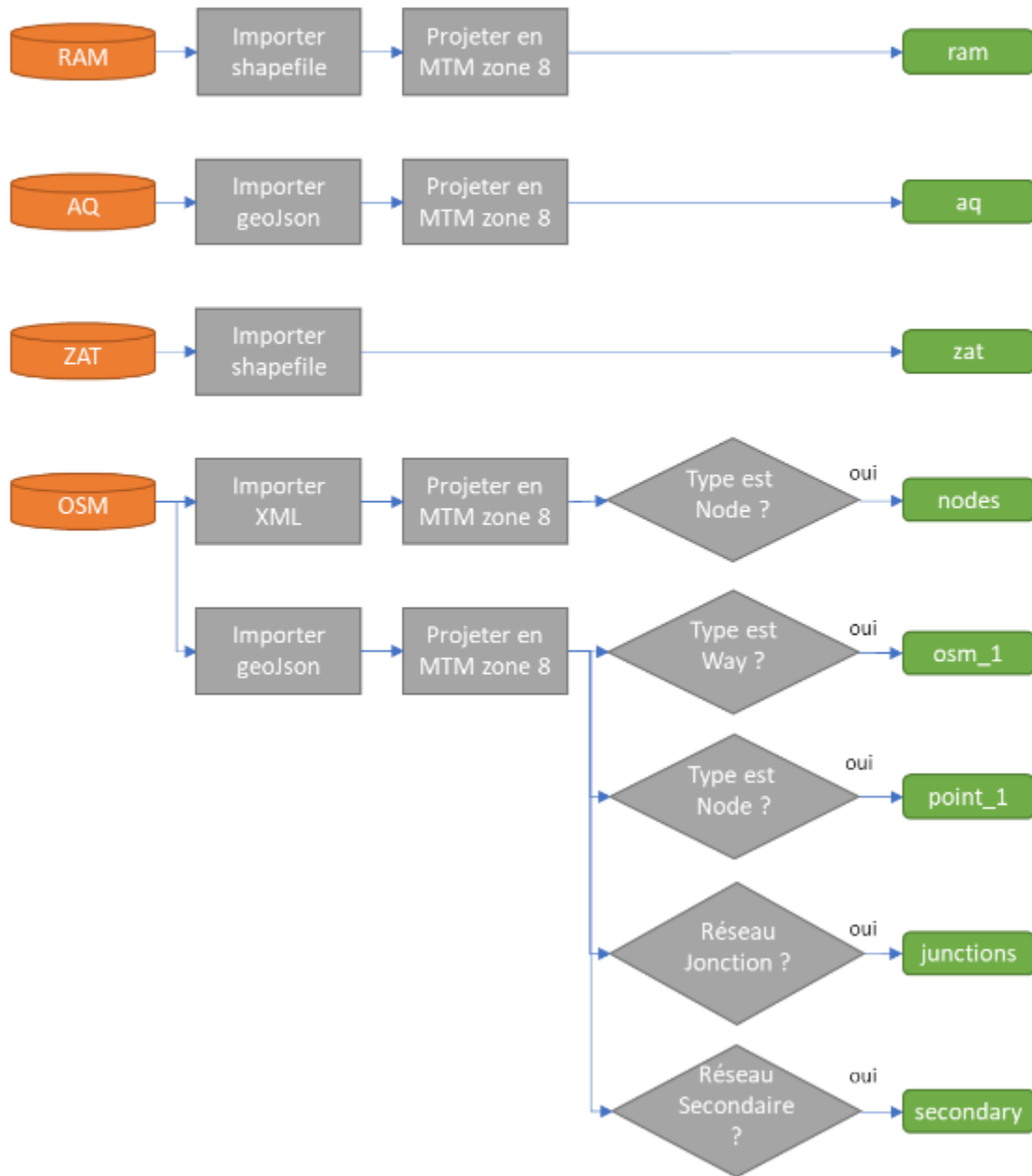


Figure 11-4. Algorithme - Importer les données

Filtrer les données

Filtrer les données du réseau artériel de OSM à partir d'une correspondance géographique avec le RAM. Est conservé : les réseau autoroutier, le réseau artériel, les bretelles et les routes numérotés. Retourne la trame de données du réseau OSM filtré.

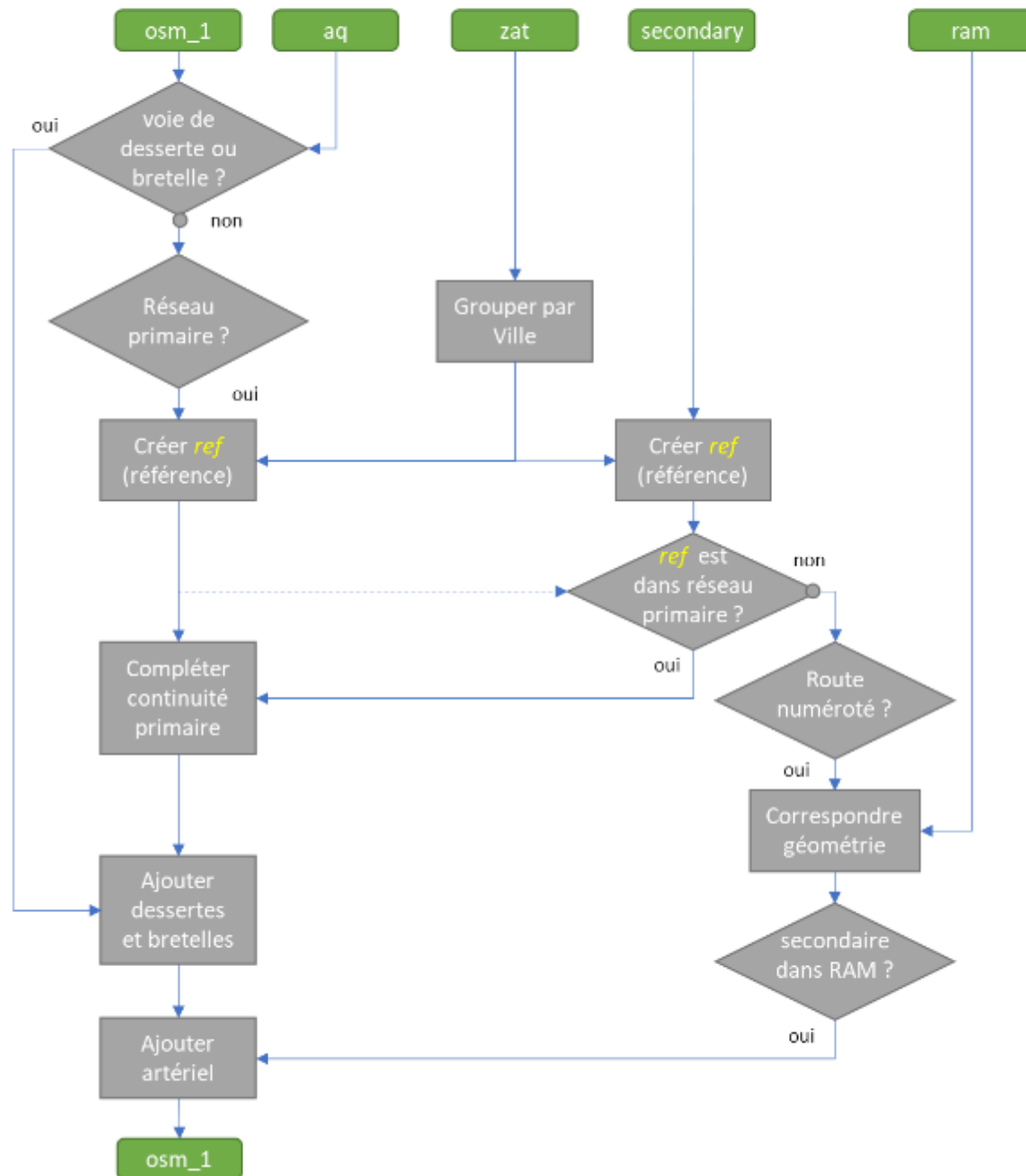


Figure 11-5. Algorithme - Filtrer les données

Séparer les segments

Définit des points de découpages, et découpe les tronçons en des segments de plus petite taille selon les points dont le type figure dans la liste suivante : passage piéton, entrée d'autoroute, sortie d'autoroute, feux de circulation, arrêt. Retourne la trame de données du réseau après séparation des tronçons.

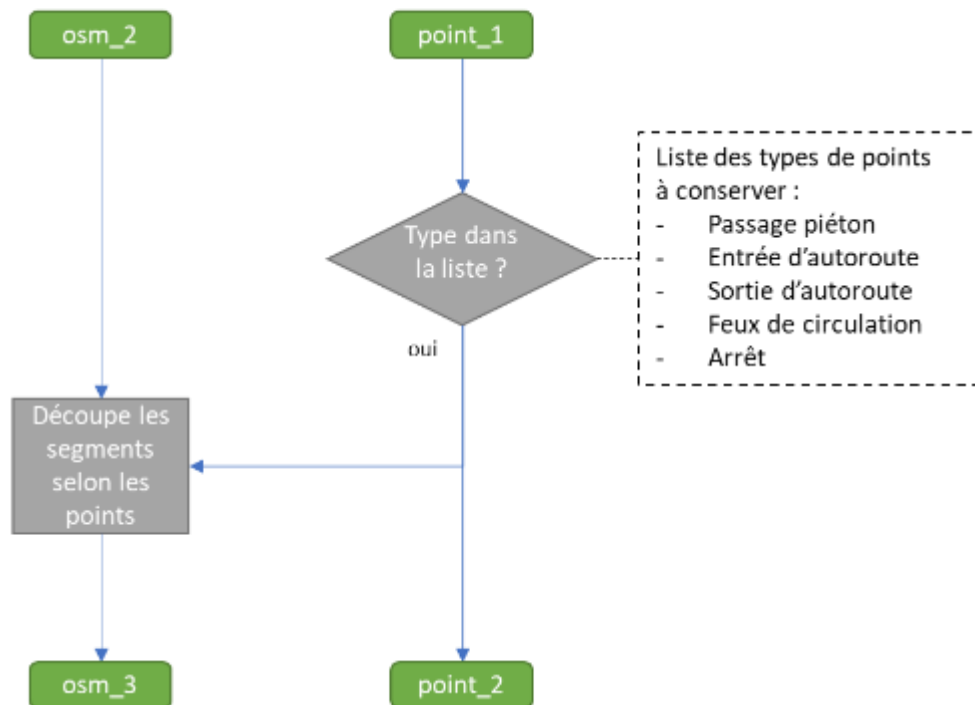


Figure 11-6. Algorithme - Séparer les segments

Doubler le réseau

Dédouble les tronçons là où il est nécessaire, en inversant le sens de la géométrie. Retourne la trame de données du réseau doublé.

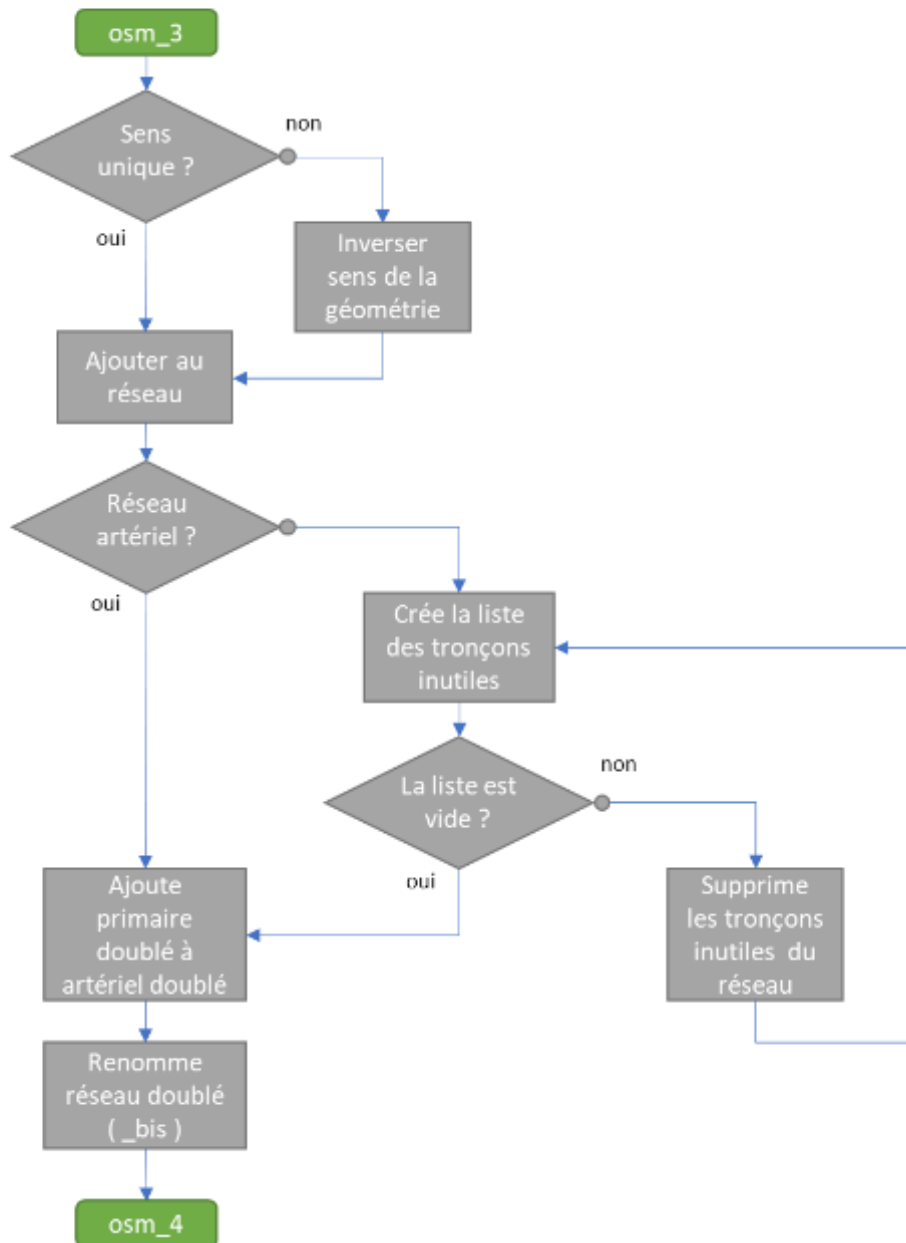


Figure 11-7. Algorithme - Doubler le réseau

Séquencer le réseau

Ordonne les tronçons successifs sur chaque variante de route. Il peut exister plusieurs variante par référence puisque plusieurs départs sont possibles. Retourne la trame de données du réseau séquencé.

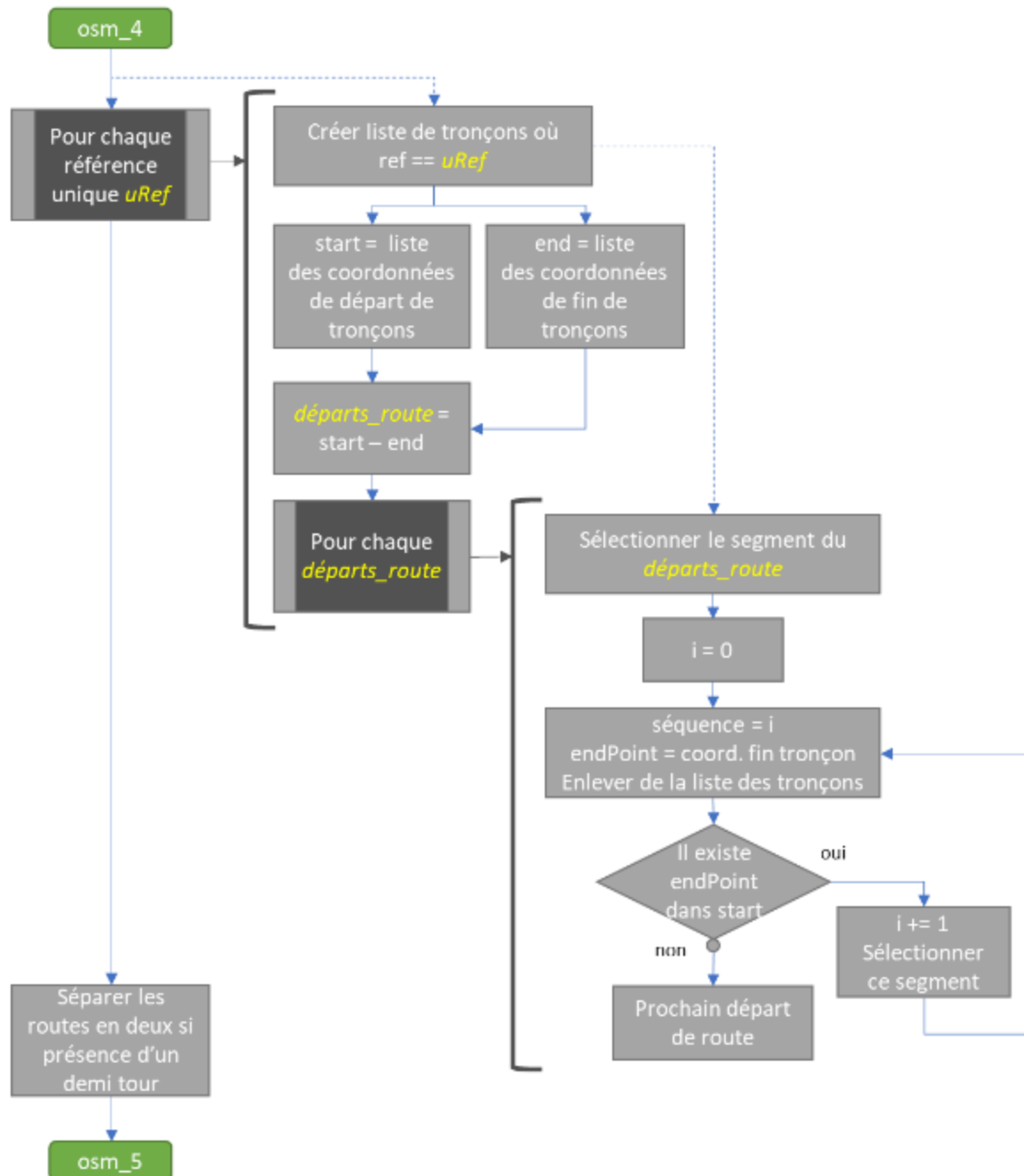


Figure 11-8. Algorithme - Séquencer le réseau

Ajouter de l'information

Fait correspondre la géométries avec le réseau d'Adresse Québec pour l'ajout des informations de nombre de voie et de limite de vitesse. Retourne la trame de données du réseau enrichi de nouveaux champs.

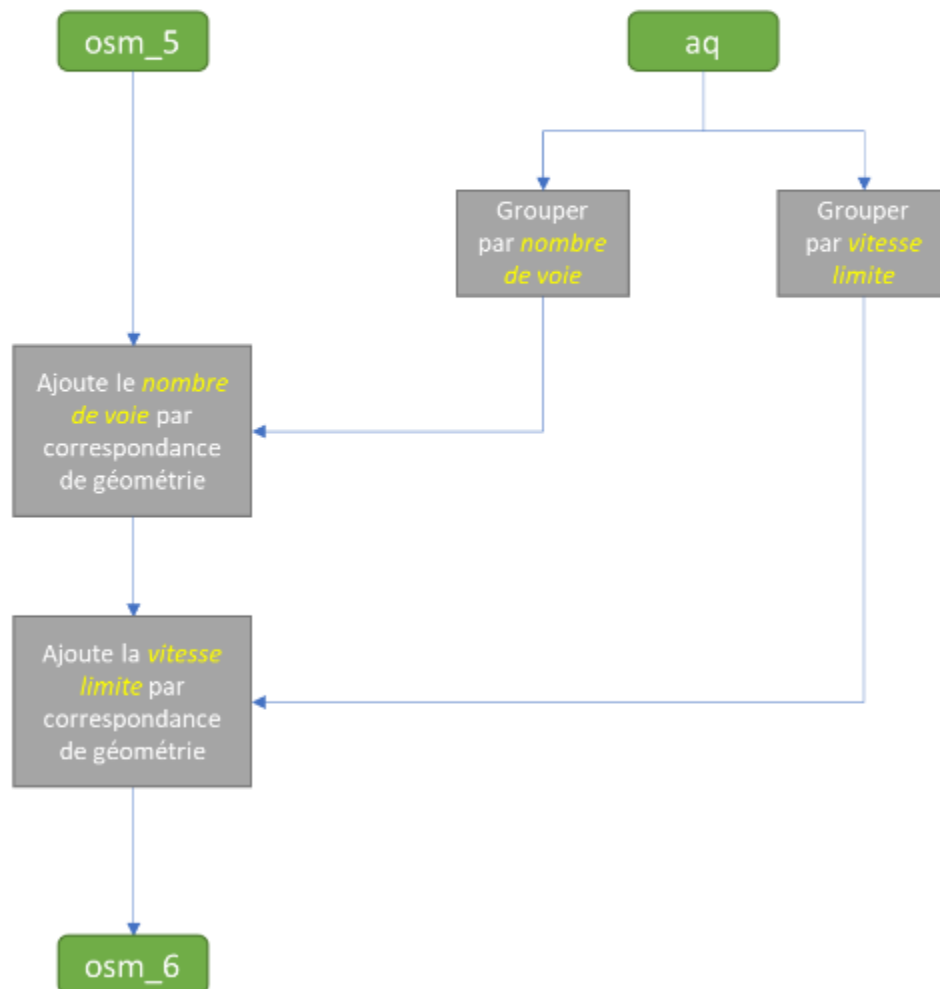


Figure 11-9. Algorithme - Ajouter de l'information

Segmenter le réseau

Fusionne les segments successifs suivant une liste de règles (sens et type de route, nombre de voie, vitesse limite, départs...). Retourne la trame de données du réseau segmenté.

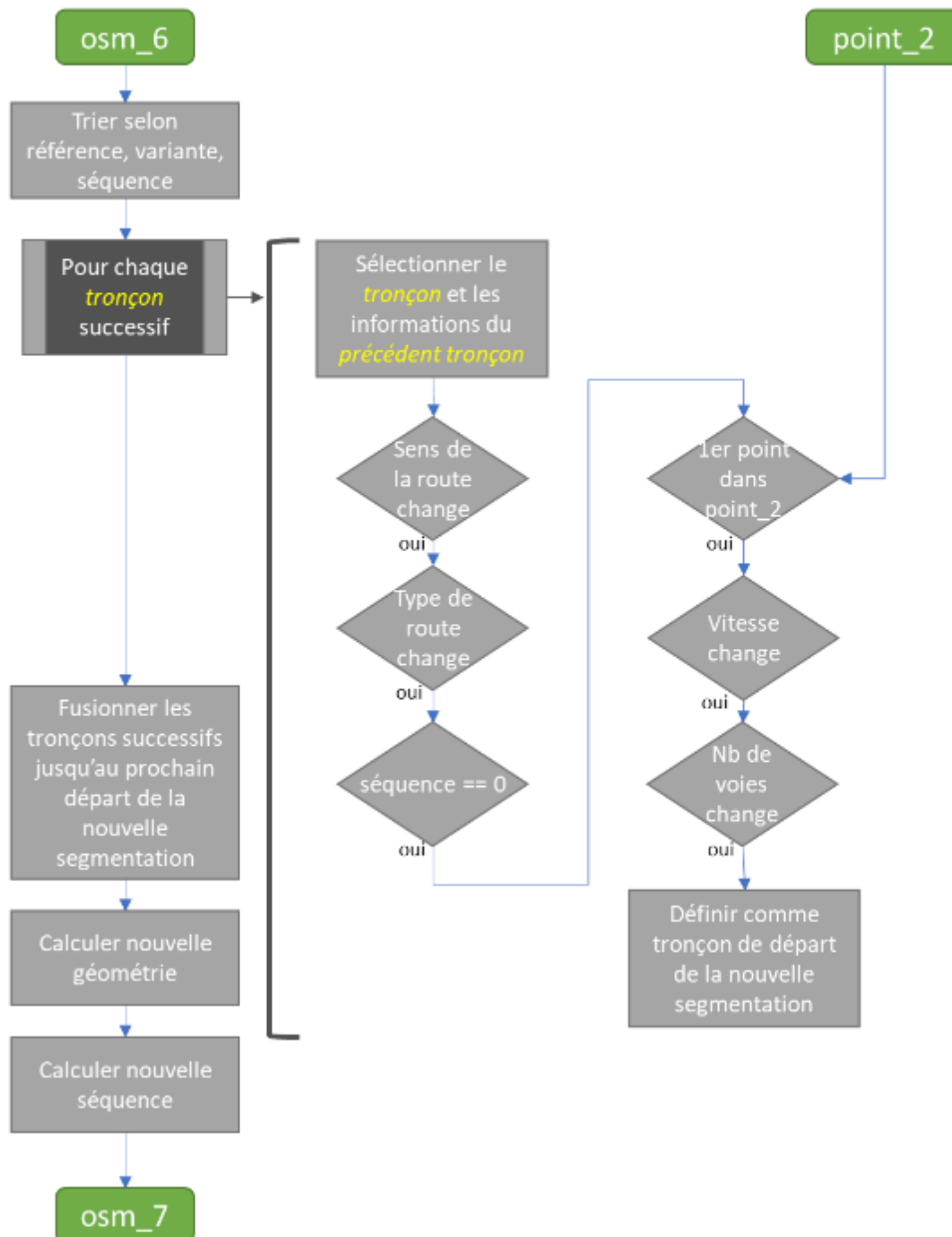


Figure 11-10. Algorithme - Segmenter le réseau

Calculer les propriétés

Calcule et ajoute des informations d'azimut, de présence de jonction à la fin du tronçon, de direction et de longueur. Retourne la trame de données du réseau osc2ar.

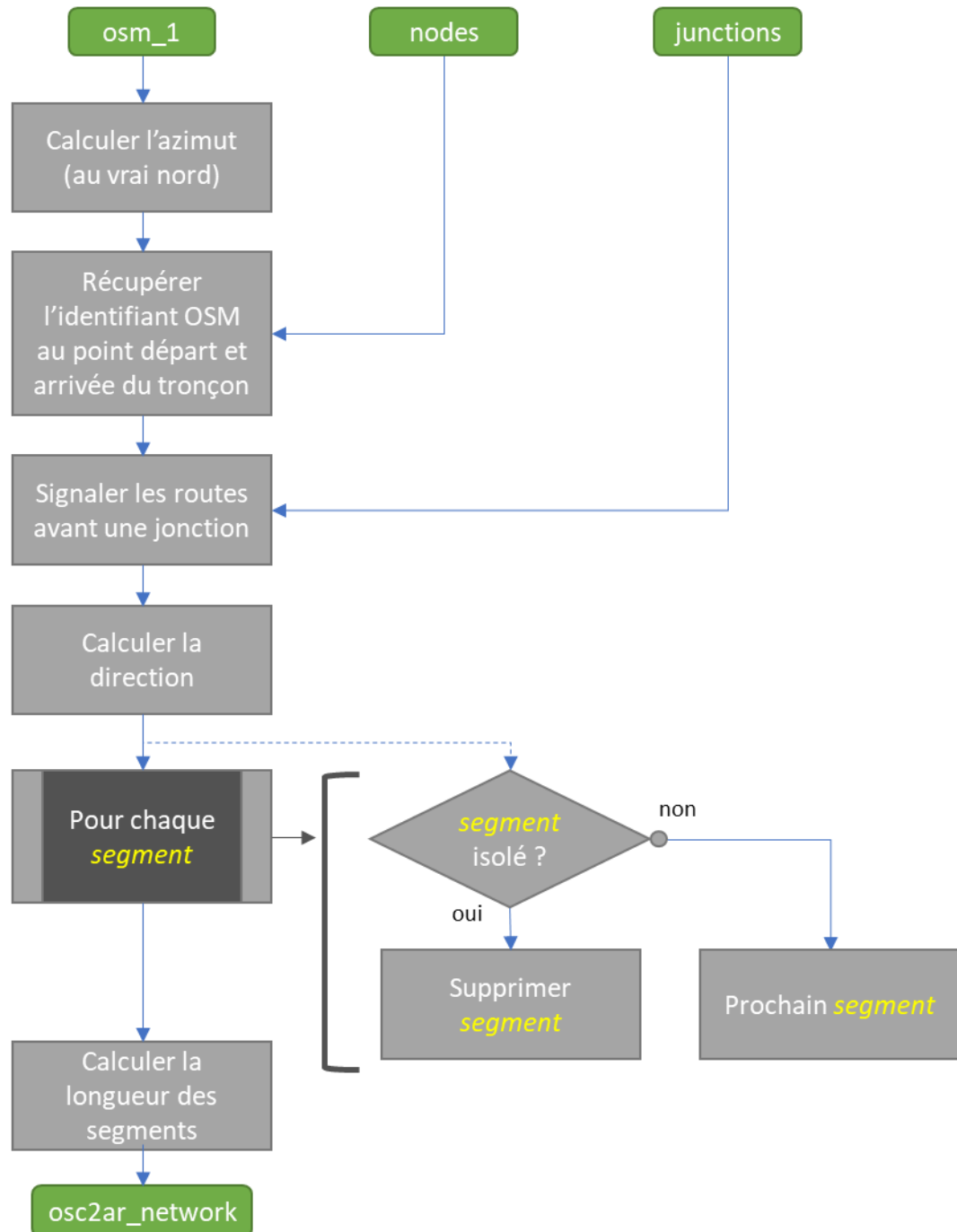


Figure 11-11. Algorithme - Calculer les propriétés

Préparer les données OSC2AR

Génère les trames de données de vitesse, de comptage, de file d'attente, d'évènement, d'endroit et de conditions météorologique

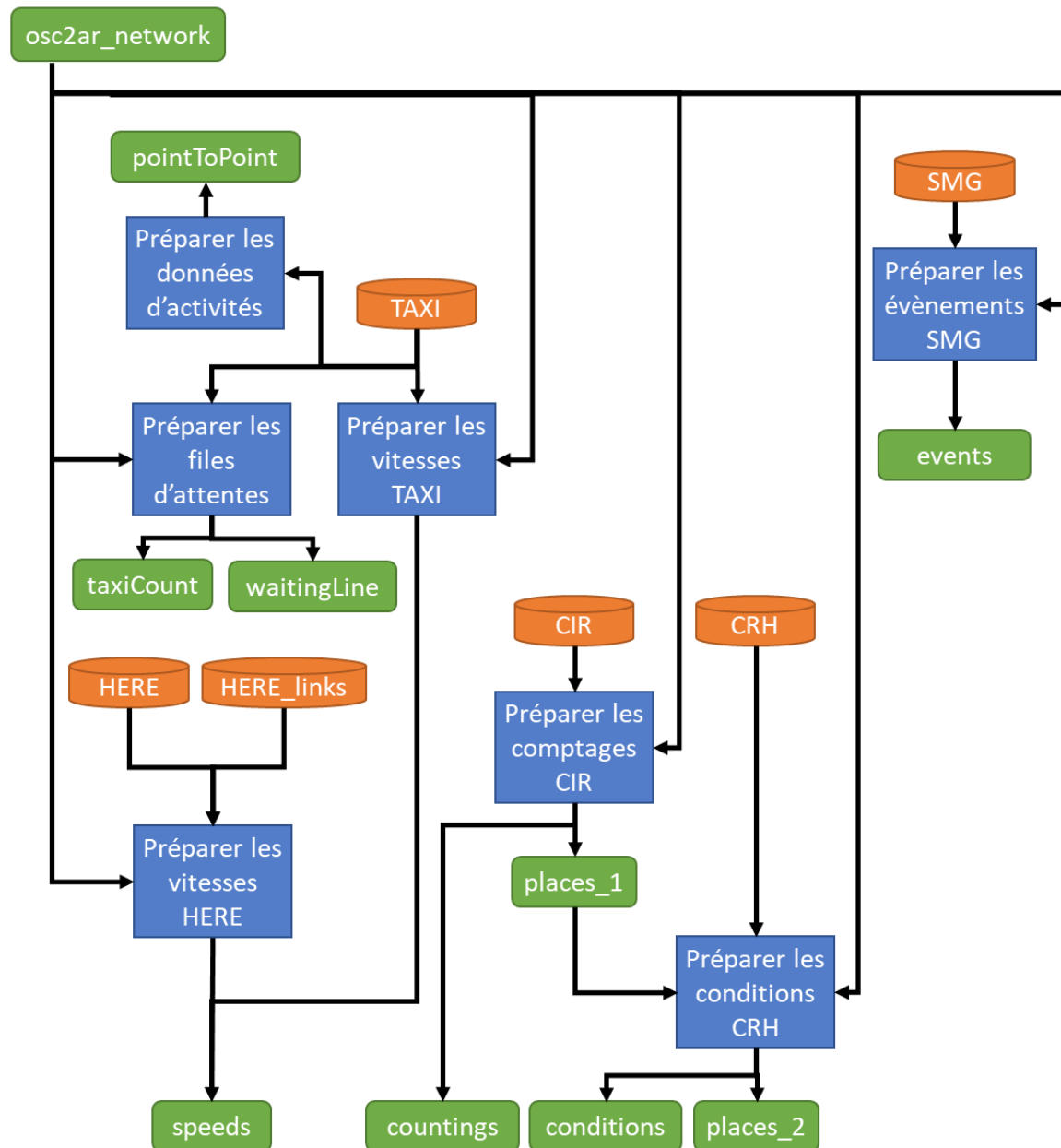


Figure 11-12. Algorithme - Préparer les données OSC²AR

Préparation des vitesses TAXI

Regroupe les vitesses spatiale des taxis observées pour chaque tronçon du réseau osc2ar, pour chaque horodatage aux 15 minutes. Calcule la moyenne des vitesses et le nombre d'observations. Retourne la trame des vitesses agrégées en boîtes de 5 km/h

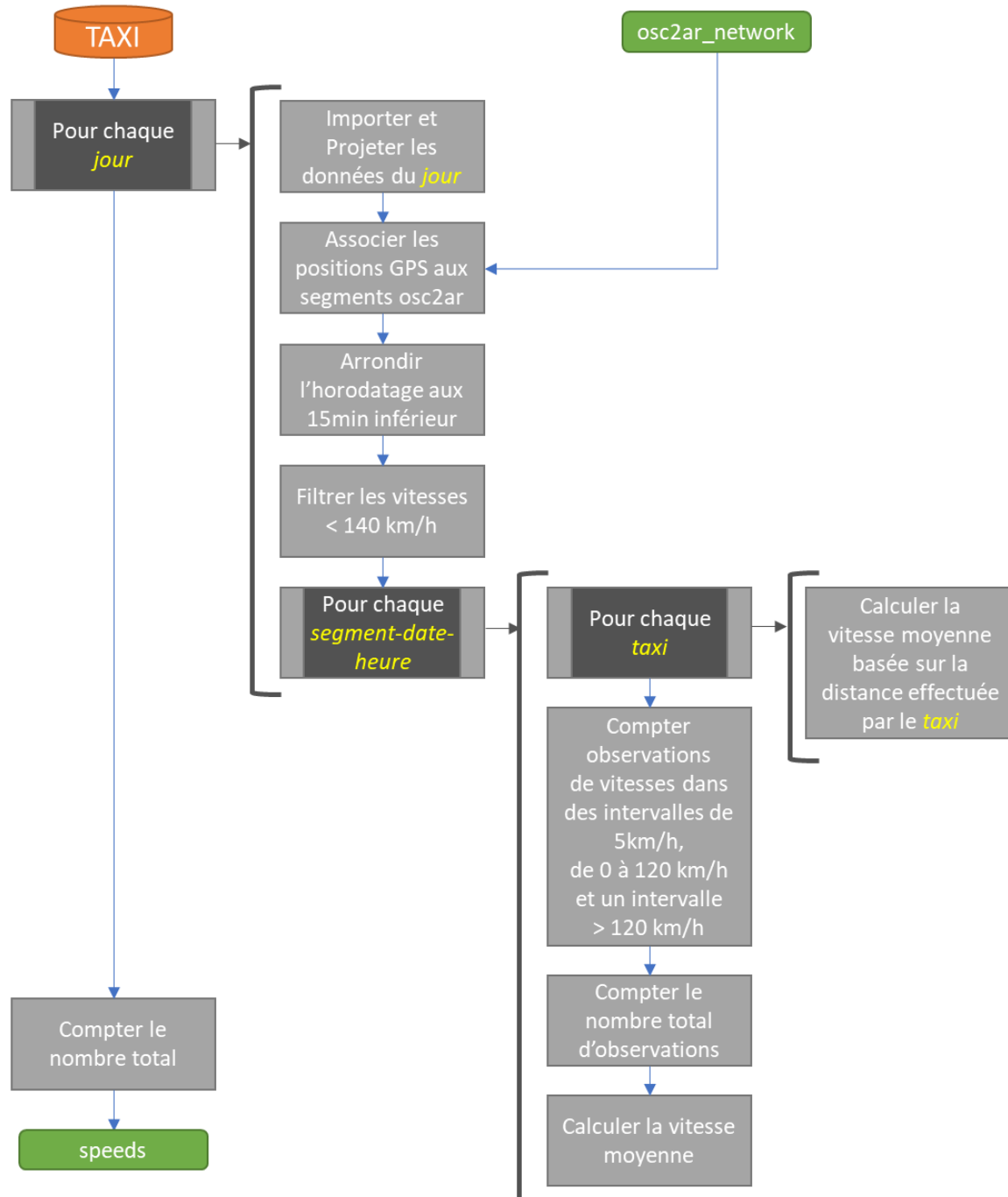


Figure 11-13. Algorithme - Préparer les vitesses Taxi

Préparation des vitesses HERE

Estime puis regroupe les vitesses HERE observées pour chaque tronçon du réseau osc2ar, pour chaque horodatage aux 15 minutes. Calcule la moyenne des vitesses et le nombre d'observations. Retourne la trame des vitesses agrégées en boîtes de 5 km/h

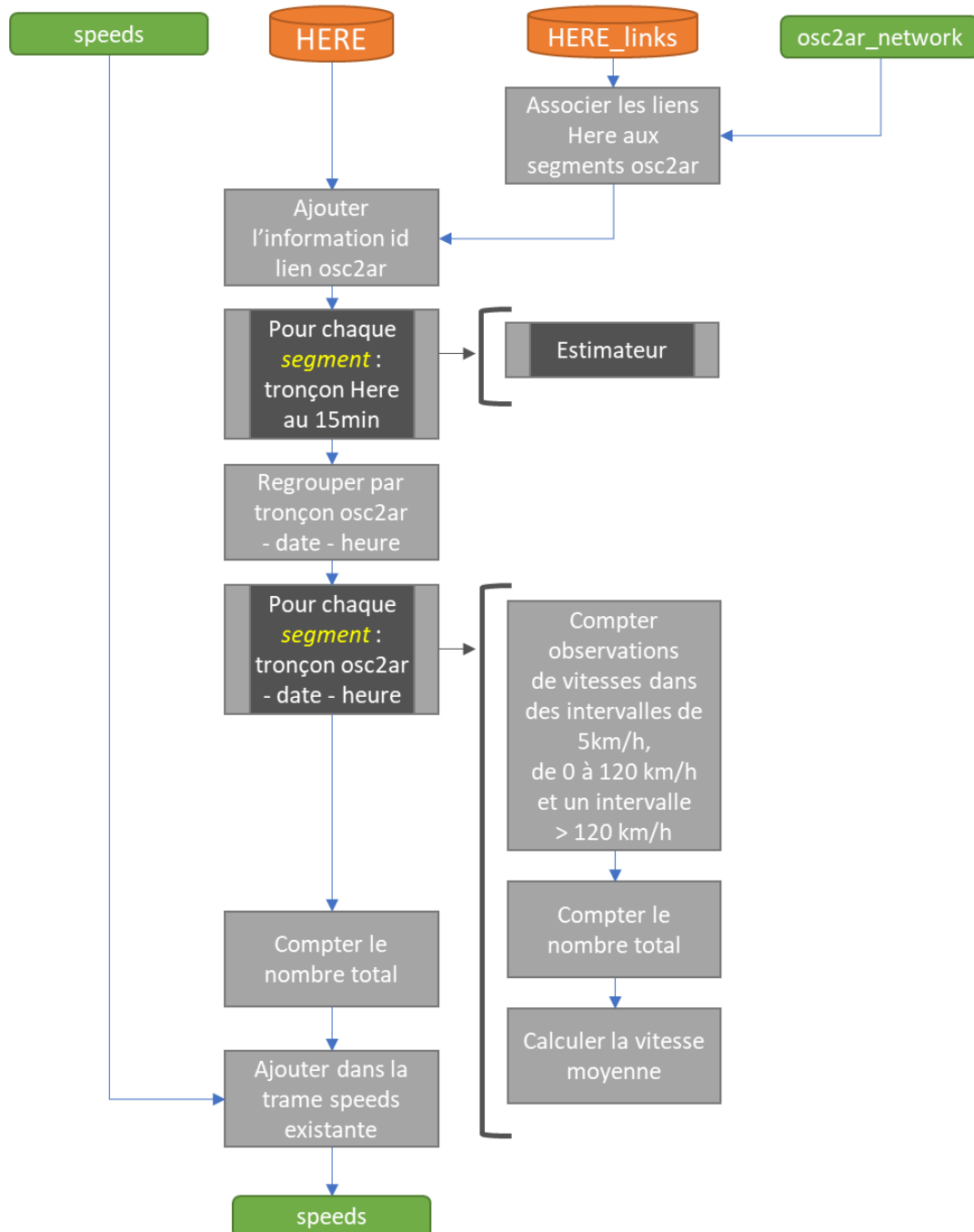


Figure 11-14. Algorithme - Préparer les vitesses HERE

Estimateur

Génère une liste de vitesses estimées à partir des centiles, de la moyenne et du nombre d'observations.

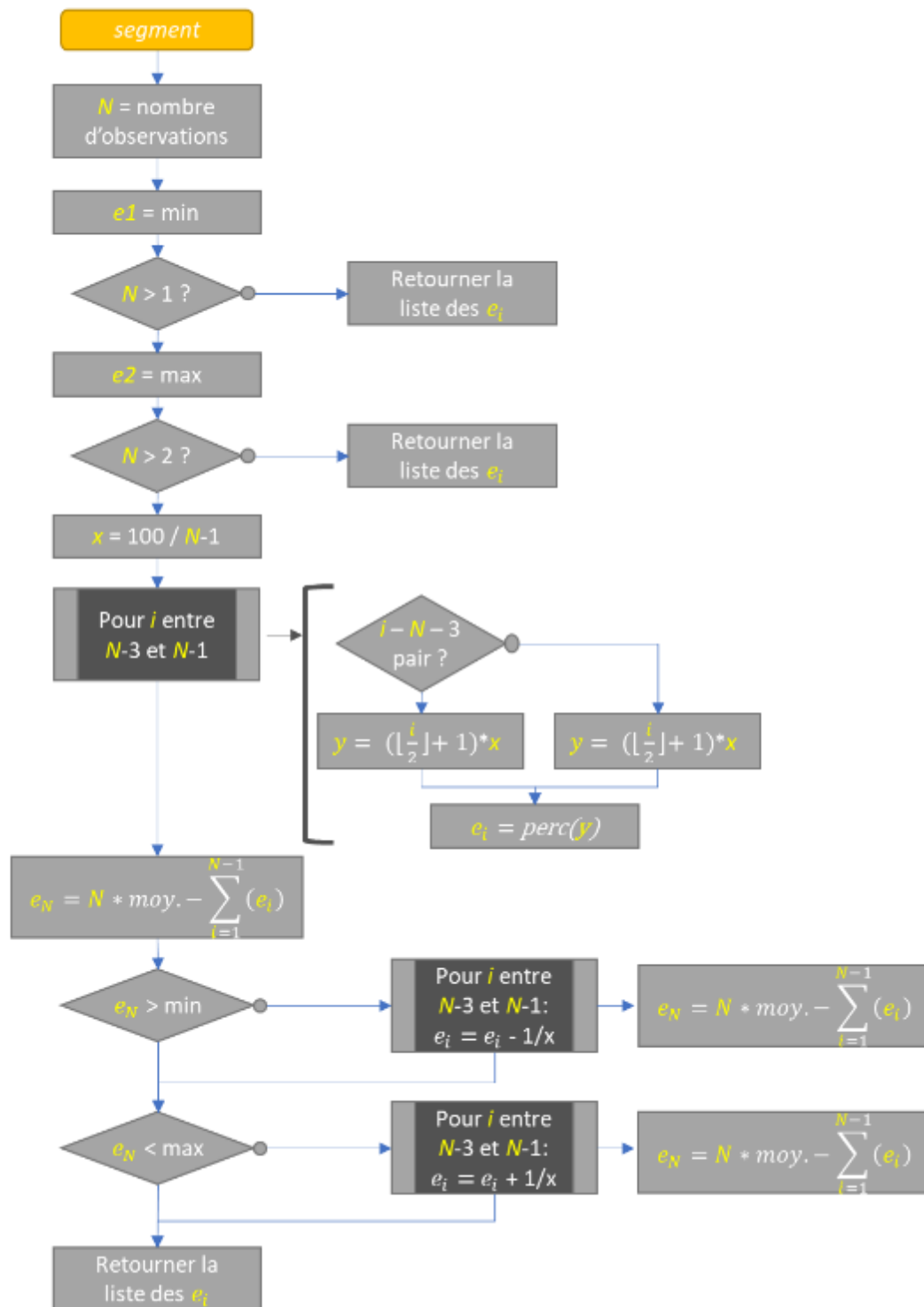


Figure 11-15. Algorithme - Estimateur d'ensemble de vitesse

Préparation des comptages CIR

Corrige la géométrie de CIR, supprime les doublons et applique une correspondance géographique entre les données CIR et le réseau osc2ar afin de générer les trames de données de comptage et d'endroit.

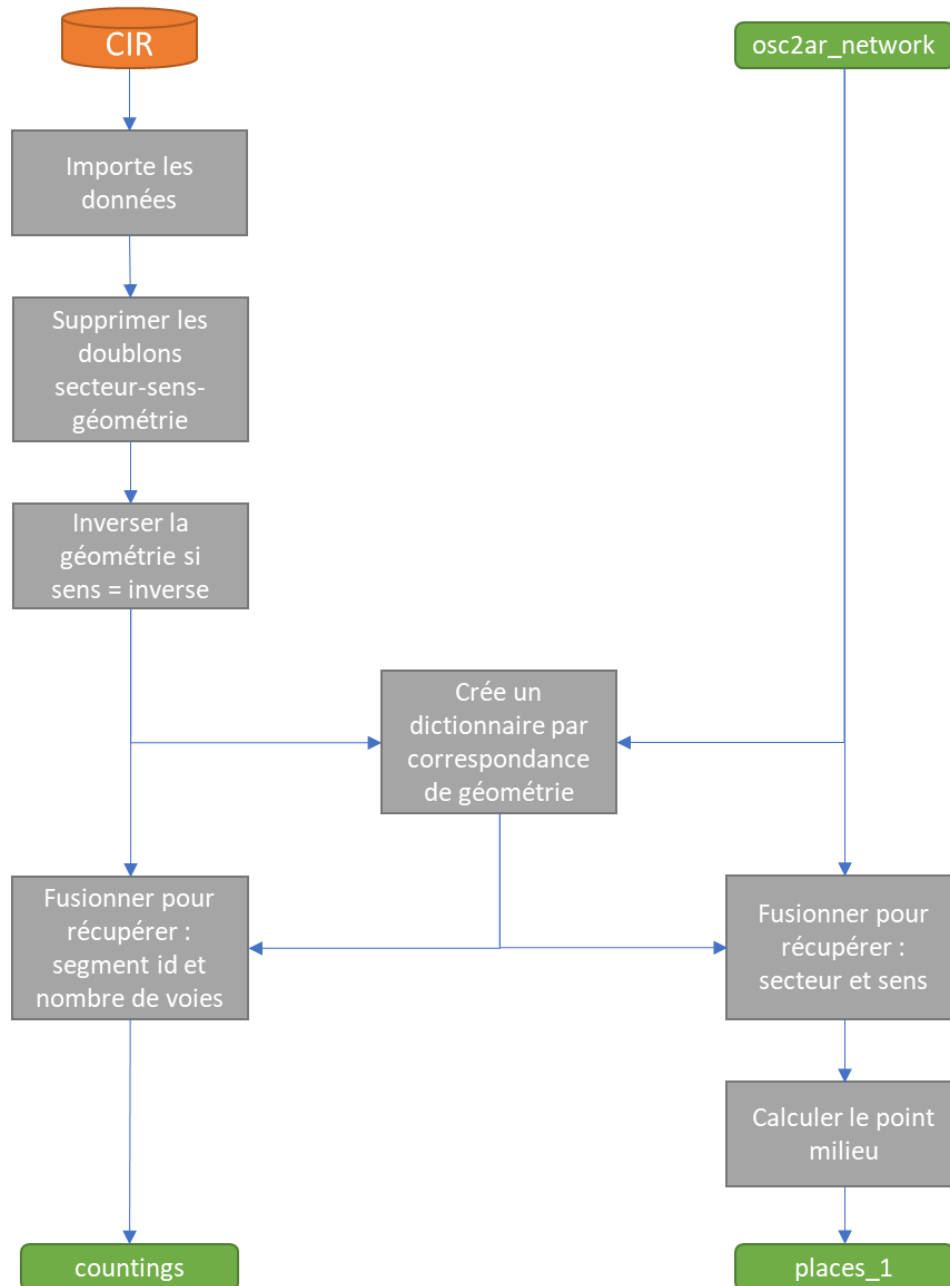


Figure 11-16. Algorithme - Préparer les comptages CIR

Préparation des conditions CRH

Applique une correspondance géographique entre les données CRH et le réseau osc2ar, afin de générer les trames de données de conditions et d'endroit.

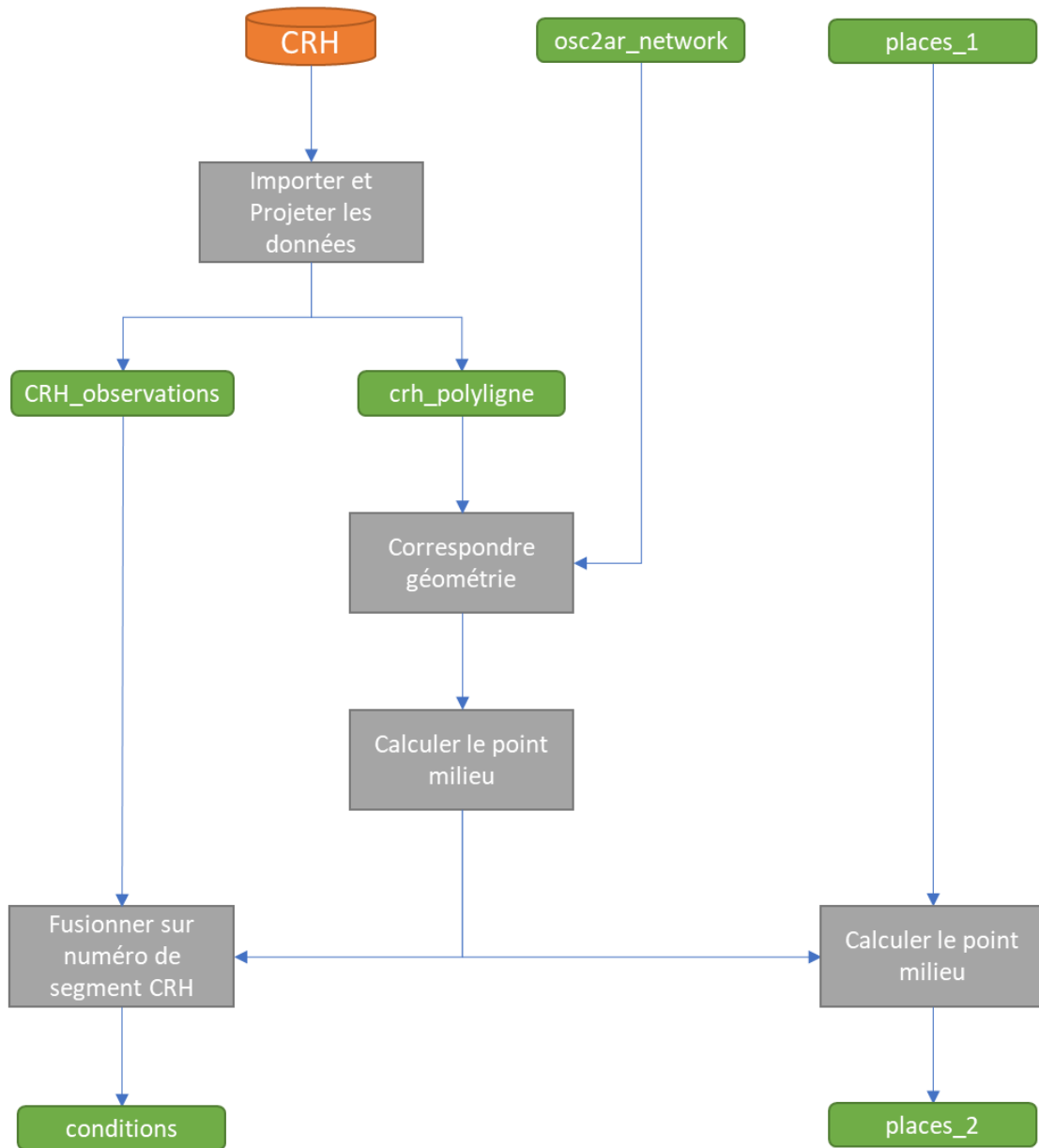


Figure 11-17. Algorithme - Préparer les conditions CRH

Préparer les événements SMG

Applique une correspondance géographique entre les données SMG et le réseau osc2ar afin de générer la trame de données des événements.

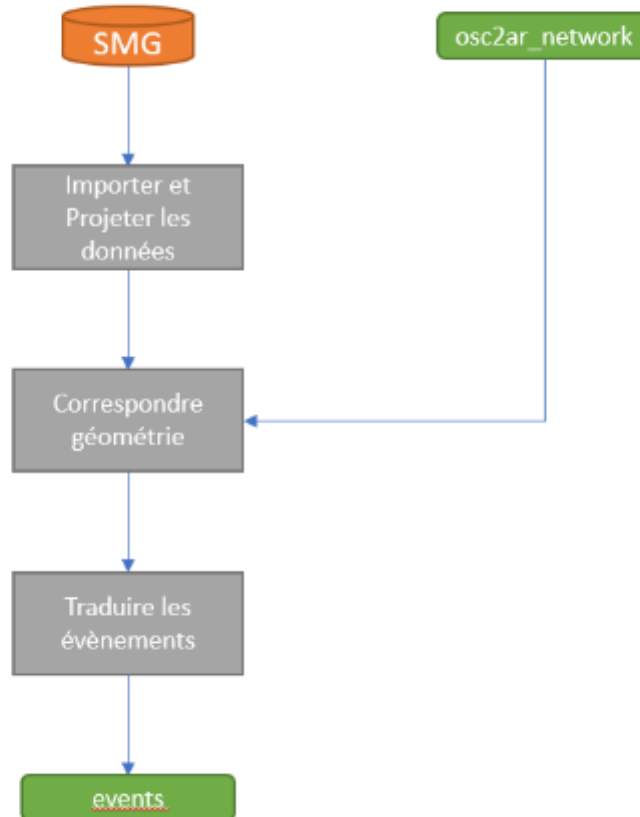


Figure 11-18. Algorigramme - Préparer les événements SMG

Exporter les données

Exporte les différentes trames de données dans PostgreSQL afin d'y avoir accès à partir de l'outil osc2ar.

Ordre

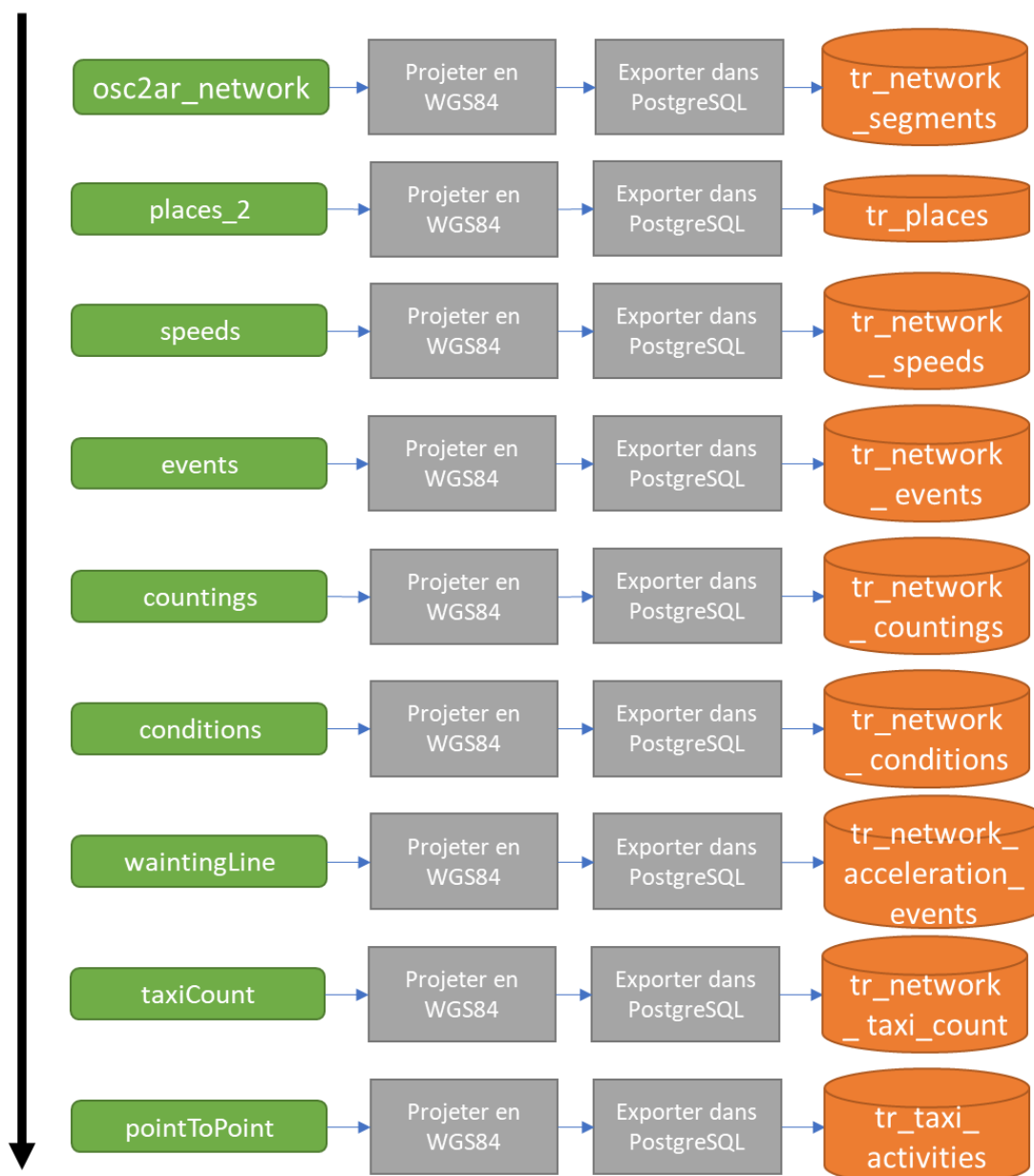


Figure 11-19. Algorithme - Exporter les données

11.3 Analyse des microévénements de files d'attentes

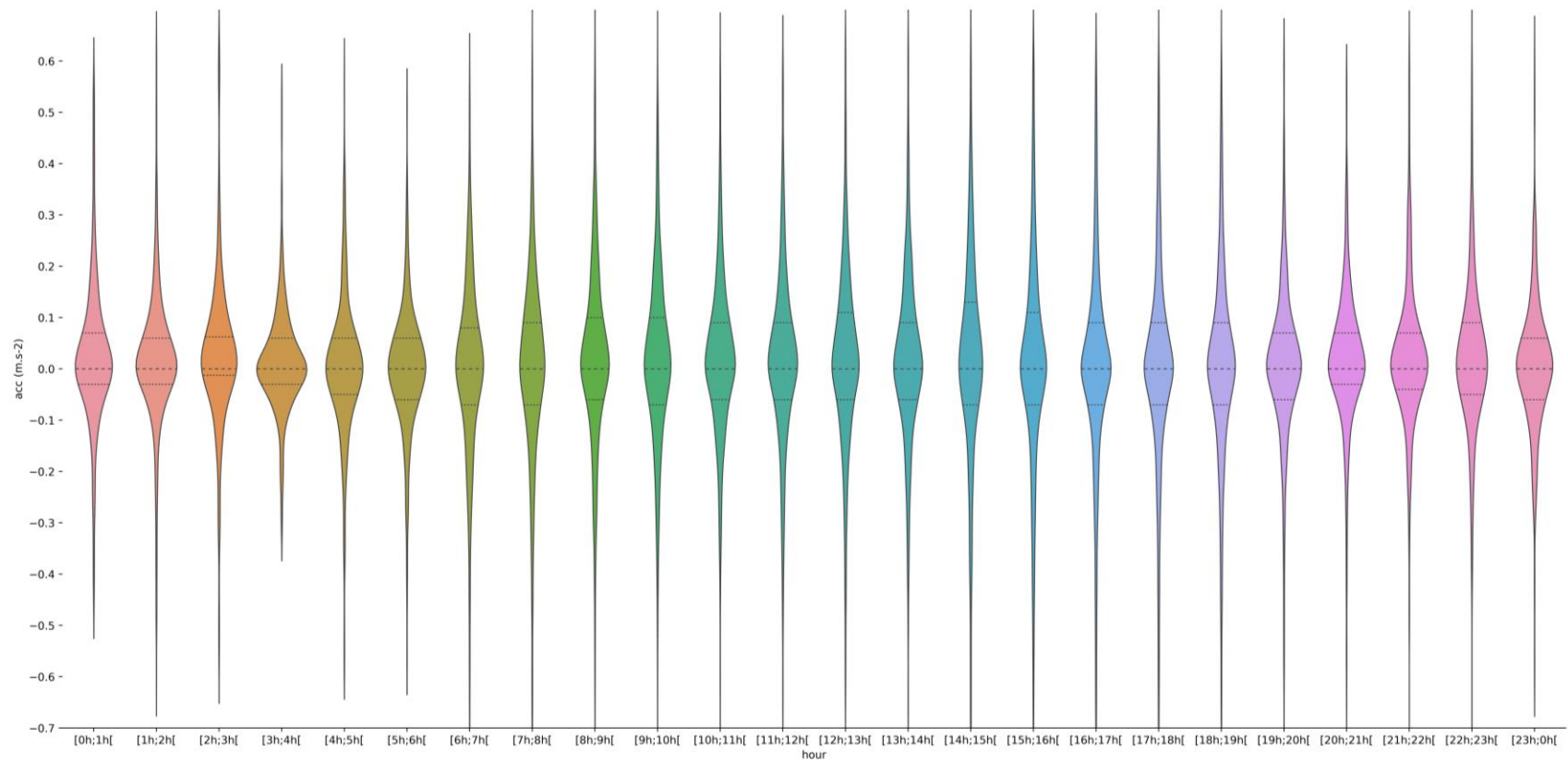


Figure 11-20. Distribution des accélérations des microévénements, A13 Nord janvier 2019

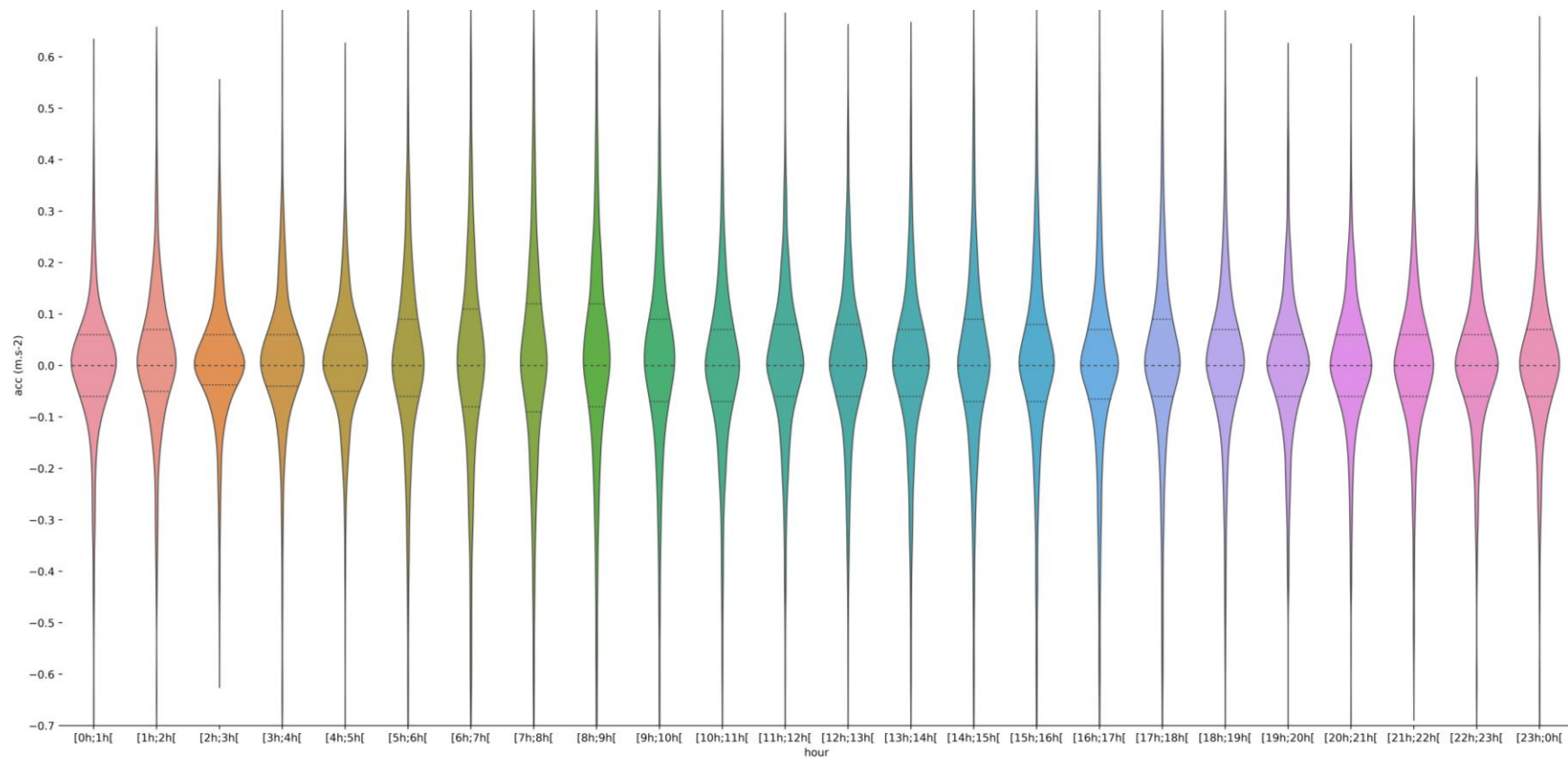


Figure 11-21. Distribution des accélérations des microévénements, A13 Sud janvier 2019

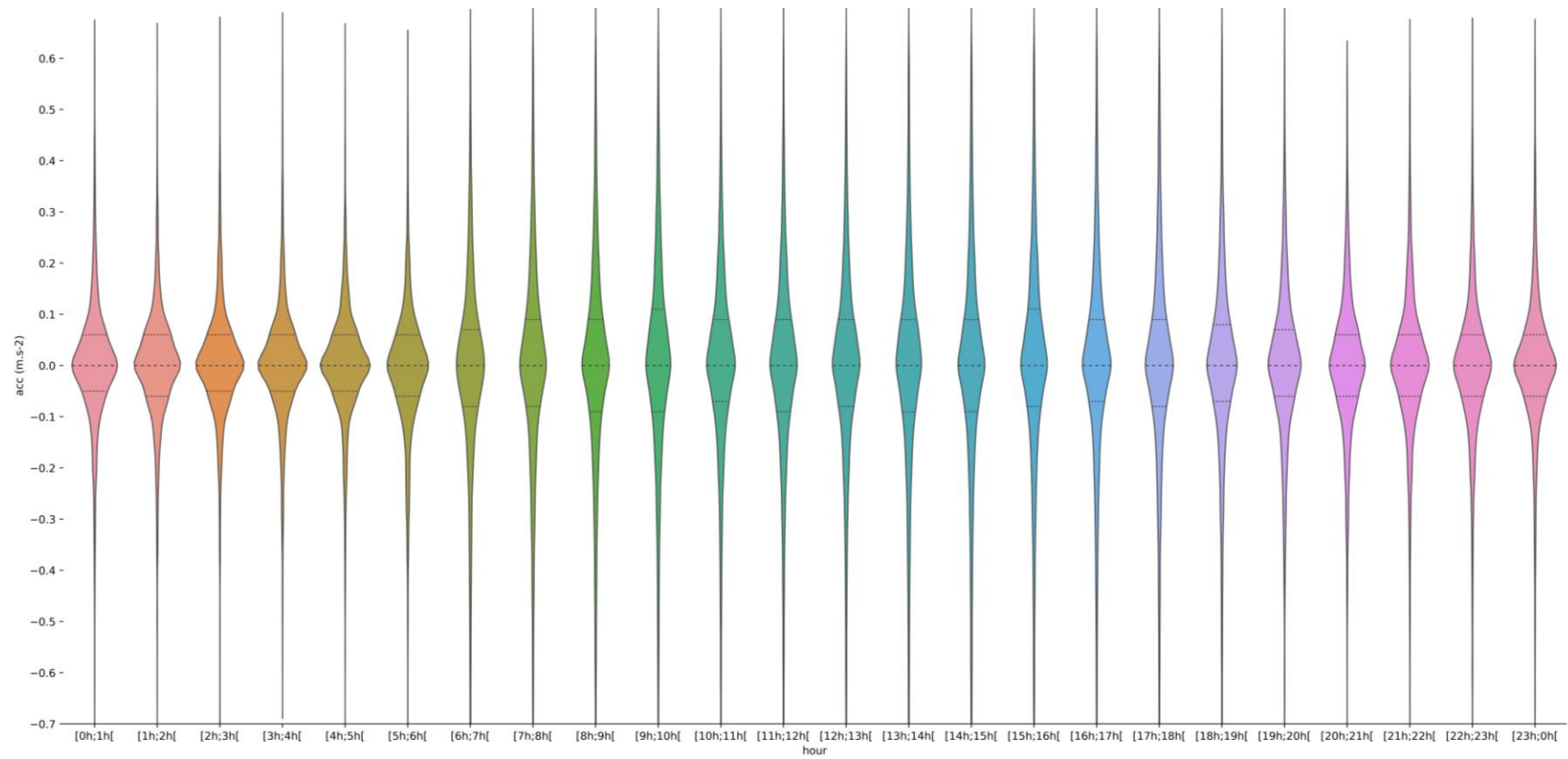


Figure 11-22. Distribution des accélérations des microévénements, A15 Nord janvier 2019

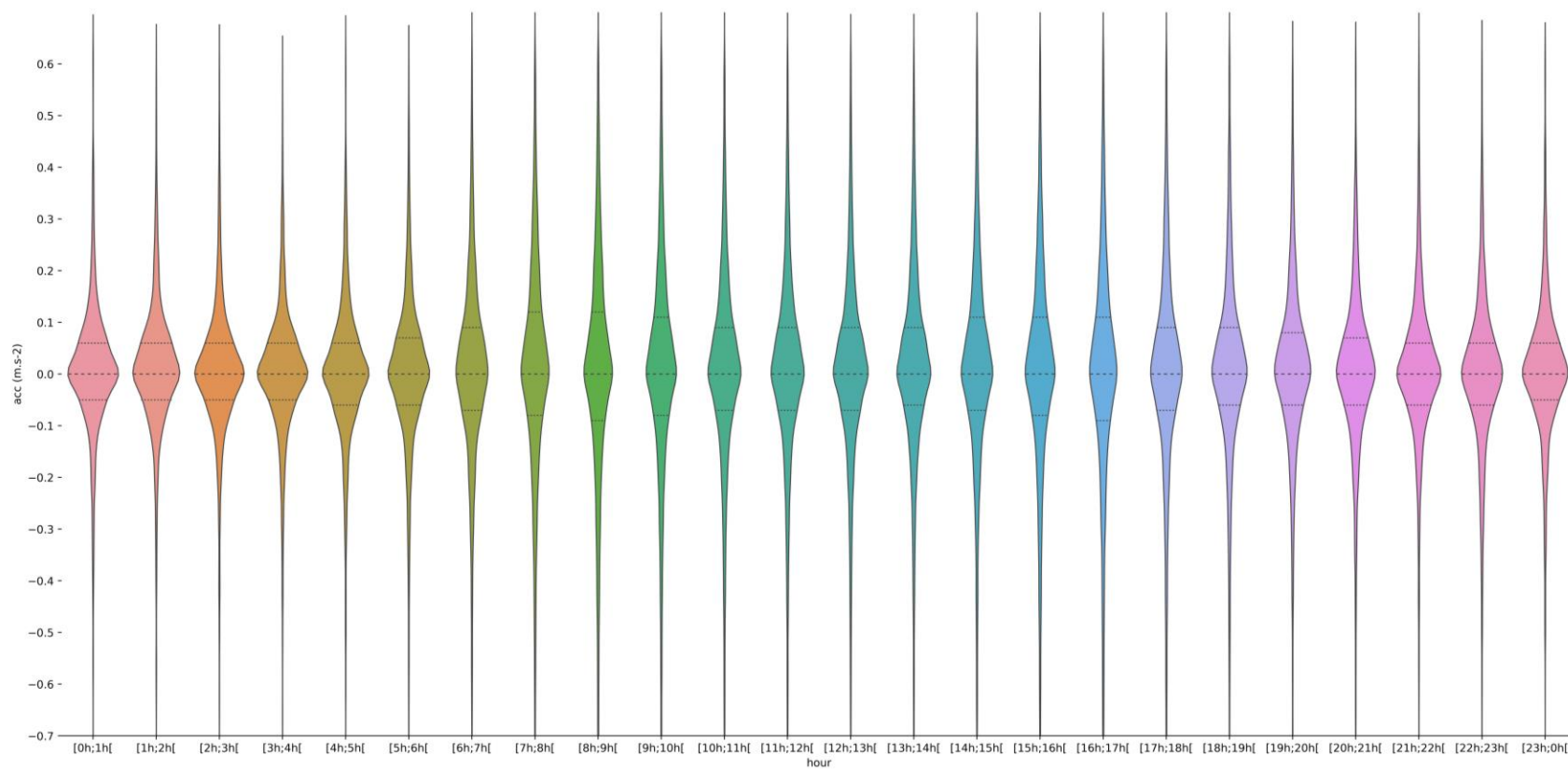


Figure 11-23. Distribution des accélérations des microévénements, A15 Sud janvier 2019

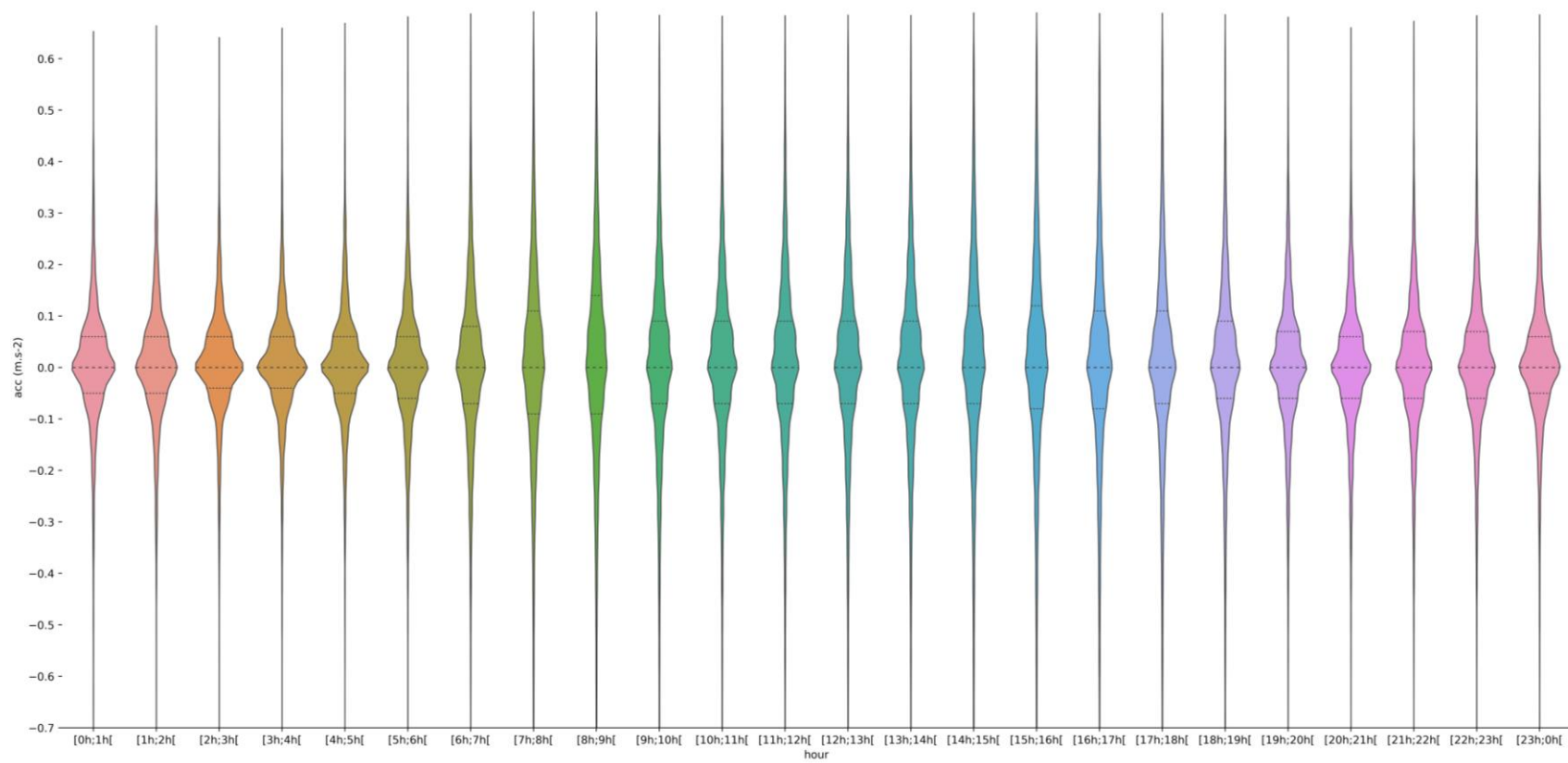


Figure 11-24. Distribution des accélérations des microévénements, A40 Est janvier 2019

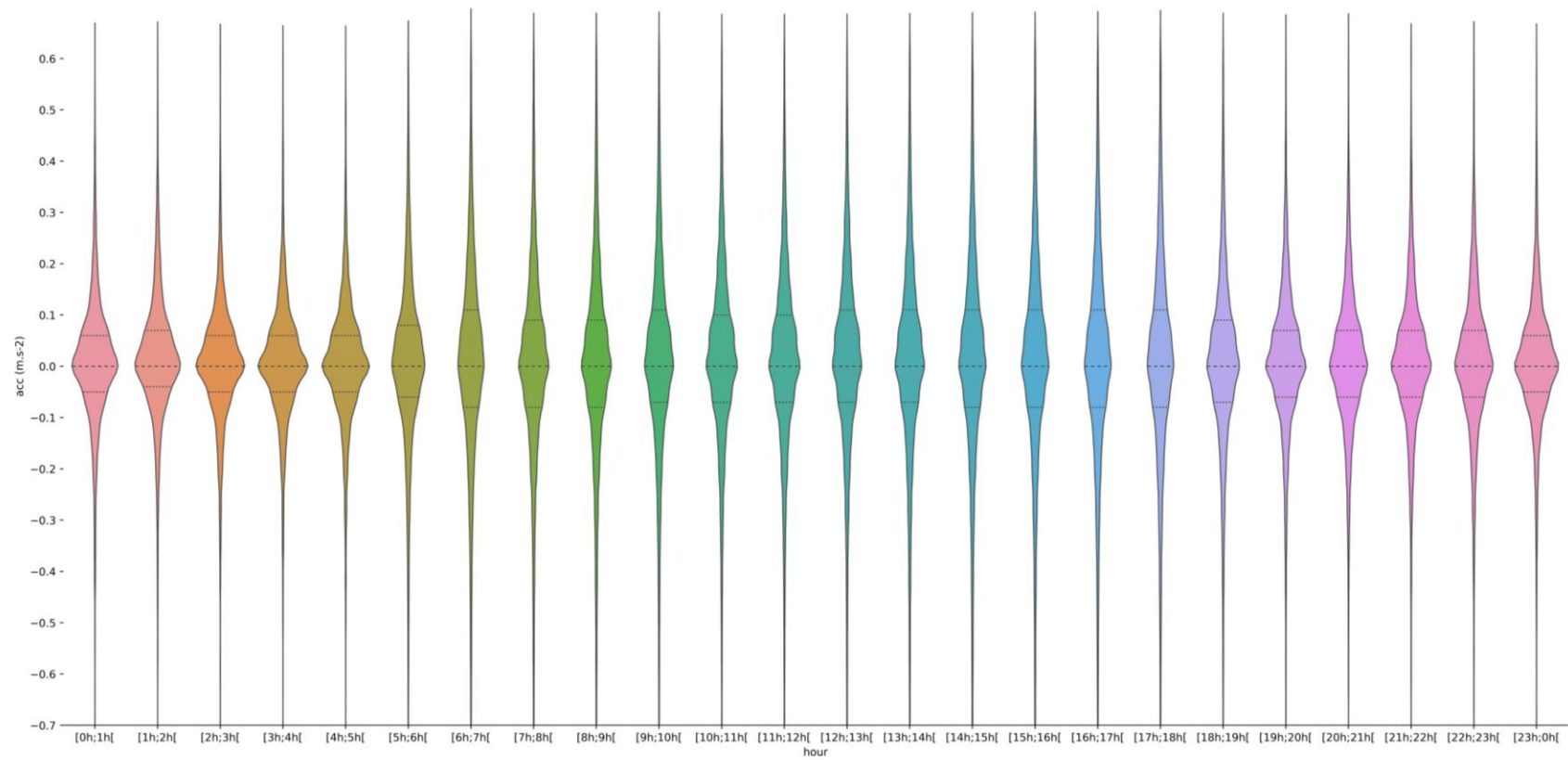


Figure 11-25. Distribution des accélérations des microévénements, A40 Ouest janvier 2019