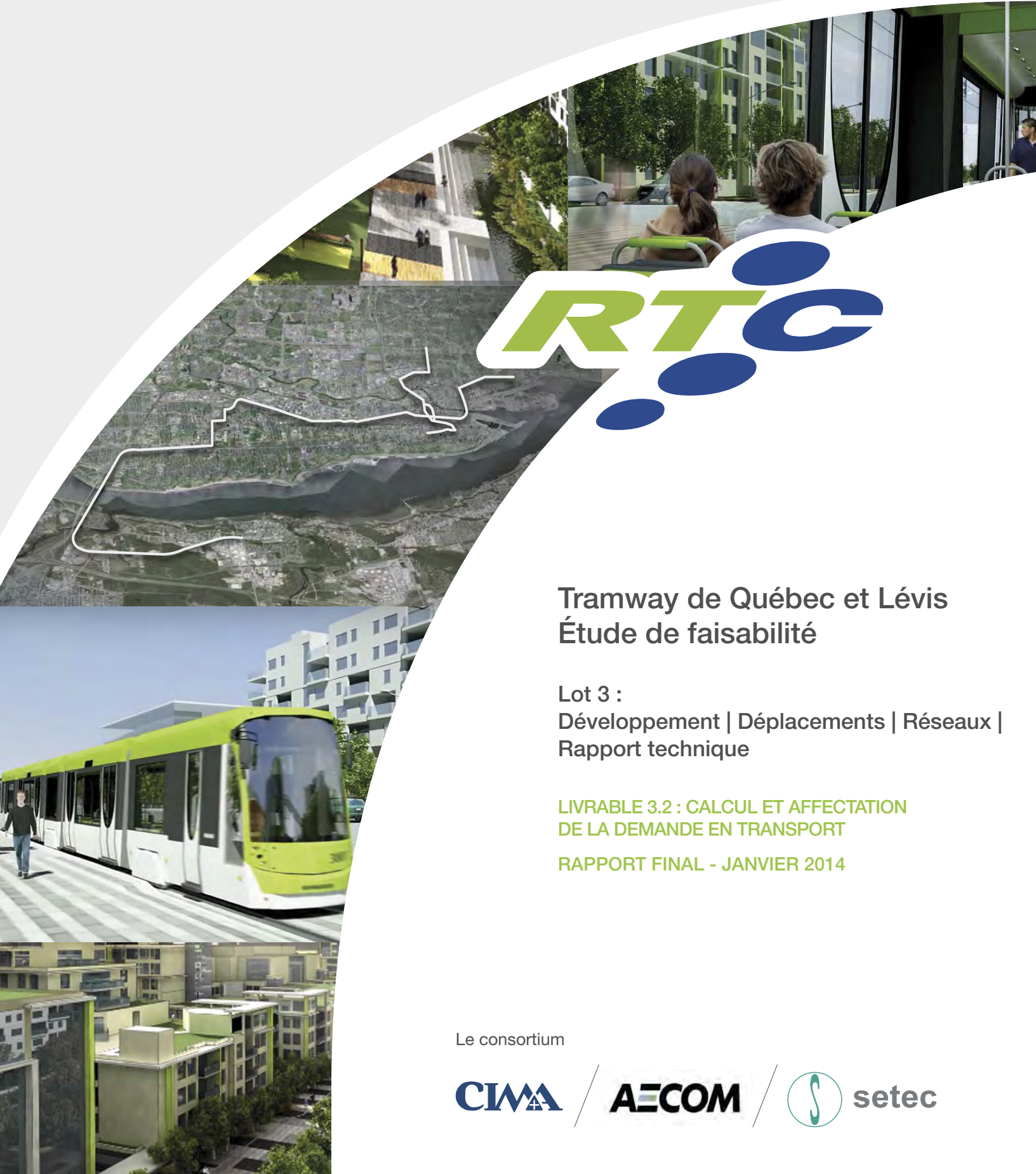




Tramway de Québec et Lévis Étude de faisabilité

Lot 3 :
Développement | Déplacements | Réseaux |
Rapport technique

LIVRABLE 3.2 : CALCUL ET AFFECTATION
DE LA DEMANDE EN TRANSPORT

RAPPORT FINAL - JANVIER 2014

Le consortium



setec

Tramway de Québec et de Lévis – Étude de faisabilité – Lot 3

Élaboration des prévisions d'achalandage

Rapport final du Lot 3.2

Version : E00

Janvier 2014

Signatures

Rapport préparé par :

Gabriel Cadieux, ing. Jr.
Florian Peignier, ing.
Caroline Cayzac, ing.
Aurélie Champenois, ing.
Patrick Bteich, ing.

Rapport vérifié par :



Didier Revillon, ing.

Le 21/01/2014

Rapport approuvé par :



Frédéric Lamarche, ing., MBA

Le 21/01/2014

Table des matières

1	Introduction	1
1.1	Contexte/Objectifs du livrable.....	1
1.2	Plan du livrable	3
2	Méthodologie de prévision	5
2.1	Logigramme de mise au point du modèle : phase de calage	6
2.2	Logigramme d'utilisation du modèle : réalisation des prévisions.....	7
3	Calage du modèle multimodal	9
3.1	Calage du modèle routier	9
3.1.1	Construction du réseau 2011 sous EMME.....	9
3.1.2	Construction de la demande de transport 2011	9
3.1.3	Calage du modèle VP selon les débits.....	11
3.1.4	Calage selon les temps de parcours	15
3.2	Calage du modèle de transports collectifs.....	15
3.2.1	Construction du réseau 2011 sous TransCAD (situation de calage).....	15
3.2.1.1	Zonage.....	16
3.2.1.2	Réseau de voirie	16
3.2.1.3	Tracé des lignes et fréquences	16
3.2.2	Calage en temps de parcours	19
3.2.2.1	Temps d'arrêt moyens en station	19
3.2.2.2	Temps de parcours entre stations.....	19
3.2.2.3	Temps de parcours de terminus à terminus	19
3.2.3	Paramètres du modèle de transports collectifs	21
3.2.3.1	Codification des fréquences	21
3.2.3.2	Variables utilisées pour la recherche de chemins	21
3.2.3.3	Procédures d'affectation	21
3.2.3.4	Prise en compte des troncs communs	22
3.2.4	Calage en achalandage	22
3.2.4.1	Coefficients utilisés pour le calage	24
3.2.4.2	Critère d'ajustement	25
3.2.4.3	Les résultats du calage en débit.....	26
3.2.4.4	Calage en correspondances de mode à mode	31
3.2.4.5	Comparaison des résultats de l'enquête aux comptages.....	33
3.2.4.6	Affectations sur le réseau.....	37
3.2.5	Conclusion	38
3.3	Calage du modèle de choix modal	38
3.3.1	Type de modèle utilisé.....	38
3.3.2	Alternatives retenues et forme des modèles.....	40
3.3.3	Variables retenues pour les différentes fonctions d'utilité	41

3.3.3.1	Offre de transport	41
3.3.3.2	Prise en compte du stationnement.....	42
3.3.3.3	Autres variables figurant dans les fonctions d'utilité.....	43
3.3.4	Ajustement des différentes formulations et choix pour la phase de prévision.....	44
4	PREVISION DE LA DEMANDE AU FIL DE L'EAU	49
4.1	Préambule	49
4.2	Développement urbain dans les zones actuellement inhabitées.....	49
4.2.1	Méthode	49
4.2.2	Zones concernées	50
4.3	Évolution des paramètres de Population, statut d'occupation et motorisation.....	56
4.3.1	Principe et validation de la procédure	56
4.3.2	Évolution démographique.....	57
4.3.3	Évolution du statut d'occupation	57
4.3.3.1	Calcul de la variable représentant le statut d'occupation	57
4.3.3.2	Évolution du taux d'activité.....	58
4.3.3.3	Calcul des facteurs d'évolution du statut d'occupation.....	58
4.3.4	Évolution de la motorisation.....	59
4.3.4.1	Calcul de la variable représentant la motorisation des individus	59
4.3.4.2	Éléments de motorisation pour l'enquête OD 2011.....	59
4.3.4.3	Hypothèses d'évolution de la motorisation.....	60
4.4	Redistribution des destinations associées aux déplacements pour motif Travail	61
4.5	Résultats de la demande au fil de l'eau avec tramway	68
4.5.1	Résultats par classe d'âge.....	68
4.5.1.1	Structure démographique.....	68
4.5.1.2	Déplacements par classe d'âge	69
4.5.2	Résultats par période	70
4.5.3	Résultats par mode.....	71
4.5.3.1	Déplacements journaliers.....	71
4.5.3.2	Période de Pointe du Matin.....	73
4.5.4	Résultats par motif	75
4.6	Résultats de la demande au fil de l'eau 2041 sans tramway	77
4.7	Conclusion sur la prévision de la demande	80
5	PREVISIONS D'ACHALANDAGE	83
5.1	Description des scénarios étudiés.....	83
5.1.1	Scénarios d'offre en transports collectifs	83
5.1.1.1	Modifications du réseau futur sans tramway	89
5.1.1.2	Modifications du réseau futur avec tramway	93
5.1.2	Scénario d'offre de stationnement	97
5.1.3	Stationnement incitatif	102
5.1.3.1	Les sites potentiels pour le développement des POB rive-nord.....	102

5.1.3.2	Les sites potentiels pour le développement des POB rive-sud	105
5.1.4	Scénarios d'offre routière	105
5.1.4.1	Modifications du réseau futur sans tramway	105
5.1.4.2	Modifications du réseau futur avec tramway	106
5.1.5	Hypothèses de prise en compte dans le transfert modal	108
5.1.6	Bouclage des temps de parcours routiers	110
5.2	Résultats de choix modal dans les scénarios avec et sans tramway	110
5.2.1	Résultats globaux	110
5.2.2	Résultats par zones regroupées	117
5.3	Achalandage en transports collectifs dans les scénarios avec et sans tramway	122
5.3.1	Résultats d'achalandages du système de transports collectifs	122
5.3.2	Résultats d'achalandage du tramway	128
5.3.2.1	Fonctionnement des flux sur le tramway	128
5.3.2.2	Répartition entre les missions	129
5.3.2.3	Serpents de charge et capacité	130
5.4	Résultats des différentes variantes	132
5.4.1	Scénario sans tramway et BHNS à Lévis	133
5.4.2	Scénario avec tramway : schéma d'exploitation A (variante 1)	134
5.4.3	Scénario avec tramway : schéma d'exploitation B (variante 2)	134
5.4.4	Scénario avec tramway : schéma d'exploitation B (variante 3)	135
5.4.5	Scénario avec tramway : variante de cadencement des lignes de Lévis (variante 4)	135
5.4.6	Scénario avec tramway : variantes du nombre de stations à Lévis (var. 5 et 6)	136
5.4.7	Scénario avec tramway : schéma d'exploitation C – variante de tracé à Limoilou (var. 8)	137
5.4.8	Synthèse des différentes variantes	138
5.5	Résultats des affectations routières	141
5.5.1	Augmentations générales de débits et temps de parcours	141
5.5.2	Taux de saturation	145
5.6	Déplacements sur les ponts (VP et TC)	146
5.6.1	Bilan Sans tramway (2011 et 2041)	146
5.6.2	Bilan – Scénario avec tramway – Pont de Québec à 3 voies	147
5.6.3	Bilan – Scénario avec tramway – Pont de Québec à 2 voies	147
5.6.4	Synthèse	148
6	CONCLUSIONS	149

Liste des figures

Figure 1-1 – Réseau de tramway proposé	1
Figure 2-1 – Principe général de modélisation.....	5
Figure 2-2 – Logigramme de mise au point du modèle.....	6
Figure 2-3 – Logigramme d'utilisation du modèle	8
Figure 3-1 – Logigramme du processus de construction de la demande de transport.....	10
Figure 3-2 – Localisation des fichiers de comptage utilisés pour le calage	12
Figure 3-3 – Débit sur les différents liens du réseau – 7h-8h.....	13
Figure 3-4 – Vérification des débits sur la ligne écran du fleuve Saint-Laurent.....	14
Figure 3-5 – Métrobus et Lévisien à la période de pointe du matin sur les axes routiers - calage (2011)	17
Figure 3-6 – Services eXpress à la période de pointe du matin sur les axes routiers - calage (2011).....	18
Figure 3-7 – Services leBus et lignes régulières de la STLévis à la période de pointe du matin sur les axes routiers – calage (2011).....	18
Figure 3-8 – Reconstitution des temps de parcours TC de la Pointe du Soir	20
Figure 3-9 – Reconstitution des temps de parcours TC de la Pointe du Matin.....	20
Figure 3-10 – Fréquentation quotidienne 2011 des 30 lignes les plus chargées.....	23
Figure 3-11 – Fréquentation à la période de pointe du matin 2011 des 30 lignes les plus chargées.....	23
Figure 3-12 – Reconstitution des trafics par ligne pour la période de pointe du matin	27
Figure 3-13 – Reconstitution des trafics par ligne pour la période de pointe du soir	29
Figure 3-14 – Reconstitution des trafics par ligne pour la période hors pointe jour	30
Figure 3-15 – Serpents de charge des lignes principales : comparaison modélisé / comptages (période de pointe du matin)	35
Figure 3-16 – Carte d'affectation, situation 2011, période de pointe du matin.....	37
Figure 3-17 – Carte d'affectation, situation 2011, période de pointe du soir.....	38
Figure 3-18 – Modèles hiérarchiques testés	40
Figure 3-19 – Coût moyen de stationnement mensuel OD 2001.....	42
Figure 3-20 – Modélisation du stationnement à horizon 2011	43
Figure 3-21 – Performances du modèle : modèle multinomial non-linéaire.....	45
Figure 4-1 – Zones réceptrices de ménagesensemencés 2011-2026.....	51
Figure 4-2 – Zones réceptrices de ménagesensemencés 2027 – 2041 – scénario avec Tram	52
Figure 4-3 – Zones réceptrices de ménagesensemencés 2027 – 2041 – scénario sans Tram	53
Figure 4-4 – Zones émettrices et réceptrices de ménages 2011-2026 – simplifié.....	54
Figure 4-5 – Zones émettrices et réceptrices de ménages 2026-2041 scénario avec tram – simplifié	55
Figure 4-6 – Zones émettrices et réceptrices de ménages 2026-2041 scénario sans tram – simplifié	55
Figure 4-7 – Évolution et comparaison de la motorisation des individus travailleurs par classe d'âge.	60
Figure 4-8 – Moyenne toutes régions confondues de l'évolution de la motorisation	61

Figure 4-9 – Évolution des emplois entre 2011 et 2026.....	63
Figure 4-10 – Évolution des emplois entre 2011 et 2041 – scénario avec Tram.....	64
Figure 4-11 – Évolution des emplois entre 2011 et 2041 – scénario sans Tram.....	65
Figure 4-12 – Évolution des emplois entre 2026 et 2041– scénario avec Tram.....	66
Figure 4-13 – Évolution des emplois entre 2026 et 2041 – scénario sans Tram.....	67
Figure 4-1 – Comparaison des volumes de déplacements par ZP de résidence – horizon 2041	80
Figure 5-1 – Réseau de tramway modélisé sous TransCAD	85
Figure 5-2 – Schéma d'exploitation A : croisement à Saint-Roch.....	86
Figure 5-3 – Schéma d'exploitation B : mission courte/mission longue et mission Ouest-Nord/Ouest-Sud.....	87
Figure 5-4 – Schéma d'exploitation C : mission courte/mission longue et mission Ouest-Sud	88
Figure 5-5 – Lignes structurantes : scénario sans tramway - période de pointe du matin.....	90
Figure 5-6 – Lignes eXpress : scénario sans tramway - période de pointe du matin	91
Figure 5-7 – leBus et Lévis (lignes régulières) : scénario sans tramway - période de pointe du matin.....	92
Figure 5-8 – Tramway : Schéma d'exploitation C	93
Figure 5-9 – Tramway : tracé et nombre de services - période de pointe du matin.....	94
Figure 5-10 – Métrobus et Lévisiens : scénario avec tramway - période de pointe du matin	95
Figure 5-11 – Lignes eXpress : scénario sans tramway - période de pointe du matin	96
Figure 5-12 - leBus et Lévis (lignes régulières) : scénario avec tramway - période de pointe du matin.....	97
Figure 5-13 – Modélisation du stationnement – Horizon 2041 – scénario sans Tramway / sans BHNS.....	99
Figure 5-14 – Modélisation du stationnement – Horizon 2041 – scénario sans Tramway / avec BHNS.....	100
Figure 5-15 – Modélisation du stationnement – horizon 2041 – scénario avec Tramway	101
Figure 5-16 – Parc-O-Bus en ouvrage station Occitanie – Montpellier, France.....	103
Figure 5-17 – Parc-O-Bus en ouvrage au niveau de la 41 ^e Rue / 1 ^{ère} Avenue – emprise au sol	104
Figure 5-18 – Parc-O-Bus actifs et projetés de la STLévis, 2013	105
Figure 5-19 – Passage d'un tramway d'un site en rive vers le terre-plein central.....	107
Figure 5-20 – Localisation des huit tronçons à saturation.....	109
Figure 5-21 – Parts modales en 2011 et en 2041 au fil de l'eau (hors flux intra-zonaux).....	111
Figure 5-22 – Évolution de la demande journalière et de la part modale en transports collectifs.....	113
Figure 5-23 – Décomposition de l'origine du gain de trafic	114
Figure 5-24 – Évolution du partage modal : jour et pointe du matin (hors flux intra-zonaux)	115
Figure 5-25 – Évolution du partage modal : jour et pointe du matin	116
Figure 5-26 – Zones regroupées pour l'analyse du choix modal	118
Figure 5-27 – Flux journalier deux sens en transport collectif et part modale – situation 2041 sans tramway / avec tramway.....	120
Figure 5-28 – Flux à la pointe du matin en transport collectif et part modale – situation 2041 sans tramway / avec tramway.....	121

Figure 5-29 – Évolution de l'achalandage TC et du taux de correspondance	122
Figure 5-30 – Achalandage TC et taux de correspondance par période et situation.....	124
Figure 5-31 – Productivité montées / véh.km par groupe de mission	126
Figure 5-32 – Productivité montées/véh.h par groupe de mission.....	126
Figure 5-33 – Comparaison de l'offre et du trafic par groupe de mission dans les différentes situations	127
Figure 5-34 – Représentation schématique du flux journalier empruntant le tramway dans la variante 7	128
Figure 5-35 – Tramway : Schéma d'exploitation C	129
Figure 5-36 – Serpent de charge et réserve de capacité – ligne Nord – Sud	131
Figure 5-37 – Serpent de charge et réserve de capacité – ligne Est – Ouest	131
Figure 5-38 – Comparaison des variantes en termes de production	138
Figure 5-39 – Comparaison des variantes en termes d'achalandage.....	139
Figure 5-40 – Comparaison des variantes en termes d'achalandage, déplacements et taux de correspondances	139
Figure 5-41 – Comparaison des variantes en termes d'efficacité commerciale (montées/véh.km).....	140
Figure 5-42 – Comparaison des variantes en termes d'efficacité commerciale (montées/véh.h)	140
Figure 5-43 – Temps de parcours entre les différents scénarios sur deux trajets précis	143

Liste des tableaux

Tableau 1 – Nombre de déplacements internes issus de l'enquête OD 2011	10
Tableau 2 – Résultats de l'ajustement multiclasse	12
Tableau 3 – Résultats de l'affectation multiclasse – horizon 2011	13
Tableau 4 – Vérification des débits sur la ligne écran du fleuve Saint-Laurent	14
Tableau 5 – Déplacements quotidiens en fonction des heures de départ et du mode principal utilisé	22
Tableau 6 – Matrice de pondérations par mode pour les périodes de pointe du matin et du soir	24
Tableau 7 – Matrice de pondérations par mode pour la période hors pointe jour	25
Tableau 8 – Matrice de pénalités de correspondance (en min) pour les périodes de pointe du matin et du soir	25
Tableau 9 – Matrice de pénalités de correspondance (en min) pour la période hors pointe jour	25
Tableau 10 – Résultats du calage pour la période de pointe du matin pour les montées par modes principaux	27
Tableau 11 – Répartition par classe de GEH du résultat de calage des lignes modélisées.....	27
Tableau 12 – Résultats du calage pour la période de pointe du soir pour les modes principaux.....	28
Tableau 13 – Répartition par classe de GEH du résultat de calage des lignes modélisées.....	28
Tableau 14 – Résultats du calage pour la période hors pointe jour pour les modes principaux.....	29
Tableau 15 – Répartition par classe de GEH du résultat de calage des lignes modélisées.....	30
Tableau 16 – Matrices des correspondances entre les modes principaux TC (période de pointe du matin)	31

Tableau 17 – Matrices des correspondances entre les modes principaux TC (période de pointe du soir)	32
Tableau 18 – Matrices des correspondances entre les modes principaux TC (période hors pointe jour)	33
Tableau 19 – Comparaison des achalandages issus des comptages RTC aux résultats de l'enquête OD 2011 (v1.0) pour la période de pointe du matin	34
Tableau 20 – Comparaison des achalandages issus des comptages RTC aux résultats de l'enquête OD 2011 (v1.0) pour la période de pointe du soir	34
Tableau 21 – Résultats globaux d'ajustement des différentes formulations	44
Tableau 22 – Pourcentage de bien choisi (Utilité maximale)	46
Tableau 23 – Résumé et valeur des paramètres	46
Tableau 24 – Volumes concernés par les procédures d'ensemencement	56
Tableau 25 – Comparaison entre les résultats obtenus avec la procédure développée par la Setec et les résultats fournis par le MTQ	56
Tableau 26 – Évolutions démographiques sur le périmètre de l'enquête OD	57
Tableau 27 – Statuts d'activité des personnes dans l'enquête O-D 2011	58
Tableau 28 – Évolution du nombre d'emplois et de la population issu du Lot 3.1	58
Tableau 29 – Évolution de la population en fonction du statut d'occupation	59
Tableau 30 – Évolution du nombre de déplacements sur le périmètre de l'enquête OD	61
Tableau 31 – Évolutions démographiques par classe d'âge	68
Tableau 32 – Évolutions démographiques par classe d'âge : rappel scénario QU2012R1	68
Tableau 33 – Déplacements journaliers par classe d'âge	69
Tableau 34 – Déplacements journaliers par classe d'âge : rappel scénario Qc0631T_ajust2011	69
Tableau 35 – Nombre de déplacements journaliers par personne	70
Tableau 36 – Nombre de déplacements journaliers par personne : rappel scénario Qc0631T_ajust2011	70
Tableau 37 – Déplacements journaliers par période	71
Tableau 38 – Déplacements journaliers par période : rappel scénario Qc0631T_ajust2011	71
Tableau 39 – Déplacements journaliers par mode	72
Tableau 40 – Déplacements journaliers par mode : rappel scénario Qc0631T_ajust2011	72
Tableau 41 – Parts modales journalières	73
Tableau 42 – Parts modales journalières : rappel scénario Qc0631T_ajust2011	73
Tableau 43 – Déplacements de la Période de Pointe du Matin par mode	74
Tableau 44 – Déplacements de la Période de Pointe du Matin par mode : rappel scénario Qc0631T_ajust2011	74
Tableau 45 – Parts modales de la Période de Pointe du Matin	75
Tableau 46 – Parts modales de la Période de Pointe du Matin : rappel scénario Qc0631T_ajust2011	75
Tableau 47 – Déplacements journaliers par motif	76
Tableau 48 – Déplacements journaliers par motif : rappel scénario Qc0631T_ajust2011	76
Tableau 49 – Déplacements journaliers par motif : répartition	77

Tableau 50 – Déplacements journaliers par motif : répartition : rappel scénario Qc0631T_ajust2011	77
Tableau 51 – Comparaison population et déplacements journaliers par classe d'âge	78
Tableau 52 – Comparaison des déplacements journaliers par période	78
Tableau 53 – Comparaison des déplacements par mode	78
Tableau 54 – Comparaison des déplacements par motif	79
Tableau 55 – Évolutions démographiques par classe d'âge – scénario avec tramway	81
Tableau 56 – Déplacements journaliers par classe d'âge – scénario avec tramway	81
Tableau 57 – Déplacements journaliers par mode – scénario avec tramway	81
Tableau 58 – Déplacements journaliers par période – scénario avec tramway	82
Tableau 59 – Description des principales variantes étudiées	84
Tableau 60 – Description des deux variantes	89
Tableau 61 – Description et fréquences des lignes structurantes du réseau futur sans tramway	90
Tableau 62 – Modifications apportées au réseau routier	106
Tableau 63 – Pourcentage de véhicules touchés par le changement d'heure, heure de pointe 7h-8h	109
Tableau 64 – Tableau de flux en 2041 par mode	112
Tableau 65 – Comparaison avec des agglomérations françaises	117
Tableau 66 – Comparaison du taux de correspondance avec des agglomérations françaises	123
Tableau 67 – Offre TC en véh.km dans les différentes situations	125
Tableau 68 – Achalandage TC en nombre de montées dans les différentes situations	125
Tableau 69 – Comparaison de la productivité des lignes de tramway (montées/véh.km) d'agglomérations françaises semblables	127
Tableau 70 – Achalandage par mission tramway pour la variante 7	130
Tableau 71 – Rappel des principales variantes étudiées	132
Tableau 72 – Rappel des résultats de partage modal sans et avec tramway – variante 7	132
Tableau 73 – Partage modal dans le scénario sans tramway avec BHNS à Lévis	134
Tableau 74 – Partage modal dans le scénario avec tramway : variante 1	134
Tableau 75 – Partage modal dans le scénario avec tramway : variante 2	135
Tableau 76 – Partage modal dans le scénario avec tramway : variante 3	135
Tableau 77 – Partage modal dans le scénario avec tramway : variante 4	136
Tableau 78 – Partage modal dans le scénario avec tramway : variante 5	136
Tableau 79 – Partage modal dans le scénario avec tramway : variante 6	137
Tableau 80 – Partage modal dans le scénario avec tramway : variante de tracé à Limoilou	137
Tableau 81 – Synthèse de demande/capacité par heure au niveau du franchissement du Saint-Laurent	141
Tableau 82 – Résultats globaux de l'affectation routière – 2041, réseau sans tramway	142
Tableau 83 – Résultats globaux de l'affectation routière pour le réseau avec tramway	142
Tableau 84 – Temps de parcours entre les différents scénarios	143

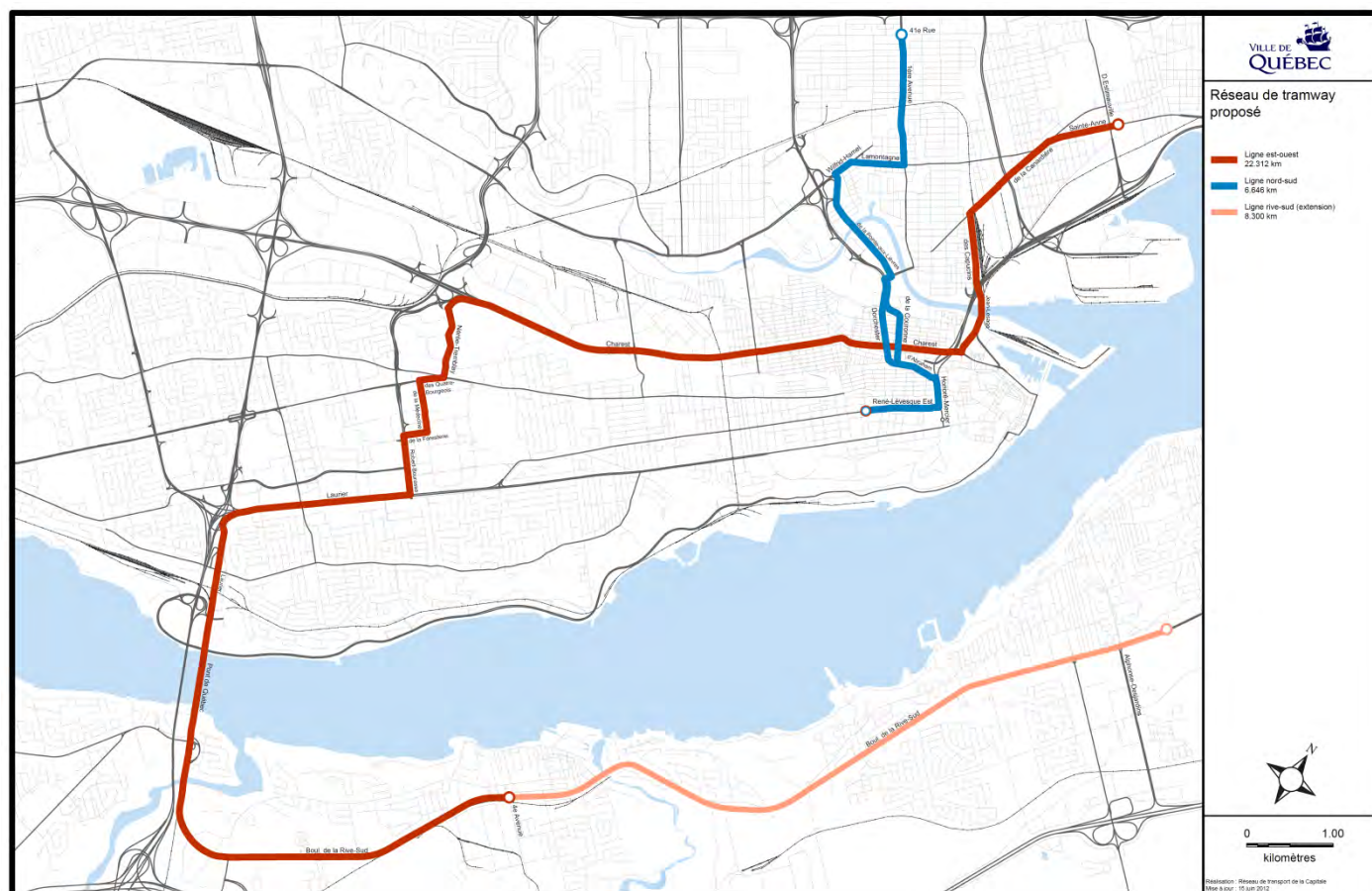
Tableau 85 – Temps de parcours pour divers scénarios - Boulevard Charest.....	144
Tableau 86 – Ratio v/c des huit tronçons étudiés pour l'heure de pointe du matin – 2041, pont de Québec à 2 voies	145
Tableau 87 – Ratio v/c des huit tronçons étudiés pour la période du matin (6h à 9h) – 2041, pont de Québec à 2 voies.....	145
Tableau 88 – Bilan des déplacements dans le sens de la pointe sur les ponts pour le scénario 2011.....	146
Tableau 89 – Rapport v/c des ponts dans le sens de la pointe pour le scénario 2011.....	146
Tableau 90 – Bilan des déplacements dans le sens de la pointe sur les ponts pour le scénario sans tramway 2041	146
Tableau 91 – Rapport v/c des ponts dans le sens de la pointe pour le scénario sans tramway 2041	146
Tableau 92 – Bilan des déplacements dans le sens de la pointe sur les ponts - Scénario avec tramway du pont de Québec à 3 voies.....	147
Tableau 93 – Rapport v/c dans le sens de la pointe – Scénario avec tramway du pont de Québec à 3 voies.....	147
Tableau 94 – Bilan des déplacements dans le sens de la pointe sur les ponts - Scénario avec tramway du pont de Québec à 2 voies.....	147
Tableau 95 – Rapport v/c dans le sens de la pointe – Scénario avec tramway du pont de Québec à 2 voies.....	147

1 Introduction

1.1 Contexte/Objectifs du livrable

Le projet de tramway à Québec et Lévis a pour objectif général de consolider et de développer le territoire urbain par l'implantation de deux lignes de tramway. La première suivra une trajectoire est-ouest d'environ 30 km (y compris le prolongement à Lévis) et la deuxième, une trajectoire nord-sud de 6,6 km, comme montré à la figure 1-1.

Figure 1-1 – Réseau de tramway proposé



La ligne nord-sud reliera la 41^e Rue au Grand Théâtre sur la colline parlementaire. Le corridor emprunte la 1^{ère} Avenue, l'avenue Eugène-Lamontagne, la rue de la Pointe-aux-Lièvres, la rue Dorchester, la Côte d'Abraham, l'avenue Honoré-Mercier, la place d'Youville et le boulevard René-Lévesque pour desservir en partant du nord vers le sud :

- le quartier Lairet;
- le secteur d'ExpoCité;
- le futur écoquartier de la Pointe-aux-Lièvres;
- le quartier Saint-Roch;
- la colline Parlementaire.

Le prolongement vers l'est rejoindra le pôle de D'Estimauville. Le corridor emprunte le boulevard Charest, la rue Jean-Lesage, le boulevard des Capucins, le chemin de la Canardière et le boulevard Sainte-Anne pour desservir d'ouest en est :

- le quartier Saint-Roch;
- le secteur Saint-Dominique;
- le Cégep de Limoilou;
- le secteur Maizerets du quartier Limoilou;
- le pôle de D'Estimauville.

Le prolongement vers l'ouest rejoindra Lévis. Le corridor emprunte le boulevard Charest, la rue Nérée-Tremblay, le campus de l'Université Laval, le boulevard Laurier, le pont de Québec et le boulevard de la Rive-Sud pour desservir :

- le quartier Saint-Roch;
- le quartier Saint-Sauveur;
- le boulevard Charest;
- le Cégep de Sainte-Foy;
- l'Université Laval;
- le secteur Laurier dans Sainte-Foy;
- le secteur de l'ex-ville de Saint-Romuald à Lévis;
- les zones mixtes d'habitation, d'emploi et de commerces entre le chemin du Sault et le boulevard Alphonse-Desjardins, ainsi que le secteur Desjardins. Le nouveau terminus se situe à l'est du boulevard Alphonse-Desjardins et une station supplémentaire est ajoutée pour mieux desservir le campus Desjardins.

Ces deux lignes vont donc desservir à nombreux projets structurants, notamment :

- le site d'ExpoCité;
- le futur amphithéâtre;
- le nouveau quartier de la Pointe-aux-Lièvres;
- le pôle Saint-Dominique;
- la potentielle gare TGV;
- l'écoquartier et le parc technologique D'Estimauville;
- le pôle Marie-de-l'Incarnation;
- le nouveau boulevard urbain et le développement immobilier et des activités (parcs industriels, parc technologique) de l'axe Charest;
- le secteur de l'Université Laval et du Cégep Sainte-Foy;
- le secteur de la tête des ponts à Lévis.

L'étude de faisabilité du tramway de Québec/Lévis porte sur la faisabilité et les impacts de la mise en place d'un tramway dans les deux corridors considérés; elle est divisée en cinq mandats :

1. La faisabilité technique;
2. Les modes de financement et de réalisation;
3. La prévision des développements/déplacements/réseaux;
4. Les impacts du tramway;
5. Le rapport final.

Le rapport présenté ici se situe spécifiquement dans le cadre du livrable 3.2 de calcul et d'affectation de la demande en transport, inclus dans le mandat 3. Comme spécifié dans le devis, ce livrable détaille la méthodologie et les résultats d'estimation de la demande de déplacements, de l'achalandage du tramway et de la

circulation automobile à l'horizon d'étude 2041. Les résultats de ce livrable serviront notamment d'entrées aux analyses d'impacts du tramway ainsi qu'aux analyses financières et avantages-coûts.

Les principales activités requises dans l'appel d'offres en lien avec le livrable 3.2 sont les suivantes :

- La prévision de la demande de déplacement en situation au fil de l'eau, c'est-à-dire sans modification de l'offre de transport par rapport à l'année de base de la modélisation qui est l'année 2011,
- Le développement d'un modèle multimodal de prévision des déplacements basé sur un modèle de choix modal alimenté par des modèles de réseau en transports collectifs et en transports individuels,
- La définition de scénarios d'évolution de l'offre de transport à l'horizon de prévision 2041 dans le cadre d'un scénario sans tramway et d'un scénario avec tramway,
- L'étude de différentes variantes avec notamment :
 - o L'analyse de plusieurs schémas d'exploitation (services partiels, différentes fréquences de passage),
 - o L'analyse de deux variantes d'insertion du tramway sur le pont de Québec, soit 2 voies ou 3 voies avec voie réversible aux heures de pointe, le tramway étant inséré en voies banales dans les deux scénarios.
 - o L'impact de la prise en compte d'un BHNS sur le territoire de Lévis dans le cadre du scénario sans tramway,
 - o L'analyse de deux variantes de tracé pour le tramway au niveau de Limoilou (passage par la 3^{ème} avenue au lieu du boulevard des capucins).

Le territoire de référence utilisé pour les activités du livrable 3.2 correspond au territoire de l'enquête OD 2011.

Comme indiqué ci-dessus, l'horizon de prévision couvert par ce livrable correspond à l'année 2041 (dans le cas des prévisions de la demande de déplacement au fil de l'eau, des résultats sont également présentés pour 2026). Pour l'analyse avantages-coûts ultérieure, des éléments d'achalandage pour l'année 2026 seront également fournis par la suite.

Les analyses et résultats porteront principalement sur :

- L'évolution de la répartition modale des déplacements,
- L'achalandage des différentes lignes de transports collectifs et notamment des deux lignes de tramway,
- L'évolution des conditions de circulation routière.

1.2 Plan du livrable

Le présent rapport suivra les étapes suivantes :

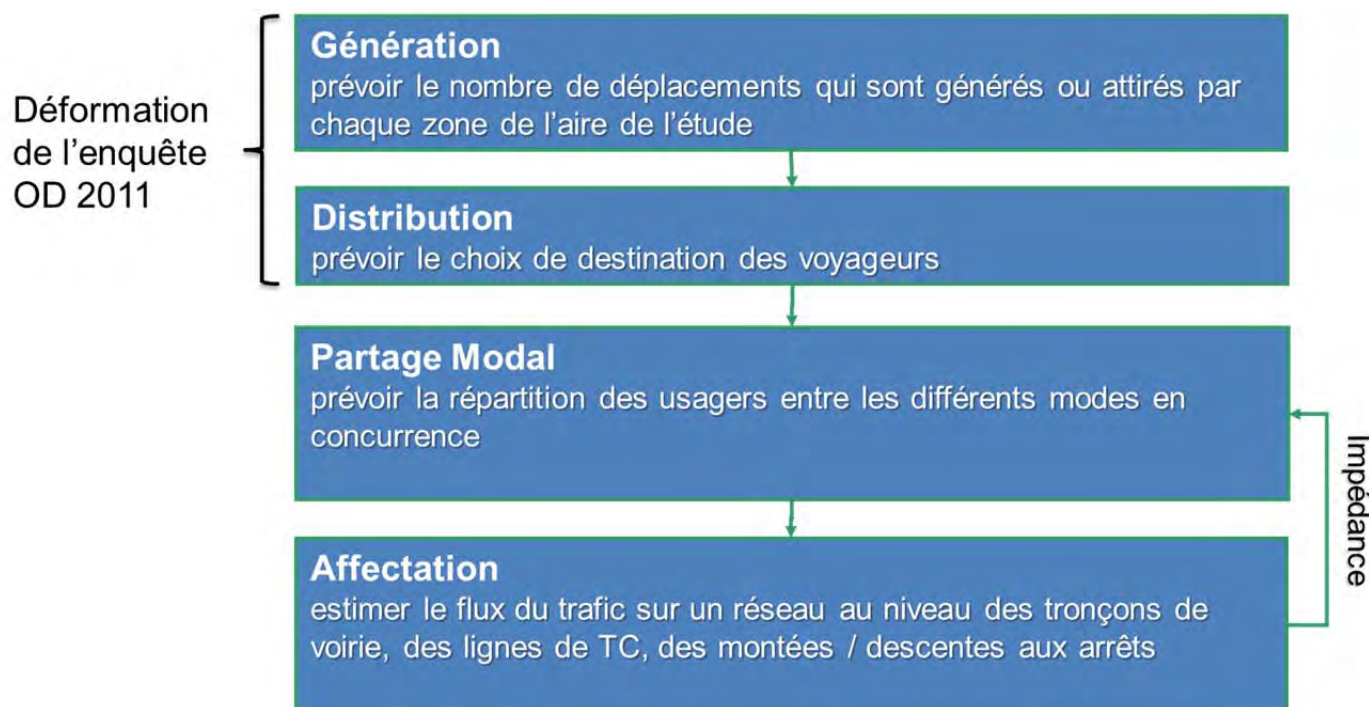
- Description de la méthodologie générale de modélisation tant pour la partie mise au point du modèle que pour la partie utilisation,
- Description de la procédure de calage du modèle multimodal,
- Présentation de la prévision de la demande de déplacement au fil de l'eau,
- Présentation des prévisions d'achalandage, en termes de répartition modale, d'utilisation des lignes de transports collectifs et d'évolution des conditions de circulation routière,
- Conclusions de l'étude.

2 Méthodologie de prévision

Cette première partie présente la méthodologie générale de modélisation en distinguant la partie de la mise au point du modèle (calage) et la partie de mise en œuvre des prévisions (utilisation).

La méthodologie utilisée ici est une méthodologie classique de modélisation à 4 étapes adaptées aux données disponibles et aux pratiques en vigueur au Québec. La figure 2-1 en rappelle la démarche.

Figure 2-1 – Principe général de modélisation



Les deux premières étapes consistent à prévoir la demande de déplacements tous modes : on distingue habituellement l'étape de génération pour l'estimation des volumes totaux générés et attirés par chaque zone de l'aire d'étude et l'étape de distribution où l'on s'intéresse à la répartition de cette demande entre les différents couples origine – destination du modèle. Dans le cas présent, cette étape de génération – distribution est réalisée selon une méthode analogue à celle mise en œuvre par le MTQ et qui consiste à déformer la dernière enquête OD sur la base de prévisions sociodémographiques, résultats du lot 3.1. En plus de la demande tous modes, cette méthode permet de disposer d'une répartition modale au fil de l'eau, c'est-à-dire en l'absence de modifications de l'offre de transport par rapport à l'année 2011 mais tenant compte des évolutions sociodémographiques;

L'étape suivante de partage modal a pour but de prendre en compte les modifications d'offre des différents modes en concurrence et notamment l'offre nouvelle permise par le tramway. Cela nécessite de caler un modèle de répartition modale qui met en relation les indicateurs d'offre des différents modes et le comportement modal des personnes qui se déplacent. La base de données utilisée pour le calage de ce modèle est une nouvelle fois l'enquête OD 2011 utilisée de manière désagrégée au niveau de chaque déplacement.

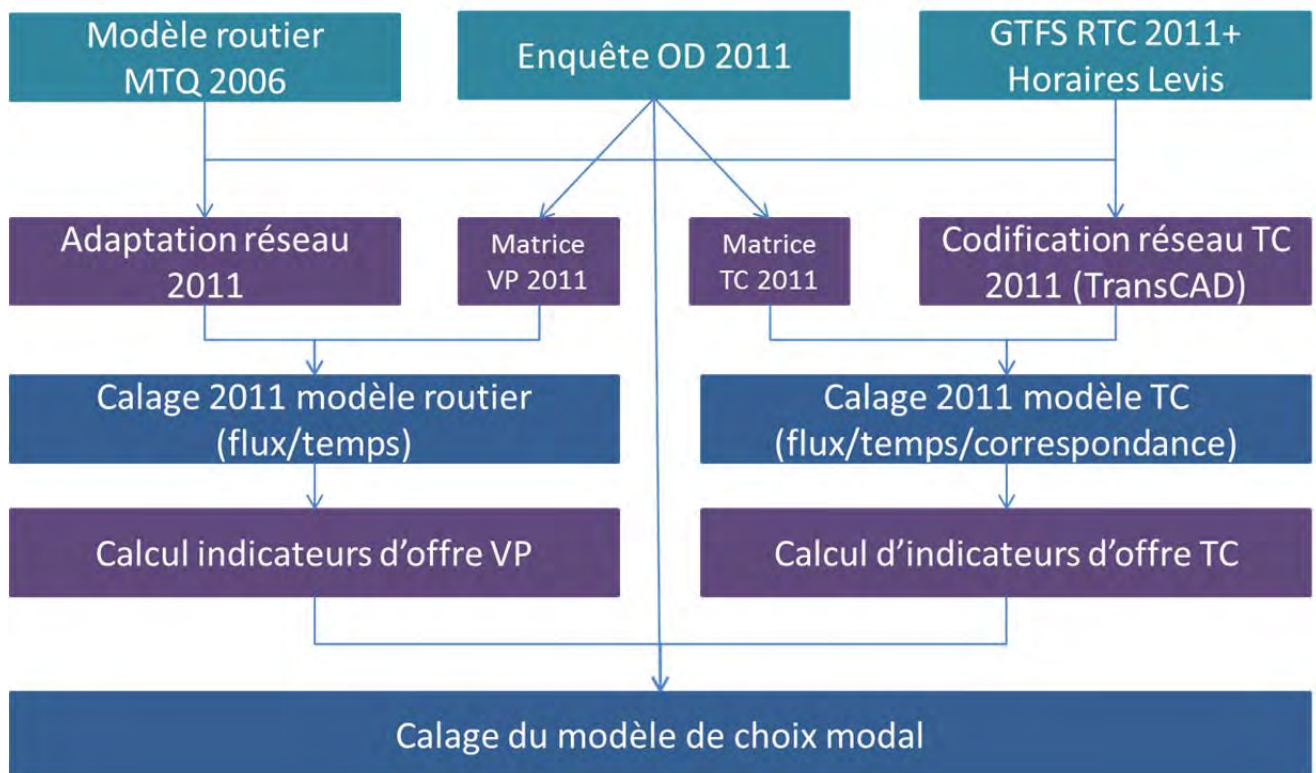
Une fois les déplacements par mode estimés en utilisant le modèle de choix modal, il est nécessaire d'affecter ces déplacements sur les réseaux de transports collectifs d'une part et sur le réseau routier pour les déplacements ayant pour mode « automobile conducteur » d'autre part. La boucle de rétroaction figurant sur le

schéma précédent indique qu'une fois affectés sur le réseau routier, les trafics automobiles influent sur les conditions de circulation (en particulier sur les temps) et conduisent donc à réaliser un nouveau passage du modèle de choix modal. Comme on le verra par la suite, cette boucle a été effectivement mise en œuvre lors du processus de prévision.

2.1 Logigramme de mise au point du modèle : phase de calage

Le logigramme ci-dessous présente les différentes étapes pour la phase de mise au point du modèle multimodal de déplacements.

Figure 2-2 – Logigramme de mise au point du modèle



La première ligne du logigramme présente les principales données de base utilisées pour mettre au point le modèle. Il s'agit en particulier :

- du modèle routier du MTQ calé pour l'année 2006 et disponible au format EMME ainsi que des données de comptage envoyées par les différents partenaires du projet (Ville de Québec, Ville de Lévis, DCNAT et DCA du MTQ)
- des données détaillant les différentes lignes de transports collectifs du RTC pour 2011 au format GTFS (General Transit Feed Specification) ainsi que des fiches horaires et des parcours de ligne en ce qui concerne Lévis ; des données de comptage ont également été utilisées,
- du fichier détail de l'enquête OD 2011 dans sa version 1.0 ainsi que le sondage mobilité Université Laval.

Ces données de base permettent de réaliser la codification des réseaux de transport 2011, sous EMME pour la partie routière et sous TransCAD pour la partie transports collectifs.

L'enquête OD 2011 permet par ailleurs de fabriquer des matrices de déplacement « automobile conducteur » et « utilisateurs des transports collectifs ».

L'étape suivante correspond à la phase de calage des modèles de réseaux :

- Le modèle routier est calé en débit sur une sélection de tronçons et en temps de parcours sur une sélection de parcours. On vérifie ainsi qu'il reproduit correctement les conditions de circulation de l'année de base (cf. paragraphe 3.1).
- Le modèle de transports collectifs est calé en débit au niveau de regroupement de lignes et sur les lignes les plus importantes. Il est calé également en temps de parcours sur les lignes de terminus à terminus¹. Enfin, il est calé pour reproduire le taux de correspondance de l'année de base, rapport entre le nombre de montées et le nombre de déplacements. On vérifie ainsi qu'il reproduit bien les pratiques de déplacements de l'année de base des utilisateurs de transports collectifs (cf. paragraphe 3.2)

Une fois le calage des modèles de réseau effectué, il est possible d'utiliser ces modèles pour définir des indicateurs d'offre de transport pour les utilisateurs de la voiture et pour les utilisateurs des transports collectifs entre toutes les zones de notre modèle. On définit également des indicateurs d'offre pour les modes actifs. Ces indicateurs d'offre permettent d'enrichir chaque déplacement de l'enquête OD 2011 des caractéristiques des différents modes en concurrence. Une procédure d'ajustement statistique permet ensuite d'estimer le poids que les utilisateurs des transports accordent à chaque indicateur d'offre selon le choix du mode qui a été observé dans l'enquête OD 2011. C'est la procédure de calage du modèle de choix modal décrite au paragraphe 3.3.

2.2 Logigramme d'utilisation du modèle : réalisation des prévisions

Le logigramme ci-après décrit la manière dont on utilise le modèle pour réaliser les prévisions d'achalandage.

Tout d'abord, l'enquête OD 2011 est déformée selon la procédure décrite en détail au paragraphe 4 sur la base des résultats des prévisions de démographie et d'activité du lot 3.1. On dispose ainsi d'une enquête OD 2041 qualifiée d'au fil de l'eau car elle ne tient compte que des évolutions sociodémographiques et non des modifications de l'offre de transport des différents modes en concurrence qui est réputée dans ce cas identique à celle de l'année de base 2011.

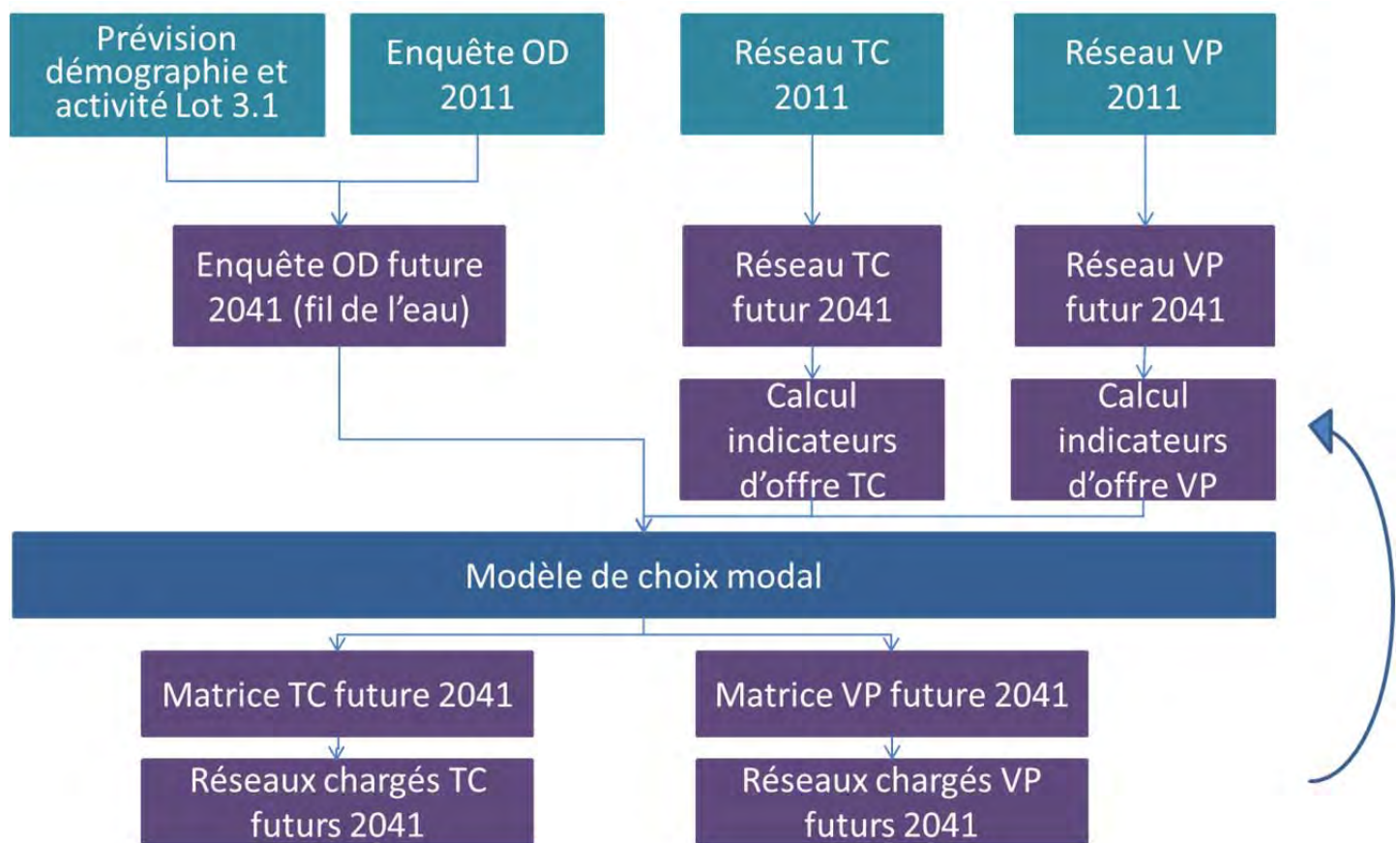
En parallèle, on définit et on codifie les scénarios d'offre de transport futur (cf. paragraphe 5.1). Cette définition concerne bien sûr les réseaux de transports collectifs en situation avec et sans tramway mais aussi le réseau routier impacté par les conditions de développement du réseau de transports collectifs (création de voie réservée, priorité aux intersections, réductions de capacité...). La problématique du stationnement est également abordée.

Il est alors possible d'appliquer le modèle de choix modal à la demande globale de déplacements (donc tous modes confondus) sur la base des indicateurs d'offre correspondant aux scénarios futurs. Le résultat de cette application permet d'estimer l'impact des modifications d'offre de transport sur la répartition modale (cf. paragraphe 5.2).

Une fois la répartition modale estimée, les déplacements par mode qui en résultent (automobile conducteur d'une part et utilisateurs des transports collectifs d'autre part) sont affectés sur leur réseaux respectifs. On obtient ainsi les prévisions d'achalandage sur l'ensemble des réseaux de transports collectifs et en particulier sur le tramway (cf. paragraphe 5.3). Les affectations sur le réseau routier permettent de calculer de nouveaux temps de parcours et indicateurs de congestion tenant compte du choix modal; on met ainsi en œuvre la procédure de rétroaction décrite à la fin du paragraphe précédent.

¹ Le temps de parcours de terminus à terminus n'est pas une donnée d'entrée de la modélisation, mais une variable reconstituée à partir du temps de parcours par tronçon et des temps d'arrêts en station. Les temps de parcours de terminus à terminus ont fait l'objet de vérifications et ont été utilisés pour le calage.

Figure 2-3 – Logigramme d'utilisation du modèle



3 Calage du modèle multimodal

3.1 Calage du modèle routier

3.1.1 Construction du réseau 2011 sous EMME

L'offre de transport routière est basée sur le modèle régional de simulation routière du Service de la modélisation des systèmes de transport (SMST) du ministère des Transports du Québec (MTQ) pour l'agglomération de Québec (MOTRAQ06). Ce réseau est développé avec le logiciel Emme et est caractérisé par des centroïdes, nœuds, liens et virages. Afin de travailler avec un réseau 2011, des modifications ont été apportées au réseau MOTRAQ06 afin d'y intégrer les changements routiers effectués entre 2006 et 2011. Les changements suivants ont été fournis par les différents partenaires du projet et ont été modélisés sur le réseau routier :

- Prolongement de l'avenue Saint-David;
- Prolongement du boulevard Johnnny-Parent;
- Prolongement du boulevard de la Morille;
- Ajout d'une voie de circulation en direction sud entre le Pont Dominion et la rue de la Concorde;

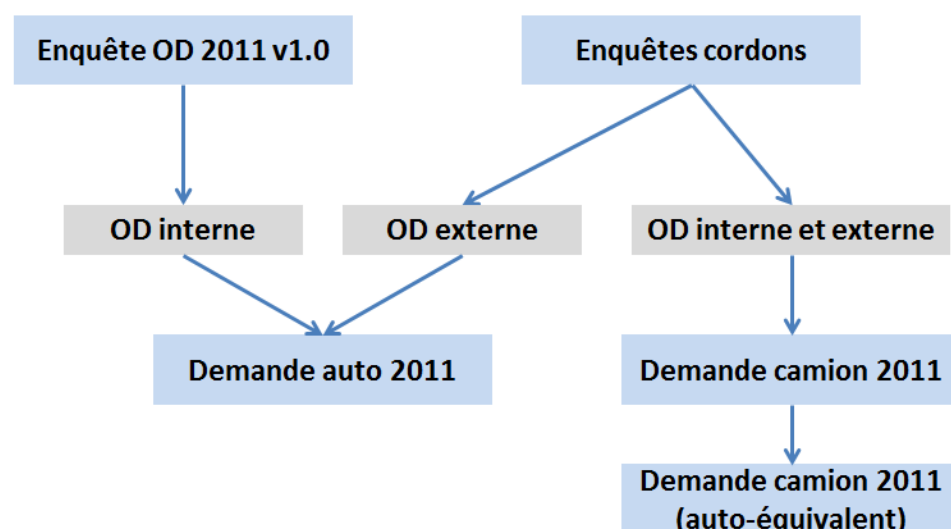
Chaque centroïde modélisé représente une zone qui sera ensuite utilisée pour le traitement de l'enquête Origine-Destination. Sept cent soixante-quatorze (774) centroïdes ont été modélisés à l'intérieur de l'agglomération de Québec, alors que 25 ont été modélisés à l'extérieur de l'agglomération.

Tous les liens du réseau sont classifiés selon un type général (autoroute, bretelle, boulevard, artère principale, artère secondaire, collectrice, locale ou connecteur) et un niveau d'interférence ambiant (nul, faible, moyen ou élevé). Selon la classification obtenue, une courbe délai-volume (VDF) est associée à chaque lien. Les courbes VDF permettent de déterminer les temps de parcours sur chaque lien en fonction de l'achalandage. Les courbes VDF correspondent au modèle routier MOTRAQ06 et n'ont pas été modifiées.

Afin de tenir compte des différentes voies réservées aux autobus, le réseau de la période AM (6h-9h) est différent de celui de la période PM (15h-18h). Chaque heure sera traitée de façon distincte dans le cadre du projet.

3.1.2 Construction de la demande de transport 2011

Le logigramme présenté à la Figure 3-1 illustre le processus utilisé afin de construire les matrices de demande de transport pour les automobiles et les camions.

Figure 3-1 – Logigramme du processus de construction de la demande de transport

À partir des données de l'enquête Origine-Destination 2011 version 1.0, tous les déplacements auto-conducteurs à l'intérieur de la région de Québec ont été extraits. Ces déplacements incluent également les déplacements multimodaux. Une jointure spatiale avec la couche polygonale des différentes zones de l'agglomération a ensuite été effectuée afin d'associer les données aux 774 centroïdes du réseau routier Emme. Le Tableau 1 présente le nombre de déplacements internes pour chaque tranche horaire étudiée. Les données de l'enquête OD sont traitées selon l'heure de départ.

Tableau 1 – Nombre de déplacements internes issus de l'enquête OD 2011

	6h-7h	7h-8h	8h-9h	15h-16h	16h-17h	17h-18h
Déplacements internes Auto-conducteurs	55 698	132 024	92 399	85 547	151 420	111 402

Le Tableau 1 démontre que les déplacements pour 7h-8h et 16h-17h sont significativement supérieurs aux deux autres heures de chaque période, il est d'ailleurs habituel que l'heure centrale de la période étudiée soit la plus importante au niveau du nombre de déplacements.

Tous les déplacements entrants et sortants de l'agglomération proviennent d'une enquête cordon² réalisée en bordure de route. Ces données proviennent d'une enquête 2006 qui a été ajustée pour l'horizon 2011. À partir de ces données, tous les déplacements concernant les 25 zones à l'extérieur de l'agglomération ont pu être extraits.

La matrice de demande de transport des camions a été construite à l'aide des comptages camions 2006 et ajustée selon les activités véhiculaires commerciales à partir du nombre d'emplois par secteur industriel. Cette matrice a ensuite été convertie en une matrice auto-équivalent avec un facteur d'équivalence de 2 (1 camion équivalant à 2 autos-équivalent).

² L'enquête Cordon tendancielle 2011 a été fournie en intrants par le MTQ / SMST durant le mandat.

3.1.3 Calage du modèle VP selon les débits

Un calage selon les débits a été effectué pour que le modèle reflète la situation de l'année 2011. Ce calage permet de comparer les débits issus de l'affectation du modèle Emme avec les débits issus des comptages. Afin de caler le modèle, des données de comptage ont été intégrées dans le modèle Emme.

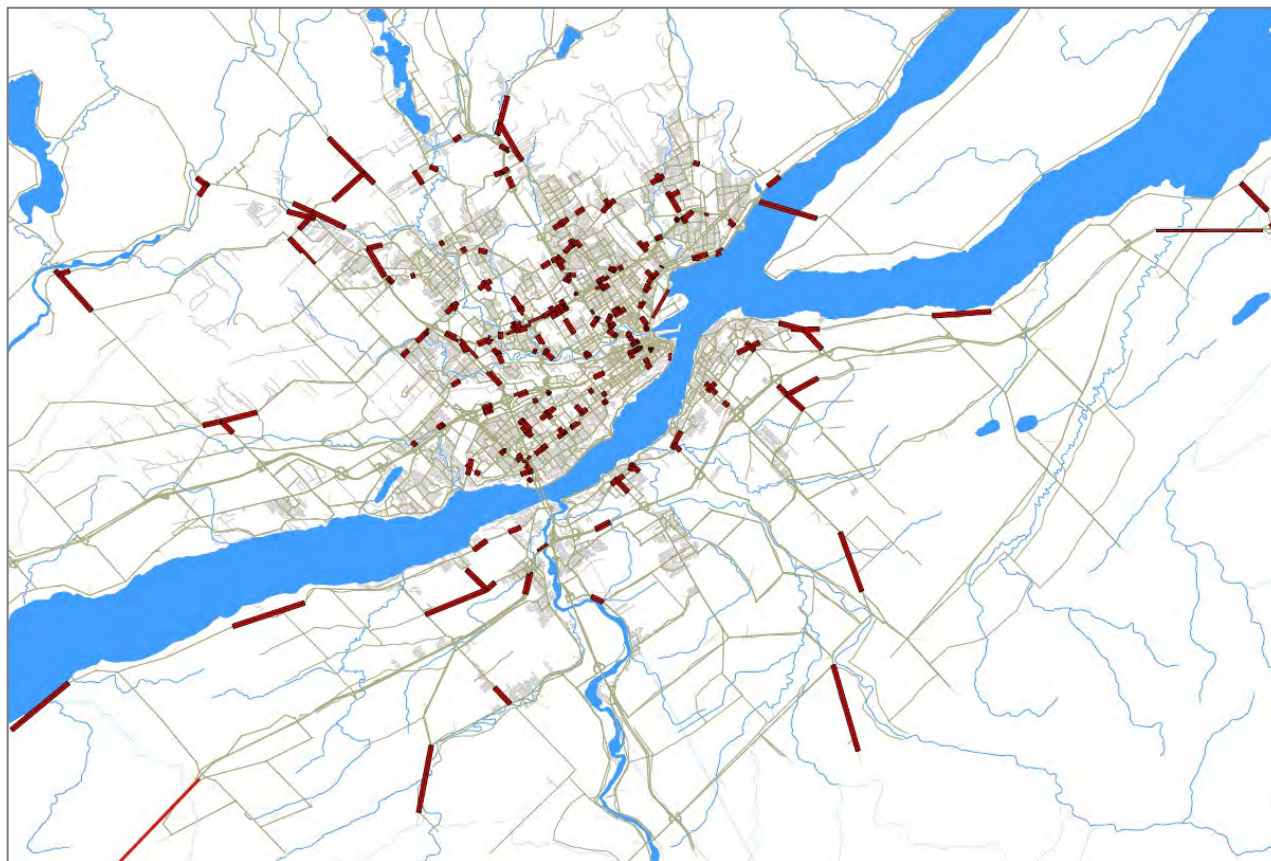
Une analyse des 595 fichiers de comptage envoyés par les différents partenaires du projet, soit la Ville de Québec, la Ville de Lévis, le DCNAT et le DCA du MTQ, a été réalisée afin de sélectionner les comptages utilisés pour le calage. Les différents comptages, datant de 2005 à 2012, ont été réalisés à des intersections ou en tronçons. Malgré le nombre important de données de comptage disponibles, plusieurs limites ont réduit le nombre de fichiers de comptage utilisables :

- Données limitées pour la tranche horaire de 6h à 7h;
- Information limitée pour les débits camions, surtout pour les comptages aux intersections;
- Localisation indisponible et/ou erronée.

Une fois un premier tri effectué pour éliminer les comptages inutilisables, les comptages situés sur le réseau autoroutier, sur les artères majeures et sur les axes du tramway ont été sélectionnés pour effectuer le calage selon les débits. Toutes ces données de comptage ont été ajustées pour un jeudi de novembre 2011 à l'aide d'un facteur d'ajustement³. Les données de comptage autos et camions ont ensuite été intégrées dans le modèle Emme pour les six tranches horaires étudiées. La Figure 3-2 illustre la localisation des comptages utilisés pour le calage du modèle selon les débits, à l'exception de la tranche de 6h-7h où une quantité limitée de comptages a été utilisée.

Il est à noter que les comptages reçus pour les ponts n'ont pas pu être utilisés dans le cadre de la calibration multiclasse, puisque les données de comptage disponibles ne donnaient de l'information que sur les débits totaux et non les débits autos et camions. Les comptages sur les ponts ont cependant été utilisés afin de comparer les résultats modélisés versus les résultats observés sur les lignes écrans.

³ Des facteurs de correction ont été utilisés pour ajuster les différents comptages à un jeudi de novembre, jour choisi pour la modélisation. Ces facteurs, concernant les DJMA, ont été envoyés par la Ville de Québec. Un taux de croissance annuel de 0,8 %, également proposé par la Ville de Québec, a été utilisé.

Figure 3-2 – Localisation des fichiers de comptage utilisés pour le calage

Afin de calibrer le modèle, un ajustement multiclasse a été effectué sur le modèle. Cet ajustement consiste en un processus itératif de succession d'affectations VP suivi d'une étape de calibration des matrices origine-destination se calant sur les comptages. Le modèle compare donc successivement sur les liens choisis les débits issus de l'affectation aux débits issus des comptages. Le Tableau 2 présente les résultats de cet ajustement multiclasse.

Tableau 2 – Résultats de l'ajustement multiclasse

Ajustement multiclasse	6h	7h	8h	15h	16h	17h
Demande auto totale	61 560	139 615	99 770	95 187	163 268	122 586
Demande externe	5 862	7 592	7 371	9 640	11 849	11 185
Demande auto ajustée	62 500	139 109	100 945	98 838	161 454	121 757
Demande externe ajustée	6 802	7 085	8 546	13 291	10 034	10 355
Différence externe	16 %	7 %	16 %	38 %	15 %	7 %
Différence globale	2 %	0 %	1 %	4 %	1 %	1 %
Demande camion	8 454	11 062	12 814	13 765	11 492	8 895
Demande camion ajustée	8 371	11 520	12 879	12 102	11 211	9 040
Différence globale	1 %	4 %	1 %	12 %	2 %	2 %

L'analyse du tableau précédent permet de démontrer que l'ajustement multiclassé a légèrement modifié les matrices de demande de transport, mais dans une faible proportion, tant pour la demande auto que pour la demande camion.

Une fois l'ajustement multiclassé complété, une affectation de transport privé standard a été effectuée. Cet outil permet d'exécuter une affectation de transport privé sur plusieurs classes (autos et camions) afin d'obtenir des résultats de coûts généralisés par OD (temps) et des analyses de chemins (distances). Le Tableau 3 présente les résultats de cette affectation pour chaque tranche horaire.

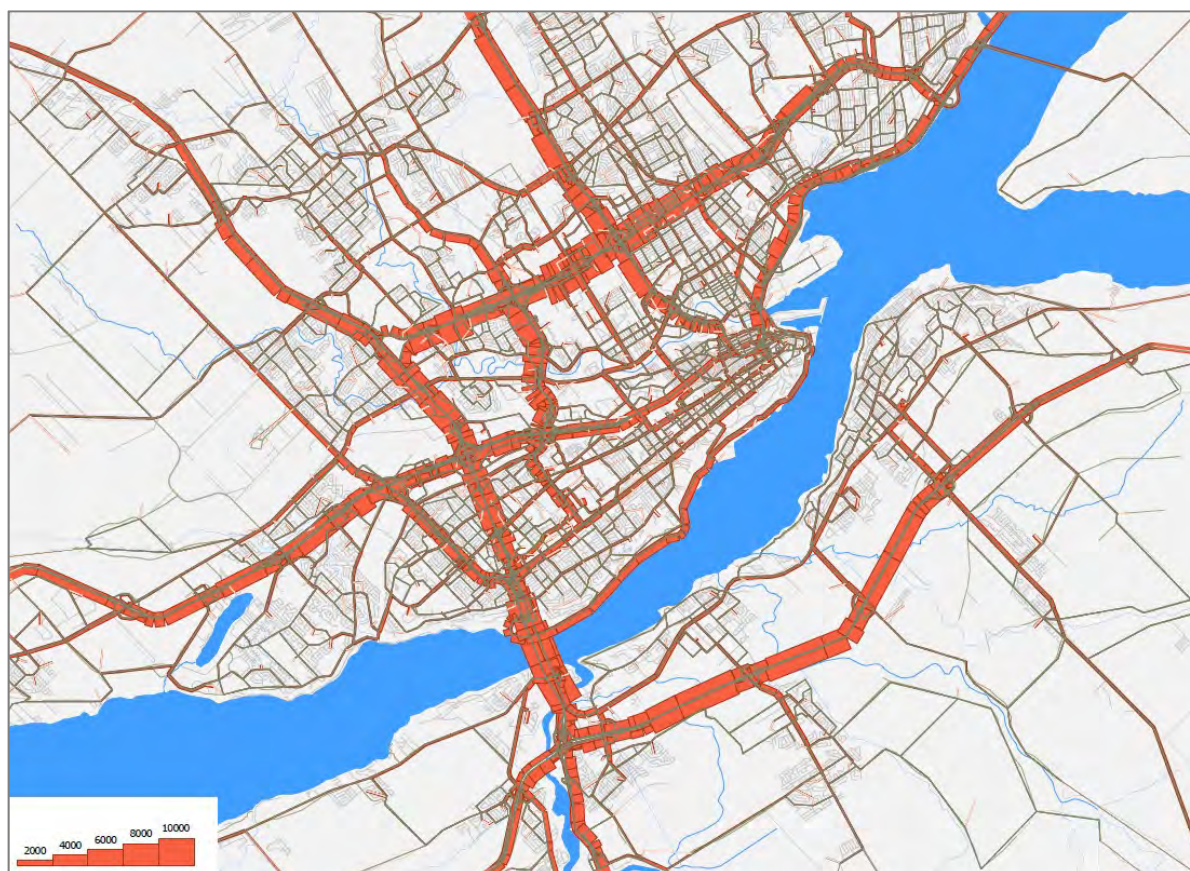
Tableau 3 – Résultats de l'affectation multiclassé – horizon 2011

	6h-7h	7h-8h	8h-9h	15h-16h	16h-17h	17h-18h
Distance moyenne (km)	25,66	25,56	25,79	25,68	25,72	25,75
Temps moyen (min)	22,89	29,26	23,34	23,95	28,91	24,48

Puisque la demande de transport est plus importante pour les heures médianes de chaque période, il est normal que le temps moyen d'un déplacement moyen soit plus élevé pour ces deux heures.

La Figure 3-3 démontre les résultats de l'affectation multiclassé en illustrant les débits sur les différents liens pour 7h-8h.

Figure 3-3 – Débit sur les différents liens du réseau – 7h-8h

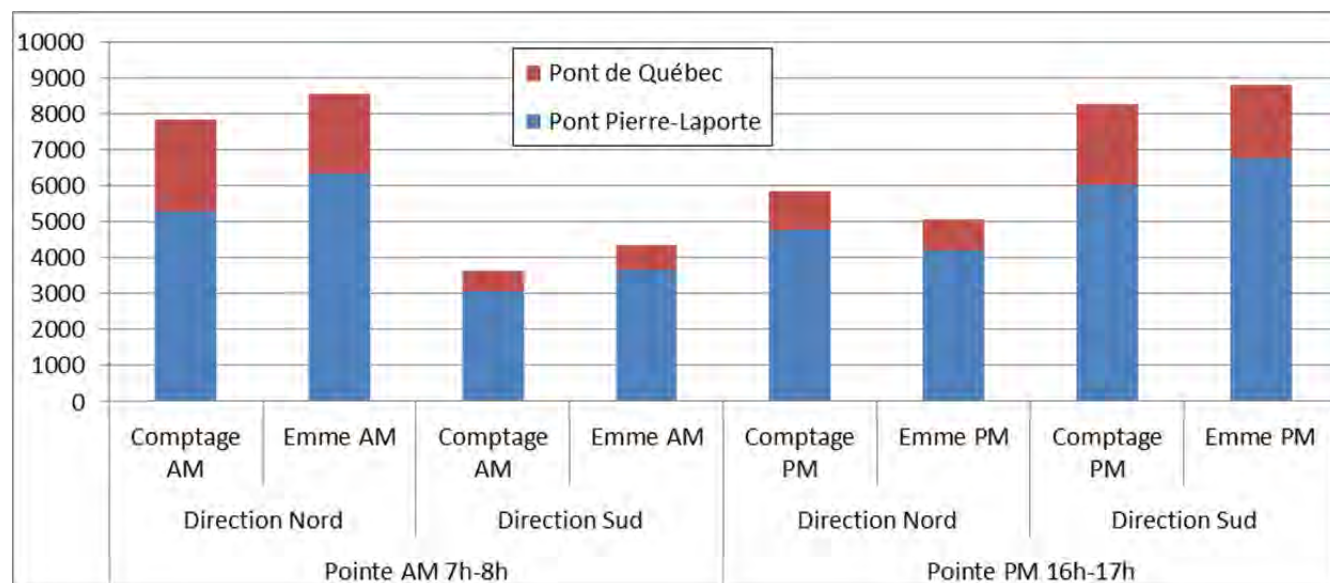


À l'aide des résultats de l'ajustement et de l'affectation multiclassée, il a été possible de vérifier le calage du modèle sur les débits en analysant les débits des fichiers de comptage et d'EMME sur diverses lignes écrans. Une ligne écran est usuellement une barrière naturelle (par exemple, le fleuve Saint-Laurent) ou un obstacle physique franchissable par un nombre limité de liens. Les données du Tableau 4 et la figure 3-4 présentent les résultats de la ligne écran du fleuve Saint-Laurent pour les heures de pointe de chaque période.

Tableau 4 – Vérification des débits sur la ligne écran du fleuve Saint-Laurent

Pointe AM 7h-8h	Direction	Emme AM	Comptage AM	Différence
Pont Pierre-Laporte	Direction Nord	6350	5268	+20,5 %
	Direction Sud	3662	3073	+19,2 %
Pont de Québec	Direction Nord	2184	2554	-14,5 %
	Direction Sud	669	564	+18,7 %
Total	Direction Nord	8534	7822	+9,1 %
	Direction Sud	4332	3637	+19,1 %
Pointe PM 16h-17h	Direction	Emme PM	Comptage PM	Différence
Pont Pierre-Laporte	Direction Nord	4204	4784	-12,1 %
	Direction Sud	6747	6020	+12,1 %
Pont de Québec	Direction Nord	842	1050	-19,8 %
	Direction Sud	2041	2249	-9,3 %
Total	Direction Nord	5046	5835	-13,5 %
	Direction Sud	8788	8269	+6,3 %

Figure 3-4 – Vérification des débits sur la ligne écran du fleuve Saint-Laurent



Dans le sens de la pointe, les résultats obtenus sont excellents, puisque la différence entre les débits des fichiers de comptage et les débits de l'affectation multiclassée est inférieure à 10 %⁴. La différence dans le sens inverse de la pointe est un peu plus élevée, mais reste tout de même sous les 20 %. Des résultats similaires sont observables pour les autres lignes écran étudiées qui se trouvent en annexe A. Le modèle routier est donc bien calibré selon les débits.

3.1.4 Calage selon les temps de parcours

La calibration selon les temps de parcours est une vérification supplémentaire qui a été effectuée afin de présenter une modélisation plus fidèle à la réalité et de mieux ajuster les fonctions de choix modal.

Un rapport technique intitulé « Modèle routier : Méthodologie pour le calage du modèle VP en temps de parcours », émis à la mi-juin 2013, explique toutes les étapes effectuées pour caler le modèle selon les temps de parcours. Ce rapport se trouve en annexe B.

En bref, la méthodologie utilisée consiste à comparer les temps de parcours calculés à l'aide du logiciel Emme aux temps de parcours réels sur une multitude de trajets couvrant le réseau supérieur, le réseau artériel et les axes du tramway. Puisqu'aucune information n'était disponible sur les temps de parcours en temps réel, l'outil Google Maps a été utilisé pour calculer les différents trajets choisis. Cet outil permet de calculer un temps de parcours selon les conditions de circulation actuelles à l'aide de données en temps réel. Plusieurs temps ont donc été relevés pour chacun des trajets étudiés et la moyenne de ces temps pour chaque période (6h-9h et 15h-18h) a été comparée aux temps Emme.

Les résultats présentés dans le rapport technique démontrent que les temps de parcours Emme et Google initialement comparés étaient situés dans les mêmes ordres de grandeur, à l'exception de quelques secteurs :

- Secteur Saint-Jean-Baptiste;
- Secteur Saint-Roch;
- Secteur Basse-Ville;
- Secteur Chutes Montmorency;
- Avenue Laurier/Grande Allée Ouest en direction ouest.

Dans ces situations, où le temps Emme moyen était beaucoup plus rapide que le temps Google moyen pour un trajet donné, des pénalités de mouvement ont été ajoutées sur le réseau routier afin de ralentir les véhicules. À la suite d'un processus itératif, la situation dans ces secteurs a été corrigée.

De ce fait, le modèle routier 2011 est calibré selon les temps de parcours.

3.2 Calage du modèle de transports collectifs

3.2.1 Construction du réseau 2011 sous TransCAD (situation de calage)

Le modèle de transports collectifs est codé sous TransCAD. TransCAD est un logiciel de modélisation basé sur un système d'information géographique qui permet une parfaite adéquation avec les fichiers GTFS (General Transit Feed Specification) et les fichiers issus du modèle routier sous EMME.

⁴ La légère surestimation des modélisations pour les débits sur la ligne écran du fleuve Saint-Laurent dans le sens de la pointe pourrait s'expliquer par le fait que la capacité en heure centrale de pointe est atteinte lors des comptages.

3.2.1.1 Zonage

Le zonage retenu pour le modèle de transports collectifs est le même que celui utilisé pour le modèle routier sous EMME (cf. paragraphe 3.1.1). Le zonage sous EMME en 800 zones est compatible avec le niveau de finesse requis pour l'élaboration du modèle de transports collectifs.

3.2.1.2 Réseau de voirie

Comme pour le zonage, le réseau de voirie du modèle de transports collectifs est basé sur le réseau de voirie du modèle routier sous EMME. Les identifiants des tronçons et des nœuds sous EMME ont été conservés sous TransCAD afin de permettre les échanges entre le modèle routier et le modèle de transports collectifs. La codification des lignes et des arrêts de TC a nécessité la création de nouveaux nœuds et la coupure de certains tronçons existants. Le détail de cette manipulation délicate est détaillé dans le paragraphe suivant.

3.2.1.3 Tracé des lignes et fréquences

RTC – rive nord :

Le fichier GTFS fourni par le RTC a servi de base pour élaborer le tracé des lignes et les horaires de passages.

L'import du GTFS dans TransCAD ne pouvait se faire d'une manière automatisée du fait que le réseau de voirie sous-jacent utilisé dans le GTFS n'est pas compatible avec le réseau de voirie du modèle routier.

De ce fait, les arrêts du fichier GTFS ont donc été géocodés sur le réseau de voirie sous TransCAD. Les arrêts à proximité d'un nœud (distance < 60 m) ont été rattachés au nœud (un arrêt par nœud), pour les autres, les tronçons ont été découpés et l'arrêt est rattaché au nouveau nœud créé. Le découpage a été réalisé de manière à garder une trace des tronçons origines pour maintenir un lien avec le modèle routier sous EMME. Ainsi, une base avec tous les arrêts du RTC est désormais disponible sous TransCAD.

A partir des services codés dans le GTFS (un service est une succession d'arrêts dans un ordre spécifique) et de la base des arrêts du RTC sous TransCAD, les lignes ainsi que les services ont été générés sous TransCAD.

Un lourd travail de vérification de toutes les lignes et de tous les services a ensuite été mené entre le nouveau réseau de transports collectifs codé sous TransCAD, le fichier GTFS et les fiches horaires téléchargées sur le site Internet du RTC.

Enfin, les données GTFS ont été utilisées pour le calcul des fréquences de passage des différents services aux différents arrêts et d'une première valeur de la vitesse commerciale par service.

STLévis – rive sud

Les fiches horaires ainsi que le plan général du réseau téléchargés sur le site de la STLévis ont été utilisés pour coder les différentes lignes et services au niveau de la rive sud.

Ces mêmes fiches horaires ont été utilisées pour le calcul des fréquences aux différents périodes horaires et pour déterminer une première approximation de la vitesse commerciale.

Le réseau modélisé dans la situation de calage (2011) est représenté dans les 3 figures ci-après.

Le réseau actuel possède 7 lignes structurantes, 4 lignes Métrobus et 3 Lévisiens. Les fréquences de passage sont entre 6 et 8 minutes aux heures de pointe pour les lignes 800 et 801, 10 minutes aux heures de pointe pour les lignes 802, 803 et L2 et de 40 minutes pour les lignes L1 et L3.

En situation de calage, les lignes eXpress sont divisées en 2 groupes : eXpress 200 vers le centre-ville et eXpress 300 vers le centre de Sainte-Foy. Les lignes eXpress empruntent les autoroutes et les services sont principalement concentrés aux heures de pointe et en cours de semaine. La fréquence de passage est très variable (10 minutes à 1 passage toutes les deux heures).

Les lignes régulières du RTC (leBus) et celles de la STLévis servent comme liaisons entre les quartiers résidentiels et les centres d'activités. C'est les lignes qui maillent le territoire. Leurs fréquences de passage varient entre 6 min et 1 heure.

Figure 3-5 – Métrobus et Lévisien à la période de pointe du matin sur les axes routiers - calage (2011)

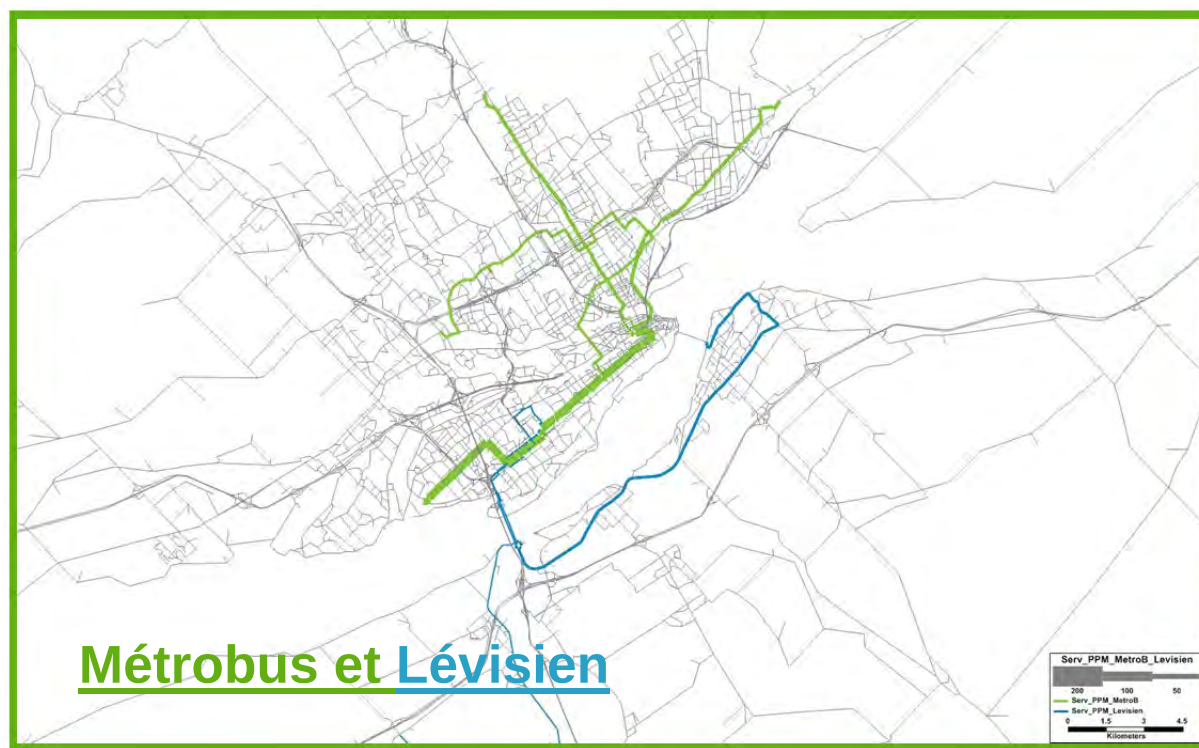
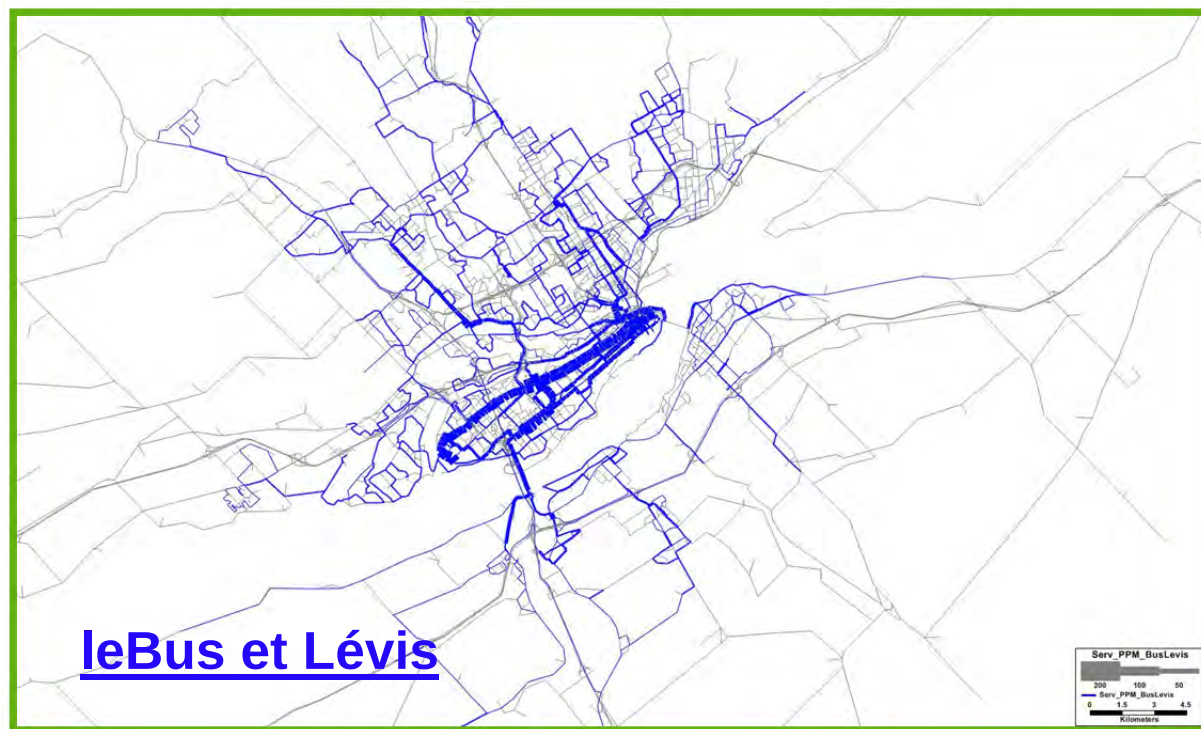


Figure 3-6 – Services eXpress à la période de pointe du matin sur les axes routiers - calage (2011)



Figure 3-7 – Services leBus et lignes régulières de la STLévis à la période de pointe du matin sur les axes routiers – calage (2011)



3.2.2 Calage en temps de parcours

Une attention particulière a été allouée au calage en temps de parcours pour le modèle de transports collectifs. Ils ont été scindés en deux catégories : le temps d'arrêt moyen en station et le temps de parcours sur chaque tronçon du réseau.

3.2.2.1 Temps d'arrêt moyens en station

Les temps d'arrêt moyens en station sont établis pour chaque ligne sur la base de l'exploitation des données transmises par le RTC, ils sont compris entre 5 et 30 secondes par arrêt selon les lignes.

3.2.2.2 Temps de parcours entre stations

La première approche utilisée consistait à récupérer les temps de parcours en auto par tronçon et à identifier les sites propres pour leur appliquer une vitesse supérieure à celle des autos. Après comparaison, il s'est avéré que les temps de parcours totaux reconstitués de terminus à terminus pour les différentes lignes à la Pointe du Soir sur la base des temps par tronçon et des temps d'arrêt étaient en général surévalués. Cette surévaluation est due au fait que le calcul ne prend pas en compte les pénalités aux intersections (par ailleurs intégrées dans le modèle routier) et que le profil d'accélération/décélération et vitesse maximale des bus ne peut être calqué sur celui des autos.

Cette approche n'a pas été retenue pour la suite de l'étude.

La reconstitution des temps de parcours hors temps d'attente aux arrêts a été réalisée grâce aux fichiers de temps de parcours moyens mesurés entre arrêts transmis par le RTC. Cette base couvrait tous les tronçons traversés par une ligne de transport collectifs du RTC. Le calcul des temps de parcours entre stations pour la période hors pointe journée est basé sur les comparaisons des temps auto pour les différentes heures disponibles et des temps TC hors pointe fournis par le RTC.

La deuxième approche a donc été concluante. Elle permet une bien meilleure reconstitution des temps de parcours de terminus à terminus (cf. figures ci-dessous).

3.2.2.3 Temps de parcours de terminus à terminus

A la différence de ce qui est fait dans d'autres modèles, les temps de parcours sont modélisés à partir des temps de parcours entre stations et des temps d'arrêt moyens en station.

La reconstitution des temps de parcours incluant les temps d'attentes aux arrêts est très satisfaisante pour la période de pointe du soir où l'écart sur la moyenne des temps observés n'est que de +3 %. Pour la période de pointe du matin l'écart est de près de +8 %.

Figure 3-8 – Reconstitution des temps de parcours TC de la Pointe du Soir

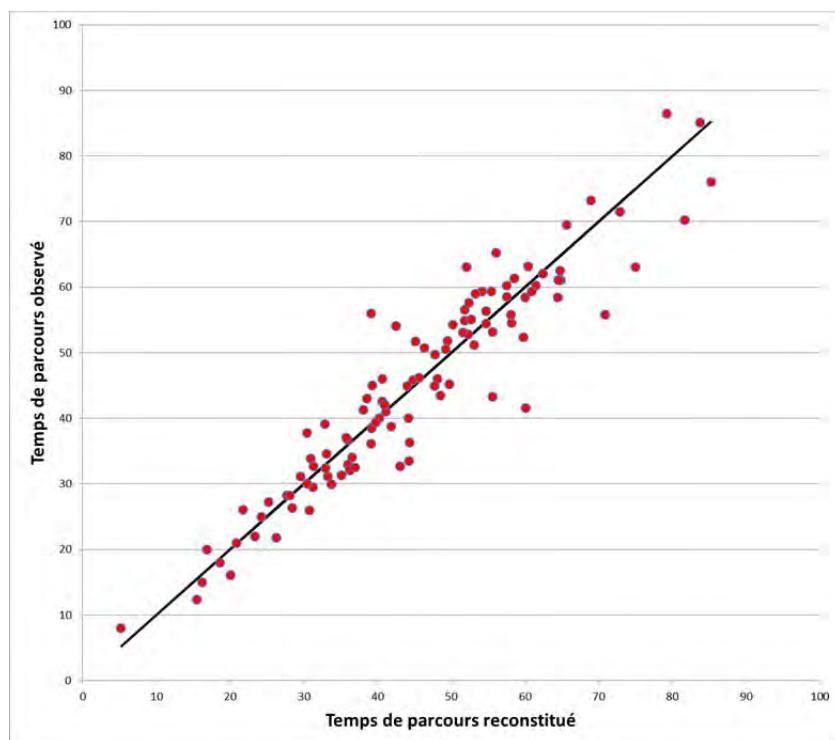
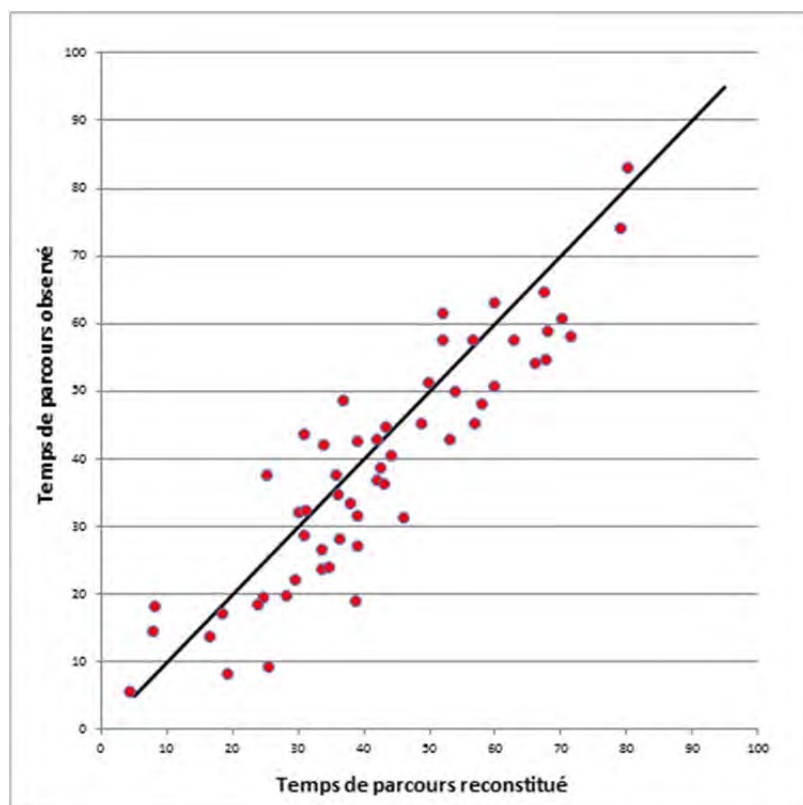


Figure 3-9 – Reconstitution des temps de parcours TC de la Pointe du Matin



3.2.3 Paramètres du modèle de transports collectifs

3.2.3.1 Codification des fréquences

Les temps inter-fréquences ont été calculés sur la base du fichier GTFS 2011 pour les lignes du RTC et des fiches horaires pour les lignes de la STLévis.

La formule utilisée est la suivante :

$$\text{Fréquence ligne} = \frac{\sum \text{des intervalles entre services}}{\text{le nombre d'intervalles (nombre de départs - 1)}}$$

Ces éléments sont calculés pour les trois périodes simulées :

- Période de pointe du matin : de 6:30 jusqu'à 8:59,
- Hors pointe jour : de 9:00 jusqu'à 15:29,
- Période de pointe du soir : de 15:30 jusqu'à 17:59.

Problématique horaire

Il n'y a pas de logique horaire à l'intérieur d'une période : les indicateurs moyens s'appliquent à toutes les OD, sans distinction d'heure de départ ou de fonctionnement d'un service sur le début ou la fin de période. Il ne s'agit pas d'affectation selon un schéma horaire, mais d'affectation à la fréquence moyenne d'une période.

3.2.3.2 Variables utilisées pour la recherche de chemins

Les variables utilisées pour la recherche de chemin sont les suivantes :

- **Temps d'accès** aux stations du réseau TC : cheminement piéton sur les connecteurs et tronçons du réseau de voirie;
- **Temps d'attente initial** : basé sur la moitié du temps inter-fréquence pour la montée dans la première ligne;
- **Temps à bord** distingué entre temps de roulement et temps passé aux arrêts;
- Éventuellement **Temps d'attente à la correspondance** basé sur la moitié du temps inter-fréquence des lignes à prendre + **Temps de marche** si nécessaire;
- **Temps de diffusion** depuis les stations du réseau jusqu'au centroïdes;
- **+ Pénalité de rupture de charge** (en minutes).

A chaque variable précédente est associé un poids : ce sont ces poids qui vont permettre de caler le modèle en débit. Ces poids n'impactent pas directement les indicateurs d'offre produits en sortie pour le choix modal; ils impactent uniquement la recherche de chemin.

3.2.3.3 Procédures d'affectation

La procédure d'affectation retenue dans TransCad est la « *procédure multichemin TransCAD Pathfinder* ».

Un ensemble de chemins efficaces est établi pour chaque relation sur la base d'un algorithme du même ordre que l'algorithme de stratégie optimale. Les services multiples desservant une relation sont « combinés » pour le calcul des indicateurs.

Son avantage est une bonne prise en compte de la fréquence dans l'optique du choix modal; son inconvénient est l'affectation à l'intérieur des itinéraires efficaces au prorata des fréquences : il n'y a pas de prise en compte à ce niveau des temps de parcours ou des ruptures de charges des différents itinéraires efficaces.

3.2.3.4 Prise en compte des troncs communs

Selon la procédure d'affectation retenue, il est possible de prendre en compte le fait que si plusieurs services peuvent être utilisés, la fréquence vue par l'utilisateur combine la fréquence de tous les services réputés intercalés de manière optimale.

3.2.4 Calage en achalandage

Le principe du calage adopté est de faire des ajustements des pondérations associées aux variables de recherche de chemin pour reproduire au mieux :

- Les flux sur les lignes,
- Les taux de correspondance : globaux et correspondances entre groupes de lignes
- Les profils de charge sur les principaux parcours

L'enquête OD 2011 (v1.0) est utilisée pour déterminer les flux quotidiens (voir tableau 5). Le nombre de déplacements TC quotidiens est de 150 200 avec un volume de montées de 198 500 soit un taux de correspondance de 1.32. Le taux de correspondance varie peu en fonction des périodes, il est de 1,30 en période de pointe du Matin et de 1,29 en période de pointe du Soir.

En 2011 la part modale quotidienne des TC était de 8,3 % selon l'enquête OD 2011 (v1.0). Elle s'élevait à 11,8 % pour la période de pointe du matin, période qui affiche la plus forte part modale TC.

Tableau 5 –Déplacements quotidiens en fonction des heures de départ et du mode principal utilisé

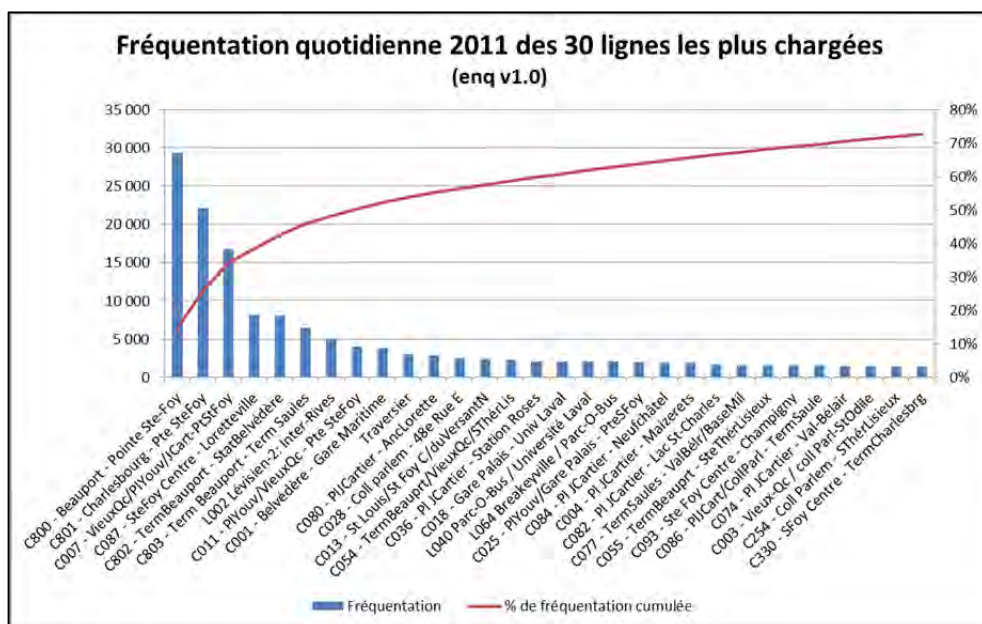
	6h30 à 8h59	9h00 à 15h29	15h30 à 17h59	18h00 à 23h59	24h à 6h29	TOTAL V1.0
AUTO_C	266 208	355 122	316 028	206 704	49 433	1 193 495
AUTO_P	55 385	70 070	76 767	65 428	6 591	274 241
TCU	47 599	35 195	47 043	16 720	3 655	150 212
MAP	31 426	69 159	40 140	22 769	1 858	165 351
VELO	4 392	4 674	4 871	2 578	420	16 935
Total	405 010	534 221	484 848	314 199	61 957	1 800 235
Part TC (hors "AUTRE")	11.8%	6.6%	9.7%	5.3%	5.9%	8.3%
AUTRE	39 247	21 883	27 175	2 778	979	91 062
TOTAL	444 257	556 104	512 023	316 977	62 936	1 891 297
Part TC (tous modes)	10.7%	6.3%	9.2%	5.3%	5.8%	7.9%

Source : enquête OD 2011(v1.0)

La fréquentation quotidienne et en période de pointe du matin du TC par ligne est présentée aux figures 3-10 et 3-11. Les lignes les plus chargées des réseaux RTC et STLévis sont sans surprise les Métrobus 800 et 801 avec près de 30 000 montées par jour pour la 800 et près de 22 000 montées par jour pour la 801. Les lignes leBus 7 et 87 ont des niveaux de fréquentations élevés. Le nombre de montées des 5 lignes les plus chargées dépasse les 40 % du nombre de montées total. Le réseau modélisé compte plus de 150 lignes. Les 30 lignes les plus chargées regroupent plus de 70 % des montées. Le classement des lignes les plus chargés est quasiment le même à la période de pointe du matin qu'au jour⁵.

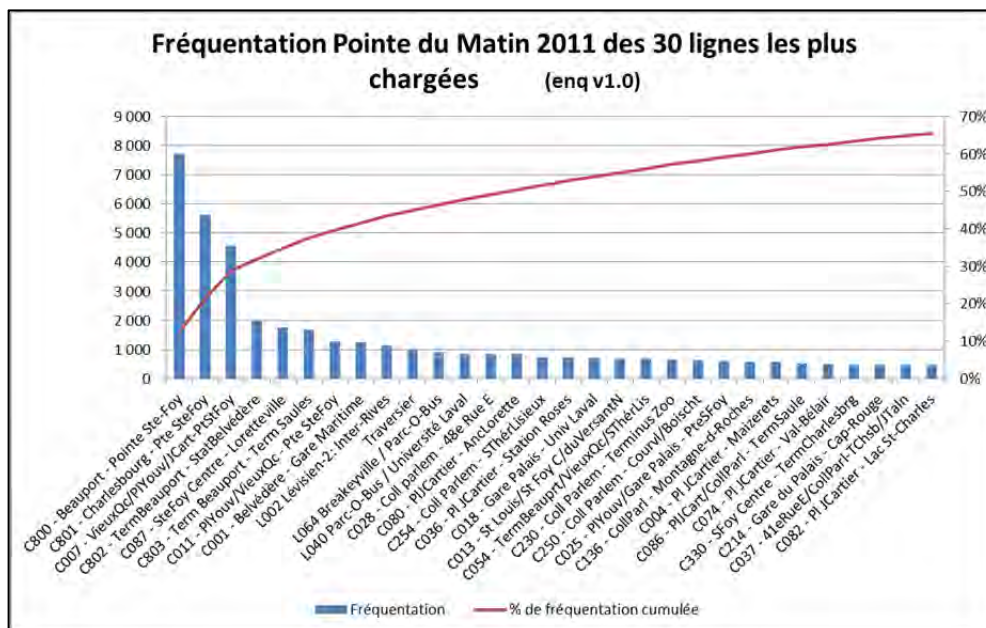
⁵ Dû à des limitations connues de l'OD2011 les achalandages des lignes 800 et 801 doivent être considérés comme un tout (déclaration d'utilisation sur le tronçon commun).

Figure 3-10 – Fréquentation quotidienne 2011 des 30 lignes les plus chargées



Source : enquête OD 2011 (v1.0)

Figure 3-11 – Fréquentation à la période de pointe du matin 2011 des 30 lignes les plus chargées



Source : enquête OD 2011 (v1.0)

3.2.4.1 Coefficients utilisés pour le calage

Identification des modes principaux TC

Pour améliorer le calage sans multiplier les bonus/malus et tout en gardant une clé de contrôle sur le nombre de correspondances entre les différents groupes de lignes, cinq modes principaux de transport collectifs ont été identifiés pour la situation 2011 :

1. leBus
2. eXpress
3. Métrobus
4. Lévis⁶
5. Traversier

En situation future avec tramway un sixième mode est introduit et est affecté aux lignes de tramway.

Pondérations des temps

Les différentes pondérations des temps de parcours ressentis et les pénalités de correspondance spécifiques sont définies par mode comme présenté aux tableaux 6 et 7. Les pondérations pour le temps de parcours ressenti sont limitées à +/- 20 % du temps de parcours initialement codé. Comme indiqué précédemment, les pondérations sont uniquement utilisées dans l'étape d'affectation, elles n'interviennent pas dans le choix modal.

La pénalité de temps de parcours traduit une préférence ou un meilleur confort dans un mode. C'est le cas du Métrobus, plus attractif le matin et le soir.

Le poids de la marche à pied traduit la préférence à marcher vers un arrêt de bus plus lointain mais mieux desservi ou de faire une correspondance : il sert au calage du taux de correspondance global.

Tableau 6 – Matrice de pondérations par mode pour les périodes de pointe du matin et du soir

	Pénalité temps de parcours	Pénalité temps d'attente initial	Pénalité temps d'attente de correspondance
LeBus	1,00	2,00	2,20
Express	1,20	1,50	2,20
Metrobus	0,80	2,00	1,80
Lévis	1,00	2,00	2,20
Traversier	1,00	0,50	0,50
MaP	3,00		

⁶ Les Lévisiens sont traités au même titre que les autres lignes de Lévis

Tableau 7 – Matrice de pondérations par mode pour la période hors pointe jour

	Pénalité temps de parcours	Pénalité temps d'attente initial	Pénalité temps d'attente de correspondance
LeBus	0,80	2,00	2,20
Express	0,80	1,50	1,50
Metrobus	1,20	2,00	2,00
Levis	0,80	2,00	2,00
Traversier	1,00	0,50	0,50
MaP	3,00		

Matrice mode à mode des pénalités de correspondance

La pénalité de correspondance est un temps qui s'ajoute au temps généralisé pour traduire la pénibilité de transfert, au-delà des temps réels d'attente du second bus (voir tableaux 8 et 9). Le calage conduit à moduler la pénalité initiale de 30 minutes selon les correspondances effectivement observées dans l'enquête. La matrice obtenue pour la période de pointe du soir est la transposée de celle du matin. Pour la période hors pointe jour, les pénalités ont été légèrement modifiées.

Tableau 8 – Matrice de pénalités de correspondance (en min) pour les périodes de pointe du matin et du soir

	LeBus	Express	Metrobus	Levis	Traversier
LeBus	25	30	25	30	30
Express	35	30	40	30	30
Metrobus	22	30	20	40	30
Levis	35	30	35	20	30
Traversier	30	30	30	30	30

Tableau 9 – Matrice de pénalités de correspondance (en min) pour la période hors pointe jour

	LeBus	Express	Metrobus	Levis	Traversier
LeBus	28	30	20	33	30
Express	30	30	30	30	30
Metrobus	22	30	20	38	30
Levis	33	30	38	20	30
Traversier	30	30	30	30	30

3.2.4.2 Critère d'ajustement

L'indicateur GEH est un indicateur qui permet de comparer deux séries de trafics (typiquement, une série de trafics réels mesurés et une série de trafics issus d'une modélisation) dont les valeurs peuvent varier sur une grande plage. La non-linéarité du GEH permet de comparer, avec la même échelle, de gros écarts sur un trafic faible et de faibles écarts sur un trafic important.

Le GEH a été retenu pour mesurer le calage en débit des modes principaux TC. La formulation générale du GEH est la suivante :

$$GEH = \sqrt{\frac{2(M - C)^2}{M + C}}$$

Avec M : valeur modélisé et C : valeur observée (enquête OD 2011 dans notre cas)

Un indicateur GEH < 5 traduit un très bon calage, au-delà de 10, il est médiocre.

3.2.4.3 Les résultats du calage en débit

Les coefficients de calage présentés dans les paragraphes précédents permettent une bonne reconstitution des flux par mode et du taux de correspondance global. Par contre au niveau de chaque ligne, la reconstitution est parfois moins bonne, ceci est fort probablement dû aux reports d'une ligne à l'autre quand plusieurs possibilités sont possibles pour un même déplacement ou à la répartition des flux sur les troncs communs.

Le nombre de montées pour le Traversier est présenté uniquement à titre indicatif. Le modèle de transports collectifs ne prend en compte que les flux qui se rabattent à pied ou en transport collectif sur le Traversier soit une partie des flux empruntant le Traversier. Dans la suite, les résultats de calage du traversier ne seront pas mentionnés dans l'analyse.

Période de pointe du matin

Le calage en débit pour les modes principaux TC pour la période de pointe du matin est très satisfaisant, il affiche un GEH global de 1. Les lignes de la STLévis étant les moins bien calées avec près de -4 % de différence entre l'observé et le modélisé ce qui représente un GEH de 3.

Le taux de correspondance est parfaitement reconstitué.

L'examen du calage par ligne montre que près de 75 % des lignes présentent un GEH inférieur à 10 donc un GEH qualifié de relativement bon (40 % ont un GEH inférieur à 5). Le coefficient de détermination pour la période de pointe du matin s'élève à 0,94.

Les lignes les moins bien représentées sont les lignes 800 et 801 qui doivent être considérées ensemble comme indiqué précédemment ; dans ce cas le GEH est de 2. La ligne 7 ainsi que le Lévisien inter-rives ont des statuts intermédiaires entre Métrobus et bus, leurs calages ne sont donc pas très bons, néanmoins, la restructuration du réseau qui interviendra à horizon projet aura tendance à rectifier le problème. D'autres lignes isolées, tel que la C281 ou la L094, n'ont pas un bon GEH, l'ensemble de ces lignes représentent 8 % du trafic.

Tableau 10 – Résultats du calage pour la période de pointe du matin pour les montées par modes principaux

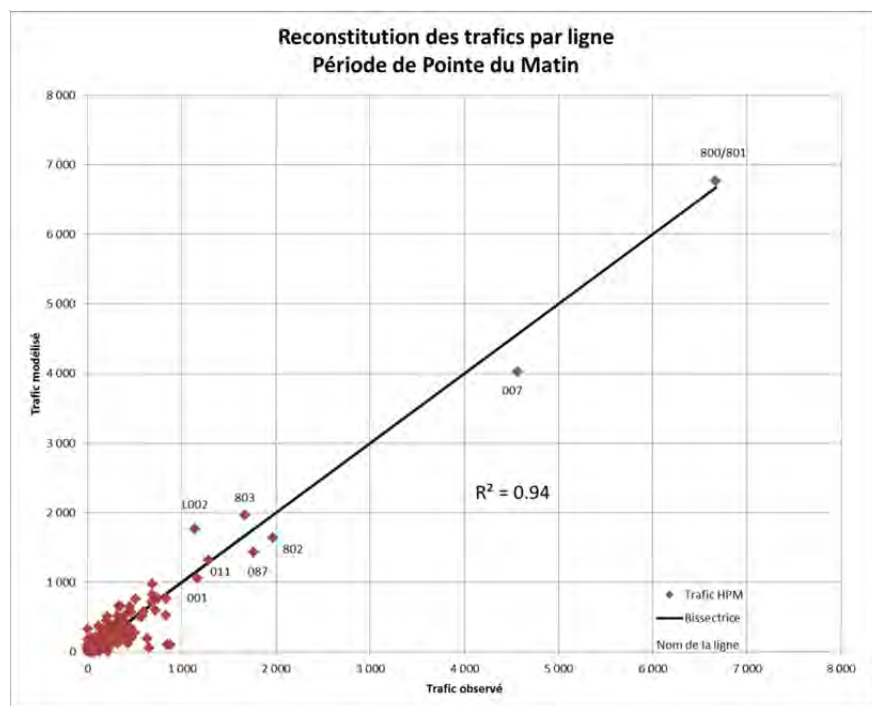
	Observé	Modélisé	Ecart Relatif	Ecart absolu	GEH
Le Bus	24 192	24 055	-1%	-137	1
Express	13 011	13 122	1%	110	1
Metrobus	16 980	17 117	1%	137	1
Levis	6 809	6 568	-4%	-241	3
Traversier	438	336	-23%	-102	5
Total	61 430	61 198	0%	-233	1

Taux de correspondance	1,30	1,30
------------------------	------	------

Tableau 11 – Répartition par classe de GEH du résultat de calage des lignes modélisées

GEH	Nombre de lignes	Part des lignes
GEH <5	67	40%
GEH 5-10	57	34%
GEH >10	42	25%
Total	166	100%

Figure 3-12 – Reconstitution des trafics par ligne pour la période de pointe du matin



Par modes, les coefficients de détermination (R^2) sont les suivants : Lévis 0.80 ; Express 0.70 ; Bus 0.95 ; Métrobus 0.99.

Période de pointe du soir

Les résultats du calage pour la période de pointe du soir sont dans l'ensemble équivalents à ceux de la période de pointe du matin. Les GEH par mode principal TC sont compris entre 1 et 2, le taux de correspondance modélisé est de 1,27 contre 1,28 pour l'observé. Enfin le R^2 s'élève à 0,94.

Tableau 12 – Résultats du calage pour la période de pointe du soir pour les modes principaux

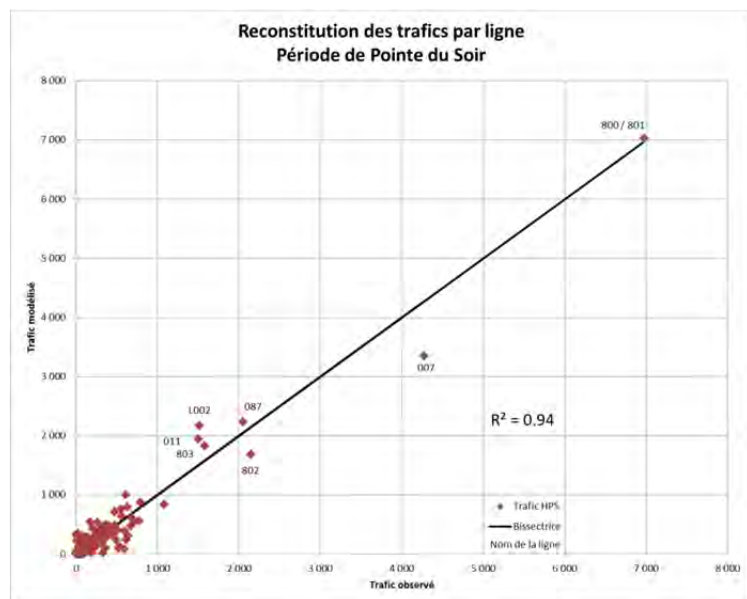
	Observé	Modélisé	Ecart Relatif	Ecart absolu	GEH
Le Bus	24 283	24 183	0%	-100	1
Express	11 405	11 210	-2%	-194	2
Métrobus	17 669	17 589	0%	-81	1
Lévis	6 062	6 195	2%	133	2
Traversier	448	334	-25%	-114	6
Total	59 867	59 511	-1%	-356	1

Taux de correspondance	1,28	1,27
------------------------	------	------

Tableau 13 – Répartition par classe de GEH du résultat de calage des lignes modélisées

GEH	Nombre de lignes	Part des lignes
GEH <5	63	41%
GEH 5-10	52	34%
GEH >10	40	26%
Total	155	100%

Figure 3-13 – Reconstitution des trafics par ligne pour la période de pointe du soir



Période hors pointe jour

Les résultats du calage par mode principal pour la période hors pointe jour sont moins bon que ceux des périodes de pointes mais restent toutefois convenables. Les GEH par modes sont compris entre 2 et 6.

Par ailleurs, le calage global est bon puisqu'on retrouve exactement le taux de correspondance observé, que plus de 77 % des lignes ont un GEH inférieur à 10 et que le R^2 s'élève à 0,97.

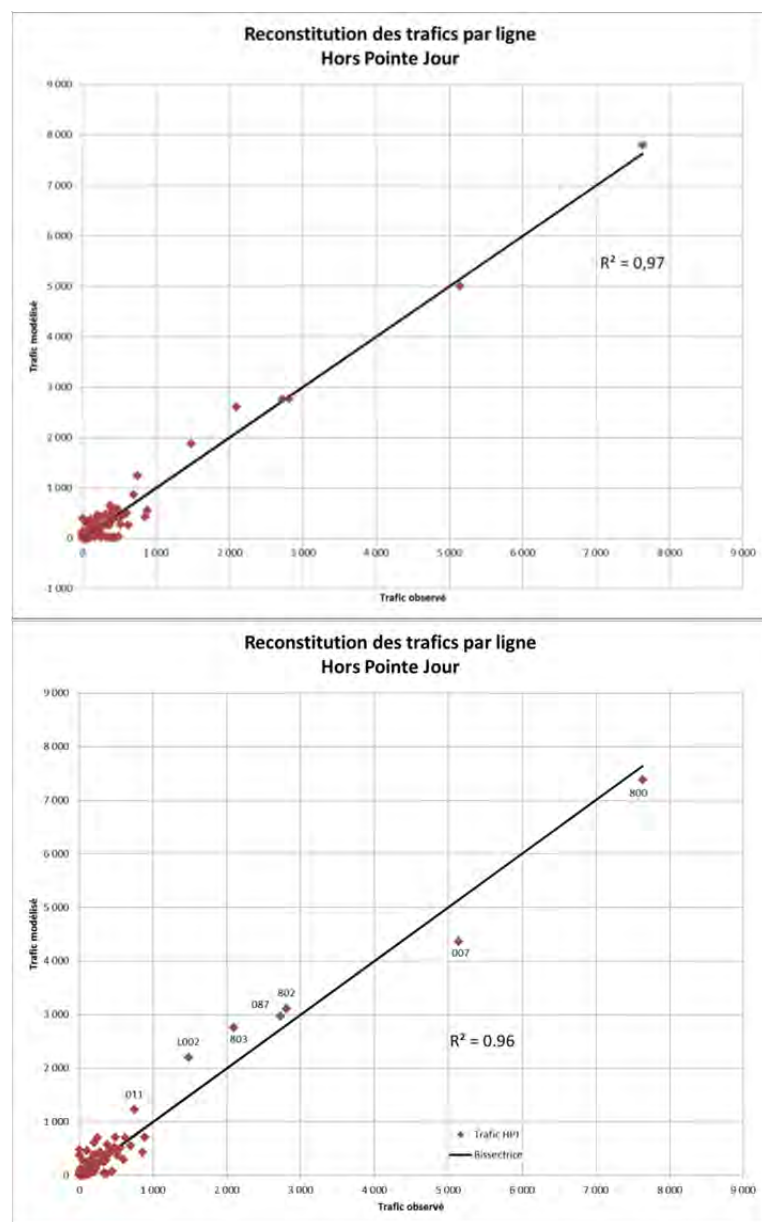
Tableau 14 – Résultats du calage pour la période hors pointe jour pour les modes principaux

	Observé	Modélisé	Ecart Relatif	Ecart absolu	GEH
Le Bus	21 366	20 904	-2%	-463	3
Express	1 510	1 432	-5%	-78	2
Metrobus	20 174	20 973	4%	798	5
Levis	4 173	4 068	-3%	-105	2
Traversier	227	109	-52%	-117	9
Total	47 451	47 486	0%	35	0

Taux de correspondance	1.36	1.36
-------------------------------	------	------

Tableau 15 – Répartition par classe de GEH du résultat de calage des lignes modélisées

GEH	Nombre de lignes	Part des lignes
GEH <5	56	38%
GEH 5-10	58	39%
GEH >10	34	23%
Total	148	100%

Figure 3-14 – Reconstitution des trafics par ligne pour la période hors pointe jour

3.2.4.4 Calage en correspondances de mode à mode

Pour obtenir à un bon calage des différents modes principaux et du taux de correspondance il est indispensable de pouvoir reconstituer la matrice des correspondances entre les différents modes. La matrice des correspondances entre modes principaux permet de déterminer le schéma de fonctionnement des rabattements des lignes régulières vers les lignes structurantes donc de définir la hiérarchisation des lignes du réseau.

Le modèle de transports collectifs reproduit bien les correspondances entre les différents modes principaux TC. Les matrices de correspondances issues du modèle pour les différentes périodes modélisées affichent de faibles écarts avec les matrices issues de l'enquête OD 2011 (v1.0).

Période de pointe du matin

Tableau 16 – Matrices des correspondances entre les modes principaux TC (période de pointe du matin)

Observation dans l'enquête OD

Correspondance		A						
		Le Bus	Express	Metrobus	Levis	Traversier	Total en correspondance	Pas d'autre ligne
De	Le Bus	2 807	653	2 771	14	152	6 397	17 779
	Express	1 306	13	691	35	0	2 045	10 966
	Metrobus	1 681	123	1 274	58	0	3 135	13 856
	Levis	102	11	164	2 176	91	2 544	4 257
	Traversier	42	0	0	88	0	131	307
	Total	5 939	800	4 899	2 370	243	14 252	47 165

Modélisation

Correspondance		A						
		Le Bus	Express	Metrobus	Levis	Traversier	Total en correspondance	Pas d'autre ligne
De	Le Bus	2 679	446	3 122	86	77	6 411	17 644
	Express	1 633	33	354	46	0	2 066	11 055
	Metrobus	1 846	19	1 281	29	0	3 175	13 942
	Levis	358	53	248	2 069	141	2 869	3 735
	Traversier	120	0	0	40	0	160	176
	Total	6 637	550	5 004	2 271	218	14 681	46 553

Ecart absolu

Correspondance		A						
		Le Bus	Express	Metrobus	Levis	Traversier	Total en correspondance	Pas d'autre ligne
De	Le Bus	-128	-207	352	73	-75	14	-136
	Express	327	20	-337	11	0	21	89
	Metrobus	165	-104	7	-29	0	40	87
	Levis	256	42	84	-106	50	324	-522
	Traversier	78	0	0	-48	0	29	-131
	Total	698	-249	105	-100	-25	429	-613

Période de pointe du soir

Tableau 17 – Matrices des correspondances entre les modes principaux TC (période de pointe du soir)

Observation dans l'enquête OD

Correspondance		A							
		Le Bus	Express	Metrobus	Levis	Traversier	Total en correspondance	Pas d'autre ligne	Total
De	Le Bus	2 729	1 007	1 923	163	82	5 904	18 363	24 267
	Express	569	0	94	30	0	693	10 711	11 405
	Metrobus	2 749	592	921	74	0	4 335	13 334	17 669
	Levis	66	53	75	1 752	49	1 996	4 066	6 062
	Traversier	90	0	0	91	0	182	266	448
	Total	6 204	1 651	3 014	2 109	131	13 109	46 741	59 850

Modélisation

Correspondance		A							
		Le Bus	Express	Metrobus	Levis	Traversier	Total en correspondance	Pas d'autre ligne	Total
De	Le Bus	2 352	1 059	2 220	149	179	5 960	18 223	24 183
	Express	429	38	0	0	0	467	10 743	11 210
	Metrobus	2 602	425	1 081	229	0	4 337	13 251	17 589
	Levis	174	75	31	1 814	38	2 132	4 063	6 195
	Traversier	48	0	0	171	0	219	115	334
	Total	5 606	1 597	3 332	2 363	217	13 115	46 396	59 511

Ecart absolu

Correspondance		A							
		Le Bus	Express	Metrobus	Levis	Traversier	Total en correspondance	Pas d'autre ligne	Total
De	Le Bus	-376	52	296	-13	97	56	-140	-84
	Express	-140	38	-94	-30	0	-226	31	-194
	Metrobus	-147	-167	160	155	0	2	-83	-81
	Levis	108	22	-45	62	-11	136	-3	133
	Traversier	-42	0	0	79	0	37	-152	-114
	Total	-597	-54	318	254	86	6	-346	-340

Période Hors Pointe Jour

Tableau 18 – Matrices des correspondances entre les modes principaux TC (période hors pointe jour)

Observation dans l'enquête OD

Correspondance		A							
		Le Bus	Express	Metrobus	Levis	Traversier	Total en correspondance	Pas d'autre ligne	Total
De	Le Bus	2 559	183	3 048	79	76	5 945	15 421	21 366
	Express	155	0	113	13	0	281	1 230	1 510
	Metrobus	2 801	114	1 532	84	19	4 549	15 625	20 174
	Levis	94	0	52	1 429	9	1 584	2 589	4 173
	Traversier	9	0	0	68	0	77	150	227
	Total	5 618	297	4 744	1 673	104	12 436	35 015	47 451

Modélisation

Correspondance		A							
		Le Bus	Express	Metrobus	Levis	Traversier	Total en correspondance	Pas d'autre ligne	Total
De	Le Bus	2 505	921	2 627	30	0	6 082	14 822	20 904
	Express	214	31	114	242	0	600	832	1 432
	Metrobus	2 898	65	1 477	148	0	4 588	16 385	20 973
	Levis	75	4	42	1 328	62	1 511	2 586	4 096
	Traversier	31	0	0	9	0	40	70	109
	Total	5 723	1 021	4 259	1 756	62	12 821	34 694	47 515

Ecart absolu

Correspondance		A							
		Le Bus	Express	Metrobus	Levis	Traversier	Total en correspondance	Pas d'autre ligne	Total
De	Le Bus	-54	737	-421	-49	-76	137	-600	-463
	Express	59	31	1	228	0	319	-397	-78
	Metrobus	97	-49	-55	64	-19	39	759	798
	Levis	-19	4	-10	-101	53	-73	-3	-77
	Traversier	22	0	0	-59	0	-37	-80	-117
	Total	105	723	-485	84	-42	385	-321	64

3.2.4.5 Comparaison des résultats de l'enquête aux comptages

La comparaison des résultats d'achalandages obtenus avec l'enquête OD 2011 (v1.0) avec les données de comptages fournies par le RTC permet de déterminer le degré de fiabilité de l'enquête. Toutefois, pour mener à bien cette comparaison, il aurait fallu comparer les résultats de l'enquête aux comptages des jours pendant lesquels les enquêtes ont été menées et non aux moyennes des différents jours pendant lesquels les comptages ont été réalisés.

L'analyse comparative a été réalisée pour les principales lignes du RTC, pour lesquelles ce travail a été réalisé manuellement.

Les premières analyses montrent que les flux par ligne obtenus à partir des comptages ne sont pas cohérents avec les flux issus des enquêtes OD.

Force est de noter que l'enquête OD surestime d'une manière générale les achalandages des Métrobus. Toutefois, selon le RTC, l'enquête OD serait plus fiable en termes d'achalandage que les comptages à bord des

véhicules à cause des dysfonctionnements constatés au niveau des compteurs de passagers dans les bus articulés.

La répartition des flux sur le tronc commun des lignes Métrobus 800 et 801 n'est pas bonne. Le modèle surestime le nombre de montées sur la 801 et sous-estime le nombre de montées de la 800. Ceci est probablement dû au fait que pendant les enquêtes une partie des voyageurs utilisant une des deux lignes citées ci-avant au niveau du tronc commun déclare avoir utilisé l'autre ligne.

Tableau 19 – Comparaison des achalandages issus des comptages RTC aux résultats de l'enquête OD 2011 (v1.0) pour la période de pointe du matin

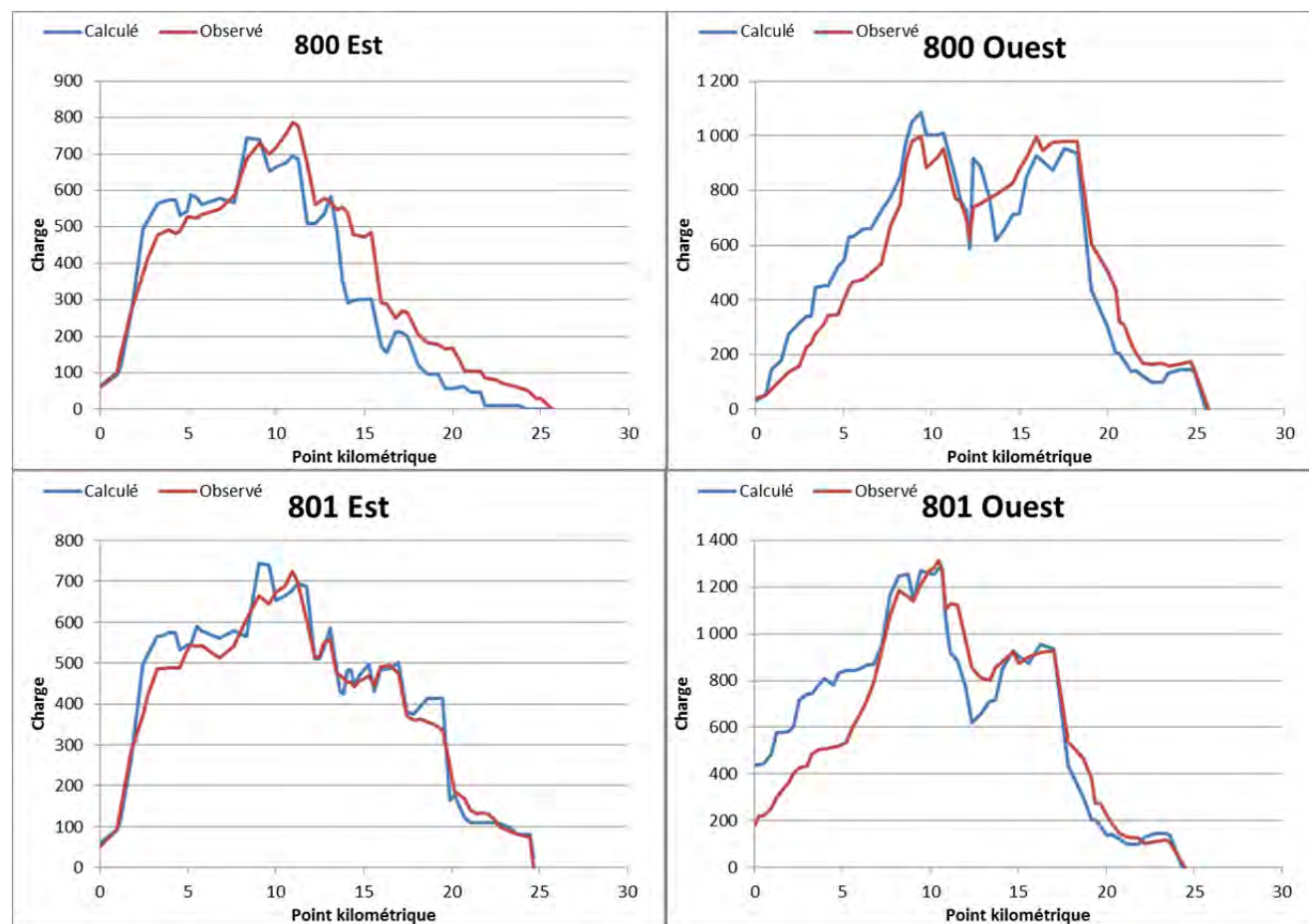
Ligne	Comptages	Enquête OD 2011	Ecart OD/Comptage	Modélisé	Ecart Modèle / comptages	Ecart Modèle / OD
800	4 686	7 727	65%	6 118	31%	-21%
801	5 187	5 613	8%	7 377	42%	31%
7	3 581	4 561	27%	3 952	10%	-13%
802	1 655	1 970	19%	1 681	2%	-15%
87	1 426	1 765	24%	1 457	2%	-17%
803	1 118	1 669	49%	1 941	74%	16%
11	983	1 285	31%	1 327	35%	3%
1	846	1 168	38%	1 006	19%	-14%
25	353	592	68%	576	63%	-3%
80	599	833	39%	528	-12%	-37%
54	314	678	116%	704	124%	4%
28	482	834	73%	767	59%	-8%
18	494	686	39%	823	67%	20%

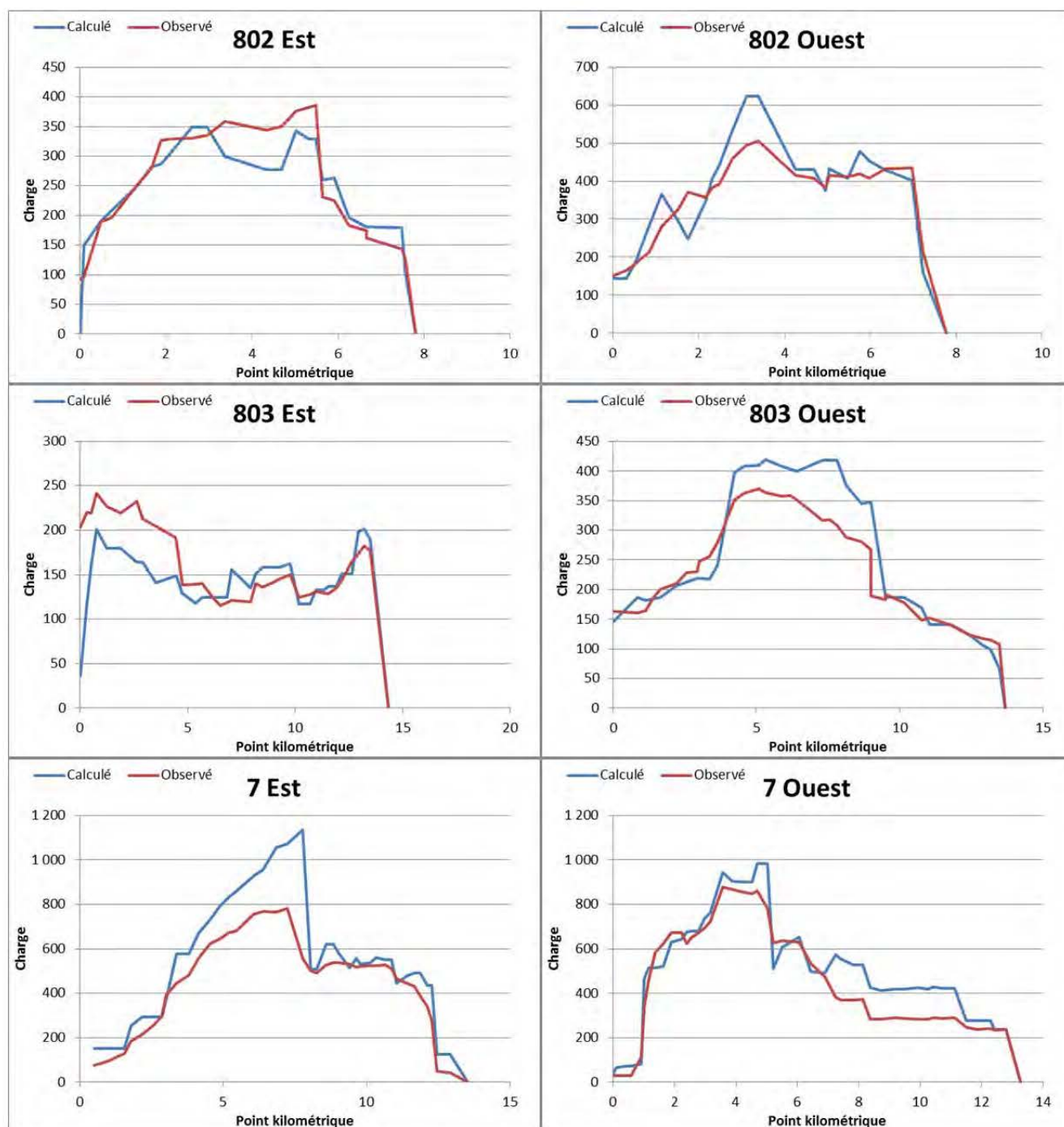
Tableau 20 – Comparaison des achalandages issus des comptages RTC aux résultats de l'enquête OD 2011 (v1.0) pour la période de pointe du soir

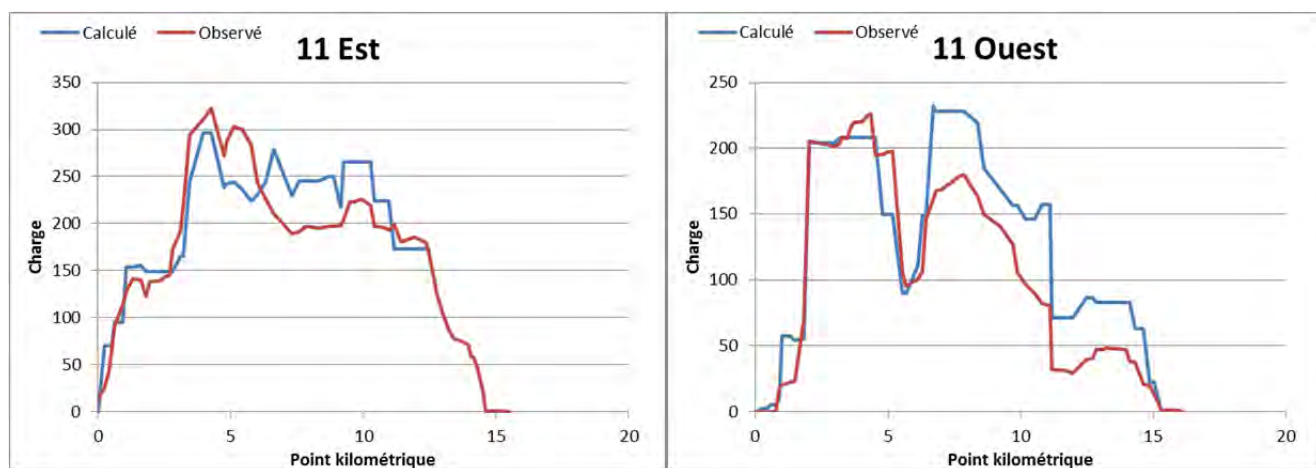
Ligne	Comptages	Enquête OD 2011	Ecart OD/Comptage	Modélisé	Ecart Modèle / comptages	Ecart Modèle / OD
800	4 606	8 248	79%	6 678	45%	-19%
801	5 470	5 698	4%	7 333	34%	29%
7	3 486	4 278	23%	3 357	-4%	-22%
802	1 823	2 146	18%	1 748	-4%	-19%
87	1 395	2 052	47%	2 243	61%	9%
803	1 277	1 577	23%	1 830	43%	16%
11	894	1 500	68%	1 940	117%	29%
1	716	1 085	52%	827	15%	-24%
25	433	788	82%	870	101%	10%
80	626	777	24%	564	-10%	-27%
54	272	711	162%	535	97%	-25%
28	458	682	49%	582	27%	-15%
18	336	671	100%	469	40%	-30%

Les serpents de charge ci-après montrent que le modèle reconstitue d'une manière satisfaisante le fonctionnement des lignes principales. Il est à noter que les graphiques ont été réalisés pour la période de pointe du matin avec des volumes de montées homogénéisés. L'homogénéisation consiste à adapter les profils de charge issus des comptages à la demande de l'enquête OD pour permettre une base de comparaison en termes de serpents de charge. En d'autres termes, la forme du serpent de charge obtenue à l'aide des comptages est maintenue. Toutefois les achalandages sont modifiés pour prendre en compte les valeurs de l'enquête OD.

Figure 3-15 – Serpents de charge des lignes principales : comparaison modélisé / comptages (période de pointe du matin)







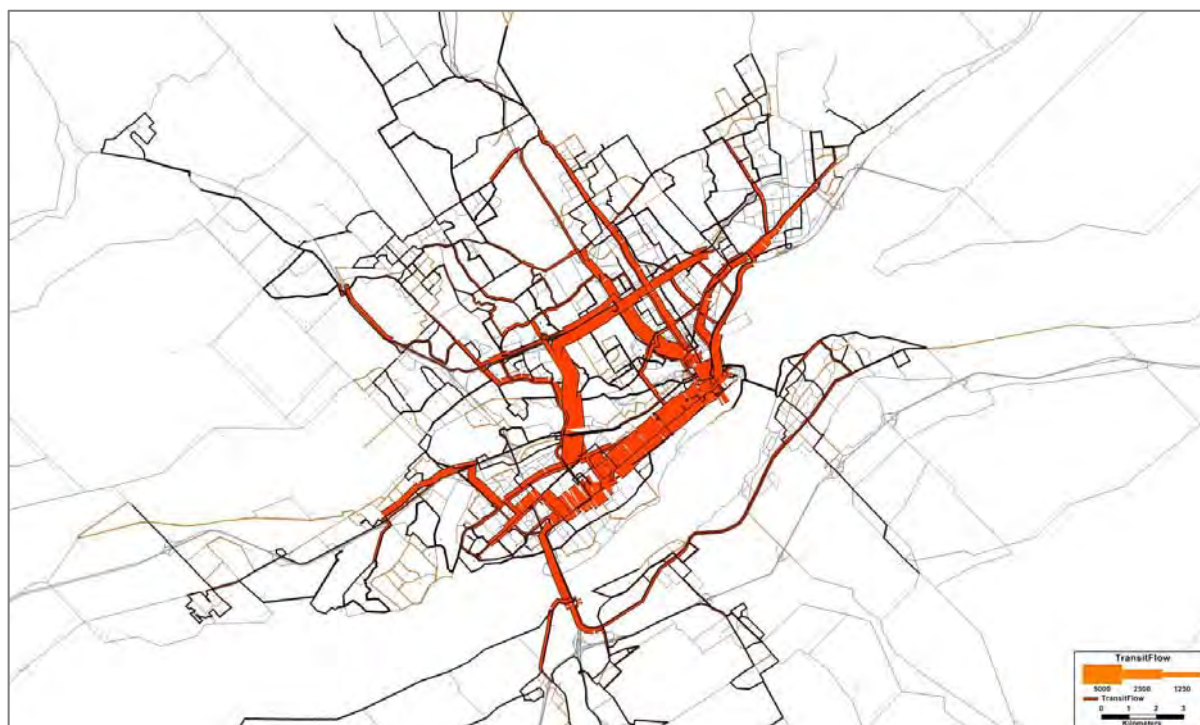
Les Figure 3-16 et Figure 3-17 montrent que le modèle représente bien les flux aux périodes de pointe du matin et du soir. On peut noter que pour la période de pointe du matin les principaux flux se dirigent vers les pôles de Saint-Foy et la Colline Parlementaire avec des flux sur le Pont de Québec orientés vers Québec et qu'à la période de pointe du soir, les flux sont inversés.

3.2.4.6 Affectations sur le réseau

Les cartes suivantes permettent de visualiser le trafic en transports collectifs sur les axes du réseau

Figure 3-16 – Carte d'affectation, situation 2011, période de pointe du matin



Figure 3-17 – Carte d'affectation, situation 2011, période de pointe du soir

3.2.5 Conclusion

Le modèle de transports collectifs est calé en débit, en taux de correspondance global et entre sous-modes TC pour la situation de calage issue de l'enquête OD2011 (v1.0). Par ailleurs les serpents de charge des principales lignes sont cohérents avec les observations.

La situation 2011 calée servira de base pour la modélisation des situations futures avec et sans tramway.

3.3 Calage du modèle de choix modal

3.3.1 Type de modèle utilisé

La modélisation du choix modal qui a été mise en œuvre est une modélisation basée sur des formulations de type logit ajustées sur données individuelles. Les données individuelles correspondent à l'ensemble des déplacements journaliers de l'enquête OD hors déplacements intrazonaux⁷. La mise au point de ces formulations passe par une analyse économétrique spécifique reposant sur la définition de fonctions d'utilité.

Le but de l'analyse est d'évaluer pour chaque mode i (la route, la marche à pied et les transports collectifs) en concurrence et pour chaque déplacement réalisé par chaque individu j une fonction d'utilité U_{ji} qui fait intervenir différents attributs qui peuvent être les caractéristiques classiques des modes étudiés (coût, temps, fréquence, stationnement, nombre de correspondance...) et des variables socio-économiques caractérisant l'individu lui-même (motif, âge...).

⁷ Au niveau du zonage du modèle de réseau en 800 zones

La fonction d'utilité U_{ji} du mode i concernant l'individu j est généralement traduite par une fonction linéaire des différents attributs : $U_{ji} = a_0 + a_1 \times X_{j1} + \dots + X_{jn} + \varepsilon_i$

Où

- $X_1, \dots, X_n$ = les attributs (Coûts, temps, fréquence, temps d'accès...) de l'alternative pour l'individu j ;
- $a_0, a_1, \dots, a_n$ = les paramètres du modèle;
- ε_i = une perturbation aléatoire.

Plus la fonction d'utilité d'un mode est grande, et plus l'individu sera enclin à choisir ce mode.

Notons qu'il est possible d'utiliser des formulations d'utilité non-linéaire faisant intervenir des transformations de Box-Cox. On utilise alors $\frac{X^\alpha - 1}{\alpha}$ au lieu de X , α étant l'un des paramètres d'ajustement.

On fait ensuite l'hypothèse que la perturbation aléatoire ε_i suit une loi EV1 (Extreme value de type 1).

Dans ces conditions et si toutes les alternatives sont toutes indépendantes (cas du modèle Logit simple ou encore dénommé Logit multinomial), la probabilité $P_j(i)$ de choisir l'alternative i pour l'individu j est alors proportionnelle à $\text{EXP}(U_{ji})$ où EXP représente la fonction exponentielle.

Supposons que l'on ait I alternatives, on a alors : $P_j(i) = \frac{\text{EXP}(U_{ji})}{\sum_{k=1 \text{ à } I} \text{EXP}(U_{jk})}$

Les paramètres associés à chaque constituant de la fonction d'utilité ($a_0, a_1, \dots, a_n$) sont alors généralement déterminés selon le principe statistique de "maximum de vraisemblance".

Soit N le nombre d'individus de l'échantillon et I le nombre d'alternatives; La fonction de vraisemblance correspond à la définition suivante : $\mathcal{L} = \prod_{j=1 \text{ à } N} \prod_{i=1 \text{ à } I} P_j(i)^{d_{ij}}$

où d_{ij} vaut 1 si l'individu j a effectivement choisi l'alternative i et 0 sinon.

En d'autres termes, la fonction de vraisemblance correspond au produit pour tous les individus de l'échantillon des probabilités (calculées par le modèle) de choisir le mode effectivement choisi par chacun. Idéalement, meilleur est l'ajustement et plus la probabilité de choisir le mode effectivement choisi est proche de 1. Il en est de même du produit de toutes ces probabilités et donc également de la fonction de vraisemblance. Dans la pratique, on maximise L le logarithme de la fonction de vraisemblance : $L = \ln(\mathcal{L}) = \sum_{j=1 \text{ à } N} \sum_{i=1 \text{ à } I} d_{ij} \times \ln(P_j(i))$

La technique d'ajustement précédemment décrite fournit également deux mesures de l'ajustement général de la formulation; ces mesures sont issues de comparaisons entre le logarithme de la fonction de vraisemblance au début et à la fin de la phase d'ajustement et permettent d'indiquer si les coefficients obtenus pris dans leur ensemble sont significativement différents de zéro; il s'agit d'une part du paramètre R^2 (intuitif car assimilable au R^2 d'une régression linéaire) et d'un autre test obéissant à une statistique du Chi-deux dont le nombre de degrés de liberté dépend du nombre de paramètres du modèle. Dans le principe, ce second test est comparable au test de Fisher des régressions classiques.

La technique du maximum de vraisemblance permet aussi de mesurer le degré de signification de chacun des paramètres de l'utilité en fournissant pour chaque paramètre estimé un test de Student, qui est un indicateur de la qualité de l'ajustement obtenu.

L'outil utilisé par Setec international pour évaluer les différents paramètres des formulations Logit est le logiciel BIOGEME (Bierlaire Optimization toolbox for GEv Model Estimation) ; ce logiciel est développé par Michel BIERLAIRE, professeur à l'Ecole Polytechnique de Lausanne.

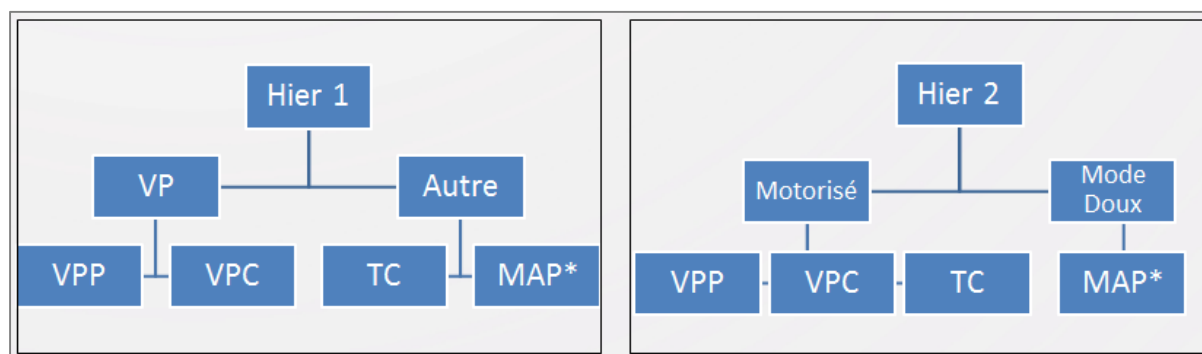
3.3.2 Alternatives retenues et forme des modèles

Les alternatives retenues pour le modèle de choix modal sont présentées ci-dessous; elles sont au nombre de quatre car il n'a pas été possible de séparer le mode vélo du mode marche à pied du fait de la très faible représentativité des utilisateurs du vélo dans l'enquête OD 2011. Les deux modes seront donc traités conjointement comme modes actifs. Le choix modal comprend donc les alternatives suivantes :

- MAP* : Marche à pied et vélo. Les modes actifs sont autorisés pour les déplacements dont la distance est inférieure à un certain seuil. Le seuil est fixé par analyse de l'enquête OD 2011 pour couvrir 90 % des déplacements réalisés par ces modes, les déplacements restants étant considérés comme des exceptions. Le seuil est de 4 km car il faut prendre en compte les déplacements à vélo.
- VPC : Conducteur d'un véhicule particulier. Le mode est disponible uniquement si l'individu possède le permis de conduire.
- VPP : Passager d'un véhicule particulier.
- TC : Transport en commun. Le mode est disponible uniquement si une offre en transport en commun existe pour le déplacement considéré.

Plusieurs types de modèles ont été testés. Dans un premier temps, un modèle de type logit multinomial a été testé. C'est la forme la plus simple où toutes les alternatives sont placées au même niveau de choix. Ensuite, deux formes hiérarchiques ont été testées. Dans ces modèles hiérarchiques, les transferts entre modes sont plus faciles au sein d'un même nœud.

Figure 3-18 – Modèles hiérarchiques testés



3.3.3 Variables retenues pour les différentes fonctions d'utilité

3.3.3.1 Offre de transport

La base de données utilisée pour le calage du choix modal est l'enquête OD 2011 v1.0 pour un jour de semaine, sur des déplacements intrazonaux du modèle de réseau TC / VP, enrichie :

- Des paramètres d'offre de transport routiers (temps, distance) détaillés pour les six heures de pointes. L'offre de la période hors pointe correspondant au temps minimum observé sur les périodes modélisées.
- Des paramètres d'offre en transport en commun (temps généralisé, nombre de correspondance) pour la période de matin, du soir ainsi que la période hors pointe jour utilisée également pour le soir et la nuit.
- De la distance sur le réseau viaire pour les modes actifs.
- Des modélisations des conditions de stationnement (cf. paragraphe 3.3.3.2).

Les données d'offre sont prises en compte au niveau de l'utilité correspondante sous forme de temps généralisés.

Le temps généralisé pour le mode transports collectifs est composé du :

- Temps d'accès et de diffusion en marche à pied pondéré par un coefficient 2.5 traduisant la pénibilité de la marche à pied,
- Temps d'attente au départ et en correspondance pondéré par un coefficient 2 traduisant la pénibilité des temps d'attente,
- Temps passé dans le bus pondéré par un coefficient 1,
- Coût du trajet (reconstitué selon l'âge et la possession d'un passe TC sur les prix RTC 2011) que divise la valeur du temps de l'individu.

Les valeurs des coefficients de pondération sont des valeurs utilisées dans la cadre des modèles en France et sont recommandées dans le guide des pratiques du Certu intitulé « Modélisation des déplacements urbains de voyageurs ».

Pour les transports collectifs, une variable supplémentaire associée au nombre moyen de correspondances caractérise également l'offre.

Le temps généralisé pour les modes automobiles est composé du:

- Temps passé dans le véhicule pondéré par un coefficient 1.
- Coût du trajet (basé sur un coût kilométrique de 0.117 \$/km, valeur issue modèle routier d'Ottawa) que divise la valeur du temps de l'individu et que divise le taux d'occupation du véhicule (déclaré dans l'enquête ou en moyenne selon le motif du trajet).

Le temps de marche à pied entre la place de stationnement et la destination ainsi que le coût du stationnement ne sont pas inclus dans le temps généralisé. Ils sont modélisés par deux variables indicatrices supplémentaires dont l'élaboration est décrite au paragraphe 3.3.3.2.

Les temps généralisés sont pris en compte de manière non linéaire au niveau des utilités (on a vérifié que cette non linéarité augmentait très sensiblement la qualité de l'ajustement du modèle) par l'intermédiaire de transformations de Box-Cox⁸.

La valeur du temps est calculée à partir du motif de déplacement et des revenus de l'individu selon les préconisations du MTQ.⁹ A titre indicatif, le statut travailleur a une valeur du temps moyenne de 25 \$/h

⁸ Transformation de box-cox : $x \rightarrow (x^\lambda - 1)/\lambda$ si $\lambda \neq 0$ et $x \rightarrow \ln(x)$ si $\lambda = 0$

(principalement motif « navettage »), les chômeurs de 15 \$/h, les femmes au foyer de 17\$/h et les étudiants 11 \$/h.

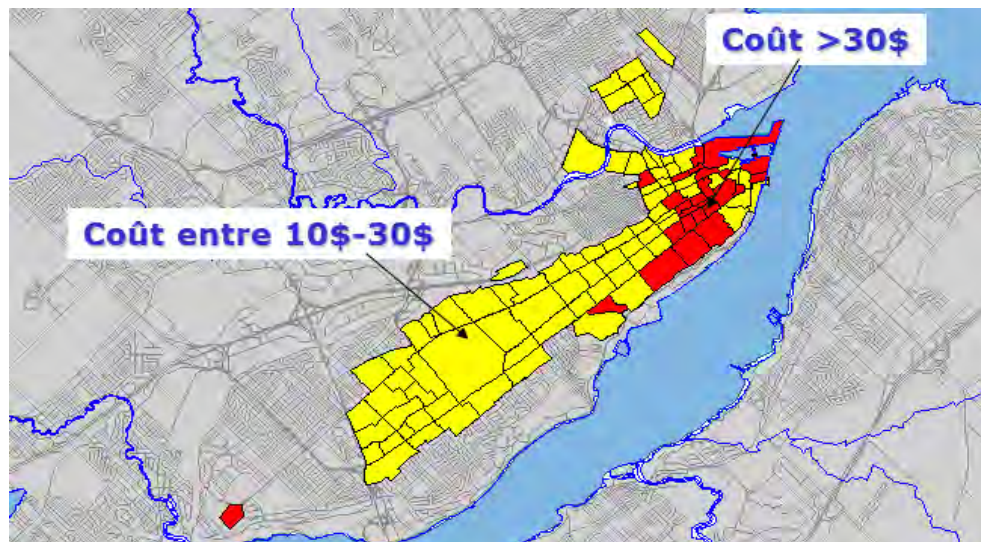
Pour les horizons futurs, aucune hypothèse d'évolution du coût kilométrique ou du coût du billet de transport n'a été prise du fait de la grande incertitude sur leurs évolutions respectives. On suppose donc que ces paramètres restent constants. Compte tenu des évolutions généralement prises en compte pour le prix des carburants, cette hypothèse est sans doute assez conservatrice vis-à-vis des transports collectifs. Toutefois, si les valeurs relatives du carburant et des billets variaient significativement, cela pourrait avoir un impact sur les choix modaux.

3.3.3.2 Prise en compte du stationnement

Une note technique spécifique à la problématique de modélisation du stationnement a été rédigée et validée par le groupe de travail. La prise en compte du stationnement à horizon 2011 se base sur :

- L'enquête OD de 2001 à partir de laquelle le MTQ a identifié des coûts moyens de stationnement par zones ()
- L'enquête OD de 2011 qui a permis d'identifier les évolutions par rapport à 2001 ()

Figure 3-19 – Coût moyen de stationnement mensuel OD 2001



Source : Modèle régional de transfert modal de l'agglomération de Québec 2001 (MTQ-SMST)

La prise en compte du stationnement dans le modèle de choix modal est effectuée par l'intermédiaire de deux variables indicatrices exclusives permettant d'appréhender les difficultés de stationnement :

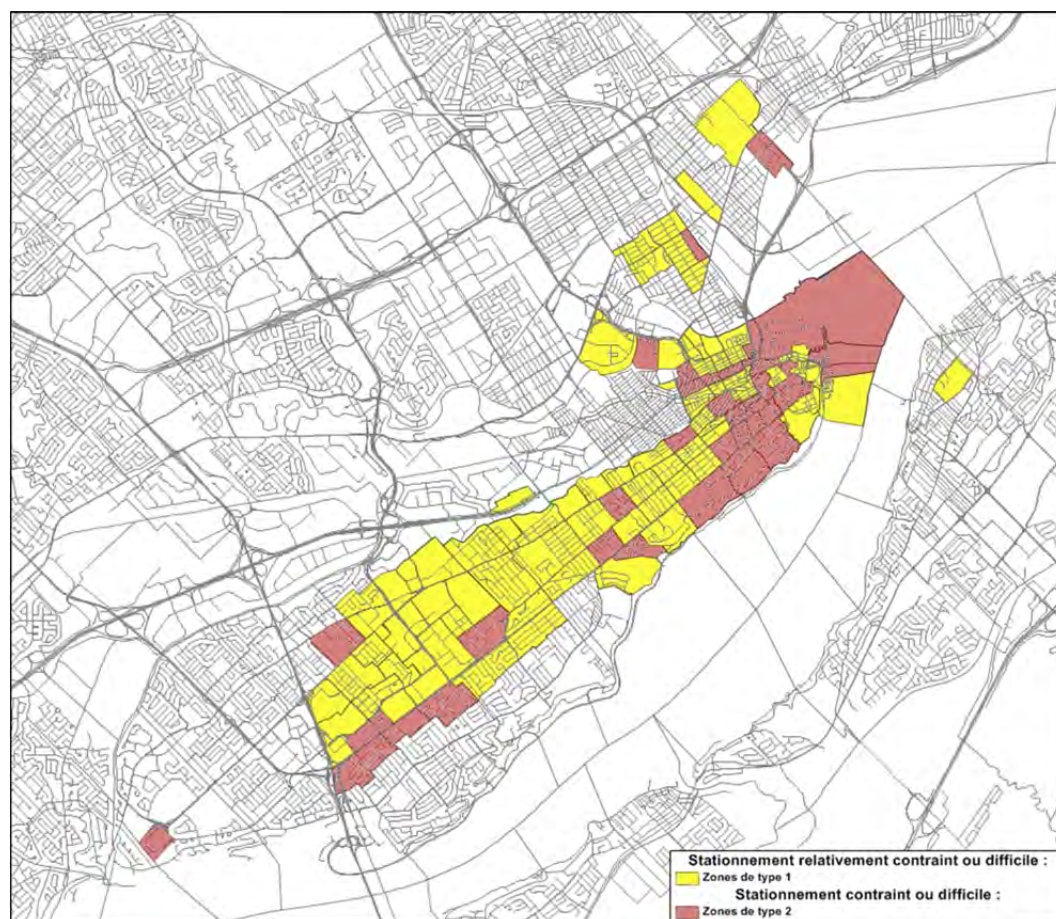
- Les zones de type 1 (figurées en jaune) où le stationnement est considéré en 2011 comme relativement contraint ou difficile,
- Les zones de type 2 (figurées en rouge) où le stationnement est considéré en 2011 comme contraint ou difficile.

Les difficultés de stationnement sont à considérer tant en origine que destination du déplacement pour ne pas introduire de biais dans le choix modal ; en effet si un individu n'a pas pris sa voiture car sa zone de destination était dans une zone de stationnement contraint, pour le trajet retour il faut garder les mêmes paramètres pour que la voiture soit également pénalisée.

Pour les personnes résidentes d'une zone de stationnement de type 2 la pénalité s'ils y stationnent est abaissée au niveau de type 1. De même si la zone est de type 1, la pénalité est supprimée. Ceci permet de prendre en compte les facilités de stationnement pour les résidents (cartes de résidents) mais tout en gardant certaines pénalités pour les zones les plus contraintes.

La variable est prise en compte dans le choix modal pour le mode VP conducteur et le mode VP passager comme dans de nombreux modèles urbain (modèle de l'agglomération de Toulouse par exemple). Après ajustement, on constate que la pénalité est plus forte pour le mode VP conducteur que pour le mode VP passager, ce qui correspond à l'intuition. Par ailleurs, les zones de type 2 ont un malus supérieur aux zones de type 1.

Figure 3-20 – Modélisation du stationnement à horizon 2011



3.3.3.3 Autres variables figurant dans les fonctions d'utilité

Comme on l'a indiqué précédemment, l'intérêt de la modélisation individuelle des pratiques de choix modal est de permettre la prise en compte de variables caractérisant les individus. L'analyse de l'enquête OD 2011 permet ainsi d'identifier différentes variables individuelles susceptibles d'améliorer le calage des formulations :

- les femmes bénéficient d'un bonus sur le mode VPP (64 % d'utilisatrice contre 36 % d'utilisateur)
- les travailleurs bénéficient d'un bonus sur le mode VPC (79 % des travailleurs utilisent le mode)
- les étudiants bénéficient d'un bonus sur le mode TC (16 % utilisent ce mode contre 5 % des autres catégories socio professionnels).

- Les non détenteurs d'un passe de transport en commun sont pénalisés d'un malus pour le mode TC (11 % des utilisateurs des TC, contre 89 % des utilisateurs qui possèdent un type de passe TC).
- Les individus n'ayant pas de véhicule dans le logement bénéficient d'un bonus pour les modes TC et MAP* (26 % des utilisateurs du mode TC et 27 % des utilisateurs du mode MAP*).
- Les individus possédant deux véhicules ou plus dans leur logement bénéficient d'un bonus pour le mode VPC (65 % des utilisateurs du mode VPC).
- Les individus se déplaçant pour motif « reconduire quelqu'un » et « aller chercher quelqu'un » bénéficient d'un bonus pour le mode VPC.

Par ailleurs, différentes constantes modales doivent être estimées pour que le modèle de choix modal soit ajusté et permettent de reproduire parfaitement les volumes de l'enquête OD 2011

- A l'exception du mode VPC (qui constitue la référence), des constantes modales par périodes horaires seront estimées pour chacune des autres alternatives.
- Pour les transports collectifs, ces constantes modales sont de plus dépendantes du type de grandes relations : Interne à Québec; Liaison Québec-Levis et autres OD vers Québec.

L'ajout d'une variable de motorisation¹⁰ a été testé avec les formulations hiérarchiques dans les utilités des modes TC / VPP / MAP*. Cet ajout améliore très sensiblement l'ajustement du modèle : mais la variable de motorisation étant calculée à partir de l'usage de la voiture en 2011, l'utiliser dans les fonctions d'utilité revient à présupposer en partie le résultat même si tous les déplacements de l'individu ne sont pas nécessairement concernés.

3.3.4 Ajustement des différentes formulations et choix pour la phase de prévision

Comme indiqué précédemment, les ajustements sont réalisés avec logiciel BIOGEME. Le tableau ci-dessous présente les résultats d'ajustement de cinq formulations testées : on y a fait figurer uniquement le $Rh\hat{o}^2$ et le test de vraisemblance dont la signification est expliquée en détail ensuite :

Tableau 21 – Résultats globaux d'ajustement des différentes formulations

Modèle	$Rh\hat{o}^2$	Test de vraisemblance
Multinomial linéaire	0.591	191 643
Multinomial non linéaire	0.602	195 332
Multinomial non linéaire avec variable de motorisation	0.670	217 346
Hiérarchique type 1 avec variable de motorisation	0.671	217 657

¹⁰ La variable de motorisation est calculée selon la définition du MTQ, c'est-à-dire en tenant compte du nombre de véhicules du logement et des déplacements selon l'enquête OD 2011 des individus du logement en tant que conducteur du ou des véhicules.

Modèle	Rh ²	Test de vraisemblance
Hierarchique type 2 avec variable de motorisation	0.671	217 702

Ce tableau montre que la prise en compte de la non-linéarité fait progresser de manière sensible la qualité de l'ajustement du modèle multinomial. Ensuite, on constate que c'est surtout l'introduction de la variable de motorisation qui fait progresser l'ajustement, l'impact des formulations hiérarchiques par rapport au multinomial étant très limité. Or il ne nous semble pas correct d'intégrer cette variable de motorisation car on explique en partie le choix modal en sachant que l'on a au moins utilisé une voiture au cours de la journée. Nous avons donc retenu pour la suite des travaux la formulation multinomial non linéaire dont les résultats sont détaillés ci-après.

Dans le cas du modèle multinomial avec non-linéarité sur les temps généralisés, on trouve récapitulées à la figure suivante les performances générales de la formulation. Les principales informations sont les suivantes :

- Le nombre de paramètres estimés (ici 39) : il s'agit de l'ensemble des coefficients des fonctions d'utilité qui sont calibrés lors de la procédure d'ajustement y compris les paramètres des transformations de Box-Cox,
- Le nombre d'observations (ici 122 190) correspond au nombre de déplacements de l'enquête OD sur lesquels est ajusté le modèle; c'est le nombre de lignes de la base de données. Chacun de ces déplacements est pondéré par un facteur d'expansion permettant de retrouver ensuite le nombre total de déplacements journaliers de l'enquête OD 2011,
- Le Rh² (ici 0.602) assimilable au R² d'une régression linéaire classique et très bon ici compte tenu du nombre d'observations et de paramètres,
- Le test de vraisemblance (ici 195 332) qui correspond à un test du Chi-deux par rapport à la signification globale du modèle : on teste ici l'hypothèse que tous les coefficients du modèle soient nuls. Compte tenu de la valeur obtenue, cette hypothèse peut être rejetée avec moins de 0,1 % de chance de se tromper.

Figure 3-21 – Performances du modèle : modèle multinomial non-linéaire

```

Model: Multinomial Logit
Number of estimated parameters: 39
Number of observations: 122190
Number of individuals: 122190
Null log-likelihood: -162154.722
Init log-likelihood: -66611.535
Final log-likelihood: -64488.226
Likelihood ratio test: 195332.992
Rho-square: 0.602
Adjusted rho-square: 0.602
Final gradient norm: +9.731e-002
Diagnostic: Convergence reached...
Iterations: 98

```

Un autre critère pour vérifier la qualité de l'ajustement est le calcul du nombre de choix qui sont effectivement bien reproduits lorsque l'on se base uniquement sur le mode d'utilité maximum.¹¹ Sur la base de l'utilité maximale fournie par les formulations ajustées, le tableau ci-dessous indique que 81 % des déplacements dans le modèle sont correctement prédits par rapport au mode déclaré dans l'enquête OD. Ceci est satisfaisant, le mode passager étant le plus difficile à prédire ce qui est assez intuitif car dépendant de la disponibilité d'un conducteur.

Tableau 22 – Pourcentage de bien choisi (Utilité maximale)

% Bien choisi	TC	VPC	VPP	MAP	Total
MNL	68,3 %	97,9 %	31,0 %	48,7 %	80,9 %

Pour finir, le tableau ci-après résume les paramètres utilisés dans la formulation ainsi que leurs valeurs. On trouvera en annexe C la sortie de BIOGEME qui présente la forme mathématique des utilités ainsi que les tests de student associés à chaque coefficient. Ces tests montrent que les différents sont très significatifs, ceux qui le sont le moins étant encore acceptables.

Tableau 23 – Résumé et valeur des paramètres

Modèle Logit Multinomial		
Marche à pied et Vélo (MAP*) :		
Possible si distance inférieur a 4km		
<i>Caractéristiques individuelles</i>	<i>Données d'offre</i>	<i>constante</i>
Pas de voiture: 1.98	Temps MAP: -1.55 box-cox : 0.16	Constantes MAP x 5 Périodes (entre 2.3 et 3)
Véhicule Particulier Conducteur (VPC) :		
Possible si possède le permis de conduire		
<i>Caractéristiques individuelles</i>	<i>Données d'offre</i>	<i>constante</i>
Statut travailleur: 0.56	Temps généralisé VP : -1.24 box-cox: 0.04	(Constantes = 0)
Motif accompagnateur: 1.17	Stationnement zone 1: -1.06	
Bi-motorisation (part des ménages ayant 2 voitures et plus) : 0.60	Stationnement zone 2: -1.53	
Véhicule Particulier Passager (VPP)		
<i>Caractéristiques individuelles</i>	<i>Données d'offre</i>	<i>constante</i>
Genre Féminin: 0.80	Temps généralisé VP : -1.80 box-cox: -0.10	Constantes VPP x 5 Périodes (-0.75 et -2.1)
	Stationnement zone 1: -0.73	
	Stationnement zone 2: -1.05	
Transports collectifs (TC) :		
Possible si offre TC disponible		
<i>Caractéristiques individuelles</i>	<i>Données d'offre</i>	<i>constante</i>
Statut étudiant: 0.26	Temps généralisé TC -0.13 box-cox: 0.43	Constantes TC x 5 Périodes (-1.9 et -3.3)
Pas de passe TC: -3.55	Nombre de rupture de charge: -0.31	OD interne au centre Québec: 0.13
Pas de voiture: 2.06		OD Québec Lévis: 0.23
		OD vers centre Québec : 0.16

¹¹ En effet, les constantes modales sur ajustées pour reproduire parfaitement les volumes totaux de l'échantillon par mode. Quelle que soient la qualité de l'ajustement, on reproduira donc toujours la répartition modale générale.

Le comportement de l'usager vis-à-vis de l'usage des transports en commun est assez différent selon qu'il se déplace à l'intérieur de Québec (défini comme à la figure 5-26, incluant Colline Parlementaire, Saint-Roch, Sainte Foy, Reste de Québec), entre Québec et Lévis, vers ou en provenance de Québec ou autres déplacements. Des paramètres ont été introduits dans le choix modal pour capter ces comportements.

Les différents coefficients ont bien les signes attendus les t-test de tous les paramètres sont satisfaisant. Le modèle peut donc être utilisé pour prédire le partage modal et les trafics aux horizons futurs.

Le choix modal sera appliqué sous forme de pivot aux prévisions de demande au fil de l'eau 2041, c'est-à-dire que la part modale en situation projet correspondra à la part modal observé au fil de l'eau à laquelle s'ajoute la variation de part modal calculé entre le fil de l'eau et le projet. Cette méthode classique permet de ne pas introduire de biais entre les parts modales calculées et observées.

4 PREVISION DE LA DEMANDE AU FIL DE L'EAU

4.1 Préambule

La méthode de prévision de la demande au fil de l'eau s'appuie sur la déformation de l'enquête OD de 2011 selon les évolutions des paramètres sociodémographiques sans faire évoluer l'offre TC

Les prévisions de la demande doivent être effectuées à l'échelle du zonage du modèle de trafic afin d'être utilisées pour les prévisions de fréquentation. Les horizons d'études sont 2026 et 2041.

Le travail comporte 3 grandes phases :

- Ensemencement de ménage dans les zones non développées actuellement et qui verront leur population croître dans le futur.
- Prise en compte des évolutions de population, de statut d'activité et de motorisation en appliquant aux individus des facteurs d'évolutions par âge, sexe et localisation résidentielle.
- Redistribution des destinations des déplacements à motif Travail : modification des boucles de déplacement passant par le travail puis application de l'algorithme de Furness pour garder constant le nombre de déplacements.

Le lot 3.1 fournit des hypothèses de localisation des populations et des emplois ainsi que les évolutions démographiques par âge, sexe et localisation. Le périmètre de l'enquête OD est légèrement plus étendu que le périmètre du Lot 3.1. L'annexe D donne le détail de ces différences.

Le rapport de *prévisions de la demande en transport urbain des personnes pour l'agglomération de Québec* de Septembre 2011 ainsi que la note technique concernant le statut d'activité et la motorisation de mars 2013, documents produits et transmis par le MTQ, ont été étudiés et utilisés.

4.2 Développement urbain dans les zones actuellement inhabitées.

4.2.1 Méthode

Le but de cette première étape est d'introduire des ménages dans les zones inhabitées qui s'urbaniseront dans le futur afin de préparer l'étape suivante de la prévision de la demande. L'échelle de travail est celle du modèle de trafic (774 zones, découpage ZAT). L'étape suivante du modèle consistera à appliquer des croissances de logement en fonction des classes d'âge, sexe et localisation démographique (96¹² zones, découpage ZP). Les logements de l'enquête O-D Québec sont calés au niveau du zonage des secteurs municipaux (69 secteurs, découpage smlog), c'est donc à cette échelle que nous proposons d'appliquer les prévisions de croissance afin de ne pas introduire de biais dans l'enquête OD projetée.

Puisqu'une zone ne comportant peu ou pas d'observation dans l'enquête ménage ne peut pas être densifiée par simple application d'un coefficient, cette première étape permet de peupler les zones par un système d'ensemencement de population. En pratique, la méthode d'ensemencement produit un état intermédiaire de l'enquête OD calé sur le nombre de logis 2011 mais avec les répartitions futures au niveau des zones.

À partir des fichiers de géolocalisation du développement urbain fournis par le lot 3.1, les zones ne comportant pas d'observation dans l'enquête ménage et dans lesquelles il était prévu des créations de logements ont été identifiées. Pour peupler ces zones, un clonage d'observation à partir de zones adjacentes a été réalisé. Les ménages ainsi introduits ont les mêmes propriétés sociodémographiques (à l'exception du lieu de résidence fin

¹² Le périmètre du lot 3.1 ne traite que 88 zones ; les évolutions pour les zones supplémentaires de l'enquête OD sont établies sur la base des évolutions moyennes issues du Lot 3.1.
 Cf. Annexe D

qui est mis à jour en fonction de la nouvelle zone) et les mêmes comportements de déplacements que le ménage d'origine (tous les déplacements du ménage d'origine sont clonés avec leurs propriétés). Afin d'éviter tout biais dans le calcul des nouveaux poids des observations de l'enquête, les ménages à cloner sont pris au sein d'un même secteur smlog. Les déplacements intra-zonaux autour du lieu de résidence de l'émetteur sont conservés comme des déplacements intra-zonaux autour du lieu de résidence du récepteur, ce sont par exemples les trajets à l'école primaire ou l'épicerie du quartier. Les déplacements courte distance avec des zones adjacentes restent des déplacements courte distance (sans modification de la zones de destination) du fait de la proximité des zones émettrices et réceptrices.

On veille également à ce que, compte tenu des redistributions qui sont réalisées avec les zones nouvellement peuplées, les autres zones du secteur concerné ne perdent pas artificiellement de population entre 2011 et les horizons futurs.

4.2.2 Zones concernées

Les cartes des pages suivantes permettent de visualiser les zones concernées par la méthode d'ensemencement.

Loin du centre il n'est pas nécessaire d'avoir une précision de la localisation des logements à l'échelle fine étant donné la faible densité du réseau de transport commun et la taille importante des zones. Nous simplifierons donc les données des Figure 4-1 et Figure 4-2 et appliqueront la méthode comme présenté sur les Figure 4-3 et Figure 4-4.

Sur les cartes, les zones sans observations dans l'enquête 2011 sont représentées en gris et l'urbanisation géolocalisée prévue communiquée par le lot 3.1 pour les deux périodes 2011-2026 et 2026-2041 est figurée en rouge. En croisant les deux données, les zones « inhabitées » qui s'urbanisent, les zones réceptrices d'un ensemencement, sont représentées en vert clair. Les zones bleues sont les zones émettrices qui servent pour le clonage.

Les zones en vert foncé représentent des zones qui possédaient des observations dans l'enquête 2011 mais dont l'urbanisation est si importante que la répartition des ménages à l'intérieur de la zone smlog en est fortement modifiée. Un ensemencement est également nécessaire pour ces zones.

Le critère pour définir ces zones consiste à repérer les zones ZAT dont l'écart entre la part de logement par rapport au smlog varie de plus de 10 % entre 2012 et 2026 (respectivement 2027 et 2041). Ces zones subissent alors le même traitement que les zones vertes claires avec un système d'ensemencement afin de redistribuer les ménages et pouvoir prendre en compte le changement de structure de la zone smlog.

Figure 4-1 – Zones réceptrices de ménages ensemençés 2011-2026

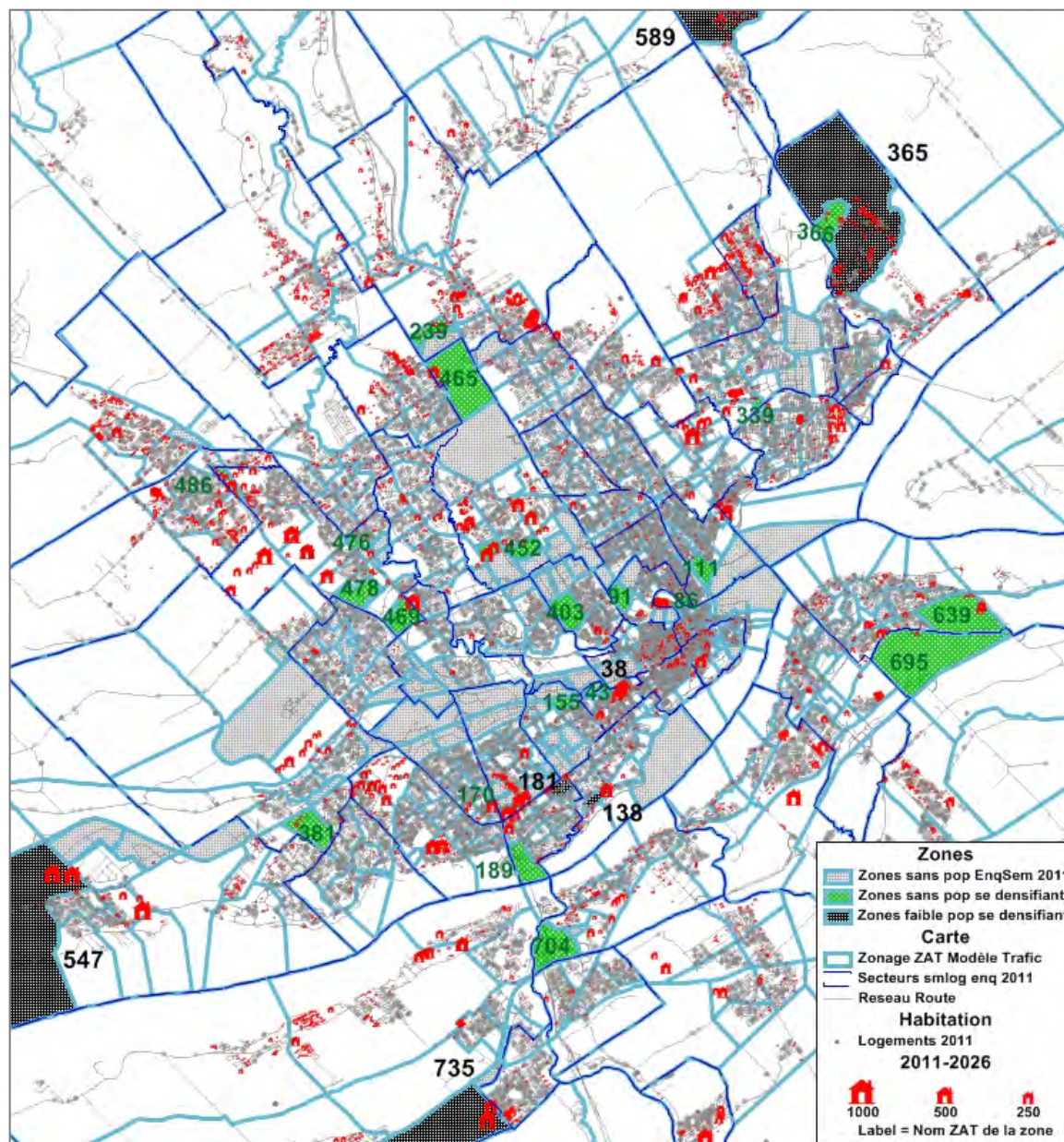


Figure 4-2 – Zones réceptrices de ménages ensemençés 2027 – 2041 – scénario avec Tram

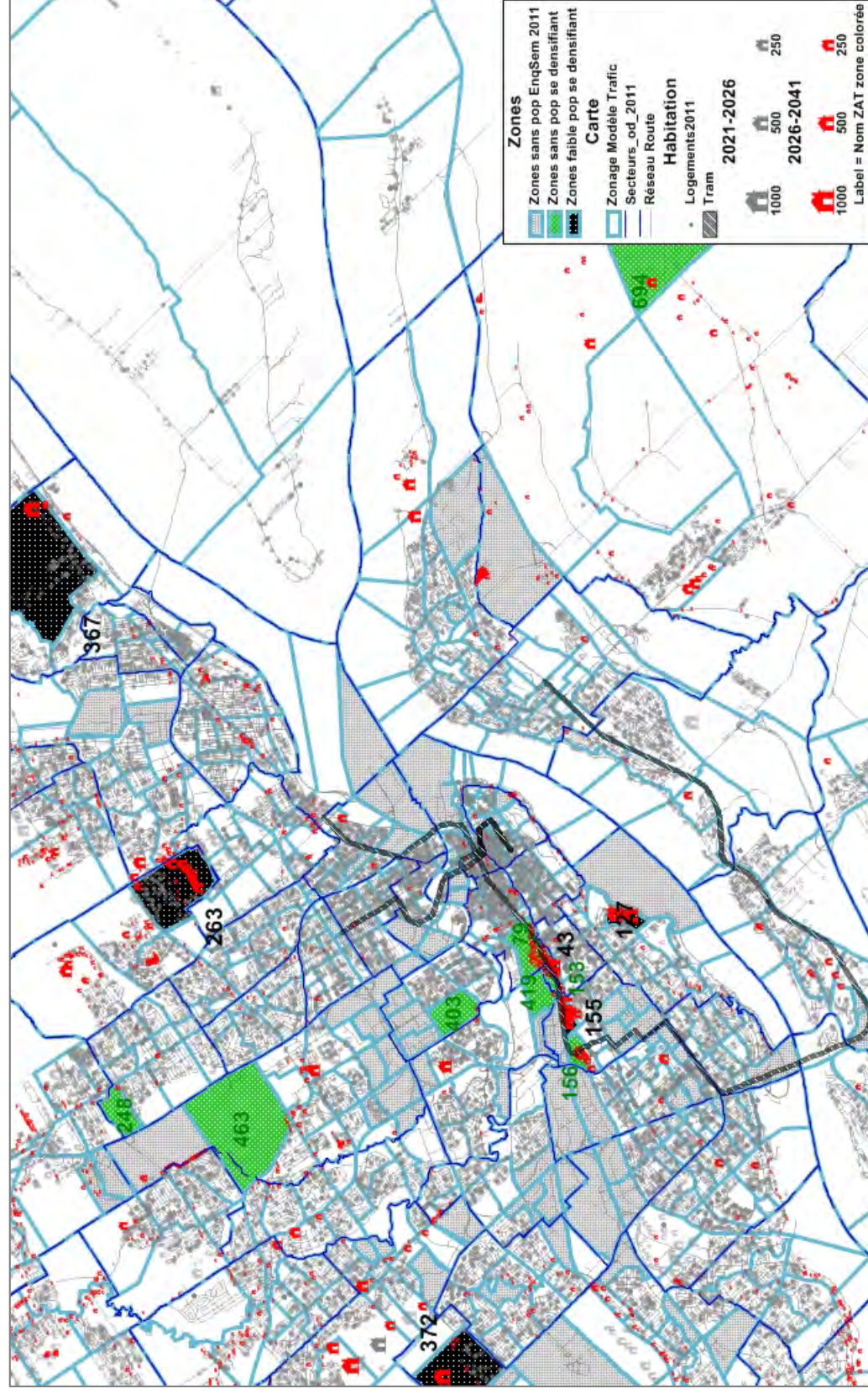


Figure 4-3 – Zones réceptrices de ménages ensemençés 2027 – 2041 – scénario sans Tram

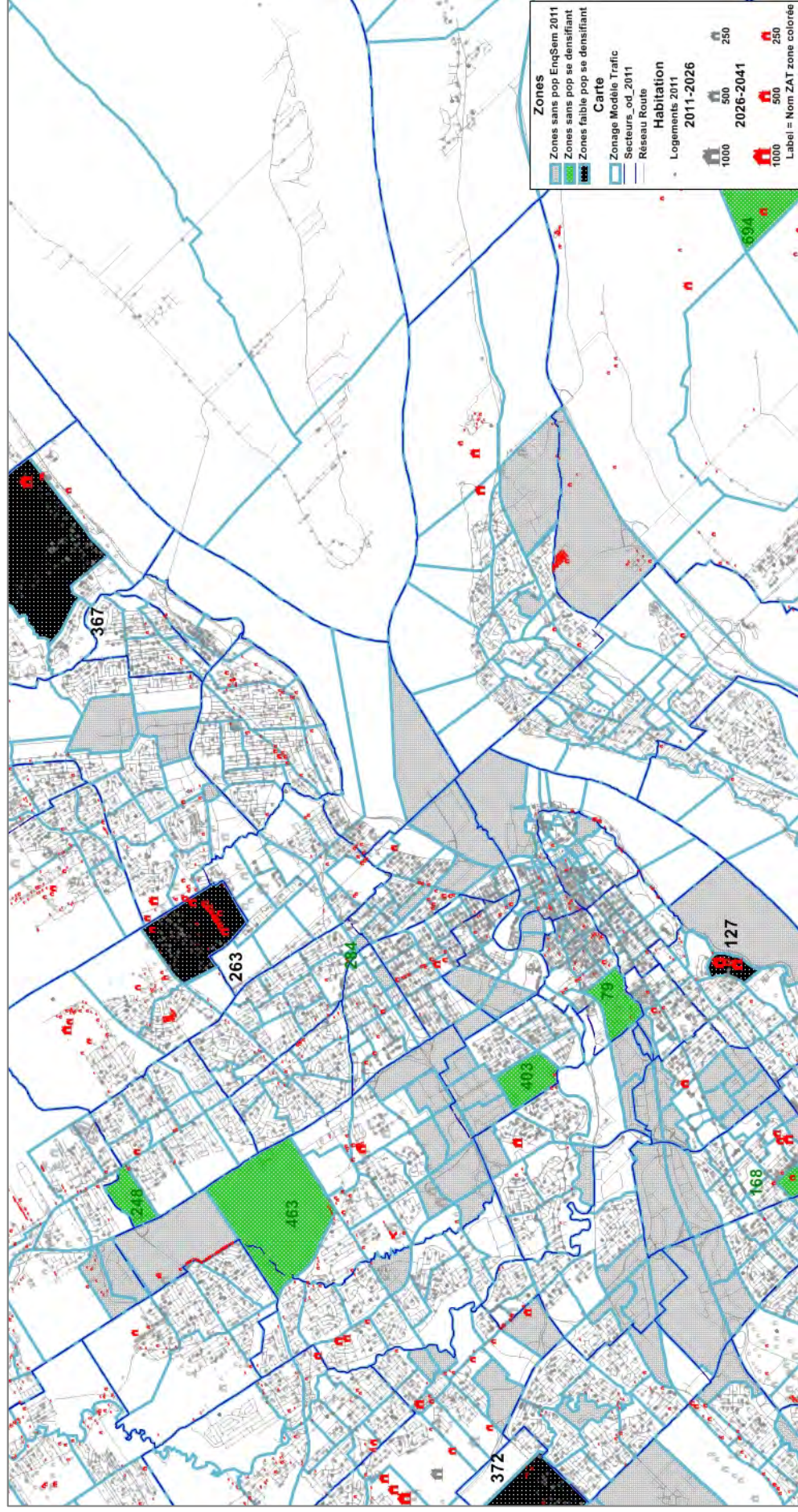
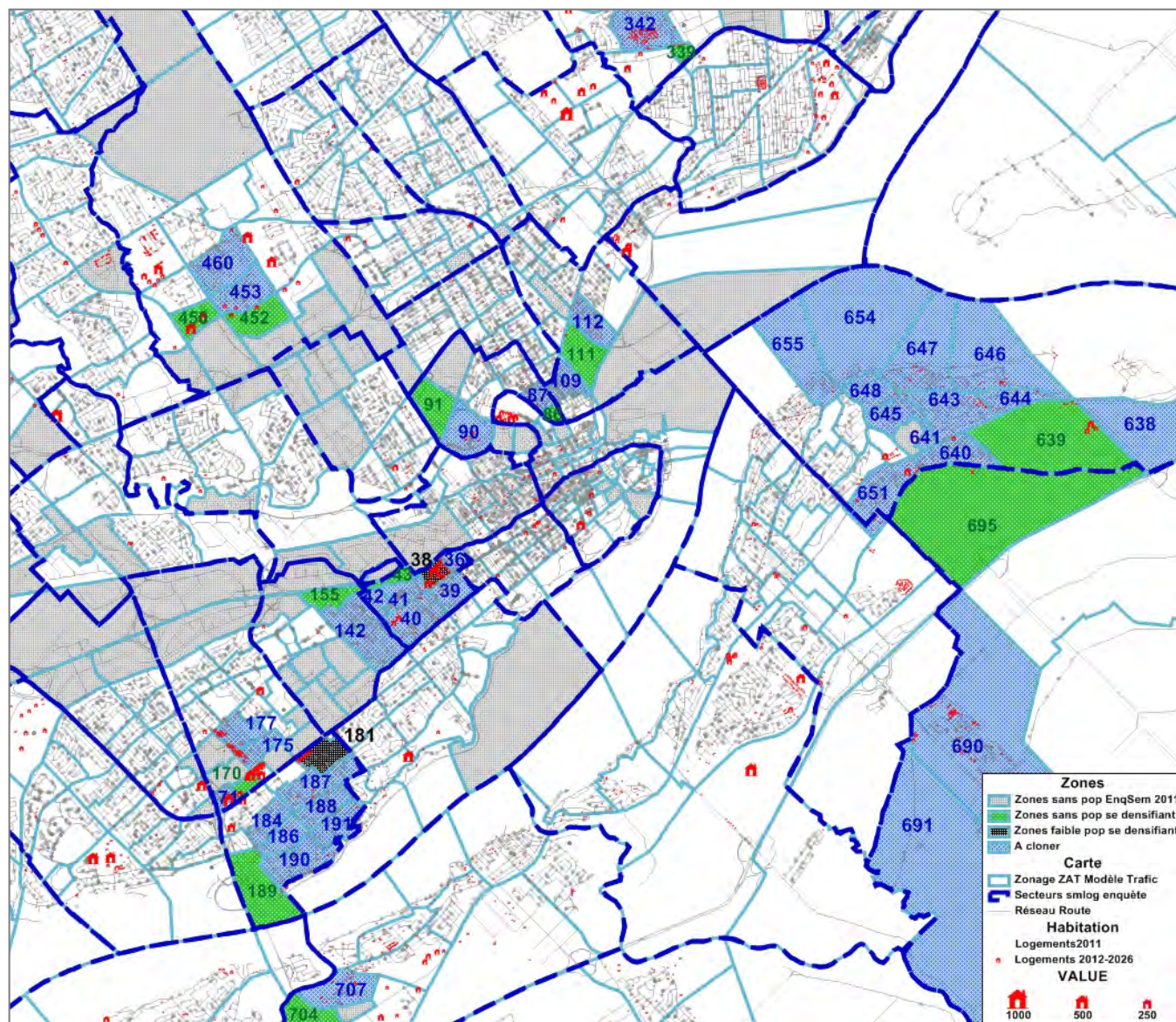


Figure 4-4 – Zones émettrices et réceptrices de ménages 2011-2026 – simplifié



Le calcul pour l'année 2041 reprend pour base 2011 et ne se base pas sur l'état fictif 2026 calculé précédemment. Les zones qui sont modifiées entre 2026 et 2041 sont présentées aux deux figures suivantes.

Figure 4-5 – Zones émettrices et réceptrices de ménages 2026-2041 scénario avec tram – simplifié

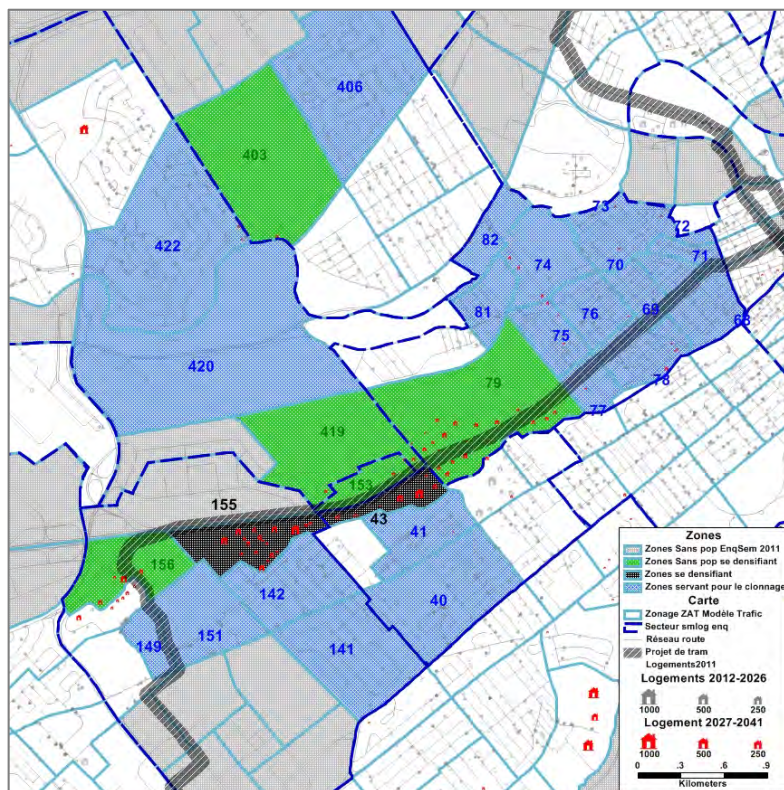
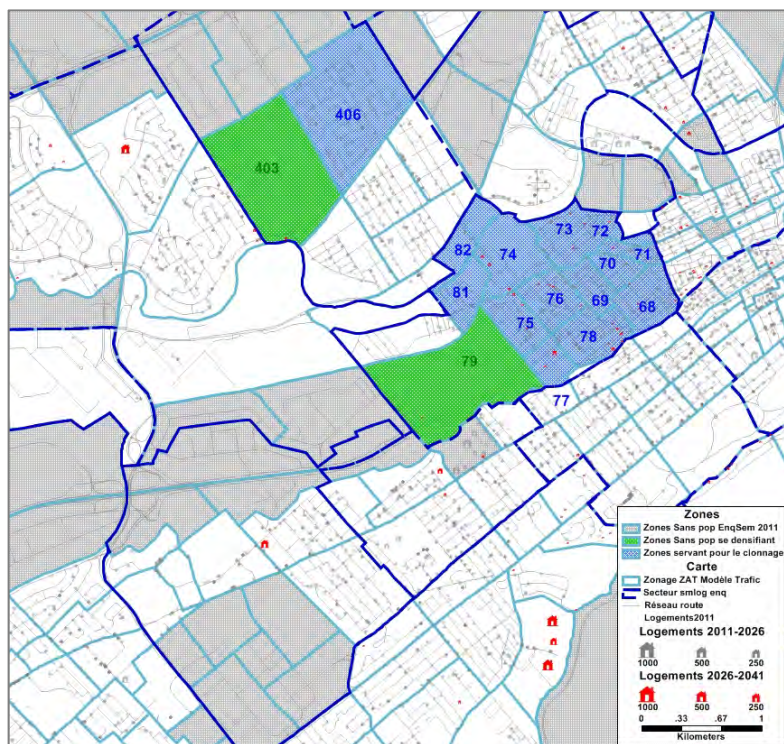


Figure 4-6 – Zones émettrices et réceptrices de ménages 2026-2041 scénario sans tram – simplifié



Le tableau ci-dessous présente les volumes concernés par les procédures d'ensemencement au niveau du périmètre de l'enquête OD.

Tableau 24 – Volumes concernés par les procédures d'ensemencement

		Nombre de ménages	Nombre de personnes	Nombre de déplacements 24H
Enq 2011 Semaine	Volume Total	363 482	807 245	1 891 297
Ensemencement pour 2026	Volume concerné	2 561	5 209	12 903
Ensemencement pour 2041 scénario avec Tram	Volume concerné	5 221	10 006	24 021
Ensemencement pour 2041 scénario sans Tram	Volume concerné	650	1 140	2 578

Seul 2 561 ménages des 363 485 ménages sont concernés par l'ensemencement pour 2026. Cette procédure ne modifie pas le nombre de ménage, personnes et déplacements, ce sont des parts de ménages légèrement déplacés.

4.3 Évolution des paramètres de Population, statut d'occupation et motorisation

4.3.1 Principe et validation de la procédure

La méthode est basée sur une approche totalement désagrégée selon chacune des observations de l'enquête OD. L'élément d'entrée de cette étape est l'état fictif 2011 obtenu à l'étape précédente. Pour l'horizon futur, le poids des observations facdep est pondéré par un coefficient représentant l'évolution des variables démographiques, de statut d'activité et de motorisation. Le calcul est réalisé par territoire de domicile t , sexe s et groupe d'âge g selon la formule suivante :

$$\text{Facdep}_{20XX} = \text{Facdep}_{2011} \times \left(\frac{\text{Pop}_{20XX}}{\text{Pop}_{2011}} \right)_{t,s,g} \times \left(\frac{\text{Statut}_{20XX}}{\text{Statut}_{2011}} \right)_{t,s,g} \times \left(\frac{\text{Moto}_{20XX}}{\text{Moto}_{2011}} \right)_{t,s,g}$$

Un test de cette procédure développée sous MS Access a été mis en œuvre sur l'enquête OD2006 et comparé aux résultats fournis par le MTQ :

Tableau 25 – Comparaison entre les résultats obtenus avec la procédure développée par la Setec et les résultats fournis par le MTQ

Test sur l'enquête OD 2006	Facdep06	Facdep11	Facdep16	Facdep21	Facdep26	Facdep31
Résultat de la prévision du MTQ	2 058 966	2 172 039	2 273 179	2 353 366	2 416 317	2 447 428
Test de la procédure par Setec	2 058 966	2 171 963	2 273 080	2 353 296	2 416 243	2 447 318
Ecart	-0.003 %	-0.004 %	-0.003 %	-0.003 %	-0.004 %	-0.003 %

Comme on peut le voir, les totaux sont très bien reproduits. Les seules observations dont les poids individuels diffèrent sont celles présentes dans des boucles de déplacement à vocation travail et qui sont modifiées par le MTQ lors de l'étape de redistribution des destinations des déplacements à motif Travail. Cette dernière étape comportant un algorithme de Furness pour conserver le nombre de déplacement, il est logique que nous retrouvions les volumes globaux présentés dans le tableau ci-dessus (aux arrondis près).

4.3.2 Évolution démographique

Le lot 3.1 nous fournit une table d'évolution de la population par classe d'âge, sexe et zone d'habitation ZP agrégée au niveau des smlog. Le coefficient d'évolution $\left(\frac{Pop_{20xx}}{Pop_{2011}}\right)_{t,s,g}$ est directement calculable et applicable à l'état fictif de l'enquête OD intégrant les nouvelles zones à urbaniser. Le coefficient d'évolution est également appliqué aux déplacements.

Différentes hypothèses sont nécessaires pour effectuer les projections sur les zones hors périmètre du Lot 3.1 mais présentes dans le périmètre de l'enquête OD ainsi que pour les individus enquêtés n'ayant pas déclaré leur sexe :

- Pour les zones hors périmètre : on utilise les évolutions retenues par le MTQ pour les prévisions à horizons 2026 et 2031 dans le scénario QU2012R1 et que l'on étend à 2041 avec le coefficient d'évolution moyen par sexe et âge constaté dans le lot 3.1 sur la période 2031 - 2041.
- Pour les individus n'ayant pas déclaré leur sexe, on utilise la moyenne homme/femme à catégorie équivalente.
- Pour les personnes de plus de 75 ans (et notamment celle de plus de 85 ans), il arrive qu'il n'y ait pas d'observation dans l'enquête pour un secteur et un sexe donné. Dans ce cas, l'évolution est reportée sur la classe d'âge inférieure.

Ces éléments conduisent aux évolutions suivantes sur le périmètre de l'enquête OD :

Tableau 26 – Évolutions démographiques sur le périmètre de l'enquête OD

(en milliers)	Nombre de personne	Nombre de déplacement 24H
Situation 2011	807	1 892
Évolution démographique 2011-2026 :	+ 147	+ 291
Évolution démographique 2011-2041 :	+ 216	+ 405

L'évolution démographique entre 2011 et 2026 en termes de population est de 18 % et entre 2011 et 2041 de 27 %. Les résultats des évolutions démographiques dépendent de la présence ou non du Tramway au niveau des répartitions géographiques mais les volumes totaux sont identiques.

4.3.3 Évolution du statut d'occupation

Sur le même principe que pour la démographie un coefficient d'évolution est calculé et appliqué en fonction des âges, sexes et zones (5 grandes régions).

4.3.3.1 Calcul de la variable représentant le statut d'occupation

Il existe quatre statuts d'activité des personnes : Travailleur, Étudiant, Autre mobile et Non mobile. Dans le passé ils étaient calculés à partir des motifs déclarés dans l'enquête O-D. Lors de l'enquête 2011 la question a été posée directement dans l'enquête et est représentée par la variable occper. Le tableau ci-dessous reprend les différentes valeurs que peut prendre la variable :

Tableau 27 – Statuts d'activité des personnes dans l'enquête O-D 2011

Occupation de la personne :		
1.	Travailleur à temps complet	6. Au foyer
2.	Travailleur à temps partiel	7. Autre
3.	Étudiant / élève	8. Refus
4.	Retraité	9. Non applicable (enfant de moins de 5 ans)
5.	Sans emploi	

Après calcul de la somme des facteurs de déplacement de chaque individu, le statut a été calculé comme suit :

- Non mobile : personne ne se déplaçant pas (facteur de déplacement nul),
- Travailleur : personne se déplaçant dont l'occupation déclarée est « Travailleur à temps complet » ou « Travailleur à temps partiel »,
- Étudiant : personne se déplaçant dont l'occupation est « Étudiant / élève »,
- Autre mobile : personne se déplaçant dont l'occupation n'est ni travailleur ni étudiant.

4.3.3.2 Évolution du taux d'activité

Les résultats issus du Lot 3.1 permettent d'établir l'évolution du taux d'activité calculé comme le ratio de l'emploi par la population. Cette évolution figure dans le tableau ci-dessous :

Tableau 28 – Évolution du nombre d'emplois et de la population issu du Lot 3.1

Périmètre du lot 3.1	2011	2026	2041
Emplois	423 841	468 826	484 055
Population (Tous âges)	777 782	909 319	977 364
Ratio Emp/Pop	0.54	0.51	0.49

4.3.3.3 Calcul des facteurs d'évolution du statut d'occupation

Les coefficients d'évolution du statut d'occupation par zone / âge / sexe sont établis sur la base des coefficients d'évolution transmis par le MTQ pour le scénario QU2012R1 et réajustés de manière à reproduire pour les personnes dont le statut est travailleur l'évolution globale du taux d'activité présentée au paragraphe précédent.

D'autre part, on vérifie comme le fait le MTQ que :

- Le seuil maximum de taux de statut travailleur pour les femmes est celui des hommes du même groupe d'âge et du même horizon,
- Le seuil minimum de taux de non-mobilité, tant pour les hommes que pour les femmes, est celui des hommes en 2011,
- Les taux associés au statut « autre mobile » correspondent à un indice tampon permettant d'absorber les différentes variations projetées pour les trois autres statuts.

Ces évolutions conduisent aux résultats suivants sur le périmètre de l'enquête OD :

Tableau 29 –Évolution du la population en fonction du statut d'occupation

(en milliers)	Travailleur	Étudiant	Autre Mobile	Non Mobile	Population	Ratio travailleur / pop	Déplacements 24H
Situation 2011	345	151	141	171	807.2	43 %	1 892
Rappel évol démographique + évol statut 2011-2026 :	383	180	207	179	+ 147 + 0	40 %	+ 291 + 23
Rappel évol démographique + évol statut 2011-2041 :	392	187	232	200	+ 216 + 0	39 %	+ 405 + 10

Cette étape ne dépend pas de la présence ou non du tramway, néanmoins elle se base sur les résultats sociodémographiques des étapes précédentes et donc les coefficients sont très légèrement différents pour les deux scénarios. Les résultats globaux ne diffèrent pas.

4.3.4 Évolution de la motorisation

4.3.4.1 Calcul de la variable représentant la motorisation des individus

La motorisation des individus est définie à partir de la motorisation des ménages et de l'utilisation de la voiture par les individus du ménage. Dans le cas où le ménage possède moins de voitures que de conducteurs, elle suppose que l'individu motorisé est celui qui passe le plus de temps en tant que conducteur de la voiture dans la journée. Ainsi nous avons calculé le nombre d'individus par ménage possédant le permis de conduire, que nous avons comparé au nombre de voiture du ménage. Si le nombre de voiture est suffisant, les individus du ménage possédant le permis sont supposés motorisés. Dans le cas contraire nous avons :

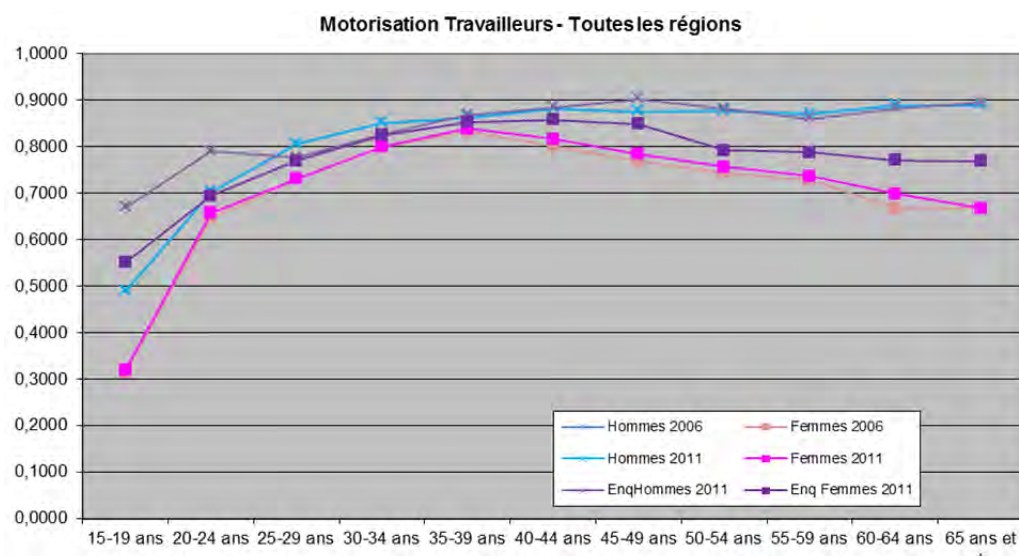
- considéré comme non motorisé les individus du ménage ne réalisant pas de trajet avec pour mode principal « conducteur d'une voiture »,
- calculé le temps de trajet total de chaque individu pour le mode « conducteur d'une voiture » à partir des heures de départ et d'arrivée des boucles de déplacements : une personne partant travailler le matin et revenant le soir avec sa voiture utilise donc son véhicule toute la journée,
- affecté par ordre de priorité les voitures du ménages aux individus passant le plus de temps dans la journée en tant que conducteur d'une voiture.

Dans l'enquête OD les heures de départ et d'arrivée d'un déplacement ne sont pas renseignées rigoureusement et de nombreuses données sont manquantes ce qui pourrait biaiser le calcul de la variable de temps d'utilisation du véhicule. Néanmoins nous avons vérifié que le nombre d'erreurs d'affectation des véhicules pouvant être réalisées par l'imprécision sur cette variable est très limité.

4.3.4.2 Éléments de motorisation pour l'enquête OD 2011

Le graphique ci-dessous présente les éléments de motorisation pour les individus de statut travailleur estimés pour l'enquête OD 2011 sur la base de la variable établie précédemment (Courbes EnqHommes 2011 et EnqFemmes 2011) ainsi que les éléments relatifs à l'enquête OD 2006 (Courbes Hommes 2006 et Femmes 2006). La prévision réalisée par le MTQ pour l'année 2011 sur la base de l'enquête 2006 est également présentée (Courbes Hommes 2011 et Femmes 2011).

Pour les hommes, les taux de motorisation observés en 2011 sont très proches des valeurs observées en 2006 (et prévues pour 2011 par le MTQ qui sont identiques à celles de 2006) sauf pour les jeunes. Compte tenu des différences entre les deux enquêtes et de la méthodologie que nous nous sommes efforcés de rendre la plus analogue à celle du ministère, nous considérons que ces différences sont acceptables d'autant plus que les effectifs notamment pour la première classe d'âge sont faibles. Pour les femmes, la motorisation observée en 2011 apparaît plus importante que celle de 2006 particulièrement après 40 ans, le même phénomène que pour les hommes étant observé pour la première classe d'âge.

Figure 4-7 – Évolution et comparaison de la motorisation des individus travailleurs par classe d'âge.

4.3.4.3 Hypothèses d'évolution de la motorisation

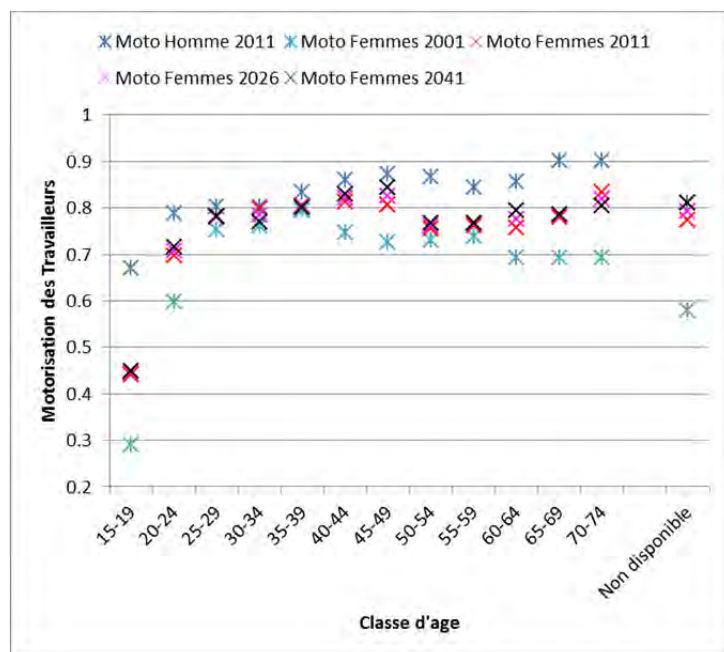
Les hypothèses d'évolution sont établies sur des bases analogues à celles retenues par le MTQ.

Pour les hommes travailleurs et les hommes et femmes des autres statuts, la motorisation est maintenue au taux de 2011 (respectivement 2006 dans le cas des hypothèses MTQ). Dans le premier cas, les taux de motorisation des hommes travailleurs plafonnent depuis plusieurs années à des niveaux supérieurs à 80 % ce qui est encore confirmé par l'analyse de l'enquête OD 2011. En ce qui concerne les individus des autres statuts, il est très délicat de dégager des tendances, compte tenu de la marge d'erreur attribuable aux données d'enquête OD.

Les seules hypothèses concernent donc les femmes à statut travailleur :

- Le taux d'évolution de la motorisation sur la période 2011-2041 correspond à la moitié du taux d'évolution observé sur 2001-2011,
- Un plafond correspondant au taux de motorisation des hommes de 2011 est imposé.

Figure 4-8 – Moyenne toutes régions confondues de l'évolution de la motorisation



Ces évolutions sont détaillées dans un zonage agrégé en 5 grandes zones ce qui conduit aux résultats suivants sur le périmètre de l'enquête OD.

Tableau 30 – Évolution du nombre de déplacements sur le périmètre de l'enquête OD

(en milliers) Périmètre de l'enquête OD	Population	Taux de motorisation des femmes travailleuses	Déplacements 24H
Situation 2011	807	80.9 %	1 892
Rappel évol démographique	+ 147		+ 291
+ Rappel évol statut	+ 0	82.9 %	+ 23
+ évol motorisation 2011-2026 :	+ 0		+ 0.7
Rappel évol démographique	+ 216		+ 405
+ Rappel évol statut	+ 0	84.1 %	+ 10
+ évol motorisation 2011-2041 :	+ 0		+ 1.5

Cette étape ne dépend pas de la présence ou non du tramway, néanmoins elle se base sur les résultats sociodémographiques des étapes précédentes et donc les coefficients sont très légèrement différents pour les deux scénarios. Les résultats globaux ne diffèrent pas.

L'étape suivante ne modifiera pas le nombre de déplacement. Les évolutions sociodémographiques de la population présentée dans ce paragraphe font augmenter le nombre de déplacements 2011 de 17 % pour 2026 et 22 % pour 2041.

4.4 Redistribution des destinations associées aux déplacements pour motif Travail

Bien qu'elles aient un effet sur les déplacements, toutes les étapes précédentes d'évolutions sociodémographiques concernent les ménages et les personnes distingués selon leur lieu de résidence.

La problématique de localisation des emplois est, bien entendu, un autre élément important de la structure des déplacements au sein de l'agglomération et doit être prise en compte.

La méthodologie est encore une fois analogue à celle mise en œuvre par le MTQ.

Une fois toutes les évolutions précédentes appliquées à l'enquête de base, il est possible de réaliser un tableau à double entrée contenant :

- En ligne : les secteurs de résidence dans le découpage smlog,
- En colonne : les secteurs de travail dans le même découpage¹³,
- Dans chaque case : la somme des poids de toutes les boucles de déplacements dans lesquelles au moins un déplacement a comme motif le travail

Les marges en colonne (secteur de travail) sont déformées pour tenir compte de l'évolution prévue, selon les résultats du lot 3.1, des localisations des emplois entre 2011 et l'horizon futur traité. Les marges en ligne (secteur de résidence) sont laissées constantes sur la base des prévisions démographiques précédentes. Une procédure de réajustement sur marge de type furness est alors mise en œuvre : elle permet d'estimer une batterie de coefficients d'ajustements qui sont ensuite appliqués aux facteurs déplacements pour les boucles concernées.

La part des déplacements modifiés lors de cette étape est d'environ 30 %. Le nombre total de déplacements n'est pas affecté. Les cartes des pages suivantes présentent les évolutions de localisation des emplois prises en compte.

¹³ La variable smocc de l'enquête est directement utilisée. A titre informatif, le secteur de destination déclarée lors d'un trajet à motif travail est bien celui indiqué dans la variable smocc dans 98.5 % des observations.

Figure 4-9 – Évolution des emplois entre 2011 et 2026

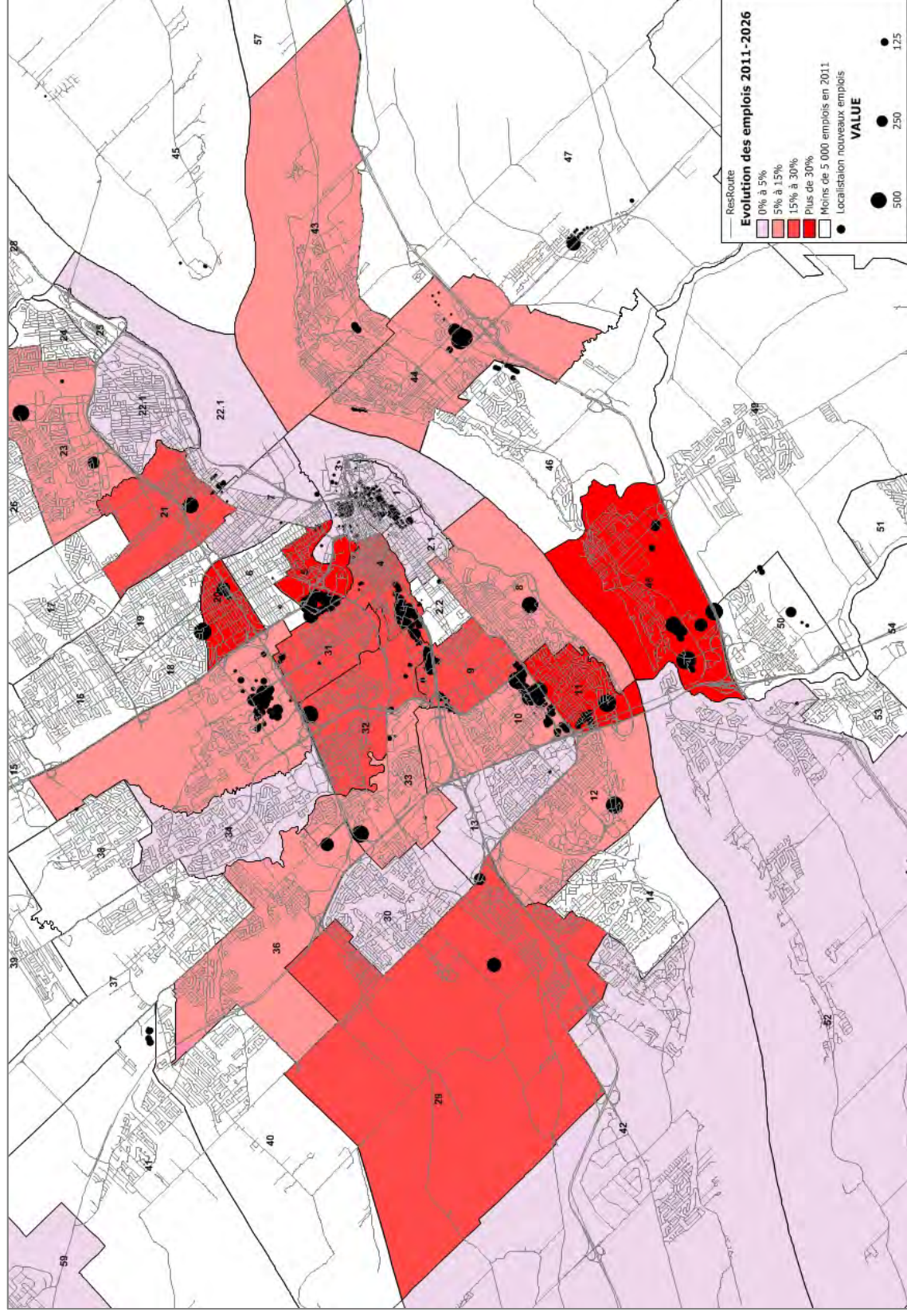


Figure 4-10 – Évolution des emplois entre 2011 et 2041 – scénario avec Tram

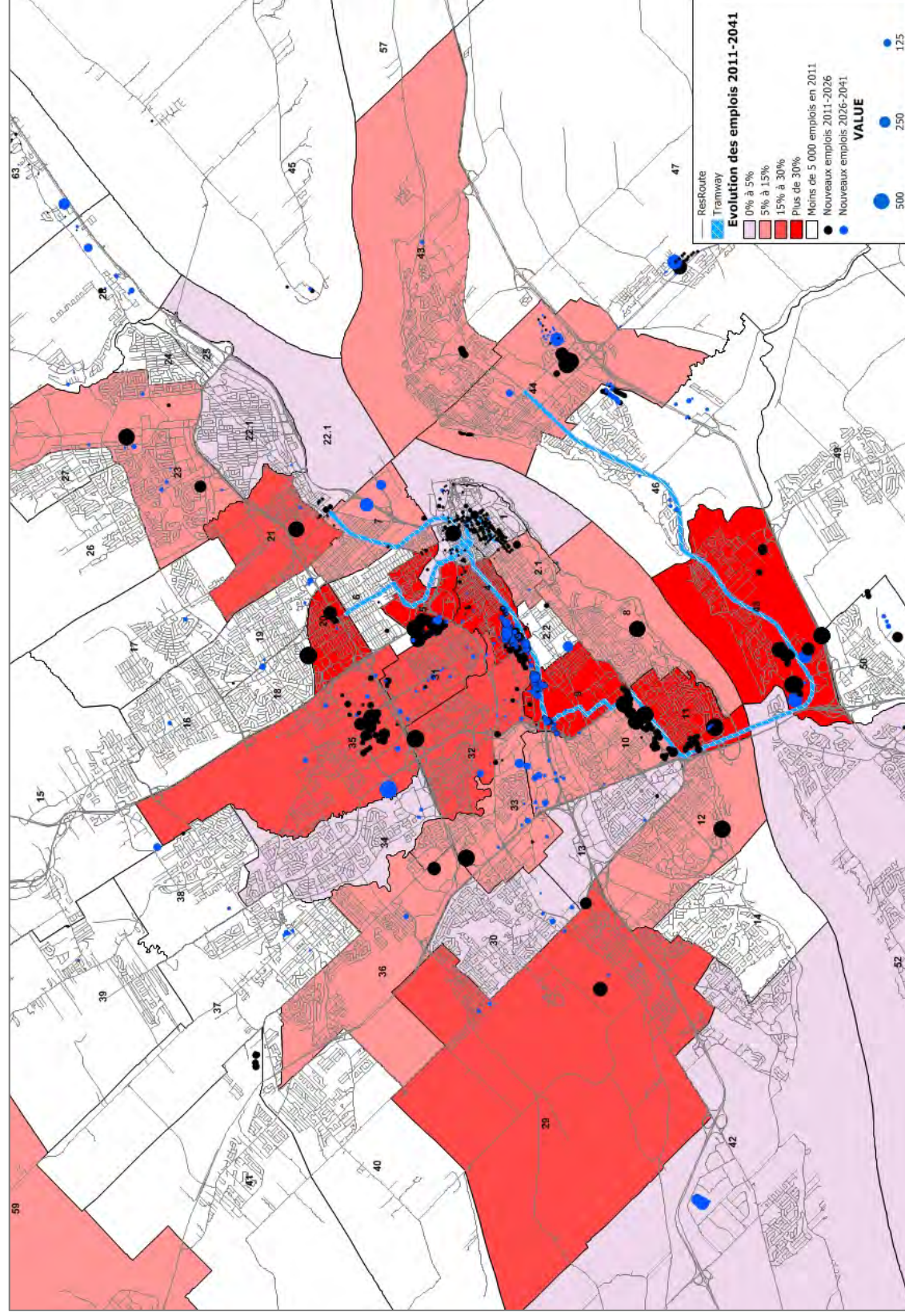


Figure 4-11 – Évolution des emplois entre 2011 et 2041 – scénario sans Tram

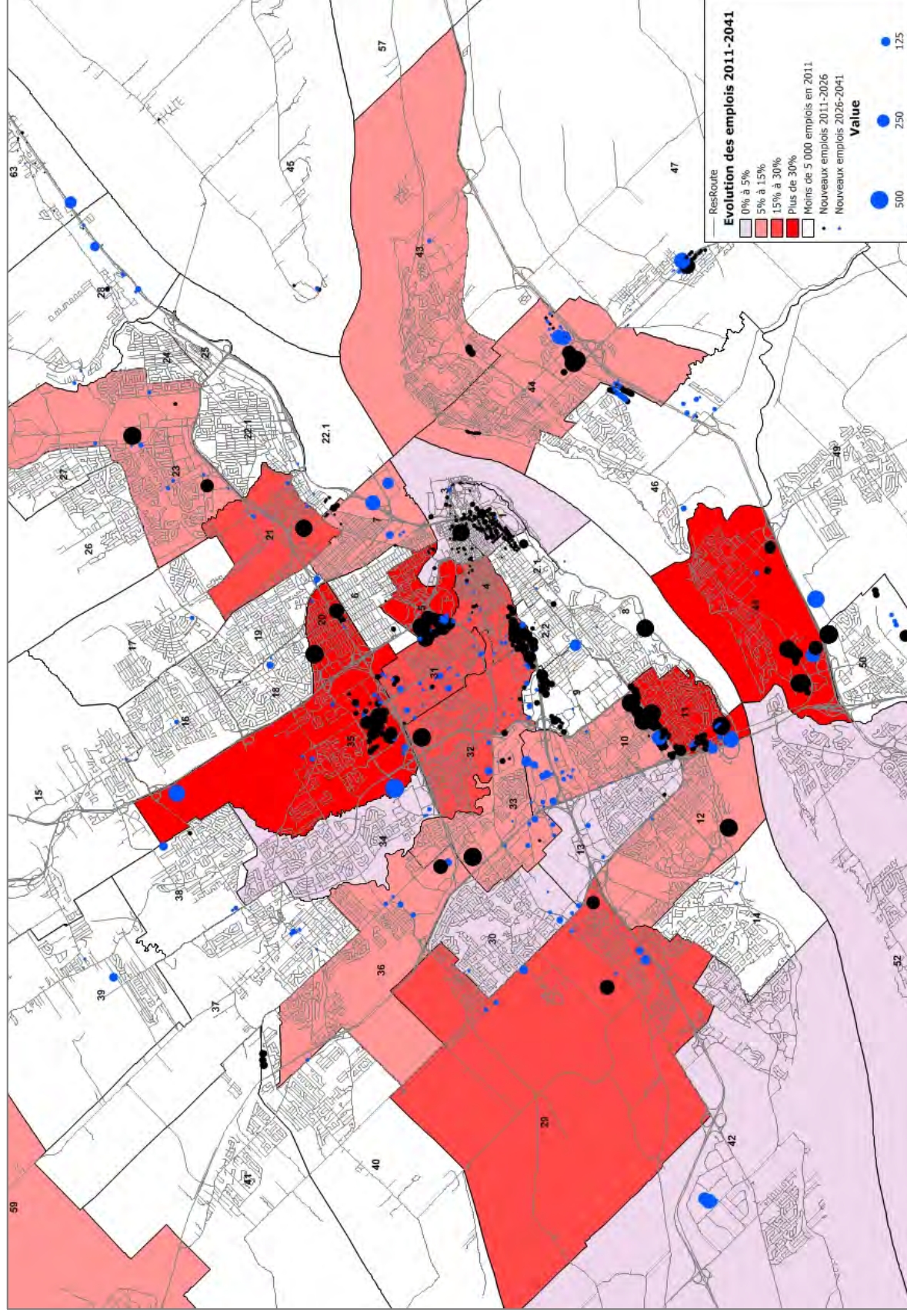


Figure 4-12 – Évolution des emplois entre 2026 et 2041– scénario avec Tram

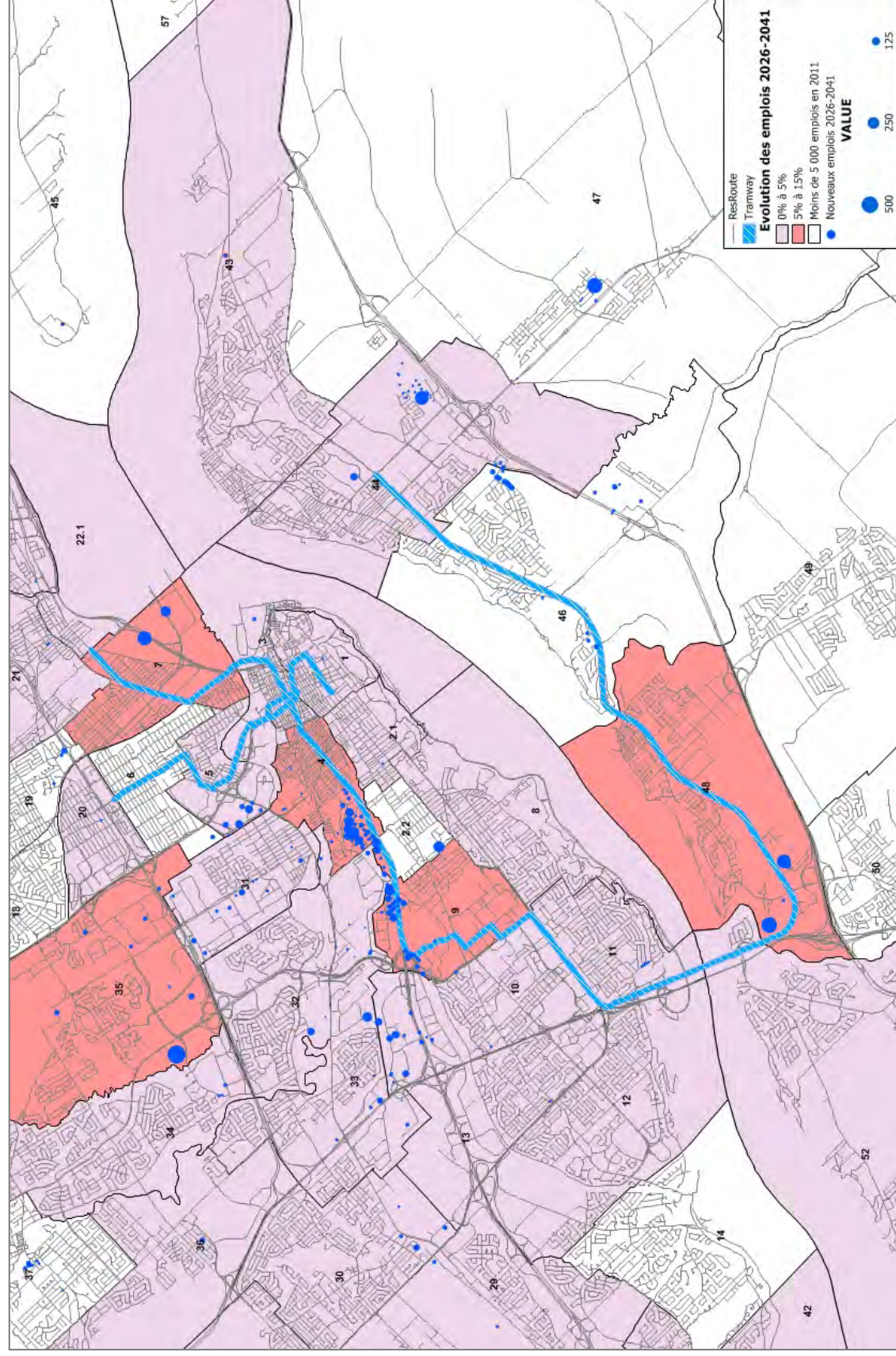
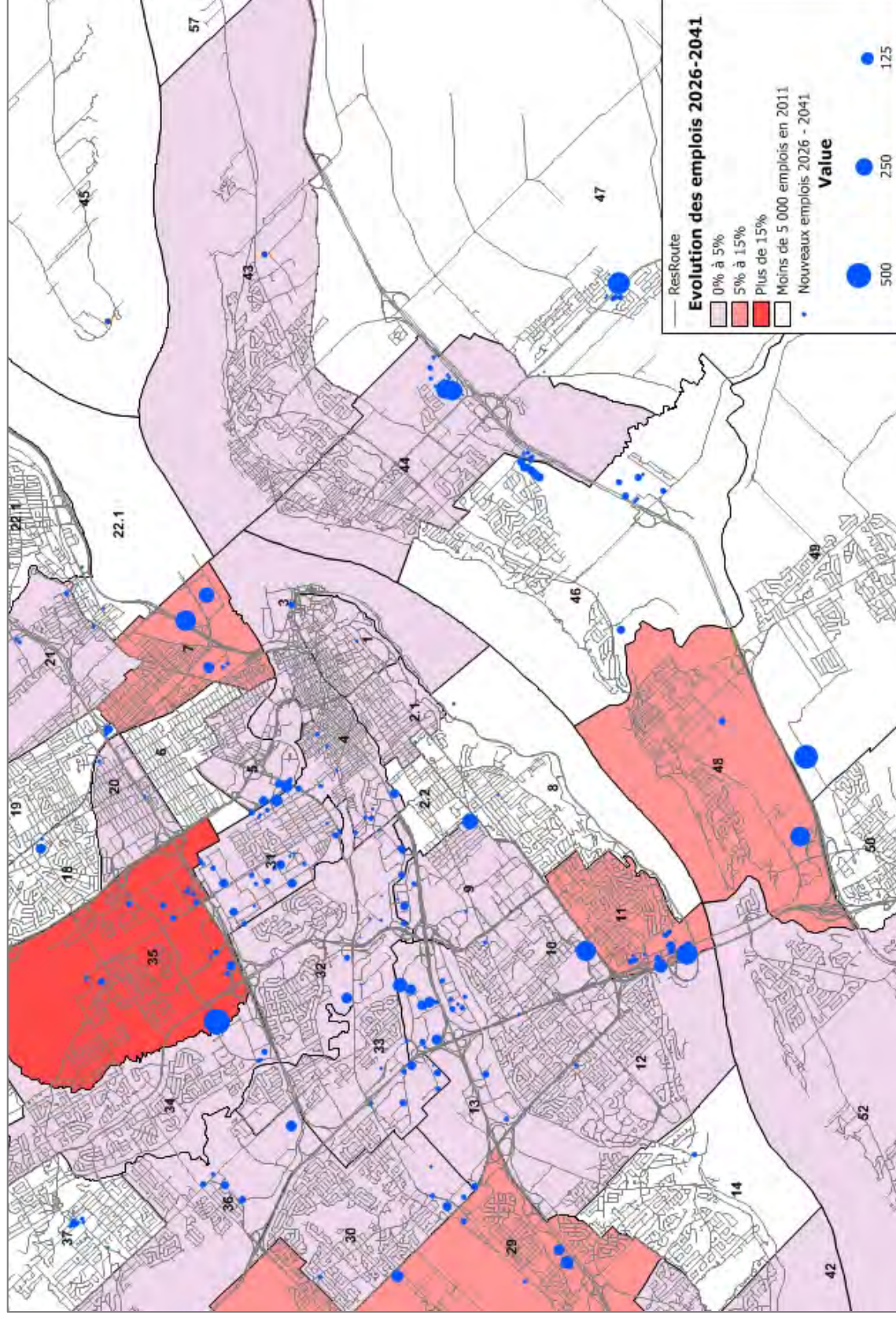


Figure 4-13 – Évolution des emplois entre 2026 et 2041 – scénario sans Tram



4.5 Résultats de la demande au fil de l'eau avec tramway

Les prévisions suivantes sont obtenues dans les hypothèses de démographie et d'emploi associées à une situation avec tramway. **Elles concernent le périmètre de l'enquête OD qui diffère légèrement de celui du Lot 3.1 (Cf. annexe D).**

Elles sont par ailleurs qualifiées de prévisions au fil de l'eau, car elles ne prennent pas en compte le transfert modal imputable aux évolutions de temps de parcours routier, aux hypothèses de stationnement ou encore à l'évolution de l'offre TC attendues aux horizons d'étude dans les situations avec tramway.

4.5.1 Résultats par classe d'âge

4.5.1.1 Structure démographique

Les tableaux ci-dessous détaillent la structure démographique résultant des travaux du Lot 3.1 et de sa déclinaison à la population de l'enquête OD 2011. L'horizon 2031 qui figure ici en italique est interpolé sur la base de taux exponentiels entre 2026 et 2041 de manière à faciliter les comparaisons avec la dernière prévision du MTQ basée sur l'enquête OD 2006 et le scénario de demande Qc0631T_ajust2011 (mai 2012) et le scénario démographique QU2012R1 (avril 2012).

Tableau 31 – Évolutions démographiques par classe d'âge

	Population				Ecart / 2011		
	2011	2026	2031	2041	2026	2031	2041
0-19 ans	170 287	213 259	212 496	210 976	42 972	42 208	40 689
20-34 ans	166 790	156 848	162 799	175 387	- 9 943	- 3 992	8 596
35-54 ans	224 779	245 316	245 827	246 852	20 537	21 048	22 074
55-64 ans	114 993	113 588	118 258	128 184	- 1 405	3 266	13 192
65 ans et +	130 396	225 335	236 830	261 608	94 939	106 434	131 212
Total	807 245	954 345	976 209	1 023 008	147 100	168 964	215 763

Tableau 32 – Évolutions démographiques par classe d'âge : rappel scénario QU2012R1

	Population		Ecart / 2006
	2006	2031	2031
0-19 ans	158 600	184 900	26 300
20-34 ans	160 300	157 100	- 3 200
35-54 ans	236 100	250 900	14 800
55-64 ans	101 000	105 000	4 000
65 ans et +	107 900	254 300	146 400
Total	763 900	952 200	188 300

Comme on peut le constater, nos prévisions démographiques sont globalement un peu plus soutenues puisqu'elles conduisent à l'horizon 2031 à une population supérieure de 2.5 % à ce que prévoit le scénario QU2012R1. La grande tendance de vieillissement de la population est présente dans les deux prévisions mais de manière moins importante dans le cas de nos prévisions où l'on observe aussi une augmentation assez sensible des 0-19 ans. Par rapport à la prévision du scénario QU2012R1, la classe 35-54 ans à fort taux de déplacement est également moins représentée.

4.5.1.2 Déplacements par classe d'âge

Les tendances observées sur les classes d'âge se retrouvent également en partie sur les volumes de déplacement par classe d'âge comme on peut le constater dans les tableaux suivants. Les différences de structure et de volume de déplacements entre les enquêtes OD 2006 et 2011 doivent être également prises en compte lors de l'analyse, le nombre de déplacements journaliers par personne en 2011 étant nettement inférieur à celui de 2006.

Tableau 33 – Déplacements journaliers par classe d'âge

	Déplacements (24 h)				Ecart / 2011		
	2011	2026	2031	2041	2026	2031	2041
0-19 ans	310 933	400 210	400 318	400 533	89 277	89 385	89 600
20-34 ans	440 182	421 501	433 990	460 089	- 18 681	- 6 192	19 907
35-54 ans	626 044	695 878	692 611	686 122	69 835	66 567	60 078
55-64 ans	270 994	267 701	278 275	300 691	- 3 292	7 281	29 697
65 ans et +	243 145	419 220	431 998	458 734	176 075	188 852	215 588
Total	1 891 297	2 204 510	2 237 190	2 306 168	313 213	345 893	414 871

	TCAM / 2011		
	2026	2031	2041
0-19 ans	1.70%	1.27%	0.85%
20-34 ans	-0.29%	-0.07%	0.15%
35-54 ans	0.71%	0.51%	0.31%
55-64 ans	-0.08%	0.13%	0.35%
65 ans et +	3.70%	2.92%	2.14%
Total	1.03%	0.84%	0.66%

TCAM = taux de croissance annuel moyen

Tableau 34 – Déplacements journaliers par classe d'âge : rappel scénario Qc0631T_ajust2011

	Déplacements (24 h)		Ecart / 2006	TCAM / 2006
	2006	2031	2031	2031
0-19 ans	360 400	412 600	52 200	0.54%
20-34 ans	491 000	495 200	4 200	0.03%
35-54 ans	747 200	811 200	64 000	0.33%
55-64 ans	257 300	266 800	9 500	0.15%
65 ans et +	203 000	461 600	258 600	3.34%
Total	2 058 900	2 447 400	388 500	0.69%

On observe notamment :

- Une croissance globale des déplacements qui ralentit avec le temps, compte tenu de l'augmentation de classes d'âge moins génératrices de déplacements,
- Des augmentations importantes des déplacements liés aux classes d'âge 0-19 ans et 65 ans et + en rapport avec les évolutions démographiques,

- Une réduction des déplacements liés à la classe d'âge 20-34 ans qui se stabilisent à long terme

Les tableaux ci-dessous présentent les taux de génération de déplacement par personne qui combinés aux prévisions démographiques conduisent aux résultats précédents. Ces taux sont par construction globalement assez stables aux différents horizons étudiés mais assez différents entre les deux bases d'enquête OD 2006 et 2011.

Tableau 35 – Nombre de déplacements journaliers par personne

	2011	2026	2031	2041
0-19 ans	1.83	1.88	1.88	1.90
20-34 ans	2.64	2.69	2.67	2.62
35-54 ans	2.79	2.84	2.82	2.78
55-64 ans	2.36	2.36	2.35	2.35
65 ans et +	1.86	1.86	1.82	1.75
Total	2.34	2.31	2.29	2.25

Tableau 36 – Nombre de déplacements journaliers par personne : rappel scénario Qc0631T_ajust2011

	2006	2031
0-19 ans	2.27	2.23
20-34 ans	3.06	3.15
35-54 ans	3.16	3.23
55-64 ans	2.55	2.54
65 ans et +	1.88	1.82
Total	2.70	2.57

4.5.2 Résultats par période

Les répartitions des déplacements journaliers par période de la journée sont présentées dans les tableaux ci-après. De manière générale, on constate :

- Une croissance des périodes de pointe légèrement en deçà de la croissance moyenne,
- Une croissance de la période de hors pointe jour (9h00-15h29) supérieure à la moyenne, l'accroissement des déplacements de cette période représentant près de 40 % de l'accroissement total en 2041 alors que cette période représente un peu moins de 30 % des déplacements en 2011,
- Une croissance de la période de nuit assez inférieure à la moyenne.

Compte tenu de ces remarques, les structures de déplacements par période ne sont pas bouleversées mais on observe quand même un renforcement de la période de hors pointe jour de près de 6 % entre 2011 et 2041 au détriment des autres périodes et notamment de la pointe du matin et de la nuit : cet accroissement est notamment à mettre en relation avec l'accroissement de la population de la classe d'âge des 65 ans et +.

Ces évolutions sont très semblables à celles observées dans le cas du scénario Qc0631T_ajust2011. Elles rappellent l'intérêt de la modélisation de trafic hors pointe.

Tableau 37 – Déplacements journaliers par période

	Déplacements (24 h)				Ecart / 2011		
	2011	2026	2031	2041	2026	2031	2041
6h30 à 8h59	444 257	515 862	519 131	525 730	71 605	74 874	81 473
9h00 à 15h29	556 104	671 869	688 241	722 191	115 765	132 137	166 087
15h30 à 17h59	512 023	597 141	602 821	614 344	85 118	90 798	102 321
18h00 à 6h29	378 912	419 638	427 575	443 903	40 726	48 663	64 990
Total	1 891 297	2 204 510	2 237 768	2 306 168	313 213	346 471	414 871

	TCAM / 2011		
	2026	2031	2041
6h30 à 8h59	1.00%	0.78%	0.56%
9h00 à 15h29	1.27%	1.07%	0.87%
15h30 à 17h59	1.03%	0.82%	0.61%
18h00 à 6h29	0.68%	0.61%	0.53%
Total	1.03%	0.84%	0.66%

Tableau 38 – Déplacements journaliers par période : rappel scénario Qc0631T_ajust2011

	Déplacements (24 h)		Ecart / 2006	TCAM / 2006
	2006	2031	2031	2031
6h30 à 8h59	441 300	504 000	62 700	0.53%
9h00 à 15h29	637 200	811 200	174 000	0.97%
15h30 à 17h59	520 400	610 600	90 200	0.64%
18h00 à 6h29	460 100	521 700	61 600	0.50%
Total	2 059 000	2 447 500	388 500	0.69%

4.5.3 Résultats par mode

4.5.3.1 Déplacements journaliers

Les tableaux ci-dessous présentent les évolutions des déplacements journaliers par mode. Ces évolutions sont liées à la déformation de l'enquête OD 2011 et non au modèle de partage modal à cette étape de l'étude.

Tableau 39 – Déplacements journaliers par mode

	Déplacements (24 h)				Ecart / 2011		
	2011	2026	2031	2041	2026	2031	2041
AUTO_C	1 193 649	1 378 602	1 404 143	1 456 655	184 952	210 494	263 006
AUTO_P	274 747	341 257	344 816	352 047	66 510	70 069	77 300
AUTRE	91 139	121 773	122 181	123 000	30 635	31 042	31 861
MAP	165 351	187 439	188 010	189 158	22 088	22 660	23 807
TCU	149 255	157 475	160 609	167 066	8 220	11 354	17 810
VELO	17 156	17 964	18 056	18 242	808	900	1 086
Total	1 891 297	2 204 510	2 237 888	2 306 168	313 213	346 591	414 871

	TCAM / 2011		
	2026	2031	2041
AUTO_C	0.96%	0.82%	0.67%
AUTO_P	1.46%	1.14%	0.83%
AUTRE	1.95%	1.48%	1.00%
MAP	0.84%	0.64%	0.45%
TCU	0.36%	0.37%	0.38%
VELO	0.31%	0.26%	0.20%
Total	1.03%	0.84%	0.66%

Tableau 40 – Déplacements journaliers par mode : rappel scénario Qc0631T_ajust2011

	Déplacements (24 h)		Ecart / 2006	TCAM / 2006
	2006	2031	2031	2031
AUTO_C	1 241 000	1 502 700	261 700	0.77%
AUTO_P	304 300	372 800	68 500	0.82%
AUTRE	111 200	132 800	21 600	0.71%
MAP	242 900	269 600	26 700	0.42%
TCU	141 600	150 600	9 000	0.25%
VELO	18 000	18 900	900	0.20%
Total	2 059 000	2 447 400	388 400	0.69%

Pour nos prévisions, on constate :

- Une croissance du mode Auto conducteur analogue à la croissance moyenne ce qui conduit à en conserver la part modale à l'horizon 2041 alors que dans le scénario Qc0631T_ajust2011 on observait un renforcement de cette part.
- Une augmentation de la part du mode Auto passager qui progresse de 14.5 % en 2011 à 15.3 % en 2041,
- Une diminution de la part modale des transports collectifs mais qui compte tenu de l'accroissement global des déplacements conduit cependant à des accroissements de 8 000 déplacements en 2026 et 17 800 en 2041. Par rapport au scénario Qc0631T_ajust2011, l'augmentation du nombre de déplacements en transports collectifs est légèrement supérieure.

- Une augmentation de la part du mode Autre qui contient notamment les transports scolaires et qui augmente ici en relation avec l'augmentation de la classe d'âge 0-19 ans.
- Une baisse de la part modale des modes actifs sans doute également liée en partie aux évolutions de classes d'âge.

Tableau 41 – Parts modales journalières

	Déplacements (24 h)			
	2011	2026	2031	2041
AUTO_C	63.1%	62.5%	62.7%	63.2%
AUTO_P	14.5%	15.5%	15.4%	15.3%
AUTRE	4.8%	5.5%	5.5%	5.3%
MAP	8.7%	8.5%	8.4%	8.2%
TCU	7.9%	7.1%	7.2%	7.2%
VELO	0.9%	0.8%	0.8%	0.8%
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tableau 42 – Parts modales journalières : rappel scénario Qc0631T_ajust2011

	Déplacements (24 h)	
	2006	2031
AUTO_C	60.3%	61.4%
AUTO_P	14.8%	15.2%
AUTRE	5.4%	5.4%
MAP	11.8%	11.0%
TCU	6.9%	6.2%
VELO	0.9%	0.8%
Total	100.0%	100.0%

4.5.3.2 Période de Pointe du Matin

Les répartitions modales à la période de pointe du matin figurent dans les tableaux suivants. Elles sont assez proches des évolutions constatées pour l'ensemble de la journée avec la stabilité du mode Auto conducteur en part modale, l'augmentation dans une moindre mesure de l'Auto passager mais toujours le fort accroissement du mode Autre associé aux déplacements scolaires. Les transports collectifs voient leur nombre augmenter de 2 000 en 2026 et de 4 500 en 2041.

Tableau 43 – Déplacements de la Période de Pointe du Matin par mode

	Déplacements (PPAM)				Ecart / 2011		
	2011	2026	2031	2041	2026	2031	2041
AUTO_C	266 306	303 035	306 404	313 255	36 729	40 098	46 948
AUTO_P	55 559	69 759	69 158	67 971	14 200	13 599	12 412
AUTRE	39 279	52 727	52 771	52 859	13 448	13 492	13 579
MAP	31 426	36 379	36 032	35 348	4 953	4 606	3 922
TCU	47 196	49 283	50 064	51 662	2 087	2 867	4 466
VELO	4 491	4 679	4 665	4 637	188	174	146
Total	444 257	515 862	519 131	525 730	71 605	74 836	81 473

	TCAM / 2011		
	2026	2031	2041
AUTO_C	0.87%	0.70%	0.54%
AUTO_P	1.53%	1.10%	0.67%
AUTRE	1.98%	1.49%	0.99%
MAP	0.98%	0.69%	0.39%
TCU	0.29%	0.30%	0.30%
VELO	0.27%	0.19%	0.11%
Total	1.00%	0.78%	0.56%

Tableau 44 – Déplacements de la Période de Pointe du Matin par mode : rappel scénario Qc0631T_ajust2011

	Déplacements (PPAM)		Ecart / 2006	TCAM / 2006
	2006	2031	2031	2031
AUTO_C	256 000	298 700	42 700	0.62%
AUTO_P	55 400	62 400	7 000	0.48%
AUTRE	42 200	50 100	7 900	0.69%
MAP	41 100	44 400	3 300	0.31%
TCU	42 800	44 500	1 700	0.16%
VELO	3 800	3 900	100	0.10%
Total	441 300	504 000	62 700	0.53%

Tableau 45 – Parts modales de la Période de Pointe du Matin

	Déplacements (PPAM)			
	2011	2026	2031	2041
AUTO_C	59.9%	58.7%	59.0%	59.6%
AUTO_P	12.5%	13.5%	13.3%	12.9%
AUTRE	8.8%	10.2%	10.2%	10.1%
MAP	7.1%	7.1%	6.9%	6.7%
TCU	10.6%	9.6%	9.6%	9.8%
VELO	1.0%	0.9%	0.9%	0.9%
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tableau 46 – Parts modales de la Période de Pointe du Matin : rappel scénario Qc0631T_ajust2011

	Déplacements (PPAM)	
	2006	2031
AUTO_C	58.0%	59.3%
AUTO_P	12.6%	12.4%
AUTRE	9.6%	9.9%
MAP	9.3%	8.8%
TCU	9.7%	8.8%
VELO	0.9%	0.8%
Total	100.0%	100.0%

4.5.4 Résultats par motif

Les tableaux ci-après détaillent l'évolution des déplacements journaliers selon le motif (variable motif de l'enquête OD 2011 regroupée).

Entre 2011 et 2041, les déplacements qui croissent le plus sont les déplacements pour motif Magasinage (+30 %), Loisirs (+25) et Études (+25 %) nettement devant les déplacements pour motif Travail qui progressent moins vite (+14 %). Ces constatations sont tout à fait homogènes avec les évolutions démographiques (progression des classes d'âge 0-19 et 65 et +) et les évolutions par période de la journée (renforcement de la période hors pointe de jour). Par rapport au scénario Qc0631T_ajust2011, la principale différence concerne les déplacements pour motif Études qui progressaient très peu : dans notre cas, c'est le motif École qui renforce la croissance de cette catégorie.

Tableau 47 – Déplacements journaliers par motif

	Déplacements (24 h)				Ecart / 2011		
	2011	2026	2031	2041	2026	2031	2041
Travail	355 575	394 570	398 690	407 059	38 995	43 115	51 484
Etudes	148 348	180 460	182 039	185 240	32 112	33 691	36 892
Loisirs	163 832	193 134	197 669	207 059	29 302	33 837	43 227
Magasinage	208 250	253 305	260 506	275 528	45 055	52 256	67 278
Autres	219 323	256 227	257 001	258 555	36 904	37 678	39 233
Retour	795 970	926 814	941 873	972 727	130 845	145 903	176 757
Total	1 891 297	2 204 510	2 237 777	2 306 168	313 213	346 480	414 871

	TCAM / 2011		
	2026	2031	2041
Travail	0.70%	0.57%	0.45%
Etudes	1.31%	1.03%	0.74%
Loisirs	1.10%	0.94%	0.78%
Magasinage	1.31%	1.13%	0.94%
Autres	1.04%	0.80%	0.55%
Retour	1.02%	0.85%	0.67%
Total	1.03%	0.84%	0.66%

Tableau 48 – Déplacements journaliers par motif : rappel scénario Qc0631T_ajust2011

	Déplacements (24 h)		Ecart / 2006	TCAM / 2006
	2006	2031	2031	2031
Travail	375 400	425 300	49 900	0.50%
Etudes	168 000	187 800	19 800	0.45%
Loisirs	194 200	237 100	42 900	0.80%
Magasinage	217 800	282 500	64 700	1.05%
Autres	245 800	295 600	49 800	0.74%
Retour	857 800	1 019 100	161 300	0.69%
Total	2 059 000	2 447 400	388 400	0.69%

Tableau 49 – Déplacements journaliers par motif : répartition

	Déplacements (24 h)			
	2011	2026	2031	2041
Travail	18.8%	17.9%	17.8%	17.7%
Etudes	7.8%	8.2%	8.2%	8.1%
Loisirs	8.7%	8.8%	8.8%	9.0%
Magasinage	11.0%	11.5%	11.6%	11.9%
Autres	11.6%	11.6%	11.5%	11.2%
Retour	42.1%	42.0%	42.1%	42.2%
Total	100.0%	100.0%	100.0%	100.0%

Tableau 50 – Déplacements journaliers par motif : répartition : rappel scénario Qc0631T_ajust2011

	Déplacements (24 h)	
	2006	2031
Travail	18.2%	17.4%
Etudes	8.2%	7.7%
Loisirs	9.4%	9.7%
Magasinage	10.6%	11.5%
Autres	11.9%	12.1%
Retour	41.7%	41.6%
Total	100.0%	100.0%

4.6 Résultats de la demande au fil de l'eau 2041 sans tramway

Dans ce paragraphe sont présentés les résultats de la déformation de l'enquête 2011 sur la base des prévisions sociodémographiques dans les scénarios futurs avec et sans tramway. Seul l'horizon 2041 est concerné, l'horizon 2026 ne présentant pas de situation avec et sans tramway.

Globalement les accroissements de population et d'emploi sont de même volume mais leurs répartitions sur le territoire varient selon la construction ou non du tramway (notamment concernant l'urbanisation du boulevard Charest). Les résultats présentés à un niveau agrégé ne présentent donc que des différences très marginales.

On le vérifie bien sur les tableaux ci-dessous présentant les populations et déplacements par classe d'âge ainsi que les déplacements par période.

Tableau 51 – Comparaison population et déplacements journaliers par classe d'âge

2041	Population		Ecart scn %	Déplacements		Ecart scn %	Dep journaliers / personne	
	Sans Tram	Avec tram		Sans Tram	Avec tram		Sans Tram	Avec tram
0-19 ans	210 976	210 846	-0.1%	400 533	400 390	0.0%	1.90	1.90
20-34 ans	175 387	175 353	0.0%	460 089	459 970	0.0%	2.62	2.62
35-54 ans	246 852	247 008	0.1%	686 122	687 159	0.2%	2.78	2.78
55-64 ans	128 184	128 278	0.1%	300 691	300 878	0.1%	2.35	2.35
65 ans et +	261 608	261 736	0.0%	458 734	459 262	0.1%	1.75	1.75
Total	1 023 008	1 023 222	0.1%	2 306 168	2 307 659	0.1%	2.25	2.26

Tableau 52 – Comparaison des déplacements journaliers par période

2041	Déplacements		Ecart scn %
Age	Sans Tram	Avec tram	
6h30 à 8h59	525 730	525 891	0.0%
9h00 à 15h29	722 191	722 674	0.1%
15h30 à 17h59	614 344	614 392	0.0%
18h00 à 6h29	443 903	444 703	0.2%
Total	2 306 168	2 307 659	0.1%

Tableau 53 – Comparaison des déplacements par mode

2041	Déplacements (24h)		Ecart scn %	Parts modales journalières		Déplacements (PPAM)		Ecart scn %	Parts modales PPAM	
	Sans Tram	Avec tram		Sans Tram	Avec tram	Sans Tram	Avec tram		Sans Tram	Avec tram
AUTO_C	1 456 655	1 461 416	0.3%	63.2%	63.3%	313 255	314 317	0.3%	59.6%	59.8%
AUTO_P	352 047	351 896	0.0%	15.3%	15.2%	67 971	67 756	-0.3%	12.9%	12.9%
AUTRE	123 000	122 901	-0.1%	5.3%	5.3%	52 859	52 792	-0.1%	10.1%	10.0%
MAP	189 158	187 160	-1.1%	8.2%	8.1%	35 348	34 931	-1.2%	6.7%	6.6%
TCU	167 066	166 198	-0.5%	7.2%	7.2%	51 662	51 503	-0.3%	9.8%	9.8%
VELO	18 242	18 088	-0.8%	0.8%	0.8%	4 637	4 591	-1.0%	0.9%	0.9%
Total	2 306 168	2 307 659	0.1%	100%	100.0%	525 730	525 891	0.0%	100.0%	100.0%

Pour les tableaux par mode, les différences sont légèrement plus significatives, les différences de répartition des populations selon la localisation ayant un impact plus direct sur les modes de transport utilisés.

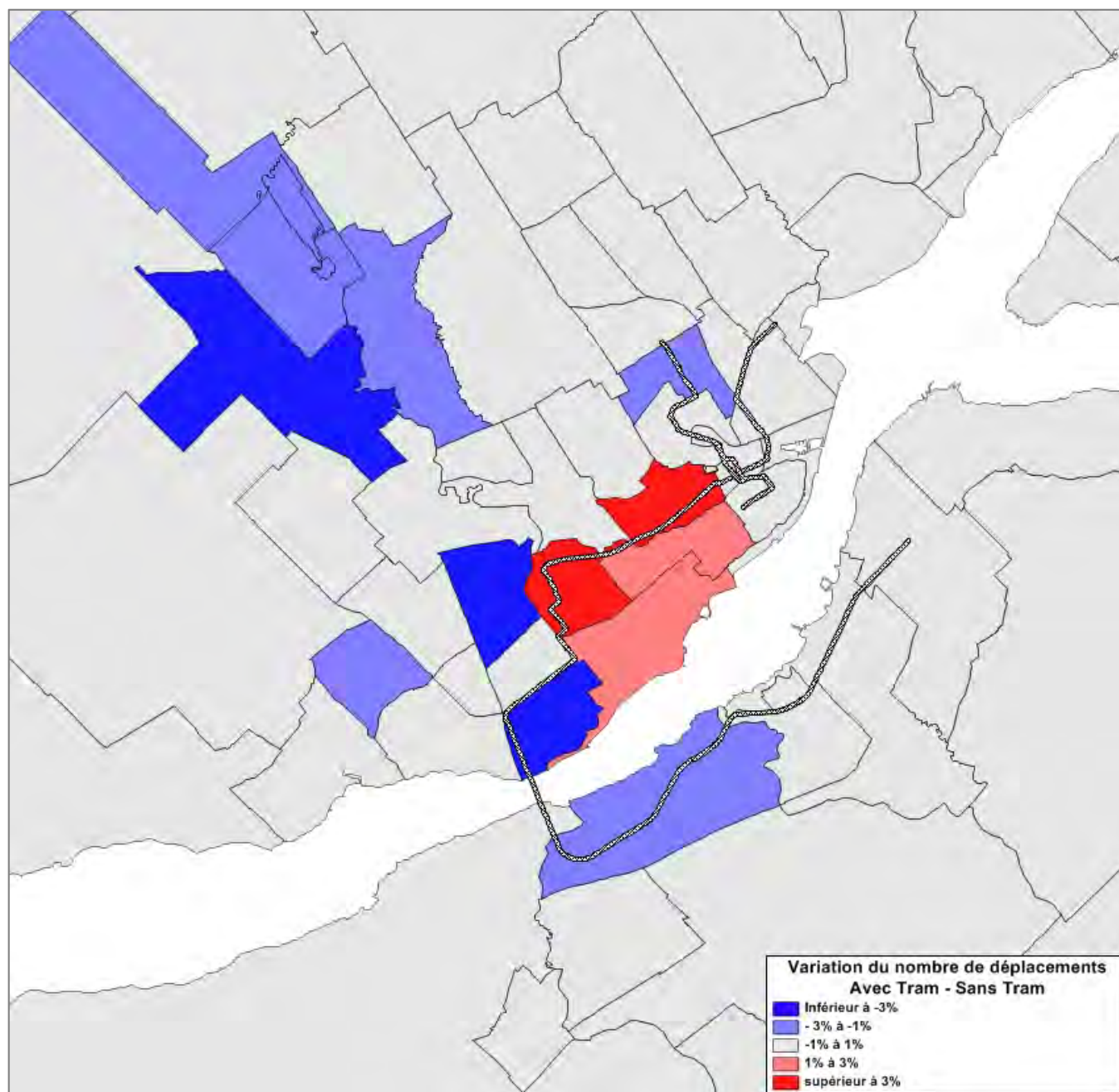
On rappelle que les parts modales ci-dessus ne tiennent pas compte du report modal qui se produira grâce à l'amélioration de la desserte en transport en commun dans le scénario avec tramway. Elles reflètent uniquement les modifications sociodémographiques, **en gardant constant** le mode déclaré dans l'enquête OD 2011.

Pour la situation fil de l'eau avec tramway, les zones en développement sont des zones peu développées aujourd'hui et où l'offre TC 2011 est moins développée (cela changera avec la venue du tramway et la prise en compte du report modal) : il n'est donc pas étonnant d'observer une légère augmentation des déplacements Auto au détriment des autres modes et notamment des TC.

Tableau 54 – Comparaison des déplacements par motif

2041	Déplacements (24 h)		Ecart
Motif	Sans Tram	Avec tram	scn %
Travail	407 059	407 695	0.2%
Etudes	185 240	184 817	-0.2%
Loisirs	207 059	207 176	0.1%
Magasins	275 528	275 624	0.0%
Autres	258 555	258 969	0.2%
Retour	972 727	973 378	0.1%
Total	2 306 168	2 307 659	0.1%

La carte page suivante présente les différences en nombre de déplacements regroupés par ZP de résidence dans les cas avec et sans tramway. Les variations les plus significatives sont figurées en couleurs soutenues. Les gains les plus importants pour la situation avec tramway concernent avant tout le secteur Charest, les différentes évolutions étant par ailleurs tout à fait homogènes avec les cartes de localisation de résidence et d'emplois présentées précédemment.

Figure 4-1 – Comparaison des volumes de déplacements par ZP de résidence – horizon 2041

4.7 Conclusion sur la prévision de la demande

Les principales conclusions relatives à la prévision de la demande au fil de l'eau sont les suivantes :

- La croissance des déplacements par mode qui s'explique largement par la croissance démographique par classe d'âge et notamment par le vieillissement de la population même si les jeunes voient leur nombre renforcé également. On retrouve également bien la croissance des emplois dans la croissance des

déplacements pour motif travail. L'effet d'augmentation de la motorisation des femmes à statut travailleur est également un facteur important.

Tableau 55 – Évolutions démographiques par classe d'âge – scénario avec tramway

	Population		Ecart 2041 / 2011	
	2011	2041	valeur	%
0-19 ans	170 287	210 976	40 689	23.9%
20-34 ans	166 790	175 387	8 596	5.2%
35-54 ans	224 779	246 852	22 074	9.8%
55-64 ans	114 993	128 184	13 192	11.5%
65 ans et +	130 396	261 608	131 212	100.6%
Total	807 245	1 023 008	215 763	26.7%

Tableau 56 – Déplacements journaliers par classe d'âge– scénario avec tramway

	Déplacements (24 h)		Ecart 2041 / 2011		Nb dép. / pers. 2041
	2011	2041	valeur	%	
0-19 ans	310 933	400 533	89 600	28.8%	1.90
20-34 ans	440 182	460 089	19 907	4.5%	2.62
35-54 ans	626 044	686 122	60 078	9.6%	2.78
55-64 ans	270 994	300 691	29 697	11.0%	2.35
65 ans et +	243 145	458 734	215 588	88.7%	1.75
Total	1 891 297	2 306 168	414 871	21.9%	2.25

- L'évolution au fil de l'eau, c'est-à-dire sans évolution de l'offre de transport est défavorable aux transports collectifs et aux modes actifs dont la part de marché perd 1.3 points.

Tableau 57 – Déplacements journaliers par mode – scénario avec tramway

	Déplacements (24 h)		Ecart 2041 / 2011	
	2011	2041	valeur	%
AUTO_C	1 193 649	1 456 655	263 006	22.0%
AUTO_P	274 747	352 047	77 300	28.1%
AUTRE	91 139	123 000	31 861	35.0%
MAP	165 351	189 158	23 807	14.4%
TCU	149 255	167 066	17 810	11.9%
VELO	17 156	18 242	1 086	6.3%
Total	1 891 297	2 306 168	414 871	21.9%

- La croissance des déplacements est soutenue en période hors pointe (+30 %) et quand même sensible en période de pointe (de l'ordre de 18 %)

Tableau 58 – Déplacements journaliers par période – scénario avec tramway

	Déplacements (24 h)		Ecart 2041 / 2011	
	2011	2041	valeur	%
6h30 à 8h59	444 257	525 730	81 473	18.3%
9h00 à 15h29	556 104	722 191	166 087	29.9%
15h30 à 17h59	512 023	614 344	102 321	20.0%
18h00 à 6h29	378 912	443 903	64 990	17.2%
Total	1 891 297	2 306 168	414 871	21.9%

- Les évolutions au fil de l'eau dans le scénario sans tramway sont très proches au niveau global (par hypothèse de base les volumes totaux de population et d'emploi sont identiques à ceux du scénario avec tramway).

5 PREVISIONS D'ACHALANDAGE

5.1 Description des scénarios étudiés

Dans le cadre du mandat 3.2, deux scénarios à l'horizon 2041 doivent être modélisés : un scénario futur avec tramway et un scénario futur sans tramway.

Plusieurs variantes ont été étudiées pour chaque scénario. Les composantes des variantes ont été déclinées par thème :

- Offres en transports collectifs :
 - Intégration du tramway,
 - Restructuration du réseau,
 - Bonification de l'offre : cette bonification a été effectuée en tenant compte des contraintes actuelles en matière d'opérabilité des services et notamment au niveau de la Colline parlementaire où le nombre de services en période de pointe est limité à ce qui peut être observé actuellement.
 - Prise en compte du BHNS de Lévis
 - Réflexion sur les parcs de stationnement incitatifs
- Impact du stationnement :
 - Analyse de l'impact de la contrainte de stationnement sur le choix modal,
 - Classification qualitative des zones en situation de calage et future.
- Évolution de l'offre routière :
 - Intégration des projets routiers,
 - Prise en compte des impacts liés au tramway notamment au niveau du Pont de Québec
 - Évolution de la congestion.

5.1.1 Scénarios d'offre en transports collectifs

Pour le scénario avec tramway, la composition des variantes est basée sur :

- Le schéma d'exploitation des lignes de tramway :
 - Croisement à St-Roch,
 - Missions courtes et missions longues,
 - Missions ouest-nord et ouest-sud,
 - Etc,
- Variante de tracé relative à la séquence G de la ligne est-ouest (secteur Limoilou)
 - Nombre de stations de tramway côté Lévis :
 - o 19stations rive sud
 - o 13stations rive sud.
- Renforcement des services réguliers et eXpress pour toutes les variantes présentées dans ce rapport
- Test de sensibilité de cadencement des lignes régulières de la STLévis

- Nombre de voies sur le pont de Québec : 1 voie par sens (soit 2 voies au total) ou 1 voie par sens + une voie réversible (soit 3 voies au total)

Pour le scénario sans tramway, la seule variable pour la composition de l'offre est la présence ou non du BHNS à Lévis.

Toutes les variantes présentées dans ce rapport ont été modélisées avec un renforcement des services réguliers et des eXpress vers le pôle de Sainte-Foy.

Le tableau ci-dessous reprend les hypothèses des principales variantes testées pour les deux scénarios.

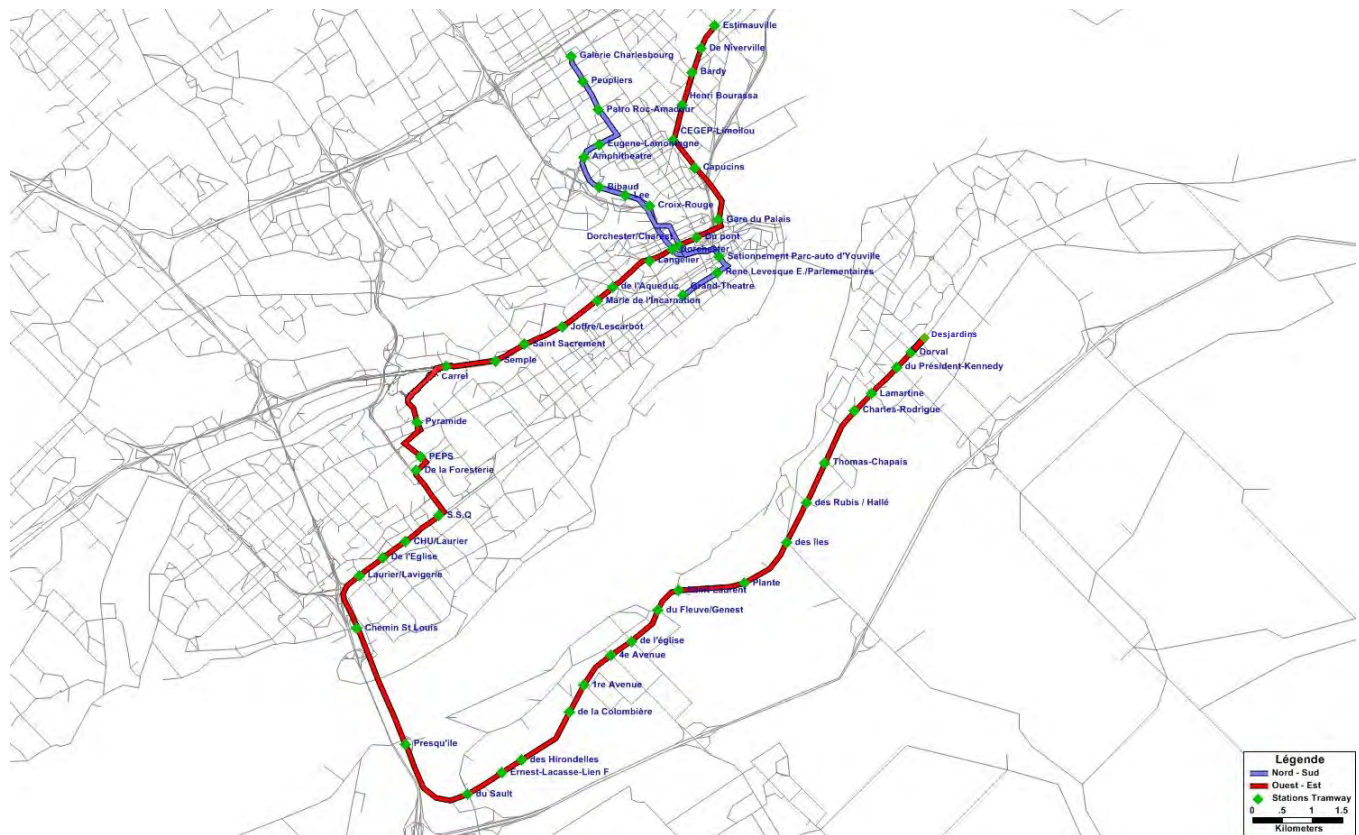
Tableau 59 – Description des principales variantes étudiées

	Tramway - Schéma d'exploitation	BHNS Lévis	Renforcement des services	Nombre de stations côté Lévis	Cadencement lignes régulières Lévis (heure de pointe)	Pont de Québec
Avec tram var.1	A (croisement à St-Roch)	Non	Oui	19	15 min	2 Voies
Avec tram var.2	B Ouest-Est 6' Ouest-Nord courte 12' Ouest-Sud courte 12' Nord-Sud 8' Nord-Sud courte 12'					2 voies
Avec tram var.3						3 voies
Avec tram var.4				20 min	2 voies	
Avec tram var.5	13			20 min	2 voies	
Avec tram var.6					3 voies	
Avec tram var.7					19	15 min
Avec tram var.8 (variante de tracé à Limoilou)						
Sans tram var.1	Non			-		
Sans tram var.2		Oui		21 (BHNS)	3 voies	

La variante de tracé relative à la séquence G de la ligne est-ouest (secteur Limoilou), qui ne figure pas dans le tableau précédent a également été étudiée.

Les tracés des lignes de tramway et des lignes de bus intégrées dans le modèle sont représentés dans les figures des pages suivantes. De légères différences peuvent subsister entre le tracé issu du modèle TransCAD et le tracé issu du livrable 1.2 et les parcours réels des lignes de bus existantes. Elles sont minimes et dues au fait que le réseau routier modélisé dans TransCAD ne prend pas en compte toutes les voiries de dessertes. Toutefois, elles n'ont aucun effet sur les résultats du choix modal et de la fréquentation des TC.

Figure 5-1 – Réseau de tramway modélisé sous TransCAD



Les croquis détaillant les schémas d'exploitation A, B et C du tramway sont présentés dans les figures qui suivent.

Figure 5-2 – Schéma d'exploitation A : croisement à Saint-Roch

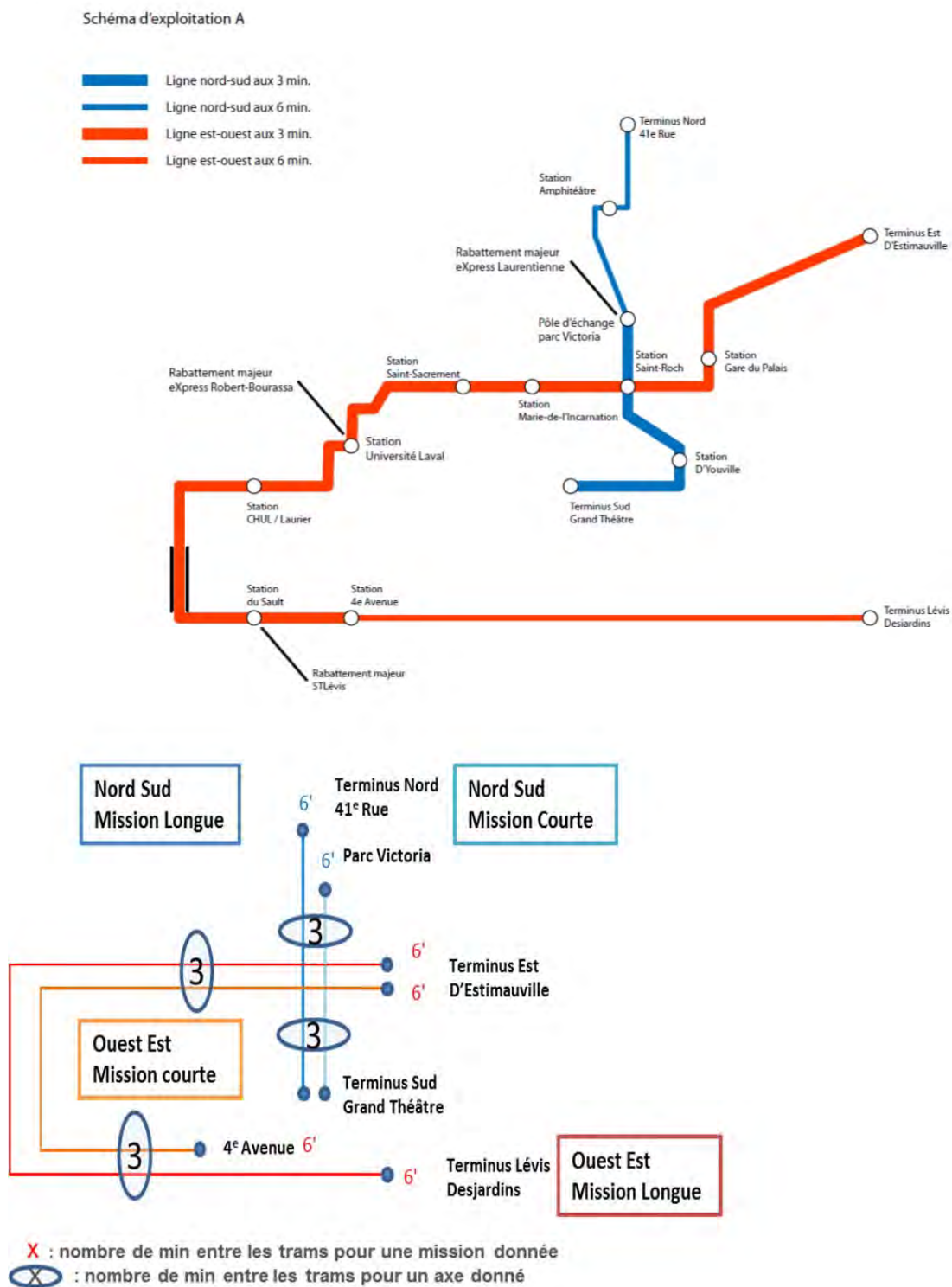


Figure 5-3 – Schéma d'exploitation B : mission courte/mission longue et mission Ouest-Nord/Ouest-Sud

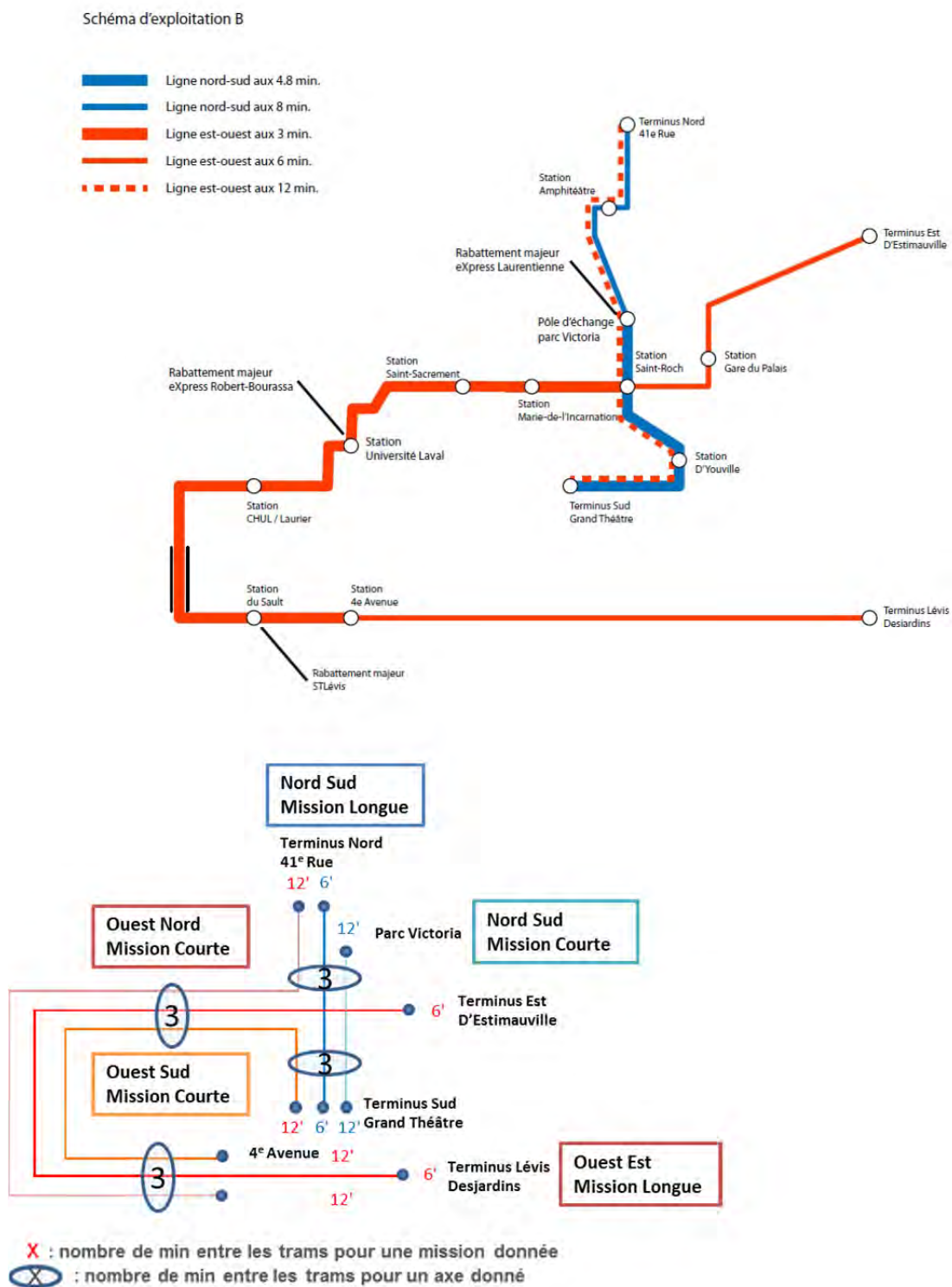
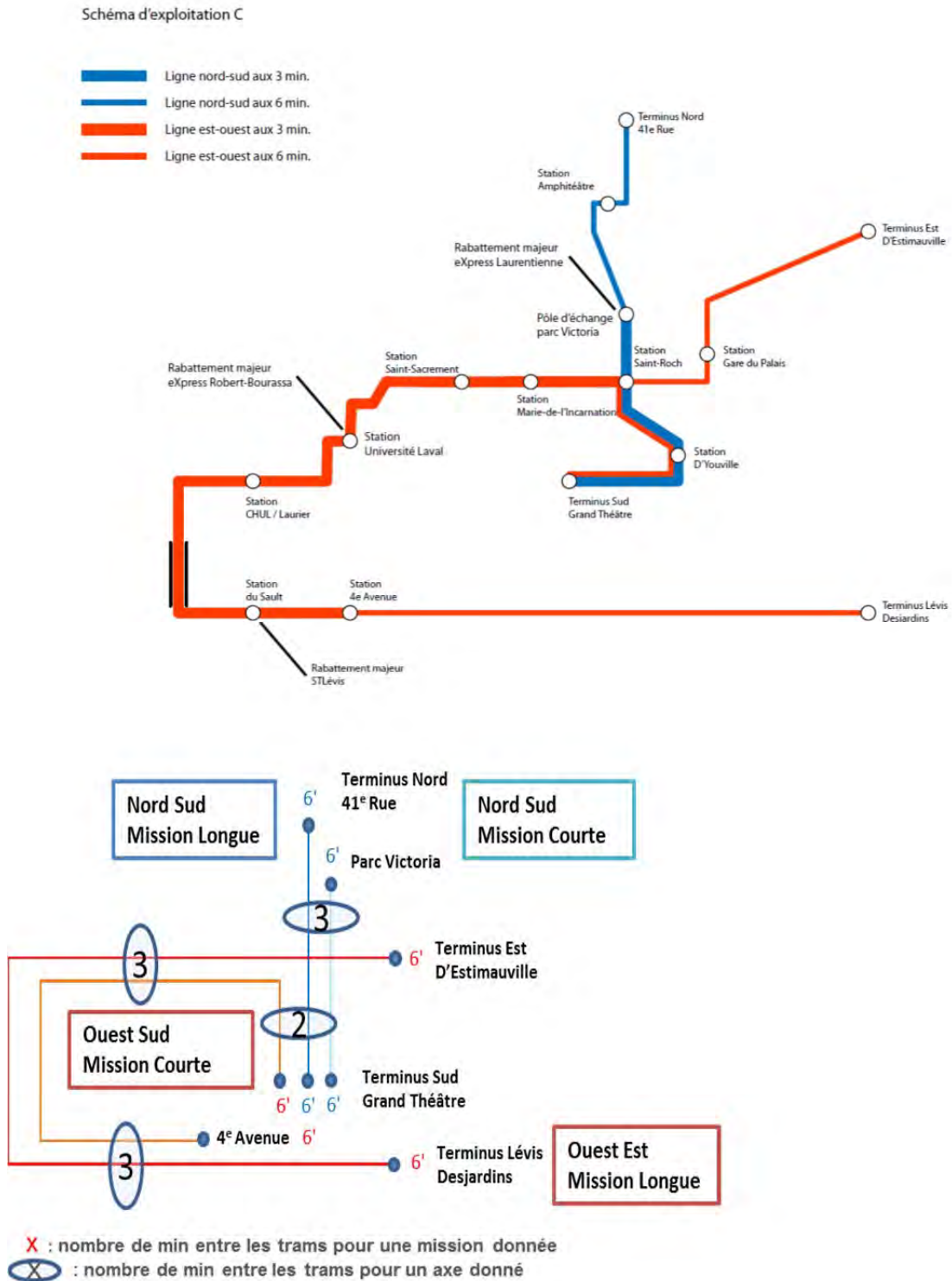


Figure 5-4 – Schéma d'exploitation C : mission courte/mission longue et mission Ouest-Sud



Pour la suite du rapport et par souci de lisibilité, les résultats détaillés d'une variante par scénario seront présentés. Une analyse comparative des différentes variantes est présentée dans le § 5.4. Cette analyse reprend les indicateurs clés. Les résultats du choix modal, le fonctionnement des lignes ainsi que les pratiques de mobilité variant peu entre les variantes au niveau de l'aire d'étude, l'ensemble des résultats détaillés n'a pas été produit (notamment serpents de charge, matrices de choix modal, évolution du choix modal, etc.). Le détail des variantes qui font l'objet d'une analyse approfondie est présenté dans le tableau ci-dessous. Le choix de présenter ces deux variantes ne présume pas d'un choix final.

Tableau 60 – Description des deux variantes

	Tramway - Schéma d'exploitation	BHNS Lévis	Renforcement des services	Nombre de stations côté Lévis	Cadencement lignes régulières Lévis (heure de pointe)	Pont de Québec
Scénario avec tramway : Avec tram var.7	C Ouest-Est 6' Ouest-Sud courte 6' Nord-Sud 6' Nord-Sud courte 6'	Non	Oui	19	15 min	2 voies
Scénario sans tramway : Sans tram sc.1	Non			-	15 min	3 voies

5.1.1.1 Modifications du réseau futur sans tramway

Le réseau projeté pour le scénario futur 2041 sans tramway est basé sur le réseau actuel en ce qui concerne la partie RTC et sur le réseau projeté pour 2014 en ce qui concerne la partie STLévis.

Les évolutions par rapport à la situation de calage sont détaillées par mode principal TC.

Les seules différences entre le scénario futur sans tramway sans BHNS et la celui avec BHNS sont :

- Un gain de temps de l'ordre de 5 minutes de terminus à terminus
- Une amélioration des coefficients de pondérations des temps dans le choix modal et dans l'affectation et la définition d'une constante modale spécifique au BHNS (constante comprise entre celle du tramway et celle des Métrobus) pour traduire une image améliorée des lignes empruntant le BHNS et un meilleur respect des fréquences aux heures de pointe.

La fréquence de passage des lignes empruntant le BHNS est identique dans les deux variantes. Cette mesure a le plus d'effet en termes de gain d'achalandage.

Les représentations graphiques des nombres de services sont réalisées à l'heure de pointe du matin.

Métrobus et Lévisiens

Les lignes structurantes côté Québec passent de 4 en situation de calage à 6 en situation future sans tramway. Les 4 lignes existantes sont renforcées en termes de fréquences de passage. Les 2 lignes nouvelles reprennent les tracés des lignes régulières leBus 87 pour la 804 et 7 pour la 807. Les lignes 7 et 87 affichent en situation de calage des achalandages importants et font parties des lignes les plus chargées du RTC.

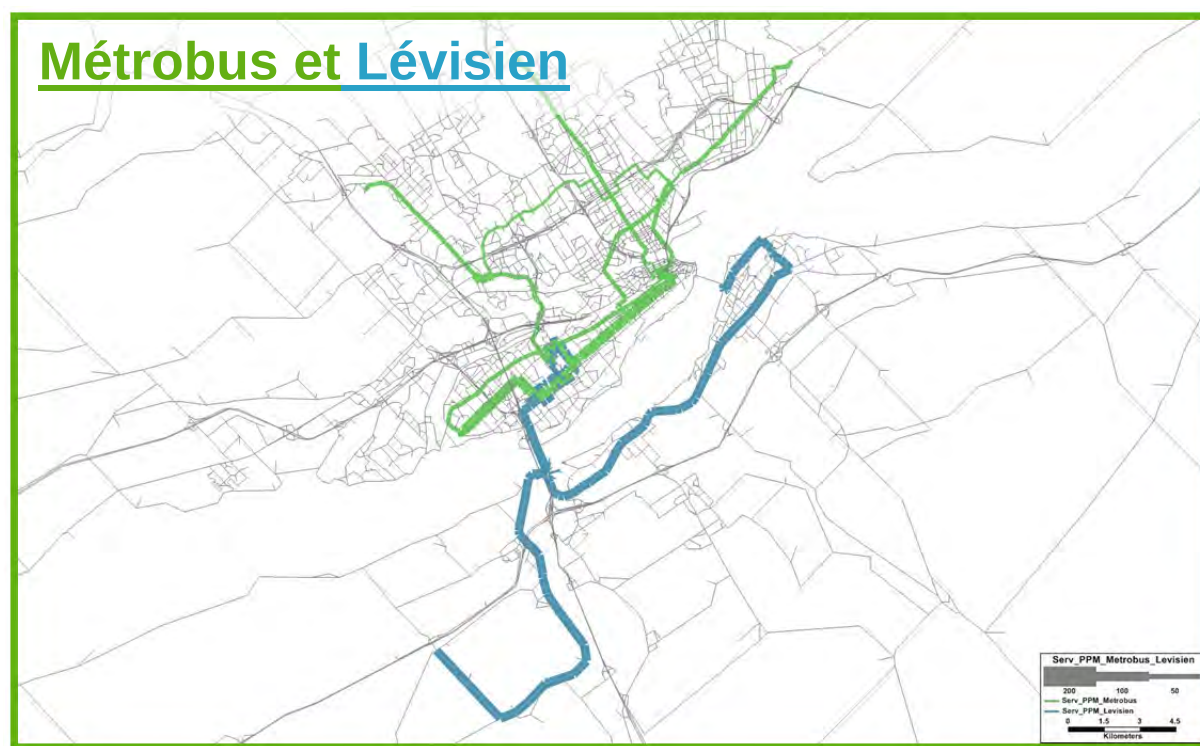
Du côté de la rive sud, les lignes structurantes sont au nombre de 3. Les deux lignes L2 et L3 qui traversent le Saint-Laurent pour desservir le pôle de Sainte Foy sont cadencées aux 5 minutes aux périodes de pointes et aux 15 minutes hors période de pointe. La ligne L1 qui relie les secteurs est et ouest de la rive sud est cadencée aux 10 minutes.

Tableau 61 – Description et fréquences des lignes structurantes du réseau futur sans tramway

	Tracé	Fréquence en heure de pointe	
		Situation de calage	Situation future
Métrobus 800, 801 et 802	Pas de modification	800 et 801 : 6 à 8 min	6 min
Métrobus 803		802 : 10 min	6 min
Métrobus 804 (nouvelle ligne)	Transformation de la ligne leBus 87 en Métrobus	10 à 15 min	6 min
Métrobus 807 (nouvelle ligne)	Transformation de la ligne leBus 7 en Métrobus	5 à 10 min	6 min
Lévisien 1	Pas de modification	40 min	10 min
Lévisien 2		10 min	5 min
Lévisien 3		40min	5 min

La figure ci-dessous présente le nombre de service par tronçon pour la période de pointe du matin. Les axes qui comptent le plus de passages sont René Lévesque (800 et 801) et Laurier (800, 801, L2 et L3).

Figure 5-5 – Lignes structurantes : scénario sans tramway - période de pointe du matin



eXpress

Deux types d'évolutions ont été introduits pour les eXpress pour le scénario sans tramway :

- Nouvelles infrastructures,
- Renforcement des services ayant une fréquence de passage supérieure à 15 minutes.

Deux sites propres seront mis en service entre la situation 2011 et la situation future.

Le premier projet de site propre intitulé « Destination Sainte-Foy » se trouve sur l'autoroute Robert Bourassa. Ce projet a pour objectifs une meilleure desserte du bassin d'emplois au niveau du boulevard Laurier via les eXpress 500 et une meilleure desserte du site de l'Université pour les étudiants et des cégeps pour les travailleurs via les eXpress 300.

Le deuxième site propre est directionnel (en fonction des heures de pointe) et est situé sur la Laurentienne entre l'autoroute 40 et la rue de la Croix-Rouge. Il permet une meilleure approche du centre-ville des eXpress 200 qui ont pour origine/destination la Colline Parlementaire.

Figure 5-6 – Lignes eXpress : scénario sans tramway - période de pointe du matin



leBus et Lévis (lignes régulières)

leBus

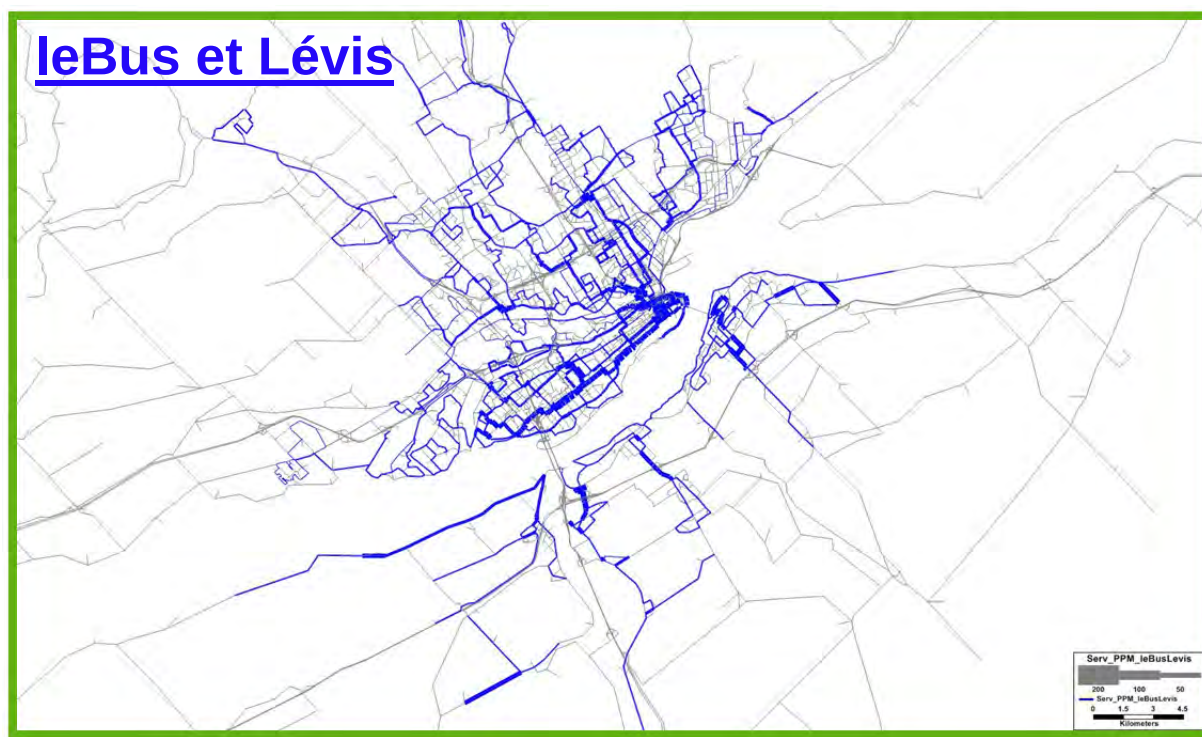
Le réseau leBus est basé sur le réseau actuel (2011) avec une amélioration des classes de fréquences pour toutes les lignes.

Une attention particulière a été apportée aux lignes desservant le secteur du terminus des Galeries de la Capitale, secteur qui sera développé dans le scénario sans tramway. Les lignes ayant pour destination le secteur du terminus des Galeries de la Capitale pendant la période de pointe du matin ont été renforcées. Le sens opposé a été renforcé pour la période de pointe du soir.

Lévis

Le réseau de lignes régulières de la rive sud est basé sur le réseau fourni par la STLévis et projeté pour 2014. Il présente une nette amélioration en termes de fréquences de passage par rapport à la situation de calage: toutes les lignes sont cadencées aux 15 minutes aux périodes de pointe et aux 30 minutes hors périodes de pointe.

Figure 5-7 – leBus et Lévis (lignes régulières) : scénario sans tramway - période de pointe du matin



5.1.1.2 Modifications du réseau futur avec tramway

La variante du scénario futur avec Tramway présentée est la variante 7 avec le schéma d'exploitation C.

Tramway

La figure ci-dessous décrit d'une manière synthétique le schéma d'exploitation C du tramway. La particularité de ce schéma est d'offrir une desserte directe depuis la station 4^e Avenue rive sud vers la colline parlementaire.

Une attention particulière a été apportée aux pôles d'échanges le long du tracé du tramway. Pour prendre en compte la facilité des correspondances, une réduction des pénalités de rupture de charge a été attribuée aux pôles suivants :

- Presqu'île
- Du Sault
- 4^e Avenue
- Dorval
- Desjardins
- Dorchester
- D'Estimauville
- Galerie Charlesbourg
- Croix-Rouge
- Dorchester/Charest
- Parc-auto d'Youville
- CHU/Laurier
- Pyramide
- De la Foresterie

Figure 5-8 – Tramway : Schéma d'exploitation C

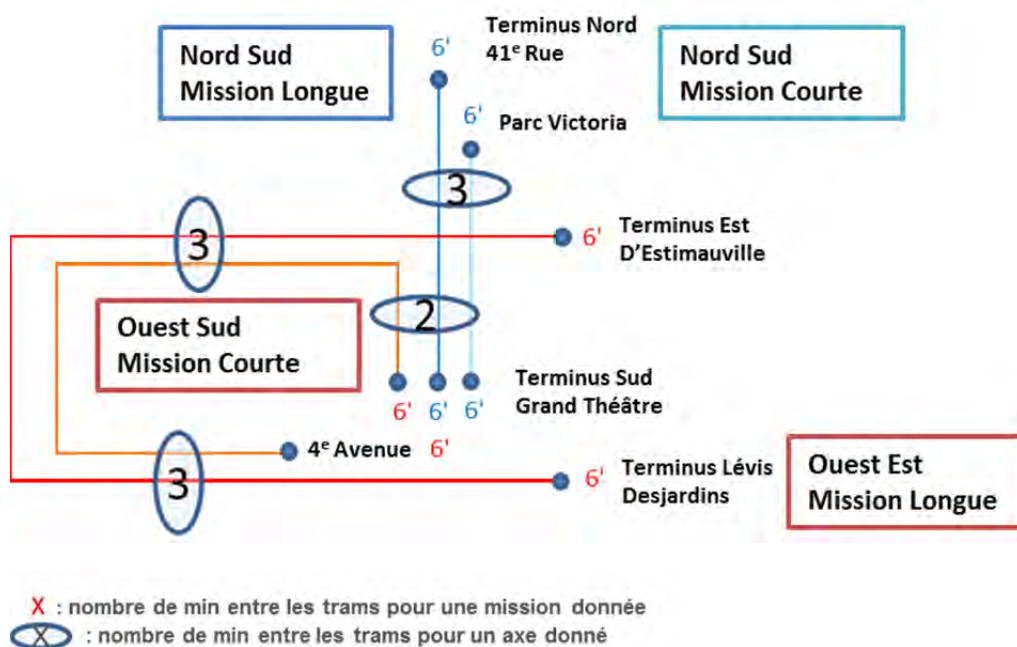
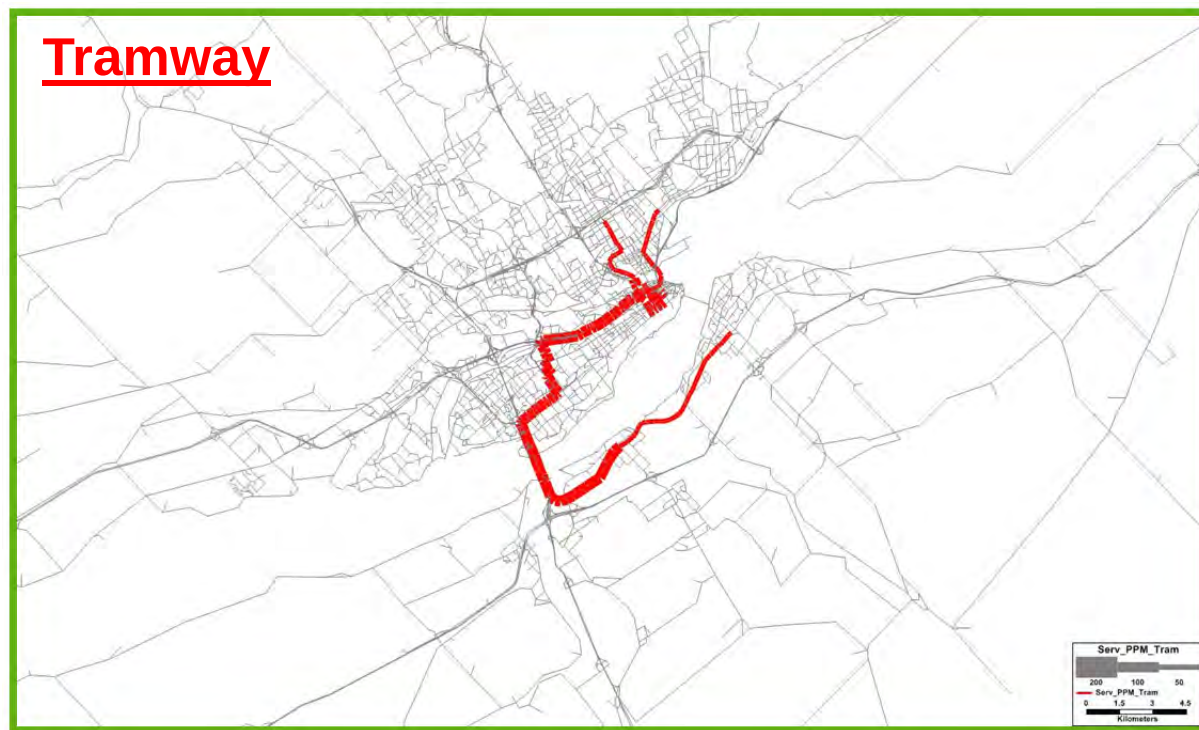


Figure 5-9 – Tramway : tracé et nombre de services - période de pointe du matin



Métrobus et Lévisiens

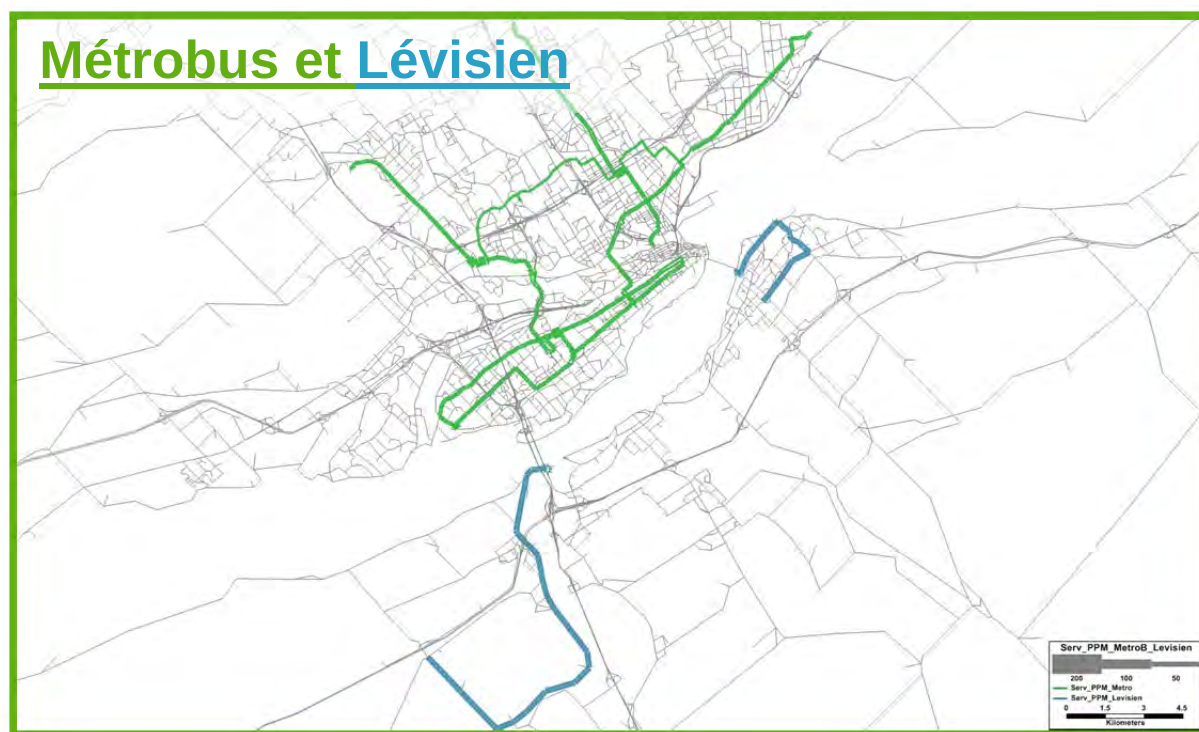
Les modifications suivantes ont été apportées aux lignes de Métrobus et Lévisiens par rapport au scénario sans tramway :

- **Métrobus 800** : Montmorency – Beauport (coupure au niveau de Beauport, terminus est du Tramway Est-Ouest),
- **Métrobus 802** : Belvédère – Beauport, passage par le chemin de la Canardière au lieu du boulevard Sainte-Anne qui est emprunté par le Tramway Est-Ouest,

➔ **Fusion des lignes 800 et 802 ci-dessus pour obtenir la ligne 800-802 → itinéraire direct entre Montmorency et Belvédère**

- **Métrobus 801** : passage par la Rue 41^e Est et passage par la 4^e Avenue et terminus au niveau des rues de la Croix-Rouge / Dorchester – Parc Victoria (correspondance avec le Tramway Nord-Sud et les Express),
- **Métrobus 805** : reprise du tracé des Métrobus 800 et 801 entre Terminus de Marly et Boulevard René-Lévesque Est (intersection avec avenue Turnbull),
- **Lévisien L2 et L3** : suppression des deux lignes de Lévisiens qui desservent le pôle de Sainte-Foy, seul le tramway traverse sur le pont de Québec
- **Lévisien L1** : la partie ouest du Lévisien 1 est rabattue sur le pôle d'échange situé à Presqu'île. Dans l'attente des résultats de l'étude de faisabilité, l'hypothèse de la faisabilité d'un pôle d'échange au niveau de la tête des ponts a été prise. S'il s'avère qu'il est impossible d'implanter un pôle d'échange au niveau de la tête des ponts côté Lévis les résultats de la modélisation seront faiblement affectés. Cette hypothèse n'a pas d'influence sur les résultats globaux. La partie est du Lévisien 1 est rabattue sur la station Dorval/Desjardins.

Figure 5-10 – Métrobus et Lévisiens : scénario avec tramway - période de pointe du matin



eXpress

Les modifications suivantes ont été apportées aux lignes eXpress par rapport au scénario sans tramway :

- Pas d'eXpress 500, la desserte du boulevard Laurier est assurée par les Métrobus et le tramway,
- Rabattement des lignes eXpress 200 ayant pour origine le nord sur le pôle d'échange Parc Victoria,
- Rabattement des lignes eXpress 200 ayant pour origine l'ouest sur le pôle d'échange de la Foresterie au niveau de la ligne est-ouest du tramway,
- Les lignes eXpress ayant pour origine le secteur de Beauport sont remplacées par des services réguliers en rabattement sur le pôle d'échange d'Estimauville.

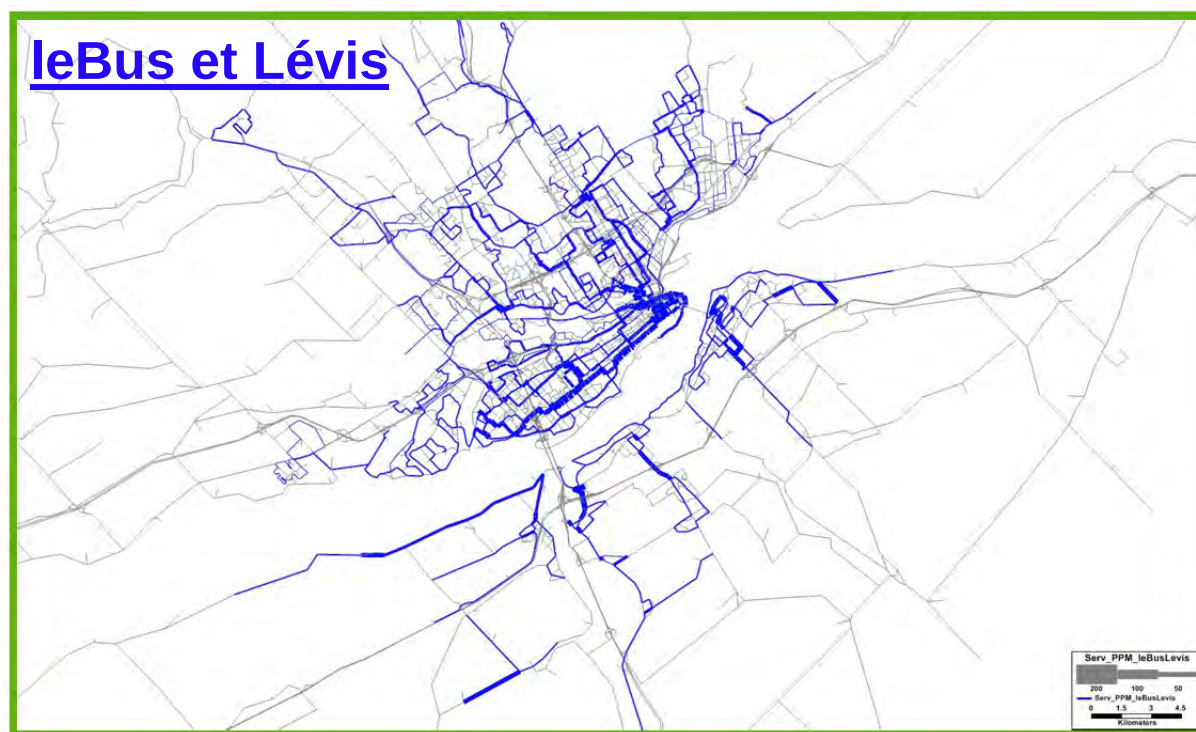
Figure 5-11 – Lignes eXpress : scénario sans tramway - période de pointe du matin

leBus et Lévis

Le réseau leBus est basé sur le réseau du scénario futur sans tramway. Les lignes en doublons avec le tramway ont été supprimées. Les rabattements vers le terminus d'Estimauville et la Place Jacques-Cartier ont été également améliorés.

Aucune modification n'a été apportée aux lignes régulières de la STLévis par rapport au scénario futur sans tramway.

Figure 5-12 - leBus et Lévis (lignes régulières) : scénario avec tramway - période de pointe du matin



5.1.2 Scénario d'offre de stationnement

Dans les projets de transport collectif et les plans de déplacements urbains, la politique de stationnement est une des clés permettant d'influencer le report modal.

C'est bien sûr le cas du Plan de Mobilité Durable de la ville de Québec¹⁴ où l'on retrouve différents leviers en matière de politique de stationnement :

- Limitation des places exigées par la Ville aux promoteurs d'immeubles commerciaux et résidentiels : Dans le règlement modifiant le règlement sur le plan directeur d'aménagement et de développement relativement au programme particulier d'urbanisme du secteur d'Estimauville¹⁵, il est indiqué que certaines aires d'affectation ont un nombre maximal de stationnement par logement fixé à un.
- Tarification qui reflète le coût des déplacements au centre-ville : Le PMD précise que le coût de stationnement doit être assumé avant tout par les utilisateurs. De plus, les stationnements de surface vont être fortement réduits dans les zones fortement desservies par les transports en commun, ce qui aura tendance à augmenter les coûts de stationnement.
- Incitation des employeurs à accorder des avantages à leurs employés en faveur du transport collectif et actif par exemple en remplaçant le remboursement du stationnement ou la mise à disposition de places par des abonnements en transport collectif.

Ainsi, les nouvelles zones de développement sont aujourd'hui conçues dans l'optique d'une réduction des déplacements automobiles. Il nous semble donc nécessaire de faire évoluer le zonage relatif au stationnement contraint pour les horizons futurs de prévision.

¹⁴ http://www.ville.quebec.qc.ca/environnement/mobilite_durable/docs/PlanMobiliteDurable.pdf

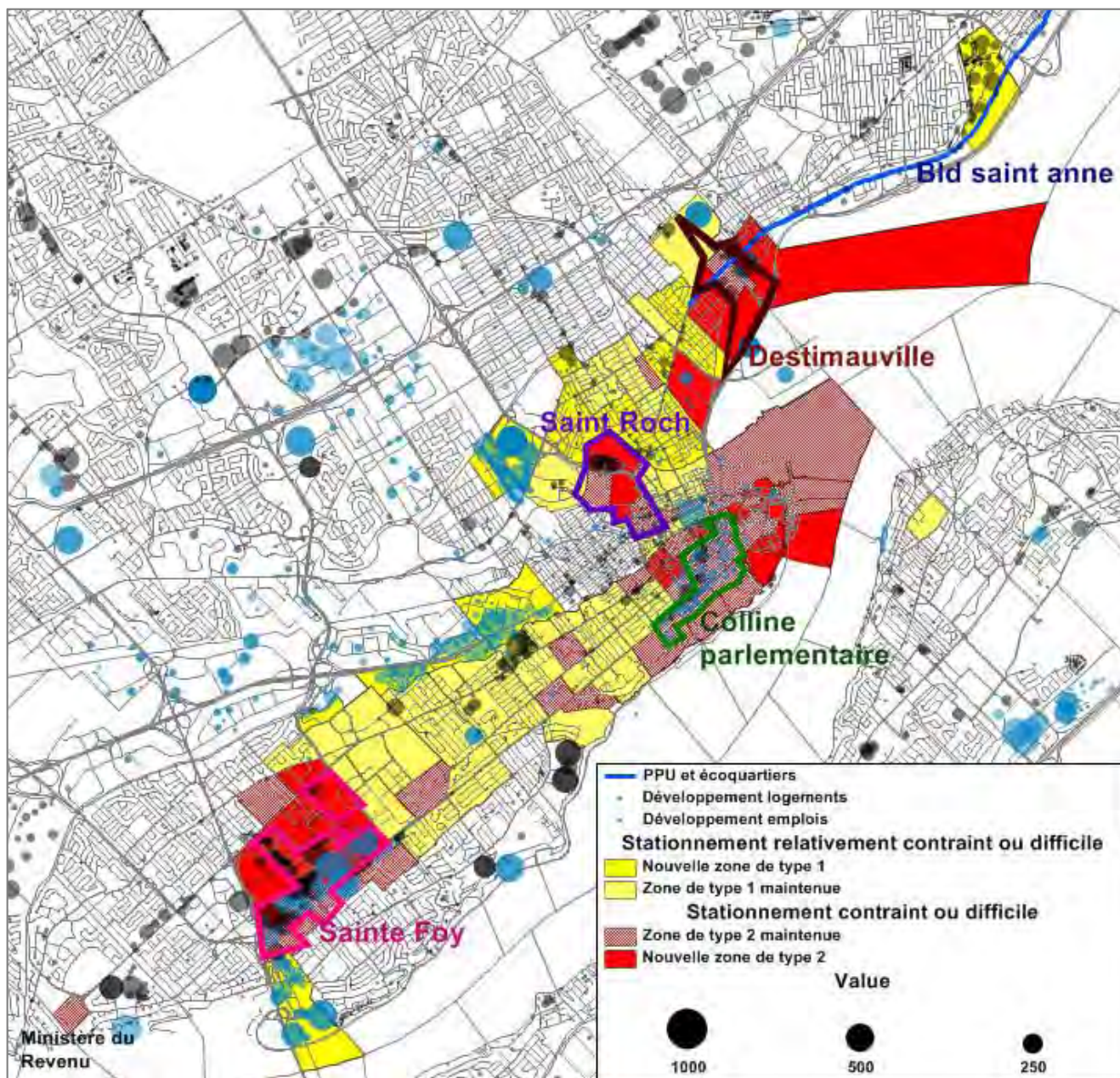
¹⁵ http://www.ville.quebec.qc.ca/environnement/urbanisation/ppu_destimauville/docs/ppu_destimauville_rvq1919.pdf page 4

Trois grands types de modifications par rapport à la carte de zonage retenu pour 2011 () sont envisagés :

- Pour les zones où le stationnement est déjà contraint en 2011, la contrainte peut s'accroître sur les zones de type 1 dont un certain nombre deviendraient des zones de type 2 en relation avec les accroissements d'emplois ou de population attendus.
- Pour les nouvelles zones de développement urbain important, les règles d'urbanisme (limitation du nombre de places de stationnement par logement notamment) tendent à réduire le recours au véhicule individuel. Nous proposons donc que les zones concernées par les PPU (Programme particulier d'urbanisation) et la construction d'éco-quartiers¹⁶ soient caractérisées en zone de type 2.
- Le long du tracé du tramway, on peut supposer que les zones sont susceptibles de voir diminuer de façon substantielle l'offre de stationnement (notamment celle sur rue), ce qui pourrait engendrer un renforcement des contraintes de stationnement. De plus ces zones gagneront en fréquentation du fait des développements des emplois et des logements; elles sont donc caractérisées en zone de type 1 ou en zone de type 2 dans les zones denses ou si les développements urbains prévus sont particulièrement importants. Le raisonnement est identique pour le BHNS.

¹⁶ <http://www.ville.quebec.qc.ca/environnement/urbanisation/ppu.aspx>

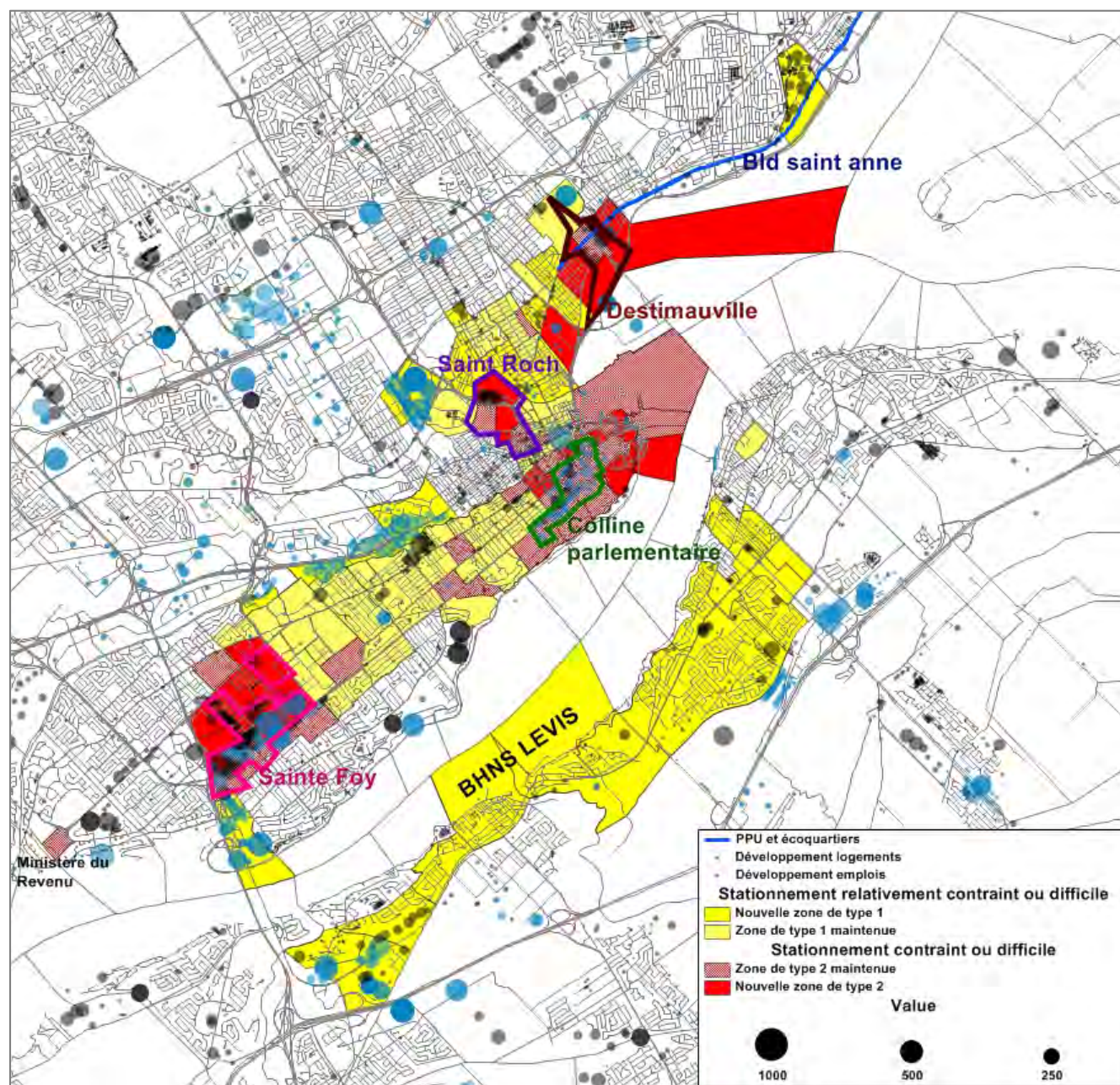
Figure 5-13 – Modélisation du stationnement – Horizon 2041 – scénario sans Tramway / sans BHNS



La carte d'hypothèse ci-dessus montre une situation inchangée sur Lévis, des ajouts de zones de type 1 sur Québec dans les zones qui se développent et des ajouts de zones de type 2 sur les PPU ainsi que dans les zones près de la colline parlementaire.

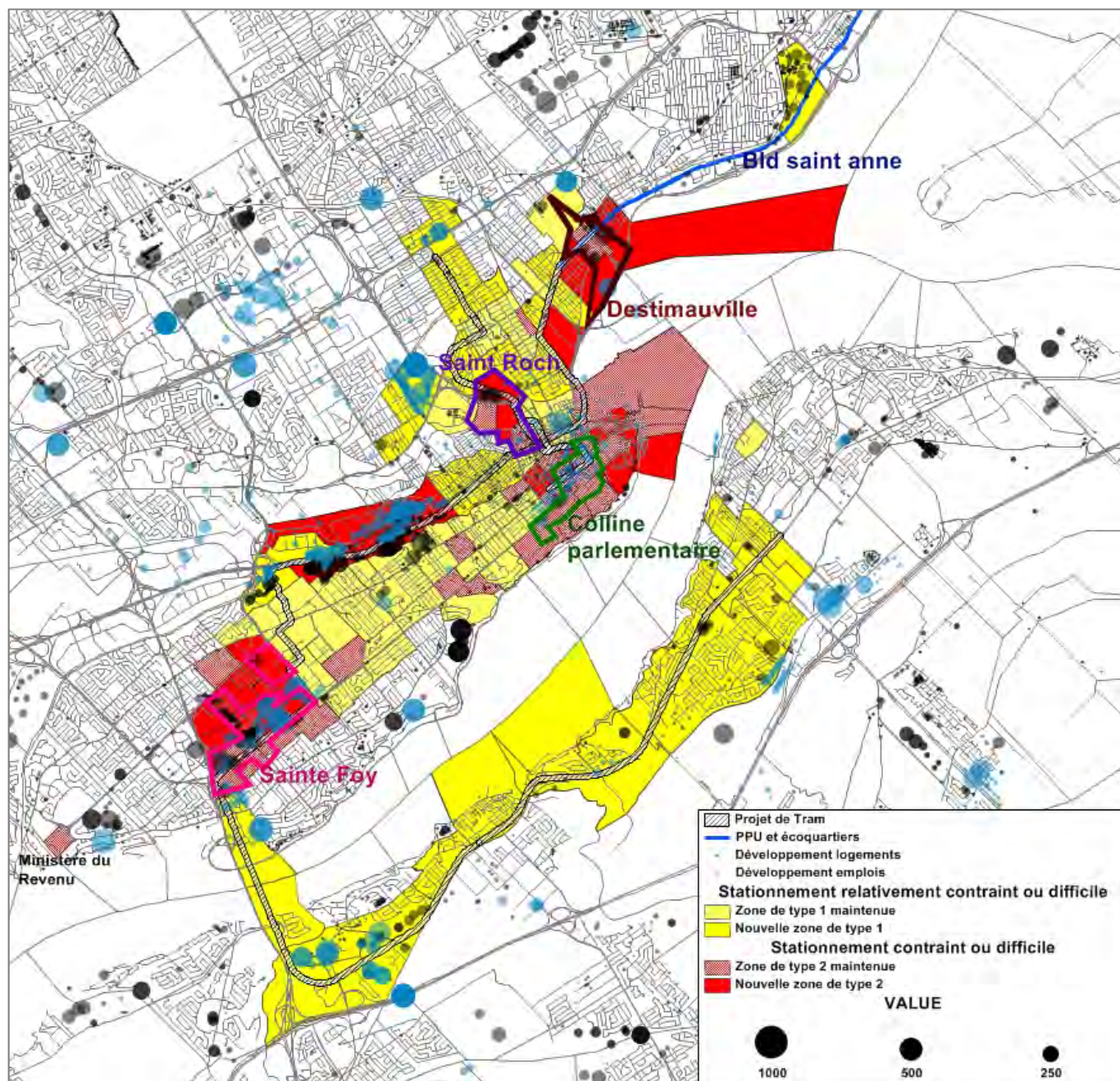
Les pénalités sont données au niveau du zonage du modèle, il est à noter que certaines zones empiètent visuellement sur le fleuve (zone près de D'Estimauville en rouge) ou sur des zones non urbanisées (zones le long du tracé du BHNS sont relativement larges). Pour autant, ce ne sont que des problèmes visuels sur les cartes, en pratique aucun déplacement ne se fait vers les lieux non desservis par des routes (par exemple le milieu du fleuve).

Figure 5-14 – Modélisation du stationnement – Horizon 2041 – scénario sans Tramway / avec BHNS



Par rapport à la carte d'hypothèse précédente, la seule modification est la prise en compte du tracé du BHNS sur Lévis.

Figure 5-15 – Modélisation du stationnement – horizon 2041 – scénario avec Tramway



Par rapport à la carte d'hypothèse précédente, ce n'est plus le tracé du BHNS qui est en zone de type 1 mais le tracé du tramway. Les prévisions d'urbanisation sont également modifiées : en particulier les zones du boulevard Charest passent au niveau 2.

5.1.3 Stationnement incitatif

En situation de calage, la région de Québec comptait près de 1 300 cases de stationnements incitatifs réparties de la manière suivante :

- Rive-nord : près de 1 000 places distribuées sur plus de 20 Parc-O-Bus (POB),
- Rive-sud avec 300 places distribuées sur 4 POB.

La taille des POB varie entre une dizaine de cases pour les plus petits et 300 pour le POB d'Estimauville dont la fermeture a été programmée à court terme dans le cadre du développement de l'écoquartier de la Pointe-D'Estimauville.

Les POB sont arrimés aux lignes structurantes (Métrobus et Lévisiens) et aux principales lignes régulières et eXpress.

L'achalandage induit des POB n'est pas inclus dans sa totalité dans nos estimations d'achalandage à cause du manque de données d'entrées dû à la faible ampleur actuelle du phénomène dans la région de Québec et du manque d'enquêtes OD au niveau des parcs actuels.

Dans le cadre du mandat 3, une analyse comparative (« benchmark ») avec des agglomérations françaises ayant des réseaux tramway et des POB associés a été réalisée et est présentée dans l'annexe K.

Les enseignements issus des cas comparables permettent d'établir qu'un parc de près de 3 000 à 4 000 cases à l'horizon 2041 serait recommandé pour accompagner le réseau de tramway et de lignes structurantes ainsi que pour favoriser l'intermodalité au sein de la Région.

Par ailleurs, les parcs de stationnement incitatif (et surtout les parcs en ouvrage) doivent être très attractifs pour l'utilisateur au niveau des critères suivants :

- Offre TC associée,
- Conditions d'accès au parc en voiture,
- Information et communication,
- Tarification (le cas échéant),
- Sécurité,
- Aménagement,
- Services offerts : prêts de parapluies, prêts de vélos, rechargement de titre de transport, point information, etc.

De plus, les parcs ne doivent pas être uniquement dédiés aux automobilistes mais doivent être ouverts aux cyclistes et autres modes actifs et leur offrir des services comme des locaux sécurisés pour laisser leur vélo.

Enfin, il est important d'intégrer les parcs incitatifs dans les opérations urbaines d'envergure à venir et de les concevoir comme des équipements évolutifs en termes de capacité et de fonctionnement (par exemple jumelage d'un POB avec un dispositif de stationnement existant tel qu'un équipement sportif, de spectacle, commercial...).

5.1.3.1 Les sites potentiels pour le développement des POB rive-nord

Accès auto depuis le nord et l'est de la Capitale

Les quartiers terminus Est – D'Estimauville et Nord – Galerie Charlesbourg sont les points d'entrées vers le centre-ville de Québec et la Colline parlementaire pour les quartiers de Beauport et de Charlesbourg. Ils représentent donc des sites privilégiés pour la réalisation de POB.

Toutefois, la fermeture programmée du POB D'Estimauville nécessite la mise en place de POB de remplacement. Le projet de réaliser un POB sous les bretelles de l'autoroute Félix-Leclerc a été abandonné en raison de son coût trop élevé. Une solution serait de développer un ou deux POB d'une taille petite à moyenne (une centaine de cases) le long du Métrobus 800 (POB existant : Église Saint-Louis-de-Courville).

Par ailleurs, concernant le terminus Nord, l'agencement de la station au niveau de la 41^e Rue / 1^{ère} Avenue permet la réalisation d'un POB en ouvrage d'une capacité de près de 600 cases. Il remplacera le POB actuel d'une capacité de 146 cases. Il sera en connexion directe avec la ligne Nord – Sud du tramway. Le temps de parcours entre le terminus Nord et la colline Parlementaire est estimé à moins de 20 minutes en heure de pointe. Il aura une fonction centrale dans la desserte en auto puis TC de la Colline Parlementaire des usagers ayant pour origine le Nord et le Nord-Ouest de Québec.

Un rapprochement au niveau du gabarit entre le POB projeté au niveau de la 41^e Rue / 1^{ère} et le POB au niveau de la station Occitanie de la ligne 1 du réseau de tramway de Montpellier en France peut être réalisé. Le POB en ouvrage au niveau de la station Occitanie présenté dans la figure ci-après a une capacité de 620 places et est composé de 4 niveaux de stationnement. Il a une emprise au sol de près de 3 750 m² (125 m de long et 30 m de large).

Figure 5-16 – Parc-O-Bus en ouvrage station Occitanie – Montpellier, France



La configuration des lieux au niveau du terminus de la 41^e Rue / 1^{ère} Avenue, permet d'imaginer un parc en ouvrage sur 4 niveaux, soit 150 cases par niveau. La superficie au sol nécessaire pour cet ouvrage serait de l'ordre de 4 000 à 4 250 m², ce qui représente, par exemple, un rectangle de 125 m de long et de 34 m de large (une case de parking étant égale en moyenne à 25 m² – stationnement, circulation et allées – hors œuvre). En termes d'emprise au sol, l'ouvrage pourrait ainsi remplacer le POB actuel comme le montre la figure ci-après. En termes de services annexes, il faudrait prévoir, un abri vélo et des places de stationnement pour les personnes à

mobilité réduite à proximité de la station de tramway et un espace information. L'emplacement du stationnement potentiel sur la parcelle est indicatif et pourra être revu en fonction de considérations urbanistiques dans des étapes subséquentes du projet.

Figure 5-17 – Parc-O-Bus en ouvrage au niveau de la 41^e Rue / 1^{ère} Avenue – emprise au sol



Enfin, le fonctionnement du POB au niveau du jardin zoologique du Québec sera réévalué après la mise en service du POB du terminus Nord. Il représente une alternative pour les déplacements ayant pour origine le Nord de la ville.

Accès auto depuis l'ouest de la Capitale

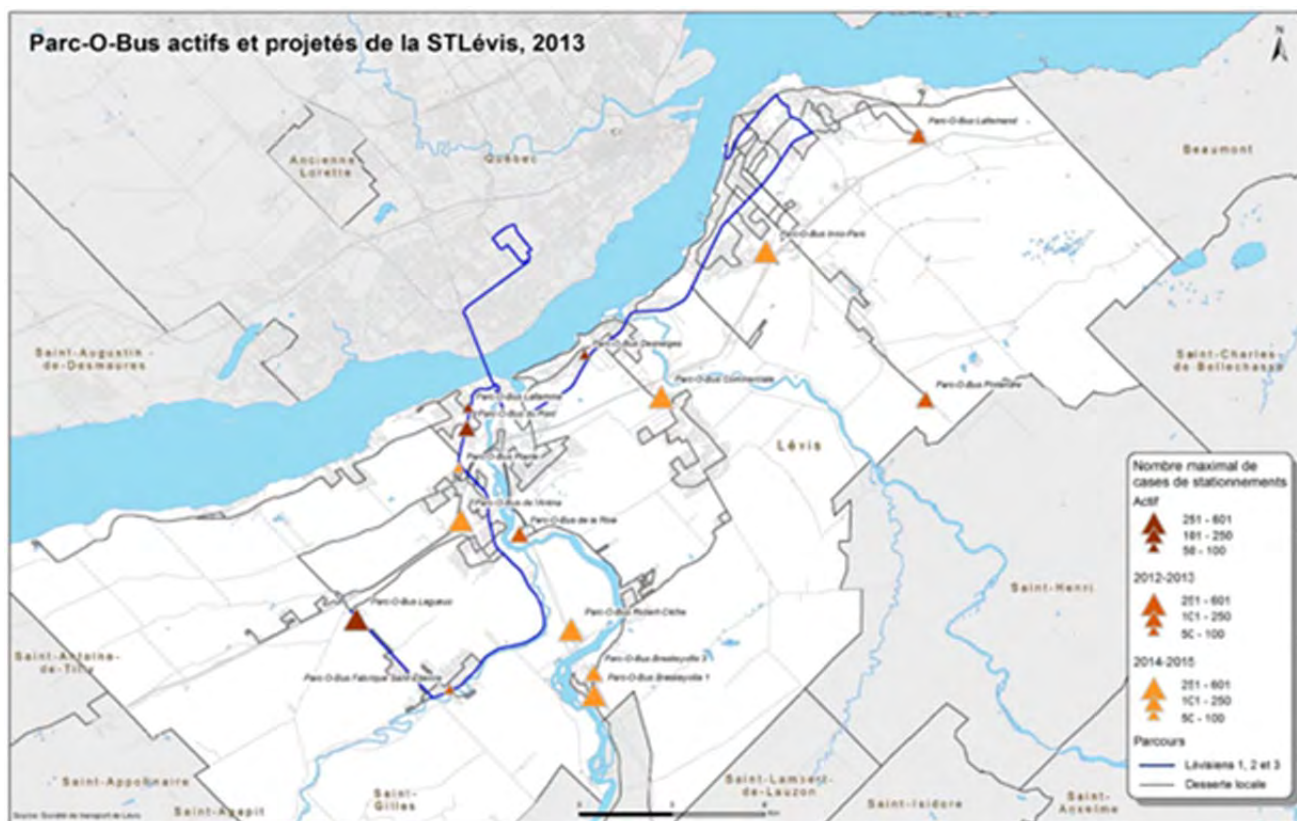
Pour les déplacements ayant pour origine l'ouest de la Capitale et notamment les Quartiers Saint-Augustin-de-Desmaures et de Sainte-Foy-Sillery-Cap-Rouge, il serait intéressant de développer le POB Terminus Pie-XII d'une capacité actuelle de 100 places. Ce POB est relié en situation actuelle aux Métrobus 800 et 801. En situation future avec tramway, il sera relié à la ligne Métrobus 805 qui dessert le boulevard Laurier, le site de l'Université Laval et la Colline Parlementaire.

La transformation de la ligne leBus 87 en Métrobus (ligne 804) permettra de développer le POB existant Carrefour Les Saules d'une capacité de 64 cases en fonction des emprises disponibles. Le Métrobus 804 reliera le POB Carrefour Les Saules à l'Université Laval, le boulevard Laurier et la Colline Parlementaire (via une correspondance avec la ligne Ext-Ouest du Tramway ou les Métrobus 805 ou 807).

5.1.3.2 Les sites potentiels pour le développement des POB rive-sud

La STLévis envisage une forte évolution du nombre de cases de stationnement à l'horizon 2015 Rive – Sud. L'objectif est de plus de 3 000 cases réparties selon le schéma suivant.

Figure 5-18 – Parc-O-Bus actifs et projetés de la STLévis, 2013



Source : STLévis

Hormis le POB Desneiges, les principaux parcs envisagés ne se trouvent pas le long du tramway. L'augmentation de la capacité du POB Desneiges et la création d'un deuxième POB sur le Boulevard de la Rive Sud seraient recommandées à la mise en service du tramway. Ces POB permettraient une amélioration de la desserte inter-rives.

5.1.4 Scénarios d'offre routière

5.1.4.1 Modifications du réseau futur sans tramway

Le réseau futur sans tramway correspond au réseau routier 2011 modifié suite à l'ajout de quelques projets dont les principales caractéristiques géométriques ont été fournies par les différents partenaires du projet. Ces modifications sont les suivantes :

- Ajout d'une voie de circulation par direction sur l'autoroute Henri-IV entre l'autoroute 40 (Félix-Leclerc) et l'autoroute 440 (Charest);
- Ajout d'une voie de circulation par direction sur l'autoroute 20 entre la route 116 (du Pont) et le chemin des Îles;
- Raccordement de la rue Blanche-Lamontagne jusqu'à l'avenue Saint-David;

- Ajout d'une voie de circulation par direction sur le boulevard de l'Auvergne sur le tronçon à l'ouest du boulevard de l'Ormière;
- Ajout d'une voie de circulation par direction sur le tronçon de la route de l'Aéroport compris entre la rue Saint-Jacques et le boulevard Chauveau;
- Prolongement de la rue Mendell jusqu'au boulevard du Versant-Nord.

5.1.4.2 Modifications du réseau futur avec tramway

Tout comme pour le réseau futur sans tramway, le réseau futur avec tramway comprend toutes les modifications énoncées à la section 5.1.3.1. Par la suite, afin de modéliser l'insertion du tramway sur le réseau routier futur, le livrable 1.2 – *Technologie et Insertion du consortium ROCHE, SNC-LAVALIN et Egis Rail* a été consulté et utilisé. Selon les analyses du livrable 1.2, deux types de modifications ont été apportés au réseau, soit des changements de capacité (perte de voie de circulation) et l'ajout de pénalités de virages (impact du passage du tramway aux intersections).

Le Tableau 62 présente les divers changements de capacité effectués sur le réseau avec tramway.

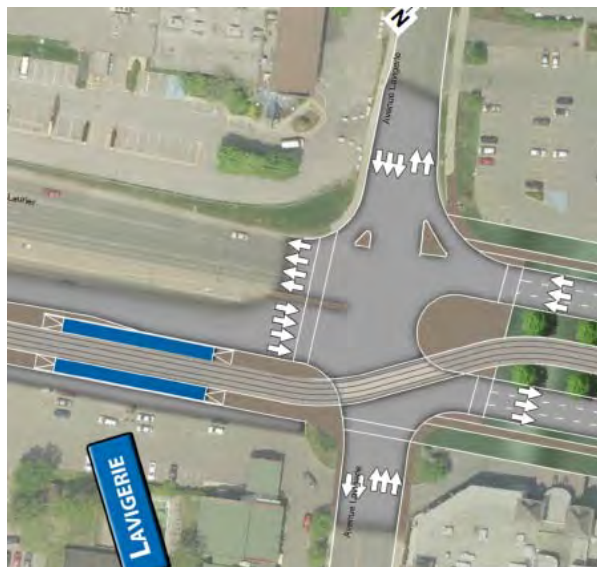
Tableau 62 - Modifications apportées au réseau routier

Axe	Tronçon	Modification
Boulevard Charest	Saint-Sacrement à Marie-de-l'Incarnation	Perte d'une voie de circulation dans les deux directions
Boulevard Charest	Langelier à Dorchester	Perte d'une voie de circulation dans les deux directions
Boulevard Jean-Lesage	Pont Samson	Perte d'une voie en direction sud et perte de deux voies en direction nord
Rue Nicolas-Pinel	Pyramide à Jean-Durand	Sens unique vers le nord
Rue Jean-Durand	Nicolas-Pinel à Nérée-Tremblay	Sens unique vers l'est
Rue Canardière	Des Capucins à Saint-Anne	Perte d'une voie de circulation par direction
Boulevard Saint-Anne	Mailloux à d'Estimauville	Perte d'une voie de circulation par direction
Rue de la Couronne	Côte d'Abraham à Charest	Perte d'une voie de circulation
Rue Dorchester	Côte d'Abraham à Charest	Perte d'une voie de circulation
Pont de Québec*		Perte d'une voie de circulation dans le sens de la pointe

Deux scénarios avec tramway ont été étudiés pour le Pont de Québec. Dans le cadre de l'un de ceux-ci, la circulation sur le Pont de Québec est limitée à une voie par direction. Il s'agit de la seule différence entre les deux scénarios avec tramway.

Des pénalités de mouvement ont également été ajoutées à toutes les intersections gérées par des feux de circulation sur les axes du tramway. Ces pénalités ont été regroupées selon des cas typiques. Le document inclus en annexe E présente les calculs des différentes classes de pénalités. La Figure 5-19 présente l'un de ces cas typiques, soit le passage du tramway d'un site en rive vers le terre-plein central.

Figure 5-19 – Passage d'un tramway d'un site en rive vers le terre-plein central



Source : Annexe A du livrable 1.2 – *technologie et insertion – Rapport d'étape*, Roche/SNC-Lavalin/Egis Rail, 2013

Dans le cas du passage d'un tramway d'un site en rive vers le terre-plein central, une pénalité de 25 secondes est appliquée à tous les mouvements conflictuels. Dans le cas de la Figure 5-19, tous les mouvements, à l'exception du mouvement tout droit de l'est vers l'ouest et de quelques virages à droite, seraient impactés par le passage du tramway. La pénalité de 25 secondes est basée sur le calcul de temps de passage et de dégagement du tramway.

Dans le cas du passage d'un tramway en ligne droite au milieu d'une intersection, une pénalité de 20 secondes est appliquée à tous les mouvements de l'axe transversal (à l'exception des virages à droite) et aux mouvements de virage à gauche de l'axe principal. Au voisinage des stations, une pénalité supplémentaire de 10 secondes est appliquée à tous les mouvements conflictuels avec les flux piétons orientés vers la station. Il est à noter que, dans le cas où aucune baie de virage à gauche n'est présente sur l'axe principal, une pénalité de 20 secondes est appliquée au mouvement tout droit de la principale pour tenir compte des refoulements potentiels engendrés par le virage à gauche plus difficile à effectuer.

Certaines intersections ont été traitées de manière spécifique, puisque celles-ci constituaient des cas particuliers. En effet, une pénalité accrue a été appliquée à tous les mouvements aux intersections suivantes, puisque la fréquence de passage des tramways sera très élevée à ces endroits :

- Boulevard Charest/rue Dorchester;
- Boulevard Charest/rue de la Couronne;
- Pôle d'échange à l'intersection de l'autoroute Laurentienne et de la rue de la Croix-Rouge.

Une pénalité de 30 secondes a donc été appliquée à tous les mouvements à ces intersections.

Quelques virages à gauche ont également été supprimés à certains endroits sur le réseau, suite à l'analyse du livrable 1.2. C'est le cas pour les intersections Laurier/Germain-des-Prés, Laurier/Bernardin Morin et Charest/Langelier.

L'insertion du tramway sur le Pont de Québec a également été traitée de manière spécifique. Ces pénalités sont basées sur le calcul du phasage requis du feu de circulation au point d'insertion du tramway. Pour l'insertion du tramway à l'entrée sud du pont de Québec, une pénalité de 30 secondes est appliquée à tous les véhicules

circulant en direction nord. Pour permettre le changement de position du tramway (de latérale vers axiale) sur la rive nord du pont, une pénalité de 25 secondes est appliquée aux véhicules dans les deux directions pour modéliser la présence du nouveau feu de circulation.

Enfin, sur le boulevard de la Rive-Sud à Lévis, en l'absence de données précises sur l'insertion, une pénalité de 20 secondes a été appliquée à tous les mouvements des intersections modélisées (une douzaine au total entre le chemin du Sault et le boulevard Alphonse-Desjardins).

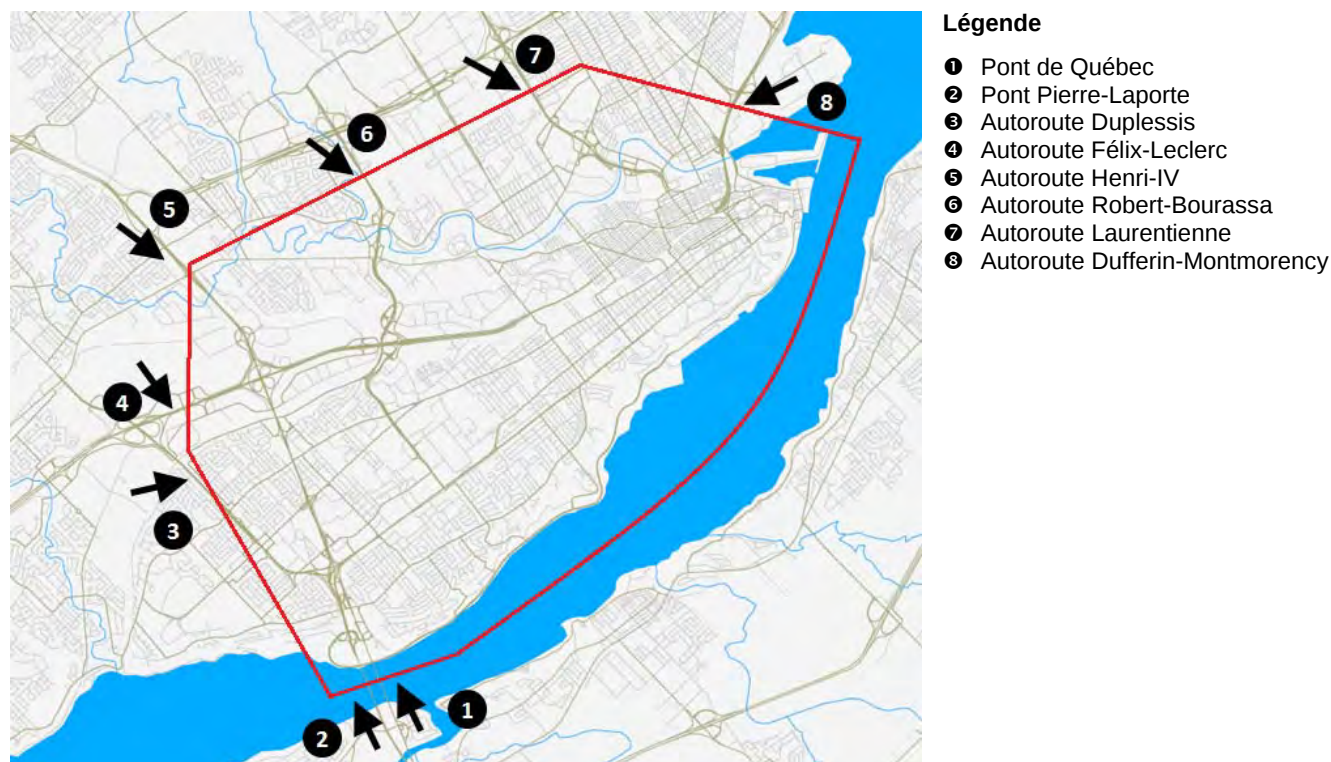
5.1.5 Hypothèses de prise en compte dans le transfert modal

Une fois le réseau routier complètement modifié pour les réseaux avec et sans tramway, la demande de transport 2041 a été construite pour chacun des scénarios étudiés. Tout comme pour la construction de la demande de transport en 2011, les déplacements autos-conducteur internes sont extraits de la matrice *fil de l'eau*. Les déplacements externes et la matrice camion sont basés sur des enquêtes cordons ajustées.

Suite à l'affectation de la demande de transport au fil de l'eau sur le réseau routier pour les différents scénarios, la première analyse des résultats a permis de réaliser que le réseau était en sursaturation aux heures de pointe centrales de chaque période, sur des tronçons des principaux axes d'accès au centre de l'agglomération (voir figure suivante). Une analyse plus approfondie des résultats de l'affectation routière est incluse à cet effet à la section 5.5 du rapport. Le modèle routier n'étant pas configuré pour limiter les débits (mais plutôt pour appliquer des temps croissants, mais bornés, en fonction des débits), la demande est écoulee par les liens, même si leur capacité est dépassée. Dans la réalité, les capacités physiques des liens ne pouvant être dépassées, un étalement de la période de pointe sera en fait observable avec des usagers qui devront changer leur heure de départ.

Afin d'intégrer le changement d'heure de certains usagers dans le modèle de choix modal, une pénalité est appliquée à certains usagers. En effet, partir plus tôt ou plus tard est une pénalité pour les utilisateurs de la voiture. Cette pénalité est basée sur le taux de saturation de certains tronçons du réseau supérieur. Ce taux de saturation est calculé en fonction du ratio volume/capacité. La Figure 5-20 – illustre les huit tronçons sur lesquels un taux de saturation a été calculé.

Figure 5-20 – Localisation des huit tronçons à saturation



Tous les ratios v/c calculés sur les tronçons illustrés à la Figure 5-20 – sont supérieurs à 1 en 2041. Afin de calculer le pourcentage de véhicules touchés par la pénalité de changement d'heure, les débits 2041 ont été comparés aux débits 2011. Si le taux de saturation en 2011 était déjà supérieur à 1, le pourcentage de véhicules touchés a été calculé à partir des volumes 2011 et non à partir de la capacité du tronçon. Le Tableau 63 présente le pourcentage de véhicules touchés pour la tranche horaire de 7h-8h pour le scénario avec tramway (Pont de Québec à 1 voie par direction). Les résultats pour les autres scénarios et la tranche horaire de l'après-midi (16h-17h) se trouvent en annexe F. À noter que, puisque la capacité de l'autoroute Henri-IV a changé entre 2011 et 2041, les débits de 2041 ne sont pas comparés avec les débits de 2011

Tableau 63 - Pourcentage de véhicules touchés par le changement d'heure, heure de pointe 7h-8h

Tronçon	Direction	Débit 2041		Total	Capacité totale	v/c	Débit 2011		
		Débit auto conducteur	Débit camion (auto-équivalent)				Débit total	Capacité 2011	% affecté
Pont de Québec	Nord	2579	0	2579	1410	1.83	3322.00	3400	45.33%
Pont Pierre-Laporte	Nord	8819	985	9804	6000	1.63	7478.00	6000	15.57%
Autoroute Laurentienne (au sud de l'autoroute 40)	Sud	5229	262	5491	4000	1.37	5070.00	4000	3.31%
Autoroute Félix-Leclerc	Est	4308	147	4455	4000	1.11	4181.00	4000	1.60%
Autoroute Duplessis	Sud	3794	325	4119	4000	1.03	3437.00	4000	3.14%
Autoroute Henri-IV	Sud	6114	880	6994	6000	1.17	0.00	4000	16.26%
Autoroute Robert-Bourassa	Sud	6457	233	6690	6000	1.12	6340.00	6000	1.50%
Autoroute Dufferin-Montmorency	Ouest	6018	555	6573	6000	1.10	5266.00	6000	9.52%

Note : voir explication des calculs en annexe F

Afin de déterminer les paires O-D touchées par la pénalité de changement d'heure, un *Select Link Analysis (SLA)* a été effectué à l'aide du logiciel Emme. Cet outil permet de connaître la provenance de tous les déplacements sur un lien donné. À l'aide de l'information tirée du SLA et du pourcentage touché, une pénalité de changement

d'heure est appliquée aux déplacements touchés. Elle est calculée en multipliant le % affecté par 60 minutes, puisqu'il s'agit de changer de tranche horaire et appliquée au seul trafic de l'heure de pointe la plus chargée si l'OD est concernée par le Select Link Analysis.

Enfin, compte tenu des changements d'heure de départ de nombreux usagers, déduits des sursaturations de certains tronçons, il a été considéré que les temps de parcours de l'heure la plus chargée pour chaque période pouvaient être appliqués à toute la période de pointe pour généraliser les conditions de circulation de l'heure centrale. Un tel genre d'hypothèse, plutôt simplificatrice, est nécessaire car la modélisation ne permet pas de modifier sélectivement les heures de départ des usagers d'une heure de pointe à une autre. Cette hypothèse est cependant considérée comme réaliste et sans effet exagéré sur le transfert modal, qui a une sensibilité modérée aux temps de parcours.

5.1.6 Bouclage des temps de parcours routiers

Les premiers éléments de temps de parcours utilisés pour alimenter le modèle de choix modal ont été obtenus sur la base de la demande routière au fil-de l'eau; on a ensuite réalisé le bouclage des temps de parcours une première fois en appliquant la matrice routière après un premier passage du modèle de choix modal. Ce passage conduit à une décongestion routière. Les temps qui en résultent sont utilisés pour un nouveau passage du modèle de choix modal et à une nouvelle matrice routière. Cette dernière est utilisée encore une fois pour fournir des temps de parcours qui vont alimenter le choix modal. La procédure de bouclage s'arrête à ce stade.

5.2 Résultats de choix modal dans les scénarios avec et sans tramway

5.2.1 Résultats globaux

Impact de l'évolution démographique

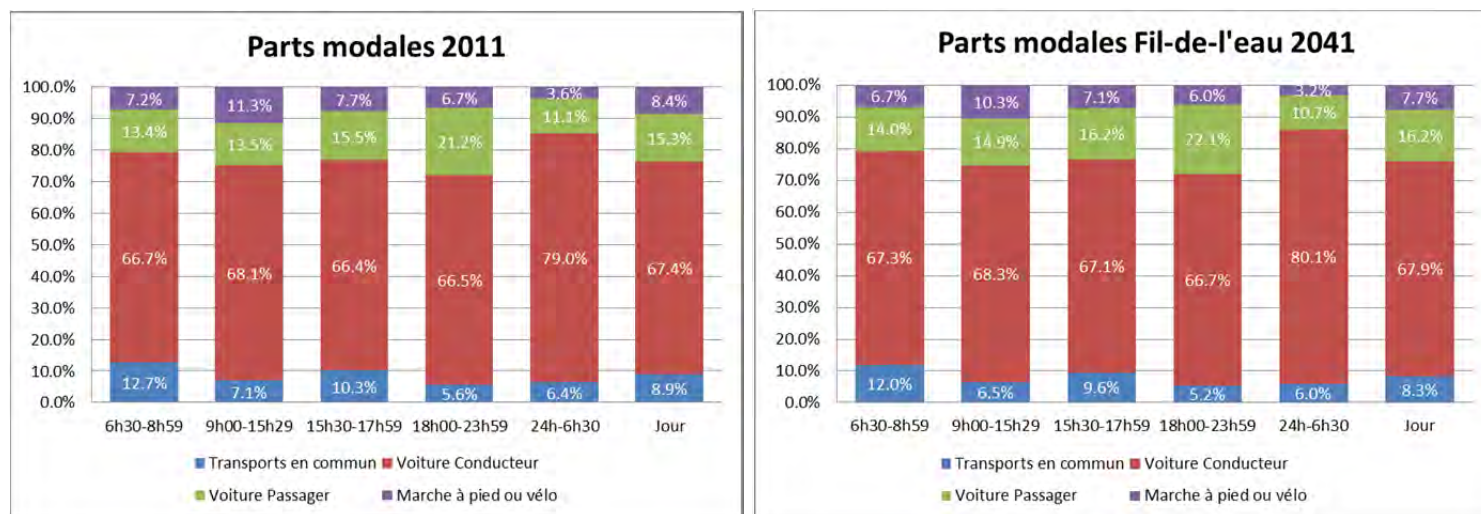
Dans une première étape, on calcule les parts modales sur la base de la demande future de 2041 et sans modification de l'offre de transport ou de stationnement (situation de calage 2011) : c'est la situation dite « au fil de l'eau ».

- En situation 2011, hors flux intra-zonaux, les transports collectifs comptent 149 000 déplacements journaliers,
- En situation 2041 au fil de l'eau, ce chiffre s'élève à 166 500 déplacements journaliers, soit 13 % de croissance seulement entre 2011 et 2041, contre 26 % de croissance de population et 22 % de croissances des déplacements sur la même période.

La part modale des transports collectifs s'érode donc entre 2011 et 2041 (de 8.9 % de part modale jour en 2011 à 8.3 % en 2041), de même que celle des modes actifs (marche à pied et vélo : de 8.4 % de part modale journalière en 2011 à 7.7 % en 2041). En effet, ce sont les tranches les plus âgées qui ont la plus forte croissance, mais elles utilisent moins les transports collectifs ou les modes actifs : c'est donc le vieillissement de la population qui conduit à cette baisse sensible de la part modale des TC.

Les constats sont identiques pour toutes les périodes horaires.

Figure 5-21 – Parts modales en 2011 et en 2041 au fil de l'eau (hors flux intra-zonaux)



Prise en compte des offres futures : résultats globaux

Les formulations de choix modal présentées au §3.3 sont ensuite appliquées aux situations futures.

Les constantes modales ajustées sur la situation 2011 sont tout d'abord légèrement réajustées (moins de 4 % d'écart par rapport aux valeurs de calage 2011) pour reproduire exactement les parts modales présentées ci-dessus et liées à l'évolution démographique.

Les offres de transport futures sont ensuite intégrées pour ce qui concerne :

- L'offre de stationnement, comme présenté au § 5.1.2,
- La modification des temps de parcours routiers, comme présenté au § 5.1.3, et intégrant l'évolution de la demande, les impacts circulations de la mise en œuvre des réseaux TC, les phénomènes d'étalement de la pointe, les éléments de congestion,
- Les effets de l'amélioration de l'offre TC.

Les résultats présentés ci-après sont après la phase de bouclage voiture – transports collectifs. Ils concernent le scénario « central » tel que présenté en partie 5.1 : pour les variantes, on présente en partie 5.4 les résultats de choix modal de manière globale, mais les constats présentés ci-dessous restent globalement inchangés pour ces variantes (avec des valeurs numériques différentes).

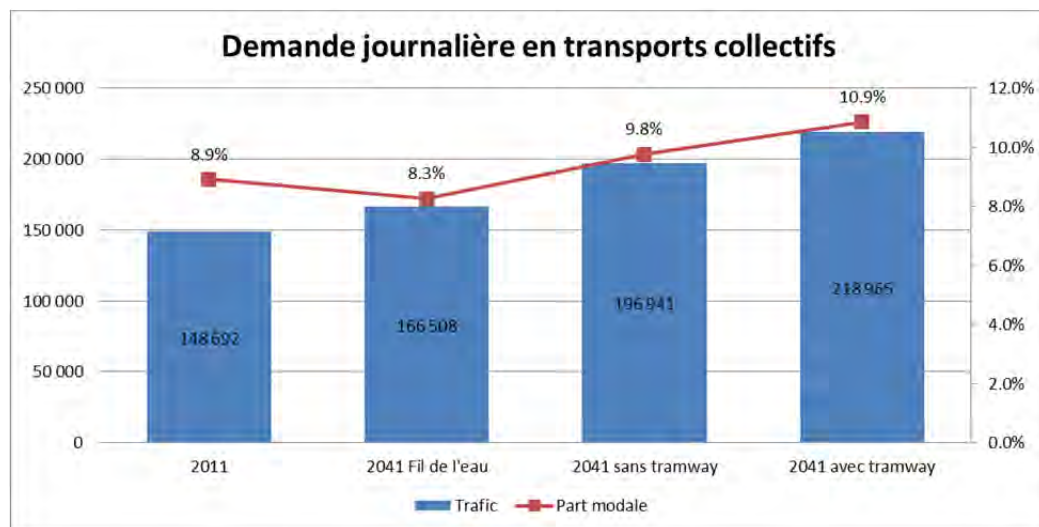
Tableau 64 – Tableau de flux en 2041 par mode

SITUATION SANS TRAMWAY	Transports collectifs	Auto Conducteur	Auto Passager	Marche à pied et vélo
6h30-8h59	62 064	279 744	57 374	29 848
9h00-15h29	46 901	429 114	94 296	65 567
15h30-17h59	62 569	350 333	84 166	40 301
18h00-23h59	20 798	232 137	77 278	20 571
24h-6h30	4 609	51 197	7 013	2 108
Jour	196 941	1 342 525	320 127	158 395
Différence / Fil de l'eau	31 282	- 30 456	- 5 851	5 025
Part modale	9,8 %	66,5 %	15,9 %	7,8 %

SITUATION AVEC TRAMWAY	Transports collectifs	Auto Conducteur	Auto Passager	Marche à pied et vélo
6h30-8h59	67 977	273 692	57 014	30 117
9h00-15h29	52 202	421 086	93 943	68 018
15h30-17h59	69 254	343 244	83 698	41 062
18h00-23h59	24 306	228 129	76 356	21 308
24h-6h30	5 226	50 444	6 981	2 168
Jour	218 965	1 316 595	317 992	162 673
Différence / Fil de l'eau	52 457	- 51 721	- 7 951	7 215
Part modale	10,9 %	65,3 %	15,8 %	8,1 %

Les modifications d'offre conduisent à une augmentation des déplacements en transports collectifs, de 18 % entre le fil de l'eau et la situation sans tramway, et de 32 % entre le fil de l'eau et la situation avec tramway. La part modale augmente : elle passe à 9,8 % en situation sans tramway et à 10,9 % en situation avec tramway, compensant la perte liée au vieillissement de la population observée d'ici à 2041.

Figure 5-22 – Évolution de la demande journalière et de la part modale en transports collectifs



Prise en compte des offres futures : décomposition des effets

Les différentes modifications d'offre prises en compte sont détaillées ci-dessous. Nous avons réalisé des tests d'implémentation successive des modifications d'offre afin d'en identifier l'impact cumulatif relatif dans le gain total de trafic en transports collectifs : il apparaît que les plus fortes contraintes de stationnement constituent 15 % du gain de trafic, la dégradation de l'offre auto constitue 53 % du gain en situation sans tramway et 35 % du gain en situation avec tramway, pour un volume global de report modal similaire de l'ordre de 17 000 déplacements journaliers. L'amélioration de l'offre TC constitue une part importante du gain : un tiers en situation sans tramway et la moitié en situation avec tramway soit environ 26 000 déplacements.

✓ Effet de stationnement

Dans les scénarios futurs, les contraintes de stationnement sont augmentées et conduisent donc à un report des modes autos vers les transports collectifs ou modes actifs. Néanmoins, les formulations de choix modal, telles qu'établies sur la base des enquêtes réalisées en octobre, favorisent un report important vers la marche à pied et le vélo, alors que les conditions météorologiques sur l'ensemble de l'année rendront ce report impossible. C'est la raison pour laquelle une correction a été apportée pour brider l'effet directement issu des formulations calées en considérant que le report n'est facile qu'environ la moitié de l'année.

✓ Amélioration des transports collectifs

Les réseaux de transports collectifs futurs sont codés de manière détaillée et permettent de calculer des matrices d'indicateurs d'offre pour toutes les relations Origine – Destination, détaillant le temps de parcours, le nombre de correspondance, les temps d'attente.

Comme indiqué à la partie 3.3, le temps généralisé TC est composé des éléments suivants:

- Temps d'accès et de diffusion en marche à pied pondéré par un coefficient 2.5
- Temps d'attente au départ et en correspondance. Grâce aux systèmes d'information voyageurs en cours de développement (SAIEV, information sur les mobiles...), on considère que dans le futur, la pondération initialement de 2 est limitée à 1.5 et à 1.25 pour le tramway, compte tenu de la meilleure fiabilité des temps de parcours.

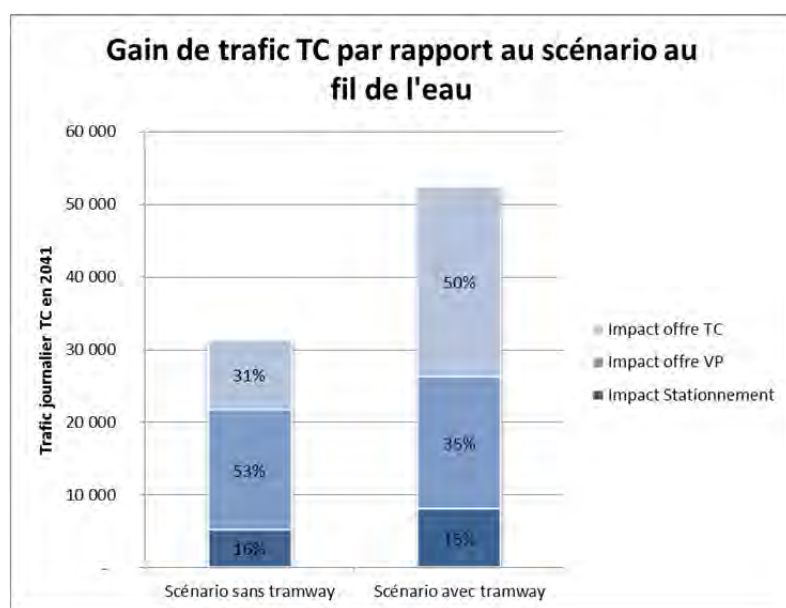
- Temps passé dans le bus pondéré par un coefficient 1. Dans le tramway, on retient un coefficient de 0.8 traduisant l'effet d'image et de confort qui rend ce mode plus attractif. Ce coefficient est basé sur une étude de la Régie Autonome des Transports Parisiens qui, sur la base d'enquêtes de préférences déclarées, a estimé que l'effet d'image lié aux tramways conduisait à une valorisation des temps passés à bord inférieure de 20 % à ceux des temps à bord des bus. Dans le cas du test du BHNS à Lévis, la réduction prise en compte est de 10 %.
- Le coût du trajet (divisé par la valeur du temps). On suppose une stabilité du coût du trajet dans le futur, pour les transports collectifs comme pour la route. Cette hypothèse est assez forte mais il serait très hasardeux de choisir d'autres hypothèses. L'hypothèse de stabilité consiste principalement à penser que, quelle que soit l'évolution du prix du pétrole, elle s'appliquera aux autos comme aux bus et que l'équilibre relatif entre tarification TC et prix routiers restera identique.
- La pénalité de rupture de charge, lors d'une correspondance, est incluse dans l'utilité du mode TC grâce à une variable séparée du temps généralisé. Pour les correspondances avec le tramway, un certain nombre de pôles de correspondances ont été spécifiquement identifiés¹⁷ : à ces points, on assume que la facilité des correspondances sera assurée tant dans l'aménagement que dans la coordination des horaires et l'on retient une réduction de la pénibilité de correspondance de 75 %.

✓ Offre routière

Comme détaillé dans le paragraphe 5.1.4, les temps routiers évoluent avec l'augmentation de la demande, la prise en compte des réductions de capacité ou augmentations de temps de passage aux intersections avec la mise en place du tramway, puis l'analyse de la sursaturation traitée sous forme d'étalement de la pointe et de l'application des temps les plus chargés à l'ensemble de la période horaire.

Les éléments de congestion, sous forme de pénalités liées aux changements d'heure de déplacement, constituent un peu moins de 25 % de l'effet VP. L'impact de l'étalement de la pointe représente globalement un peu plus de 25 % de l'effet VP. L'évolution des temps de parcours lié à l'augmentation de la demande et la prise en compte des modifications de réseau représente approximativement 50 % de l'effet VP.

Figure 5-23 – Décomposition de l'origine du gain de trafic

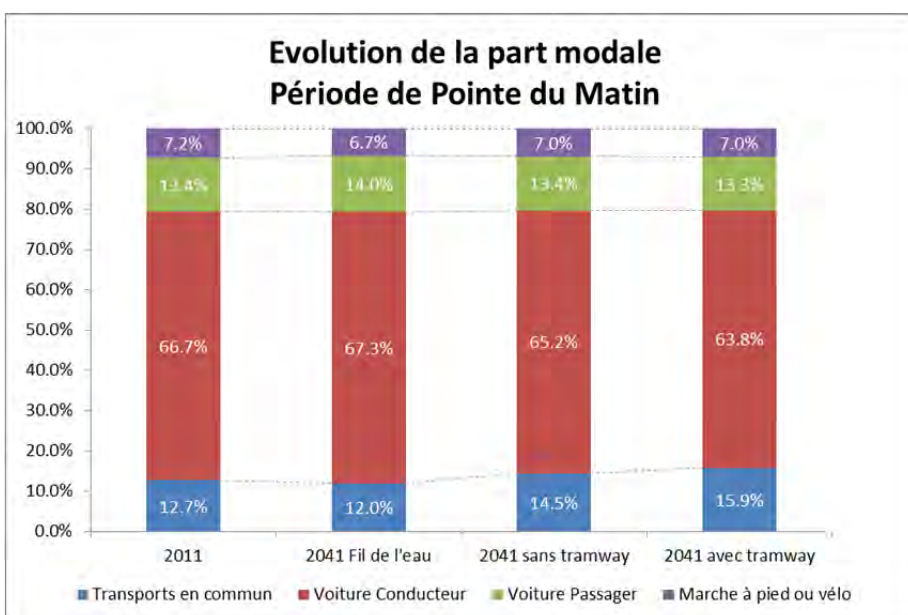
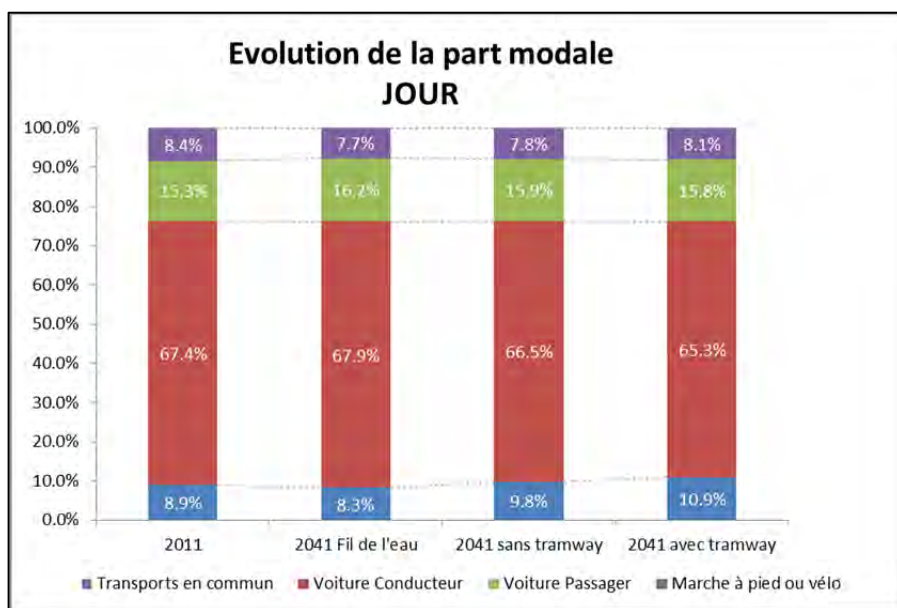


¹⁷ Pôles identifiés : Presqu'île, Du Sault, 4^e avenue, Dorval, Desjardins, Dorchester, d'Estimauville, Galerie Charlesbourg, Croix-Rouge, Parc-Auto d'Youville, CHU / Laurier, Pyramide, De la Foresterie, cf. partie 5.1.1

Parts modales obtenues

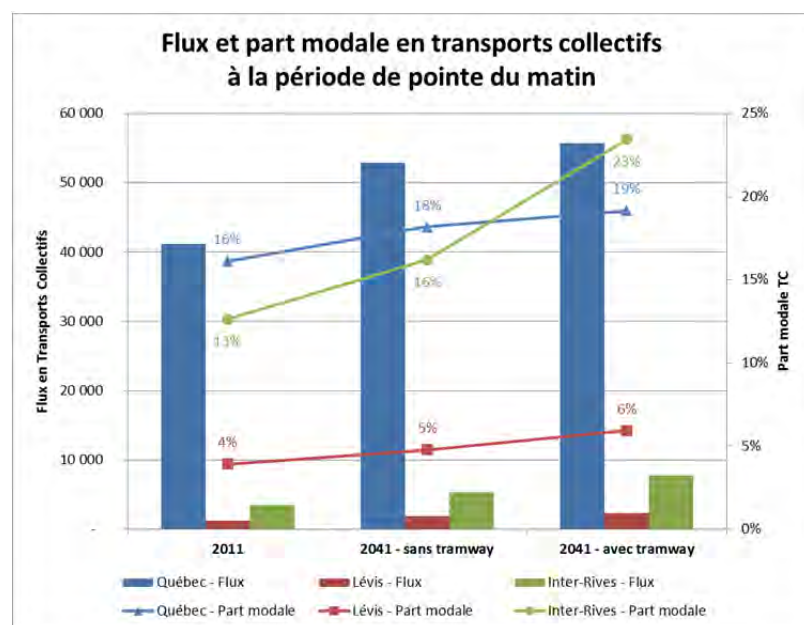
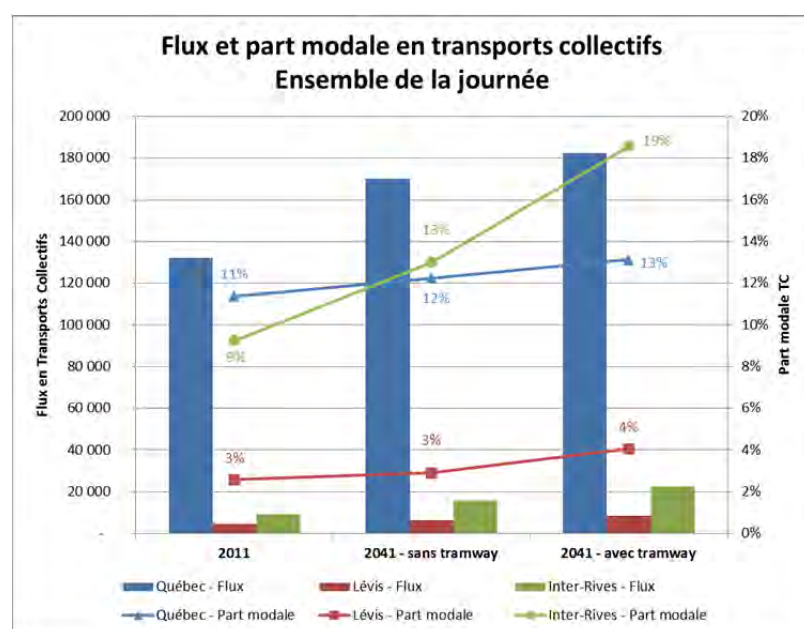
Les graphiques suivants montrent les évolutions des parts modales sur la journée ou sur la période de pointe du matin. Comme déjà mentionné, la part modale transports collectifs passe de 8.9 % en 2011 à 9.8 % sans tramway et 10.9 % avec tramway sur l'ensemble de la journée ; en période de pointe du matin, cette part passe de 12.7 % en 2011 à 14.5 % sans tramway et 15.9 % avec tramway. La part des modes doux connaît une évolution similaire avec une forte baisse en situation au fil de l'eau liée au vieillissement de la population, puis une croissance en situation sans ou avec tramway. Mais cette croissance ne compense pas la perte liée au vieillissement : la part des modes actifs passe ainsi de 8.4 % en 2011 à 7.8 % sans tramway et 8.1 % avec tramway sur l'ensemble de la journée et de 7.2 % en 2011 à 7.0 % en 2041 (avec et sans tramway).

Figure 5-24 – Évolution du partage modal : jour et pointe du matin (hors flux intra-zonaux)



Les graphiques ci-dessous montrent l'évolution des trafics TC et de la part modale en situation de calage, future avec et sans tramway pour les agglomérations de Québec, Lévis et les flux inter-rives, pour la journée ou la pointe du matin. En termes de volume, le flux interne à Québec est très largement prépondérant. Pour les flux internes aux agglomérations, on peut noter une progression de la part modale. La part modale des flux inter-rives évolue quant à elle très fortement : de 9 % à 19 % sur la journée et de 12 % à 23 % en pointe du matin.

Figure 5-25 – Évolution du partage modal : jour et pointe du matin



Comparaison avec d'autres agglomérations françaises

Par rapport à la situation au fil-de-l'eau, les trafics en transports collectifs augmentent de 18 % en situation sans tramway et de 32 % en situation avec tramway. Cette évolution est comparable avec ce qui a été observé dans de nombreuses villes de France (Nantes, Grenoble, Rouen, Montpellier, Strasbourg, Orléans) où l'impact moyen est estimé à +33 % (minimum +20 %, maximum +47 %). Par rapport à l'estimation faite dans le cas de Québec, les comparaisons sur les agglomérations françaises intègrent pour la situation avant tramway les dégradations d'offre TC liées aux travaux du tramway.

Le tableau suivant compare pour ces mêmes agglomérations la densité sur le périmètre des transports urbains et le nombre de déplacements par habitant et par an. Une ligne a été ajoutée pour Québec ville et Lévis, dans la situation projetée de 2041 : la densité (comprenant la croissance attendue d'environ 25 % de population) y est comparable aux agglomérations citées, et le nombre de déplacements est de l'ordre du bas du tableau et l'agglomération d'Orléans en 2008.

Tableau 65 – Comparaison avec des agglomérations françaises

	Densité (hab / km ²) en 2006*	Nombre de déplacements TC par habitant et par an en 2008*
Nantes	1 140	141
Grenoble	1 300	149
Rouen	1 060	80
Montpellier	980	120
Strasbourg	1 500	152
Orléans	840	70
Agglomération de Québec (2041 avec tramway)	1134	83
Lévis (2041 avec tramway)	403	23
Agglomération de Québec + Lévis (2041 avec tramway)	820	70

* : Source : enquête annuelle TCU – Certu-DGITM-GART-UTP – 2008

5.2.2 Résultats par zones regroupées

Pour mieux comprendre les impacts, nous avons regroupé les zones de modélisation en 7 groupes, représentés sur la figure suivante. :

- Colline Parlementaire,
- Saint Roch,

- Sainte Foy,
- Reste de Québec
- Extérieur de Québec
- Lévis centre,
- Reste de Lévis.

Figure 5-26 – Zones regroupées pour l'analyse du choix modal



Dans les graphiques suivants, on cherche à représenter de manière visuelle la matrice des déplacements en transports collectifs. La matrice est présentée avec des disques dont la surface est proportionnelle au flux, l'étiquette montre la part modale et la couleur l'évolution par rapport à la situation de calage. Les flux journaliers sont représentés sous forme de flux deux sens alors que les flux à la période de pointe du matin sont détaillés par sens, car les flux sont très dissymétriques. D'autres graphiques sont également donnés en annexe G.

Ces graphiques appellent quelques commentaires :

- Les volumes les plus importants sont au sein de l'agglomération de Québec, les flux inter-rives restent significatifs, mais les flux internes à Lévis sont faibles à l'échelle de l'analyse.
- Certaines parts modales sont élevées, comme les échanges avec la colline parlementaire, pour lesquels la part modale est de 25 % à 30 % sur l'ensemble de la journée.
- En situation sans tramway, les croissances de part TC sont le plus souvent inférieures à 50 %.
- En situation avec tramway, les croissances sont beaucoup plus élevées : les relations avec Lévis voient leur trafic au moins augmenté de moitié. Les parts modales des relations avec la colline parlementaire évoluent moins en proportion mais elles sont tout de même supérieures à 30 %.
- À la période de pointe du matin, on peut observer que les parts modales dans le centre de Québec sont très élevées en situation sans tramway, avec des parts de l'ordre de 40 % comme entre St Roch et la colline parlementaire, ou de 46 % de St Roch vers Ste Foy ou encore de 36 % de Québec vers la colline parlementaire.

- Ces parts modales sont encore augmentées en situation avec tramway : 44 % entre St Roch et la colline parlementaire, 50 % de St Roch vers Ste Foy ,38 % de Québec vers la colline parlementaire.
- Certaines parts modales d'un niveau initial moins élevé sont plus que doublées en situation avec tramway, et en particulier les échanges Lévis – Québec.
- La part modale des échanges de Lévis Centre vers Ste Foy est alors de 37 %, elle est de 49 % vers la colline parlementaire. Pour les autres zones de Lévis, elle est de 37 % vers Ste Foy et de 36 % vers la colline parlementaire.

Figure 5-27 – Flux journalier deux sens en transport collectif et part modale – situation 2041 sans tramway / avec tramway

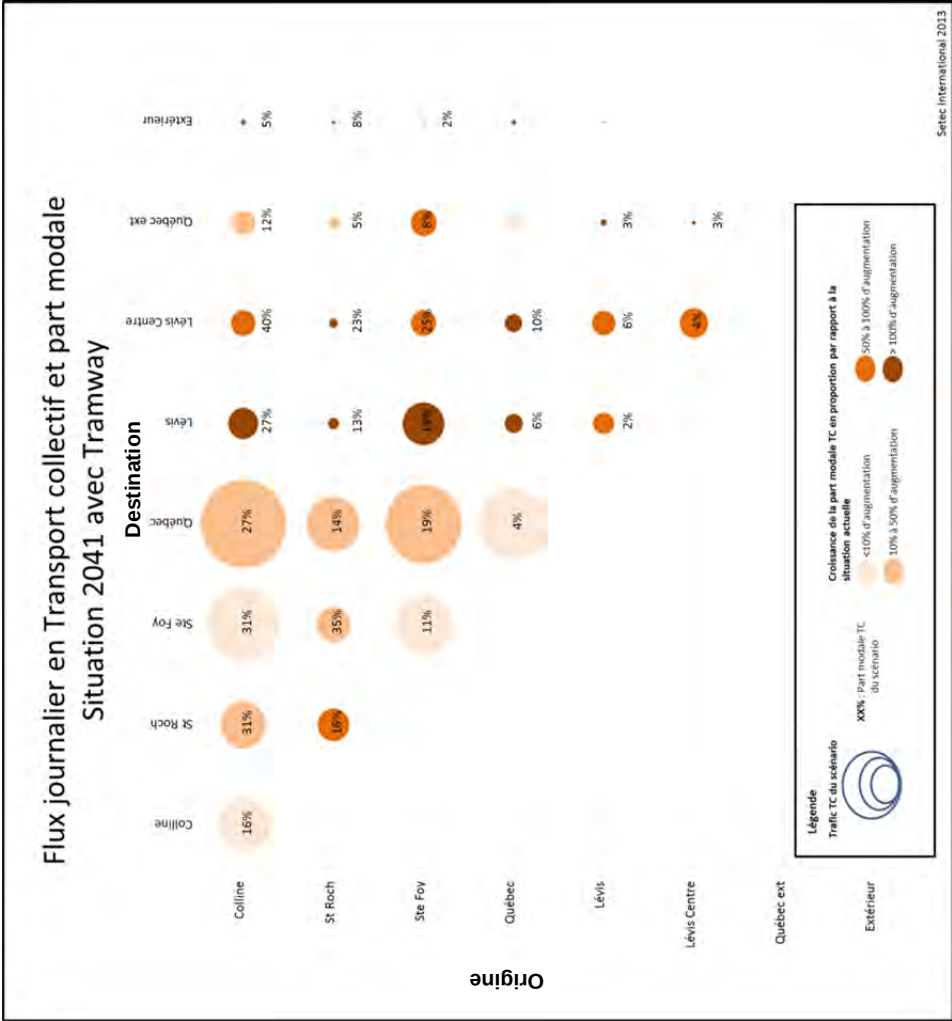
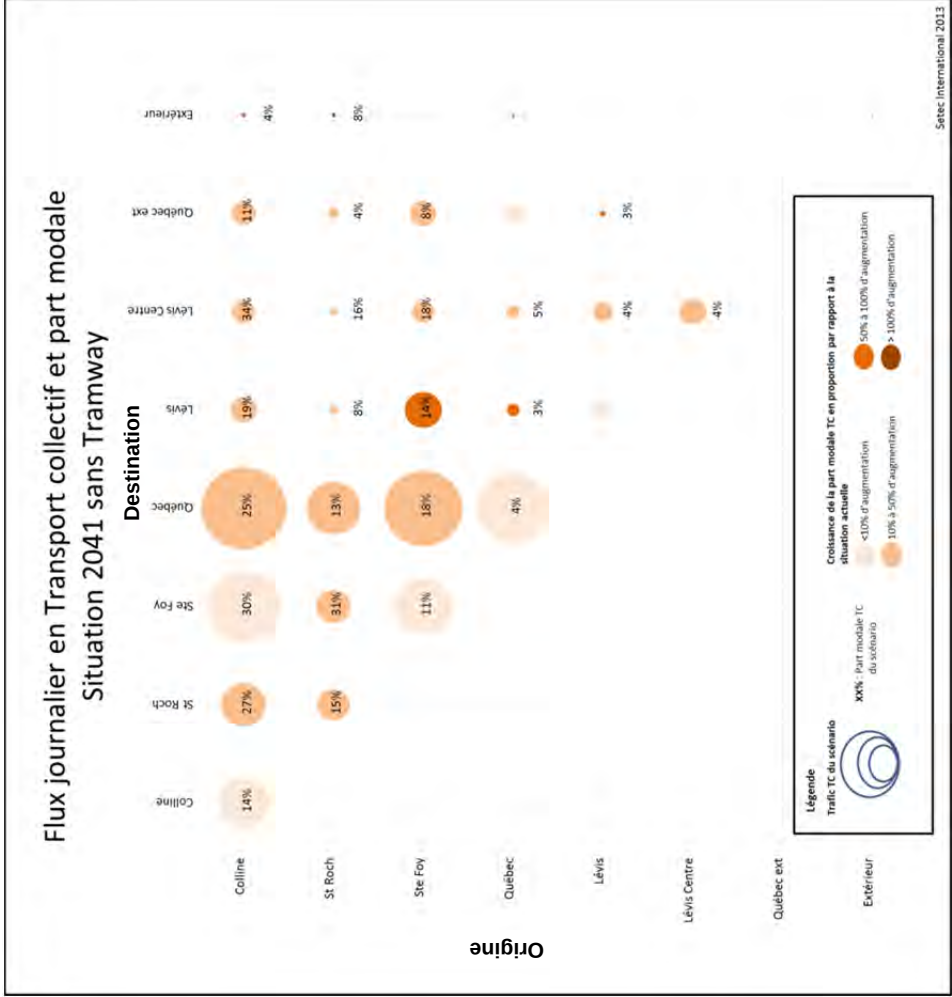
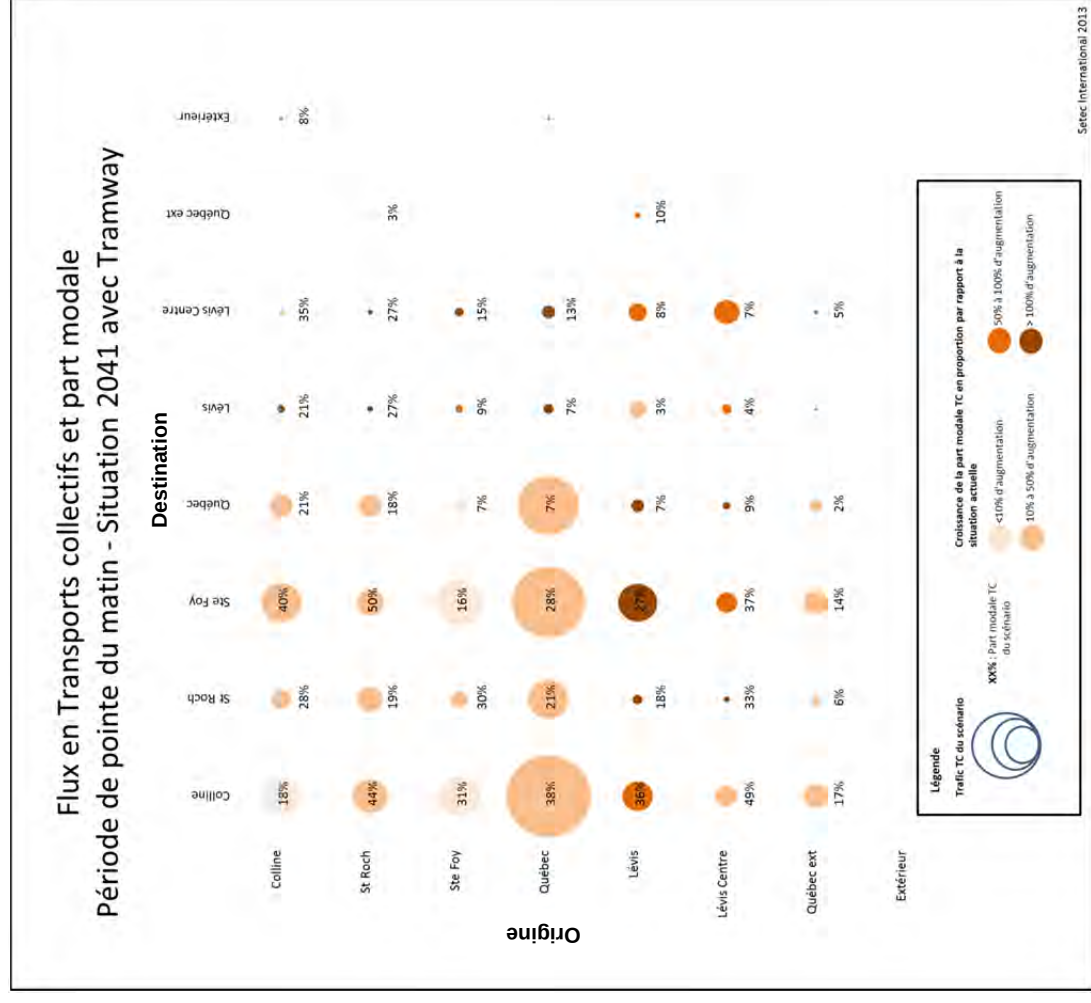
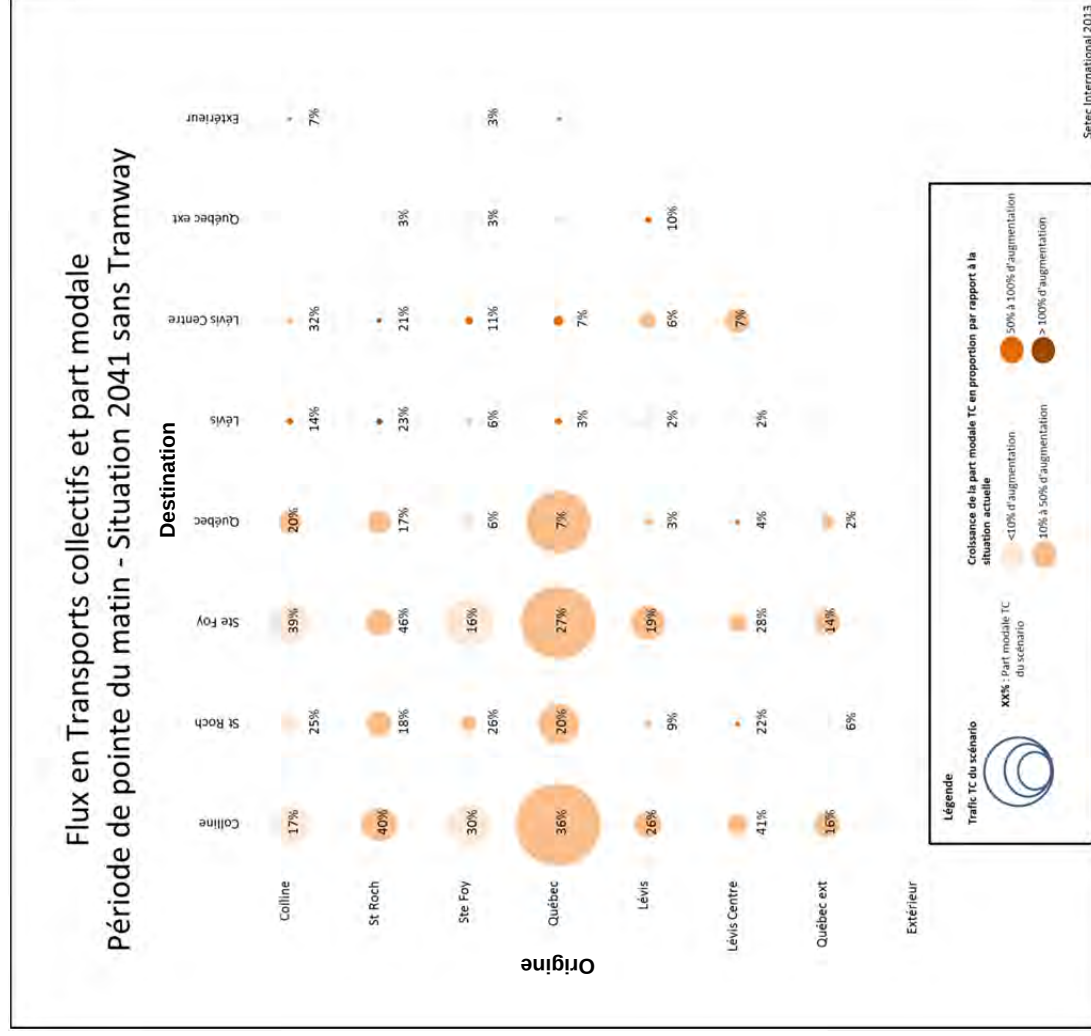


Figure 5-28 – Flux à la pointe du matin en transport collectif et part modale – situation 2041 sans tramway / avec tramway



5.3 Achalandage en transports collectifs dans les scénarios avec et sans tramway

5.3.1 Résultats d'achalandages du système de transports collectifs

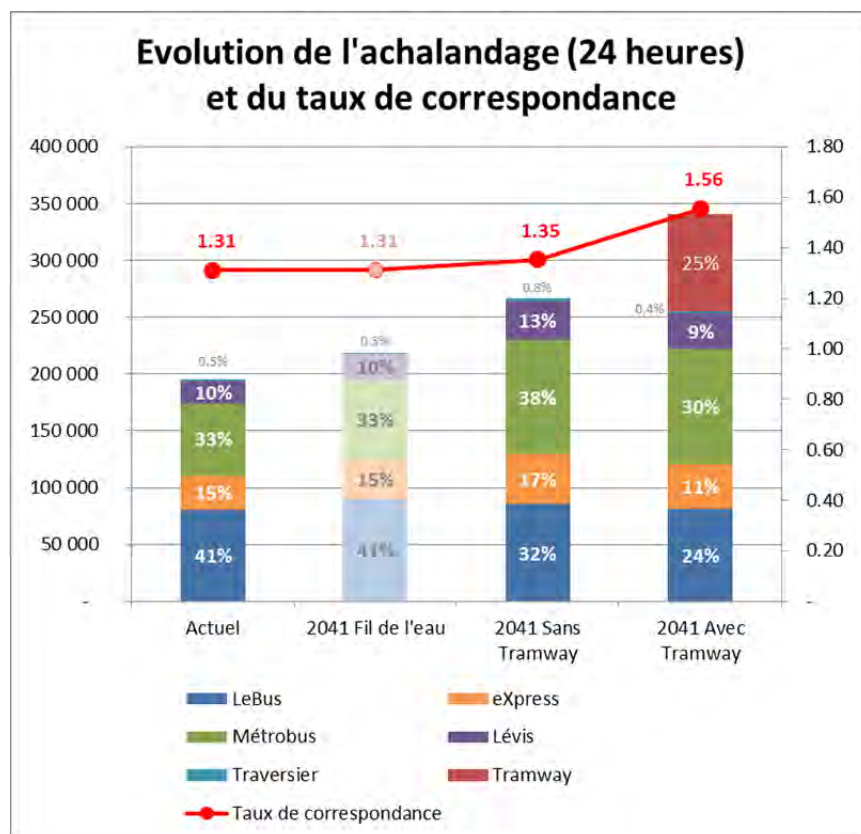
La partie précédente a montré l'évolution de la demande de déplacements en transports collectifs. On analyse ici l'affectation de cette demande dans les différentes missions offertes.

Dans le graphique suivant, on représente l'achalandage global des transports collectifs, sa répartition par type de ligne et le taux de correspondance global. La situation au fil de l'eau est ajoutée au graphique car elle permet de visualiser l'effet d'augmentation de la demande globale d'ici à 2041 hors effets d'offre de transport.

En situation sans tramway, la structure globale de répartition de l'achalandage entre les missions est conservée comme aujourd'hui, tout comme le taux de correspondance global. On peut noter un report apparent des LeBus vers les Métrobus, lié en grande partie à la transformation des Bus 7 et 87 en MétroBus. On peut aussi noter la croissance des flux lévisiens suite à l'amélioration de l'offre prévue dès 2014.

En situation avec tramway, les flux des différents modes bus sont proches de ceux de la situation sans tramway, le trafic supplémentaire est pratiquement équivalent à celui du tramway.

Figure 5-29 – Évolution de l'achalandage TC et du taux de correspondance



A l'horizon 2041, le taux de correspondance passe de 1,35 sans tramway à 1,56 avec tramway : en effet, les lignes sont organisées en rabattement sur le tramway et le taux de correspondance augmente fortement. Il est relativement élevé, mais reste inférieur à celui constaté par exemple à Lyon (1.65 en 2008) ou Marseille (1.58).

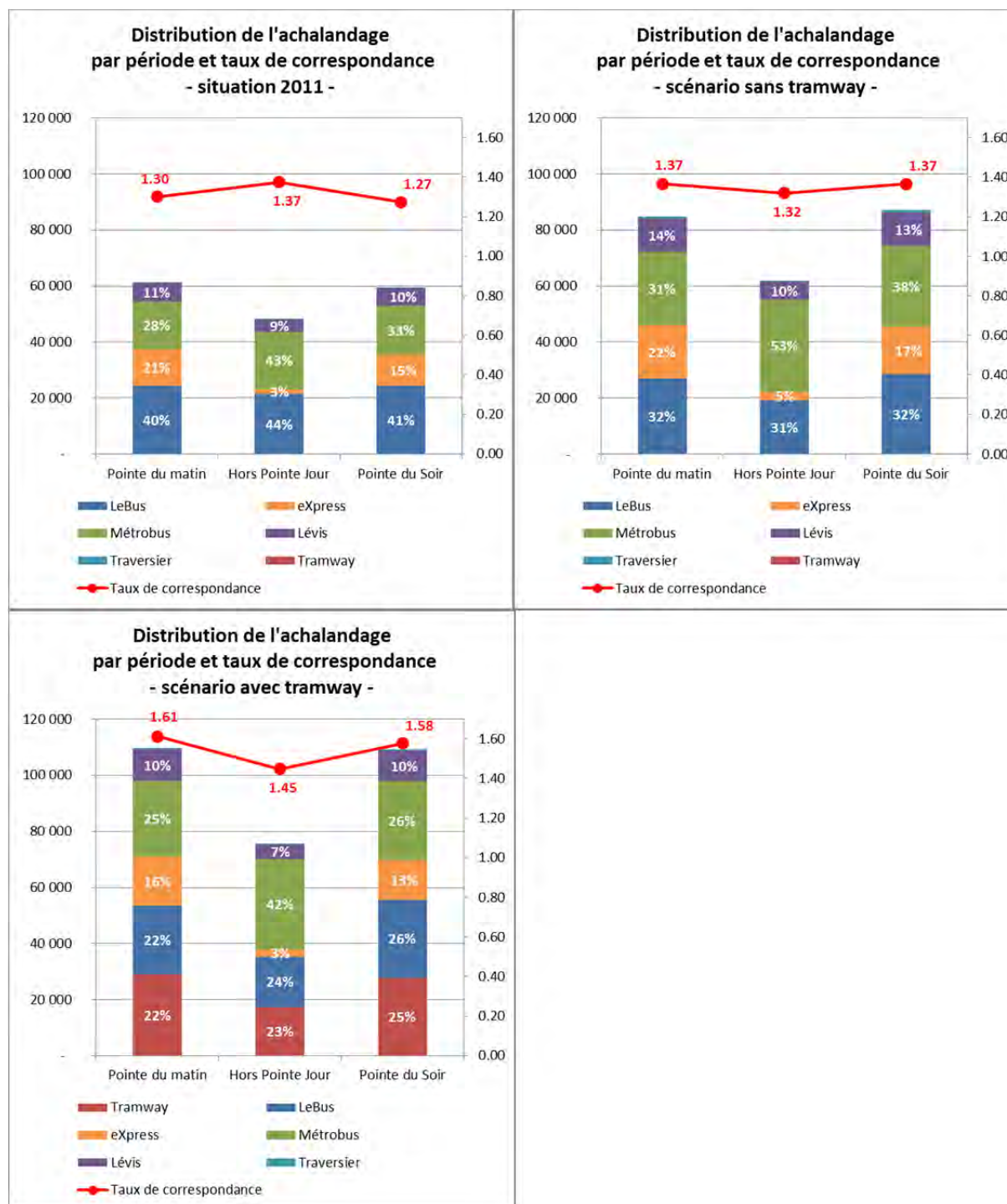
Tableau 66 – Comparaison du taux de correspondance avec des agglomérations françaises

	Taux de correspondance *
Nantes	1.35
Grenoble	1.28
Rouen	1.29
Montpellier	1.33
Strasbourg	1.30
Orléans	1.34
Lyon	1.65
Marseille	1.58
Toulouse	1.38
Région de Québec (actuel)	1.31
Région de Québec (2041 avec tramway)	1.56

* : Source : enquête annuelle TCU – Certu-DGITM-GART-UTP – 2008

Les trois figures ci-après détaillent la distribution des flux par période horaire et leur évolution en situations futures. Les effets sont similaires à ceux observés sur la journée. En situation avec projet, les lignes eXpress sont organisées en rabattement sur le tramway, induisant une forte augmentation du taux de correspondance global : en heure creuse, sans trafic sur les eXpress, l'augmentation de ce taux de correspondance est limitée.

Figure 5-30 – Achalandage TC et taux de correspondance par période et situation



Les tableaux suivants montrent les évolutions des offres et des montées par groupe de missions. Le premier tableau démontre l'augmentation de l'offre en situation sans tramway par rapport à 2011, avec +43 % de véhicules.km. On note le large renforcement de l'offre à Lévis, la création des eXpress 500 et le renforcement des eXpress 300, ainsi que le développement du réseau LeBus. En situation avec tramway, certains bus sont supprimés, les eXpress 500 sont supprimés, certains Métrobus limités, les Lévisiens sont coupés de part et

d'autre du tramway : les km parcourus baissent par rapport à la situation sans tramway, en partie compensés par les parcours du tramway, qui représentent environ 16 000 km annuels.

En termes de nombre de montées, la hausse en situation sans tramway est du même ordre que l'augmentation de l'offre, mais avec le tramway, le nombre de montées augmente encore nettement (en partie liée aux plus nombreuses correspondances) : la croissance est de + 74 % par rapport à la situation de 2011.

Tableau 67 – Offre TC en véh.km dans les différentes situations

Véh.km	2011	2041 sans tram et sans BHNS	2041 avec tram var.7
Mode	PPM + HPJ+PPS	PPM + HPJ+PPS	PPM + HPJ+PPS
leBus	36 469	39 237	34 833
eXpress 200	10 496	10 581	10 518
eXpress 300	10 628	13 926	13 163
eXpress 500	0	5 852	0
Métrobus	12 232	19 762	15 914
Tramway	0	0	10 247
Lévis	7 012	14 237	14 237
Lévisien	5 107	13 250	4 444
Traversier	75	75	75
Total	82 020	116 919	103 429
Ecart / 2011		43%	26%
TCAM		1,2%	0,8%

Tableau 68 – Achalandage TC en nombre de montées dans les différentes situations

Nombre de montées	2011	2041 sans tram et sans BHNS	2041 avec tram var.7
Mode	PPM + HPJ+PPS	PPM + HPJ+PPS	PPM + HPJ+PPS
leBus	69 876	74 803	70 452
eXpress 200	16 131	18 772	18 044
eXpress 300	9 957	12 211	15 710
eXpress 500	0	7 788	0
Métrobus	55 334	87 939	87 936
Tramway	0	0	74 123
Lévis	9 134	12 351	17 924
Lévisien	7 923	17 863	9 177
Traversier	819	1 869	1 220
Total	169 175	233 597	294 586
Ecart / 2011		38%	74%

Les deux graphiques ci-après présentent l'efficacité en termes de montées par véhicules kilomètres et par véhicules heures déployés en service de chaque groupe de missions dans les différentes situations : le Métrobus voit sa productivité augmenter, tout comme le Lévisien en situation avec tramway. Le tramway apparaît comme

nettement plus productif. Les chiffres obtenus sont comparables à ceux que nous avons pu observer sur des réseaux de tramway en France.

Figure 5-31 – Productivité montées / véh.km par groupe de mission

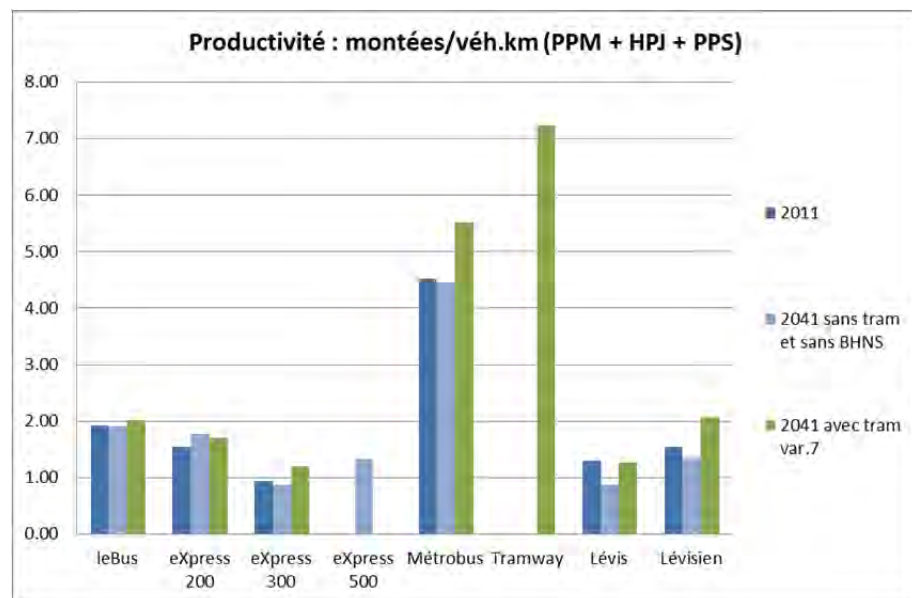
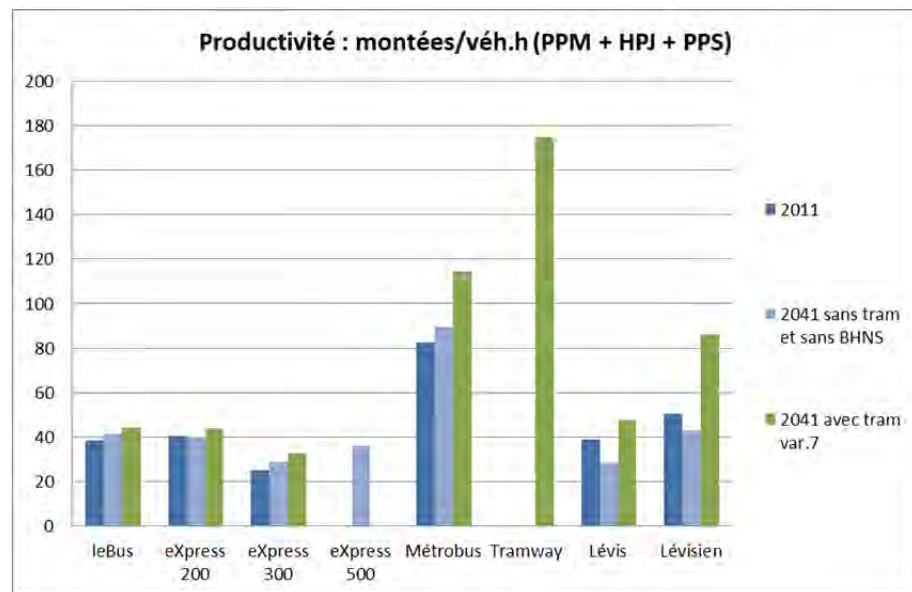


Figure 5-32 – Productivité montées/véh.h par groupe de mission



Le tableau ci-après présente un ordre de grandeur de l'efficacité commerciale des lignes de tramway dans des agglomérations françaises de tailles comparables. Les valeurs sont comprises entre 8 montées/véh.km offert et 14 montées/véh.km offert.

Tableau 69 – Comparaison de la productivité des lignes de tramway (montées/véh.km) d'agglomérations françaises semblables

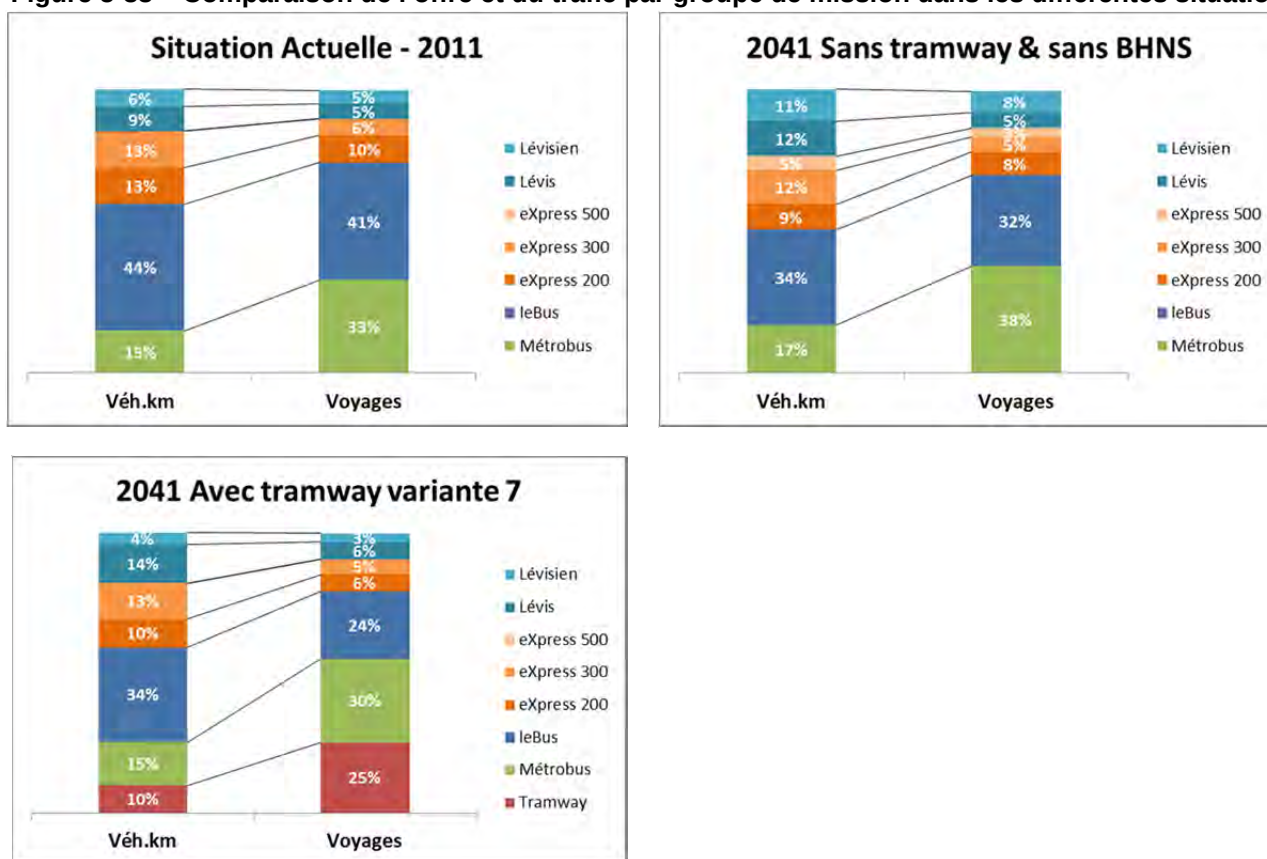
	Productivité des lignes de tramway Montées/véh.km*
Nantes	14
Grenoble	11
Rouen	11
Montpellier	13
Strasbourg	11
Orléans	8

* : Source : enquête annuelle TCU – Certu-DGITM-GART-UTP – 2008

Les trois figures ci-après montrent les comparaisons entre l'offre et les montées dans les différentes situations.

Avec seulement 25 % des véh.km déployés les Métrobus et Tramway attirent près de 55 % des montées. En situation sans tramway, le Métrobus capte 38 % des montées pour seulement 17 % de l'offre déployée.

Figure 5-33 – Comparaison de l'offre et du trafic par groupe de mission dans les différentes situations

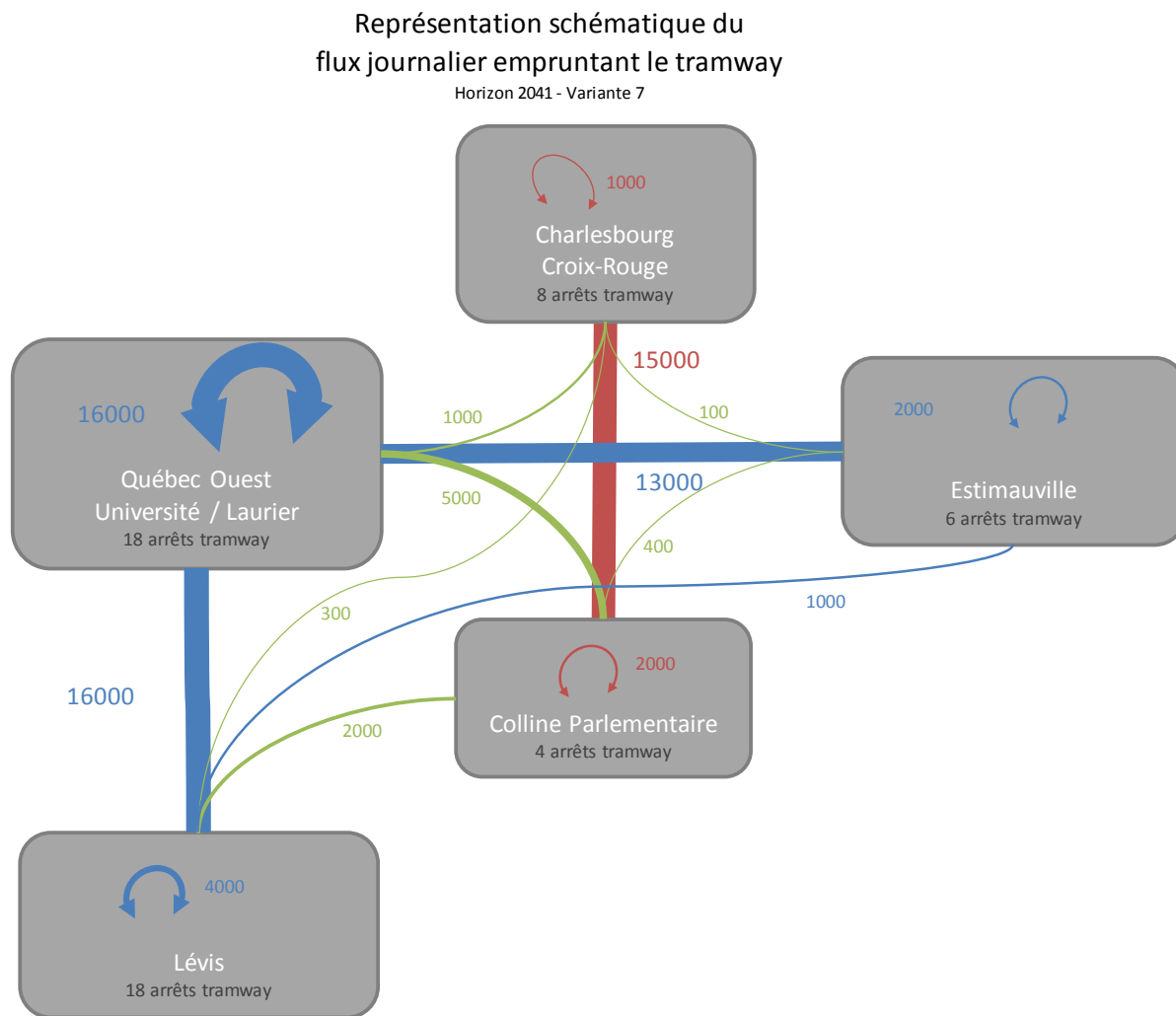


5.3.2 Résultats d'achalandage du tramway

5.3.2.1 Fonctionnement des flux sur le tramway

Le schéma suivant montre les flux sur le tramway en déplacement entre grandes zones. Par exemple, on y observe que le flux montant à Lévis et descendant dans la zone de Québec Ouest (entre la tête des Ponts et Dorchester) ou l'inverse est de 16 000 voyageurs jour. Le flux empruntant le Pont de Québec peut être calculé à partir de ce schéma comme le flux entre Lévis d'une part et l'ensemble des 4 autres ensembles, soit 19 300 voyageurs jour.

Figure 5-34 – Représentation schématique du flux journalier empruntant le tramway dans la variante 7



Les principaux enseignements de ce schéma sont les suivants :

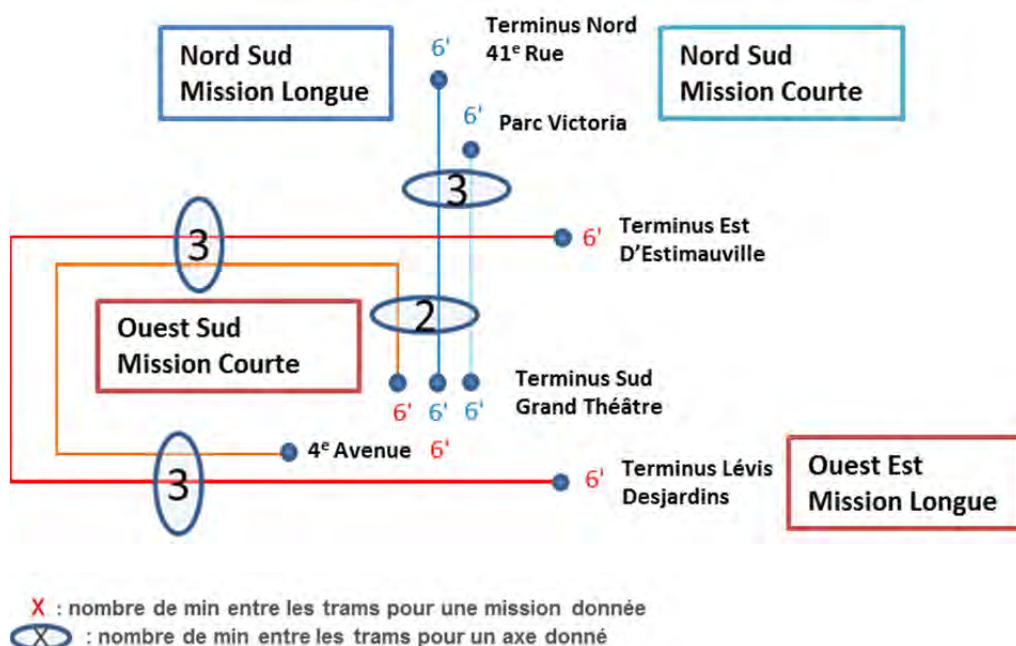
- Le flux le plus important correspond aux déplacements entre Lévis et l'ensemble entre la tête des Ponts et Dorchester à égalité avec le flux à l'intérieur du secteur entre la tête des Ponts et Dorchester.
- Ajouté aux autres flux vers ou depuis Lévis, la traversée du Pont compte environ 20 000 déplacements sur le tramway.

- Trois autres flux sont ensuite d'un même ordre de grandeur :
 - o L'échange Nord – Sud autour de Dorchester (15 000 déplacements jour)
 - o L'échange Est – Ouest autour de Dorchester (13 000 déplacements jour)
 - o Les échanges internes à l'ensemble tête des Ponts – Dorchester (16 000 déplacements jour)
- Les autres échanges sont de moindre importance, de 1000 à 2000 voyageurs par jour sauf pour le mouvement Ouest – Sud avec 5 000 voyageurs.

5.3.2.2 Répartition entre les missions

La variante d'exploitation du tramway présentée à la figure ci-dessous est composée de quatre types de missions de tramway.

Figure 5-35 – Tramway : Schéma d'exploitation C



L'importance relative de chaque mission est relativement cohérente avec la longueur de la ligne et sa fréquence.

Tableau 70 – Achalandage par mission tramway pour la variante 7

	Fréquence	Nombre d'arrêt desservis	Jour (PPM + HPJ + PPS)	Pointe du matin	Hors Pointe Jour	Pointe du Soir
Tram Nord Sud	6 min	12	12 300	5 600	2 500	4 200
Tram Est Ouest	6 min	42	39 300	14 800	9 800	14 700
Tram Nord Sud Courte	6 min	5	4 600	1 700	900	2 000
Tram Ouest Sud Courte	6 min	26	17 900	6 900	4 200	6 700
Total			74 100	29 000	17 400	27 700

5.3.2.3 Serpents de charge et capacité

Les serpents de charge par sens et par mission sont présentés en annexe H.

On présente ci-dessous une exploitation des serpents de charge regroupant les différentes missions, afin de démontrer la bonne adéquation avec la capacité offerte.

Pour la ligne Nord-Sud, avec du matériel roulant de 43 m et d'une capacité de 260 passagers, on obtient une réserve de capacité, de l'ordre de 23 % à 33 % selon les sections.

Toutefois, pour des questions d'adéquation de l'offre par rapport à la demande, il est possible de réduire la fréquence de service sur le tronçon compris entre les stations Croix-Rouge et Grand Théâtre à 4 minutes en heures de pointe (partie sud) et la fréquence sur le tronçon compris entre Croix-Rouge et Galerie Charlesbourg à 8 minutes en heure de pointe (partie nord). Le passage d'une fréquence de service aux 3 min – 6 min – à une fréquence de service aux 4 min – 8 min – aura très peu d'impact sur l'achalandage de la ligne mais affectera la réserve de capacité qui passera à 10 % sur la partie sud de la ligne et à moins de 5 % sur la partie nord de la ligne.

Pour la ligne Est – Ouest, un matériel de 43 m est également nécessaire avec une réserve de capacité plus réduite, de l'ordre de 15 %. Au niveau du franchissement du Saint-Laurent, les estimations montrent que les flux TC en situation avec tramway ne pourraient être pas être satisfaits avec un mode moins capacitaire que le tramway de 43m. Contrairement à la ligne Nord-Sud il n'est pas possible de réduire la fréquence de service aux 4 minutes.

La réserve de capacité présentée est en fonction d'une fréquence de service aux 3 minutes. Cette fréquence correspond à la limite opérationnelle du système dans l'objectif de respecter le principe de priorité absolue aux feux de circulation.

Figure 5-36 – Serpent de charge et réserve de capacité – ligne Nord – Sud

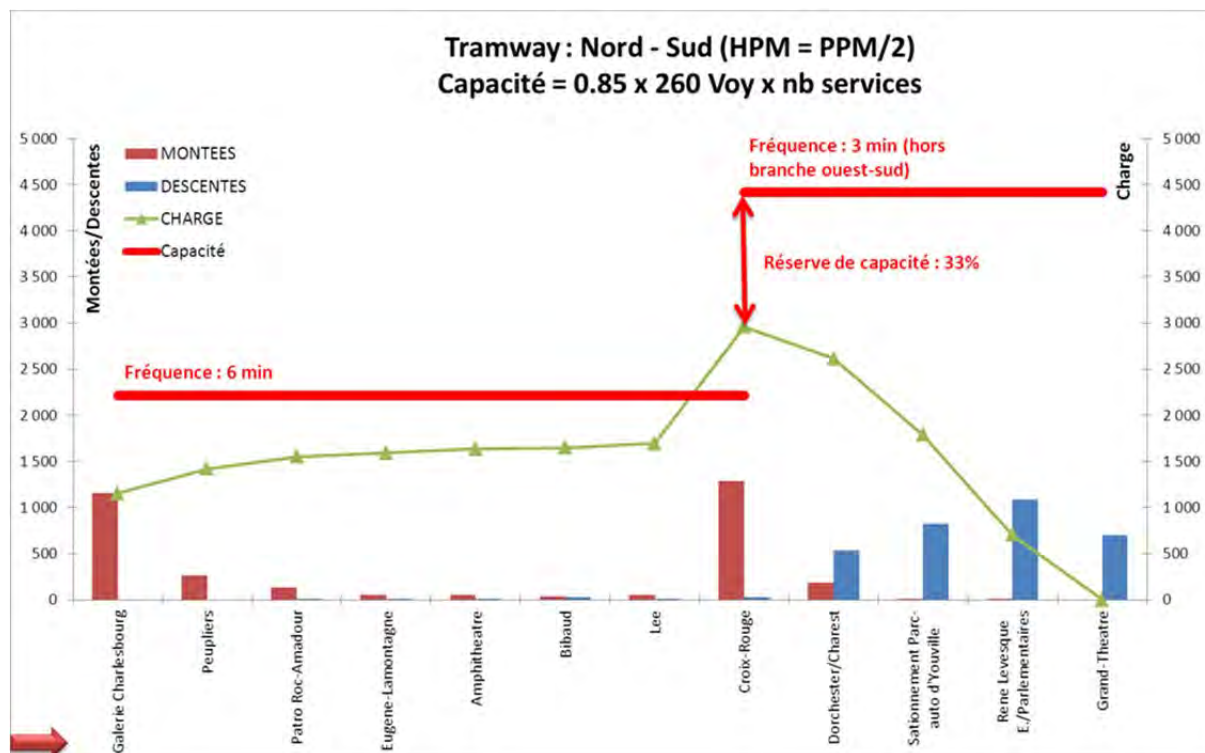
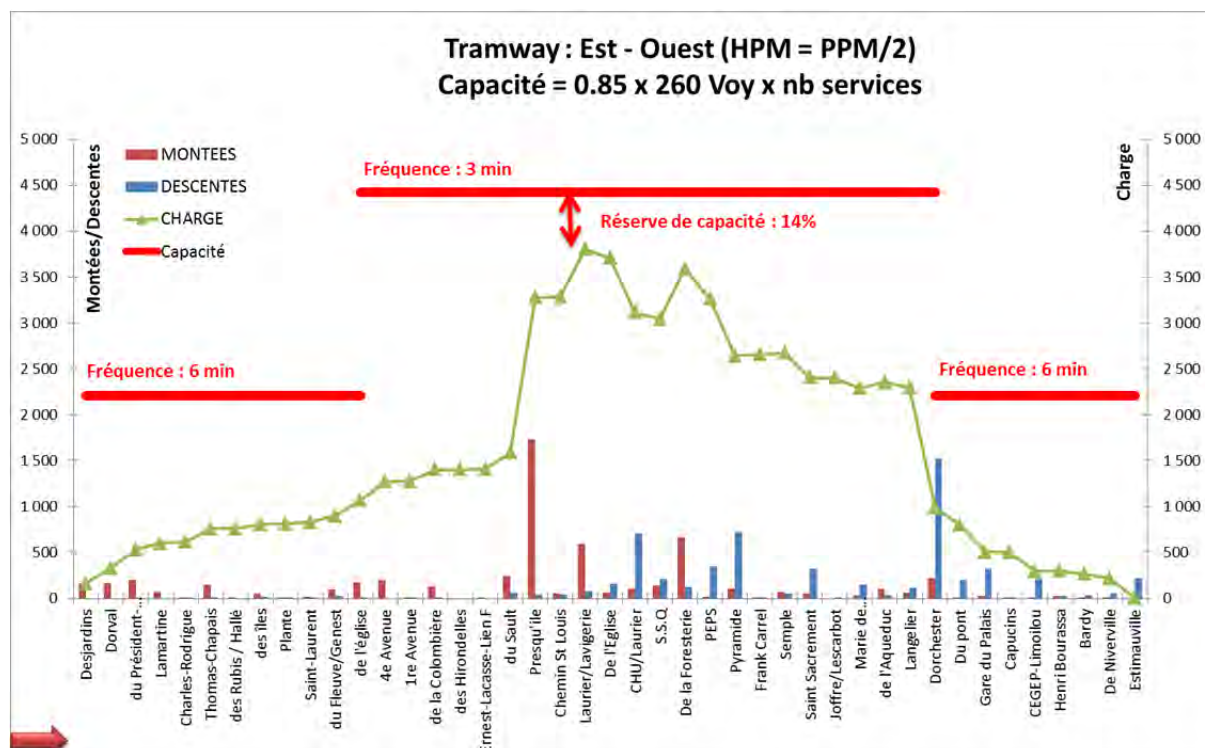


Figure 5-37 – Serpent de charge et réserve de capacité – ligne Est – Ouest



5.4 Résultats des différentes variantes

Les différents scénarios d'étude et variantes sont rappelés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 71 – Rappel des principales variantes étudiées

	Tramway - Schéma d'exploitation	BHNS Lévis	Renforcement des services	Nombre de stations côté Lévis	Cadencement lignes régulières Lévis (heure de pointe)	Pont de Québec
Avec tram var.1	A (croisement à St-Roch)	Non	Oui	18	15 min	2 Voies
Avec tram var.2	B Ouest-Est 6' Ouest-Nord courte 12' Ouest-Sud courte 12' Nord-Sud 8' Nord-Sud courte 12'					2 voies
Avec tram var.3						3 voies
Avec tram var.4				20 min	2 voies	
Avec tram var.5	12			20 min	2 voies	
Avec tram var.6					3 voies	
Avec tram var.7					18	15 min
Avec tram var.8 (variante de tracé à Limoilou)	-					
Sans tram var.1				3 voies		
Sans tram var.2		Non		Oui	21 (BHNS)	3 voies

La variante de tracé relative à la séquence G de la ligne est-ouest (secteur Limoilou), qui ne figure pas dans le tableau précédent est également été étudiée.

Les deux tableaux ci-dessous rappellent les résultats de partage modal dans le scénario sans tramway et le scénario avec tramway variante 7 présentés en détail.

Tableau 72 – Rappel des résultats de partage modal sans et avec tramway – variante 7

SITUATION SANS TRAMWAY	Transports collectifs	Auto Conducteur	Auto Passager	Marche à pied et vélo
6h30-8h59	62 064	279 744	57 374	29 848
9h00-15h29	46 901	429 114	94 296	65 567
15h30-17h59	62 569	350 333	84 166	40 301
18h00-23h59	20 798	232 137	77 278	20 571
24h-6h30	4 609	51 197	7 013	2 108
Jour	196 941	1 342 525	320 127	158 395
Différence / Fil de l'eau	31 282	- 30 456	- 5 851	5 025
Part modale	9,8 %	66,5 %	15,9 %	7,8 %

SITUATION AVEC TRAMWAY	Transports collectifs	Auto Conducteur	Auto Passager	Marche à pied et vélo
6h30-8h59	67 977	273 692	57 014	30 117
9h00-15h29	52 202	421 086	93 943	68 018
15h30-17h59	69 254	343 244	83 698	41 062
18h00-23h59	24 306	228 129	76 356	21 308
24h-6h30	5 226	50 444	6 981	2 168
Jour	218 965	1 316 595	317 992	162 673
Différence / Fil de l'eau	52 457	- 51 721	- 7 951	7 215
Part modale	10,9 %	65,3 %	15,8 %	8,1 %

5.4.1 Scénario sans tramway et BHNS à Lévis

Nous avons utilisé le modèle pour réaliser une estimation de l'impact d'une situation sans tramway où un BHNS serait en service sur la rive sud.

L'effet BHNS modélisé consiste en une légère amélioration de la vitesse commerciale qui est déjà assez bonne en situation sans tramway, une meilleure lisibilité au niveau du réseau de la ligne BHNS et à la prise en compte au niveau du choix modal d'un « bonus BHNS ». Comme indiqué précédemment, ce bonus est de 10 % alors qu'il est de 20 % dans le cas du tramway, l'effet d'image étant considéré supérieur dans le cas d'un transport collectif en site propre lourd. Sur la base de notre modélisation et des données disponibles, le projet de BHNS permet d'augmenter la demande en transports collectifs de l'ordre de 2500 déplacements journaliers par rapport à la situation sans tramway et sans BHNS. Cela représente environ 10 % de demande supplémentaire pour les flux concernés à Lévis ce qui n'est pas négligeable.

Au niveau du franchissement du Saint-Laurent, les estimations montrent qu'en situation sans tramway, à l'horizon 2041, les bus articulés aux 3 minutes sont en limites de capacité.

A partir des achalandages des situations 2011 et 2041 sans tramway avec BHNS et de l'évolution du nombre de déplacements TC au fil de l'eau sur la même période, une estimation simplifiée de l'évolution de l'achalandage inter-rives a été réalisée.

Cette estimation montre qu'avec une capacité de 94 passagers par bus articulé (110 x 0.85) et une fréquence de 3 minutes par sens, la desserte inter-rives atteint la saturation en 2032 sans tramway et avec BHNS (une réserve de capacité de 15 % est toujours disponible pour absorber les fluctuations au sein de l'heure de pointe) et 2034 en situation sans tramway et sans BHNS.

Tableau 73 – Partage modal dans le scénario sans tramway avec BHNS à Lévis

SITUATION SANS TRAMWAY AVEC BHNS	Transports collectifs	Auto Conducteur	Auto Passager	Marche à pied et vélo
6h30-8h59	62 727	278 767	57 320	30 216
9h00-15h29	47 505	426 415	94 668	67 291
15h30-17h59	63 459	348 684	84 138	41 088
18h00-23h59	21 207	231 260	77 295	21 022
24h-6h30	4 653	51 111	7 029	2 133
Jour	199 551	1 336 237	320 449	161 750
Différence / Fil de l'eau	33 893	- 36 744	- 5 529	8 381
Part modale	9,9 %	66,2 %	15,9 %	8,0 %

5.4.2 Scénario avec tramway : schéma d'exploitation A (variante 1)

Le test d'une variante avec le schéma d'exploitation A où les tramways se croisent à Saint-Roch et où les usagers sont donc obligés de correspondre sur certaines relations ne montre pas de différence importante avec les autres schémas d'exploitation. Il y a globalement toujours une offre TC de remplacement qui permet d'acheminer les usagers sans perte importante de part modale, certaines relations bénéficiant par ailleurs de fréquences plus importantes. C'est donc plus au niveau d'une analyse globale avantage – coût que l'on pourra conclure sur l'intérêt d'un tel scénario d'exploitation.

Tableau 74 – Partage modal dans le scénario avec tramway : variante 1

SITUATION AVEC TRAMWAY A18 2 Voies	Transports collectifs	Auto Conducteur	Auto Passager	Marche à pied et vélo
6h30-8h59	67 925	273 727	57 025	30 123
9h00-15h29	52 380	420 993	93 901	67 975
15h30-17h59	69 240	343 274	83 677	41 066
18h00-23h59	24 394	228 065	76 330	21 311
24h-6h30	5 232	50 442	6 980	2 165
Jour	219 171	1 316 501	317 914	162 639
Différence / Fil de l'eau	52 663	- 51 815	- 8 029	7 181
Part modale	10,9 %	65,3 %	15,8 %	8,1 %

5.4.3 Scénario avec tramway : schéma d'exploitation B (variante 2)

Le test d'une variante avec le schéma d'exploitation B ne montre pas non plus de différence importante avec les autres schémas d'exploitation. Il y a globalement toujours une offre TC de remplacement qui permet d'acheminer les usagers sans perte importante de part modale, certaines relations bénéficiant par ailleurs de fréquences plus importantes. C'est donc plus au niveau d'une analyse globale avantage – coût que l'on pourra conclure sur l'intérêt d'un tel scénario d'exploitation.

Tableau 75 – Partage modal dans le scénario avec tramway : variante 2

SITUATION AVEC TRAMWAY B18 2 Voies	Transports collectifs	Auto Conducteur	Auto Passager	Marche à pied et vélo
6h30-8h59	67 977	273 685	57 017	30 122
9h00-15h29	52 204	421 089	93 932	68 025
15h30-17h59	69 261	343 231	83 699	41 067
18h00-23h59	24 299	228 129	76 348	21 325
24h-6h30	5 224	50 446	6 980	2 168
Jour	218 965	1 316 579	317 975	162 706
Différence / Fil de l'eau	52 456	- 51 737	- 7 967	7 248
Part modale	10,9 %	65,3 %	15,8 %	8,1 %

5.4.4 Scénario avec tramway : schéma d'exploitation B (variante 3)

Cette variante se distingue du test précédent par la présence de 3 voies au niveau du Pont de Québec. Par rapport à la solution avec 2 voies, on déplace globalement 1500 déplacements journaliers de moins vers les transports collectifs. Cette estimation est probablement sous-estimée car le comportement des usagers face à ces difficultés de circulation est difficilement modélisable. Pour de plus amples analyses sur la problématique 2 voies / 3 voies du Pont de Québec, on se reportera à la partie 5.6.

Tableau 76 – Partage modal dans le scénario avec tramway : variante 3

SITUATION AVEC TRAMWAY B18 3 Voies	Transports collectifs	Auto Conducteur	Auto Passager	Marche à pied et vélo
6h30-8h59	67 323	274 276	57 135	30 067
9h00-15h29	52 183	421 111	93 934	68 021
15h30-17h59	68 596	343 871	83 783	41 007
18h00-23h59	24 289	228 140	76 347	21 325
24h-6h30	5 216	50 455	6 980	2 168
Jour	217 606	1 317 854	318 178	162 588
Différence / Fil de l'eau	51 098	- 50 462	- 7 765	7 130
Part modale	10,8 %	65,4 %	15,8 %	8,1 %

5.4.5 Scénario avec tramway : variante de cadencement des lignes de Lévis (variante 4)

L'analyse des fréquentations a montré que qu'une cadence aux 15 minutes pour le réseau régulier de Lévis pouvait sembler importante. Nous avons donc réalisé un test de sensibilité pour mesurer l'effet d'un passage à un cadencement aux 20 minutes. Comme le montre le tableau ci-dessous, le passage à 20 minutes affecte très peu l'achalandage global mais permettrait des réaliser des économies de coût d'exploitation significatives.

Pour les analyses avantages – coût ultérieures, la question de la cadence à 15 ou 20 minutes n'a globalement pas d'impact car elle doit être considérée à la fois en situation sans et avec tramway.

Tableau 77 – Partage modal dans le scénario avec tramway : variante 4

SITUATION AVEC TRAMWAY B18 L20 2 Voies	Transports collectifs	Auto Conducteur	Auto Passager	Marche à pied et vélo
6h30-8h59	67 912	273 729	57 037	30 122
9h00-15h29	52 200	421 092	93 932	68 025
15h30-17h59	69 191	343 282	83 716	41 068
18h00-23h59	24 294	228 132	76 350	21 325
24h-6h30	5 221	50 448	6 981	2 168
Jour	218 818	1 316 683	318 016	162 708
Différence / Fil de l'eau	52 310	- 51 633	- 7 927	7 251
Part modale	10,9 %	65,3 %	15,8 %	8,1 %

5.4.6 Scénario avec tramway : variantes du nombre de stations à Lévis (var. 5 et 6)

Compte tenu de l'achalandage très faible de plusieurs stations en rive sud, des tests ont été réalisés en considérant uniquement 13 stations au lieu des 19 initialement testées. Les résultats obtenus pour la variante 5 (avec 2 voies sur le Pont de Québec) et la variante 6 (3 voies sur le Pont de Québec) figurent ci-après.

Tableau 78 – Partage modal dans le scénario avec tramway : variante 5

SITUATION AVEC TRAMWAY B12 2 Voies	Transports collectifs	Auto Conducteur	Auto Passager	Marche à pied et vélo
6h30-8h59	68 061	273 613	57 006	30 120
9h00-15h29	52 256	421 052	93 917	68 024
15h30-17h59	69 351	343 166	83 676	41 064
18h00-23h59	24 320	228 110	76 343	21 326
24h-6h30	5 234	50 437	6 980	2 168
Jour	219 223	1 316 378	317 921	162 703
Différence / Fil de l'eau	52 714	- 51 938	- 8 022	7 245
Part modale	10,9 %	65,3 %	15,8 %	8,1 %

Tableau 79 – Partage modal dans le scénario avec tramway : variante 6

SITUATION AVEC TRAMWAY B12 3 Voies	Transports collectifs	Auto Conducteur	Auto Passager	Marche à pied et vélo
6h30-8h59	67 405	274 206	57 124	30 066
9h00-15h29	52 236	421 075	93 918	68 020
15h30-17h59	68 684	343 808	83 760	41 005
18h00-23h59	24 310	228 122	76 342	21 326
24h-6h30	5 226	50 446	6 979	2 168
Jour	217 860	1 317 657	318 124	162 585
Différence / Fil de l'eau	51 352	- 50 660	- 7 819	7 127
Part modale	10,8 %	65,4 %	15,8 %	8,1 %

Comme on peut le voir, l'achalandage est globalement meilleur dans les scénarios à 13 stations : les pertes de trafic au niveau des stations supprimées sont largement compensées par les gains de trafic liés à une amélioration de la vitesse commerciale permise par la suppression des arrêts. Cette variante peut donc s'avérer intéressante au niveau des analyses avantages – coût ultérieures car elle permet de réduire à la marge les coûts d'exploitation mais plus significativement les coûts d'investissements. Des stations supplémentaires peuvent être ajoutées par la suite en fonction des développements urbains.

Une analyse analogue a été effectuée en rive nord : certaines stations sont en effet peu achalandées (Capucins, Joffre/Lescarbot, Frank Carrel). Toutefois, la problématique est assez différente de celle de la rive sud car il existe généralement autour de ces stations plusieurs itinéraires concurrentiels qui reprennent des montées et descentes (il peut donc y avoir un effet « modèle » dans le peu d'achalandage observé. Par ailleurs, le tissu urbain est plus dense. On a donc au final conservé en rive nord ces stations moins bien achalandées.

5.4.7 Scénario avec tramway : schéma d'exploitation C – variante de tracé à Limoilou (var. 8)

Conformément au devis, nous avons réalisé un passage du modèle avec un tracé légèrement différent au niveau de Limoilou.

Tableau 80 – Partage modal dans le scénario avec tramway : variante de tracé à Limoilou

SITUATION AVEC TRAMWAY C18 Variante Limoilou 2 Voies	Transports collectifs	Auto Conducteur	Auto Passager	Marche à pied et vélo
6h30-8h59	66 701	274 738	57 251	30 110
9h00-15h29	52 250	421 042	93 933	68 024
15h30-17h59	68 372	343 911	83 885	41 088
18h00-23h59	24 411	228 054	76 337	21 298
24h-6h30	5 211	50 450	6 990	2 167
Jour	216 945	1 318 196	318 397	162 687
Différence / Fil de l'eau	50 437	- 50 120	- 7 546	7 229
Part modale	10,8 %	65,4 %	15,8 %	8,1 %

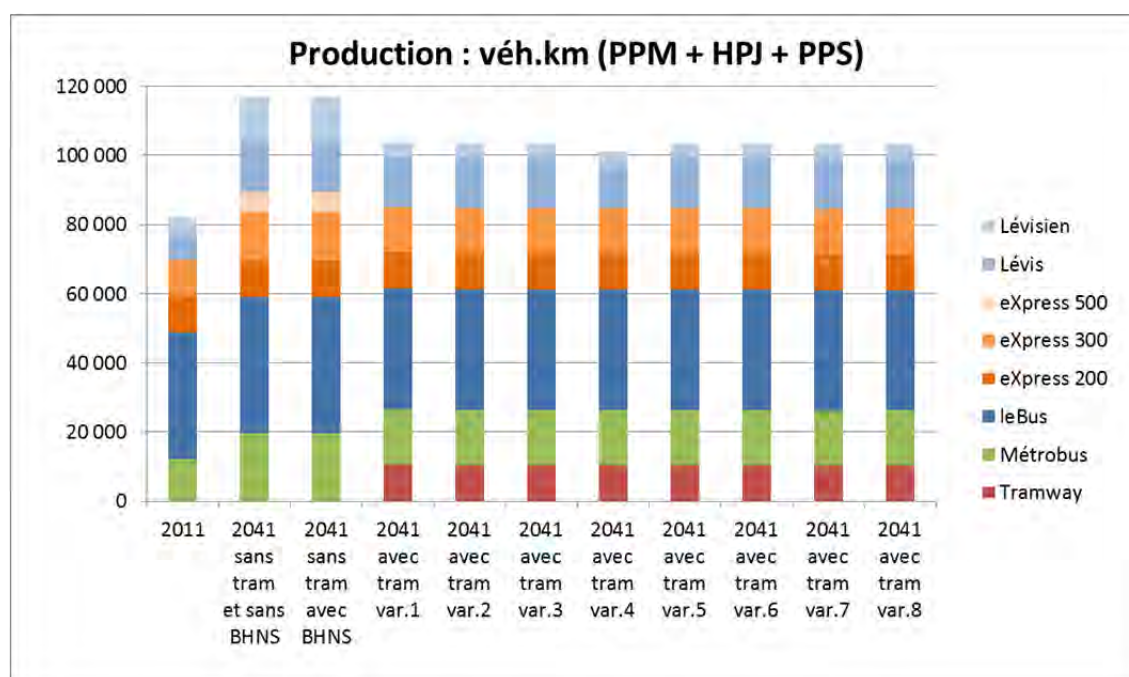
Le gain de trafic par rapport à la situation au fil de l'eau est inférieur d'environ 4 % au résultat obtenu avec le tracé de base. Le tracé variante un peu plus long pénalise les déplacements de bout en bout.

5.4.8 Synthèse des différentes variantes

Les graphiques ci-après présentent pour les différents scénarios et variantes :

- des éléments de production exprimés en véhicules x km,
- des éléments d'achalandage exprimés en nombres de montées (voyages), en nombre de déplacement et en taux de correspondance,
- des éléments d'efficacité commerciale en nombres de voyages rapportés au nombre de véhicules x km,

Figure 5-38 – Comparaison des variantes en termes de production



Comme on peut le constater, les scénarios sans tramway nécessitent une production en véh.km plus importante que les scénarios avec tramway. Par rapport à la situation 2011, la situation sans tramway en 2041 et sans BHNS voit sa production augmenter de 43 % alors que pour les scénarios avec tramway, cette augmentation est de l'ordre de 26 %. Ces augmentations ramenées en taux de croissance annuel moyen correspondent respectivement à 1,2 % et 0,8 % par an ce qui est comparable aux augmentations observées ces dernières années.

Figure 5-39 – Comparaison des variantes en termes d'achalandage

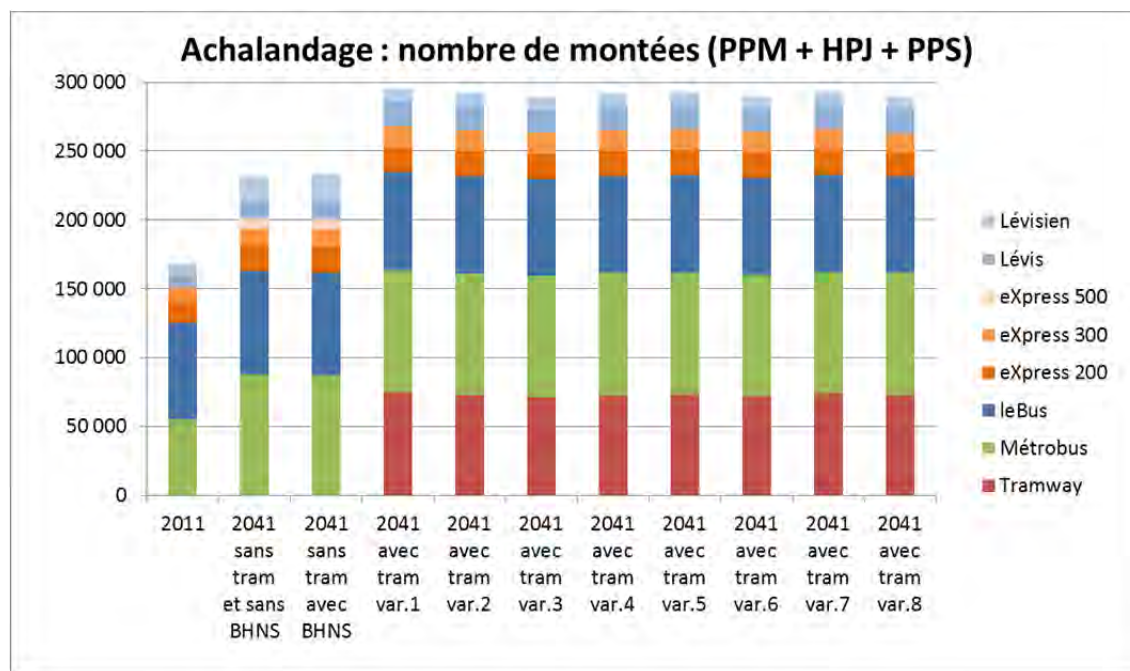
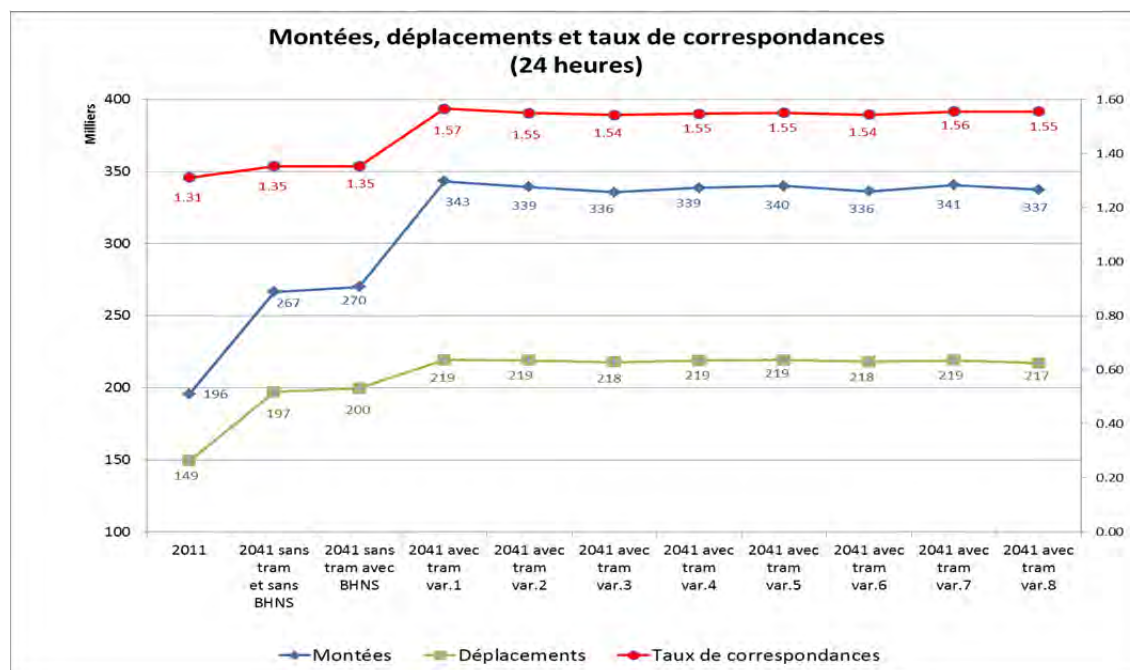
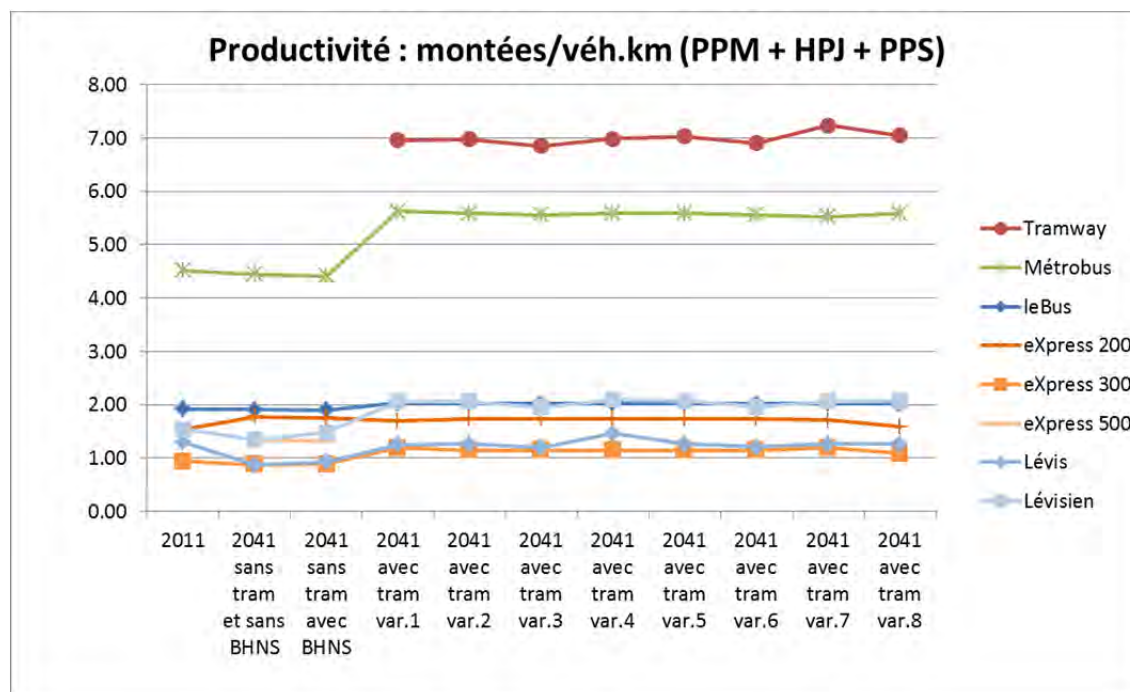


Figure 5-40 – Comparaison des variantes en termes d'achalandage, déplacements et taux de correspondances



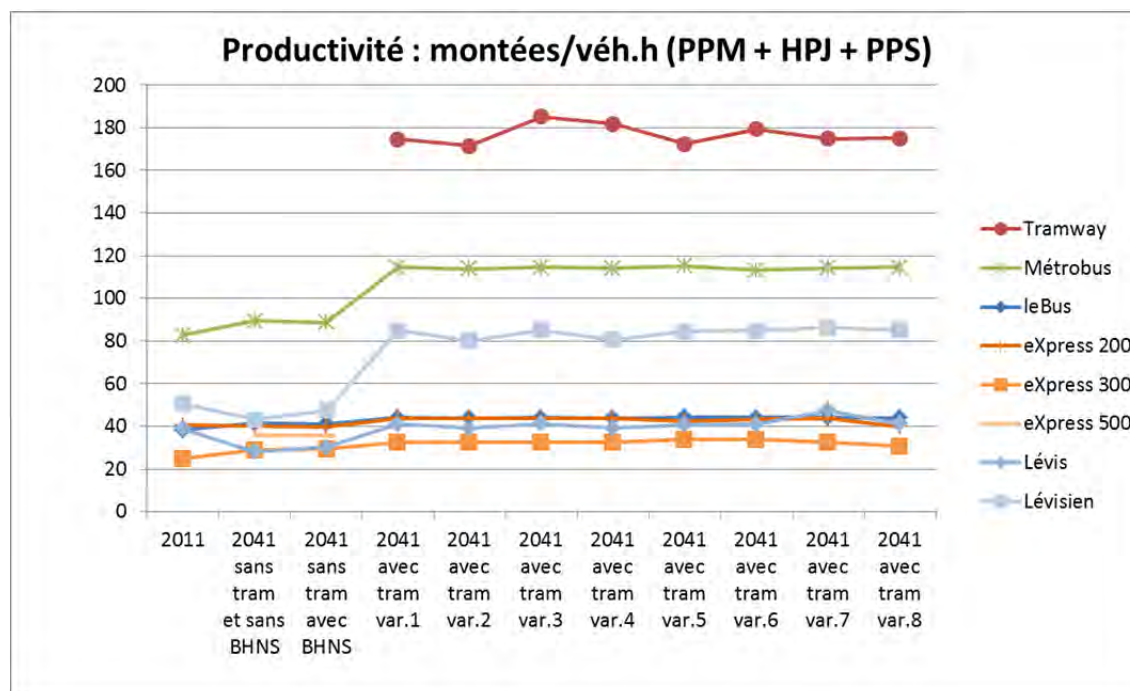
En termes d'achalandage, les scénarios sans tramway d'une part et avec tramway d'autre part présentent des volumes assez proches : c'est aussi ce qu'ont montré les résultats de partage modal des paragraphes précédents. Les nombres de déplacements TC dans les scénarios avec tramway sont cependant assez nettement supérieurs à ceux 2011 ou de la situation sans tramway.

Figure 5-41 – Comparaison des variantes en termes d'efficacité commerciale (montées/véh.km)



Il en résulte une meilleure efficacité commerciale des scénarios avec tramway qui permettent également de renforcer la productivité des autres composantes du réseau et notamment des Métrobus et des Lévisiens.

Figure 5-42 – Comparaison des variantes en termes d'efficacité commerciale (montées/véh.h)



Au niveau du franchissement du Saint-Laurent, le Tableau 81 montre les niveaux de capacité résiduelle en fonction des horizons et des modes de franchissement.

Force est de noter qu'à l'horizon 2041, pour les scénarios sans tramway, la réserve de capacité maximale est comprise entre 0 % et 5 % sans prendre en compte une marge de manœuvre pour absorber les fluctuations au sein de l'heure de pointe. Dans le cas contraire, les bus articulés avec une fréquence de passage de 3 minutes sont en manque de capacité. Par ailleurs, pour les scénarios avec tramway à l'horizon 2041, les rames de 33 mètres sont en limite de capacité pour assurer la desserte inter-rives.

Tableau 81 – Synthèse de demande/capacité par heure au niveau du franchissement du Saint-Laurent

	2011	2041 Sans tram sans BHNS	2041 Sans Tram avec BHNS	2041 Tram 3 voies pont de Québec	2041 Tram 2 voies pont de Québec
Déplacements TC	1 200	2 100	2 200	3 000	3 300
Résiduel (max) bus	45 %	5 %	0 %		
Résiduel (85 %) bus	36 %	-12 %	-18 %		
Résiduel (max) tram 33m				25 %	18 %
Résiduel (85 %) tram 33m				12 %	3 %
Résiduel (max) tram 43m				42 %	37 %
Résiduel (85 %) tram 43m				32 %	25 %

5.5 Résultats des affectations routières

5.5.1 Augmentations générales de débits et temps de parcours

Suite au bouclage final pour les différents scénarios à l'étude, il est intéressant de comparer l'évolution des résultats de l'affectation routière entre les différents scénarios, tant au niveau des temps de parcours que du nombre de déplacements autos-conducteurs. Le Tableau 82 présente les résultats globaux de l'affectation routière en 2041 pour les heures de pointe du réseau sans tramway.

Tableau 82 – Résultats globaux de l'affectation routière – 2041, réseau sans tramway

	7h-8h	16h-17h
Distance moyenne (km)	25,6	25,7
Temps moyen (min)	32,6	33,6
Vitesse moyenne (km/h)	47,1	45,9
Nombre de déplacements	171 395	203 806
Évolution Déplacements vs 2011	+ 13,8 %	+ 18,0 %
Évolution Vitesse vs 2011	- 10,1 %	- 14,0 %

Les résultats démontrent une croissance importante du nombre de déplacements entre 2011 et 2041. Cette situation se reflète sur la vitesse moyenne d'un déplacement sur le réseau alors qu'une diminution de plus de 10 % est remarquée pour les deux heures de pointe. Le Tableau 83 présente les résultats globaux de l'affectation routière pour les heures de pointe du réseau avec tramway (Pont de Québec à 1 voie par direction).

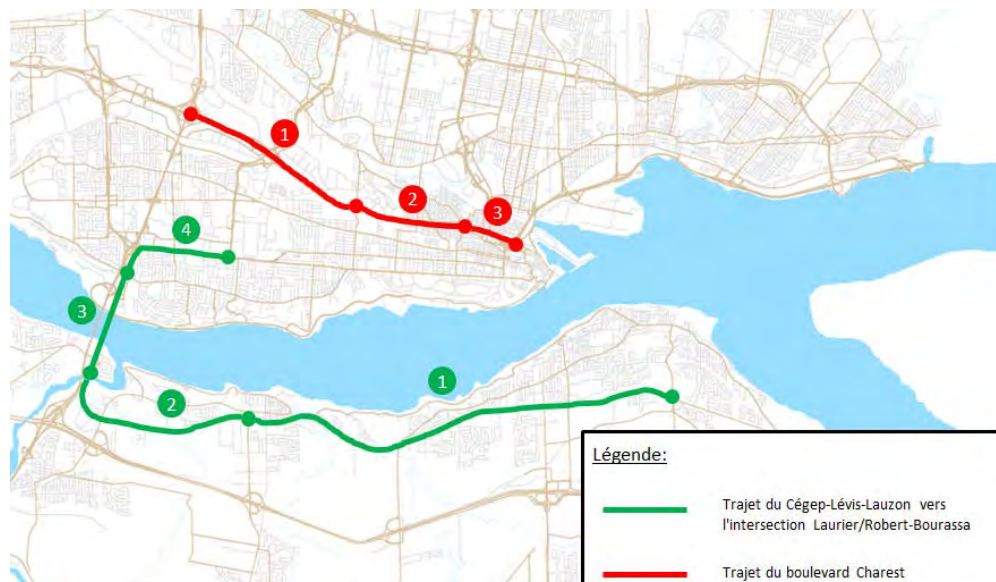
Tableau 83 – Résultats globaux de l'affectation routière pour le réseau avec tramway

	7h-8h	16h-17h
Distance moyenne (km)	25,7	25,7
Temps moyen (min)	32,4	33,3
Vitesse moyenne (km/h)	47,6	46,3
Nombre de déplacements	166 799	198 612
Évolution Déplacements vs. 2011	+ 10,7 %	+ 15,0 %
Évolution Vitesse vs 2011	- 9,2 %	- 13,3 %
Évolution Déplacements vs 2041 sans tramway	- 2,7 %	- 2,5 %
Évolution Vitesse vs 2041 sans tramway	+ 1,1 %	+ 0,9 %

Les résultats démontrent encore une fois une croissance des déplacements entre 2011 et 2041 avec une diminution des vitesses de déplacement. La comparaison entre le scénario sans tramway et celui avec tramway permet cependant d'observer une baisse du nombre de déplacements autos-conducteurs en présence du tramway, puisque celui-ci diminue la part modale auto-conducteur et, du même coup, le nombre de déplacements autos. Par conséquent, les vitesses de déplacements sont globalement un peu plus élevées.

Des temps de parcours sur deux trajets pour divers scénarios (2011, 2041 sans tramway et 2041 avec tramway – Pont de Québec à 1 voie par direction) ont été calculés afin de démontrer l'évolution des vitesses de déplacement. La Figure 5-43 illustre les deux trajets étudiés.

Figure 5-43 – Temps de parcours entre les différents scénarios sur deux trajets précis



Le Tableau 84 présente les temps de parcours pour un trajet partant du Cégep Lévis-Lauzon et se terminant à l'intersection Laurier/Robert-Bourassa à Québec. Ce trajet a été séparé en 4 tronçons.

Tableau 84 – Temps de parcours entre les différents scénarios

Intersection 1	Intersection 2	Temps 2011 (min)	Temps Sans tram (min)	Pénalité (min)	Temps Avec Tram
Monseigneur-Bourget/Boulevard de la Rive-Sud	4 ^e avenue/Boulevard de la Rive-Sud	14,2	14,57	4,67 (Note 1)	17,65
4 ^e avenue/Boulevard de la Rive-Sud	Amont du Pont de Québec (après le pont de la rivière Chaudière)	6,25	6,71	1,00 (Note 1)	5,56
Amont Pont de Québec	Aval Pont de Québec (après le viaduc du Chemin Saint-Louis)	7,15	9,65	1,00 (Note 2)	13,28
Aval Pont de Québec	Laurier/Robert-Bourassa	9,55	10,87	1,17 (Note 3)	9,02
Total		37,15	41,8		45,51

Notes :

- (1) Les pénalités sur le boulevard de la Rive-Sud à Lévis correspondent à un montant unitaire de 20 secondes par intersection appliquées aux intersections à feux comprises entre les axes Monseigneur-Bourget et le chemin du Sault. Ces pénalités forfaitaires ont été appliquées en l'absence de données plus précises sur le type d'insertion du tramway au moment de la modélisation.
- (2) La pénalité de 1 minute entre l'amont et l'aval du pont de Québec correspond à deux fois 30 secondes appliquées aux deux extrémités du pont (voir annexe E)

- (3) La pénalité de 1.17 min entre le pont de Québec (nord du chemin st-Louis) et l'intersection Laurier / Robert-Bourassa résulte de l'application de diverses pénalités aux intersections à feu, selon les modalités décrites à l'annexe E.

L'analyse de ces temps de parcours permet de remarquer que les temps de parcours 2041 sont plus élevés que ceux de 2011. Bien que pour les résultats globaux de l'affectation routière, le réseau sans tramway présente une vitesse moyenne de déplacements moins élevée que le réseau avec tramway, le cas inverse est observé pour ce trajet, puisque plusieurs modifications apportées au réseau avec tramway se trouvent sur ce trajet : pénalités de mouvement aux différentes intersections à feux de circulation et diminution de la capacité du Pont de Québec (reflétant la baisse de vitesse de 70 km/h à 50 km/h).

L'analyse du premier tronçon du trajet permet d'observer l'impact des pénalités de mouvement entre le réseau sans et avec tramway. La différence entre les deux temps n'est pas exactement égale aux pénalités de mouvements ajoutées. En effet, les débits observés sur le boulevard de la Rive-Sud sont inférieurs dans le réseau avec tramway, ce qui a pour effet, puisque les temps de parcours sont calculés à l'aide de courbes volume-délai, de diminuer légèrement les temps de parcours.

Bien que le temps calculé sur le deuxième tronçon soit inférieur pour le réseau avec tramway, et ce, malgré l'ajout de pénalités, cette situation s'explique par le fait que les débits sont grandement inférieurs entre les deux scénarios. En effet, les utilisateurs préfèrent utiliser le pont Pierre-Laporte au lieu d'emprunter le pont de Québec, puisque la capacité de celui-ci a été diminuée de plus de la moitié.

Sans surprise, la traversée du pont de Québec est beaucoup plus difficile dans le scénario avec tramway. Bien que les pénalités d'insertion du tramway entraînent un ralentissement, c'est surtout la perte de capacité qui influence majoritairement l'augmentation du temps de parcours.

Finalement, tout comme pour le deuxième tronçon, puisque les débits sont inférieurs sur le Pont de Québec, un bon nombre d'automobilistes décident de modifier leur trajet et de ne plus passer par le boulevard Laurier. De ce fait, le temps de parcours observé y est plus faible avec tramway que sans tramway.

Le Tableau 85 présente les résultats pour un trajet sur le boulevard Charest.

Tableau 85 – Temps de parcours pour divers scénarios - Boulevard Charest

Intersection 1	Intersection 2	Temps 2011 (min)	Temps Sans tram (min)	Pénalité (min)	Temps Avec Tram
Boulevard Charest (à la hauteur d'Henri IV)	Boulevard Charest / Avenue Saint-Sacrement	8,2	9,00	0,84	7,85
Boulevard Charest / Avenue Saint-Sacrement	Boulevard Charest / Boulevard Langelier	5,9	6,32	1,47	6,64
Boulevard Charest / Boulevard Langelier	Boulevard Charest / Boulevard Jean-Lesage	2,74	2,77	1,96	4,12
Total		16,84	18,09		18,61

Bien que les pénalités soient nombreuses sur le boulevard Charest, la diminution du nombre de voies de circulation sur celui-ci joue un rôle direct avec l'évolution des temps de parcours. En effet, puisque la capacité du boulevard est grandement diminué, les débits observés sur celui-ci sont grandement inférieurs.

Afin de bien comprendre l'évolution des temps de parcours, plusieurs autres trajets se trouvent à l'annexe I.

5.5.2 Taux de saturation

Le Tableau 86 présente l'évolution des ratios volume / capacité des huit tronçons illustrés à la section 5.1.4 entre la première itération et le bouclage final pour le scénario avec tramway – Pont de Québec à 2 voies. L'annexe J montre les résultats détaillés des débits et v/c après bouclage, le matin et l'après-midi (6h à 9h et 15h à 18h).

Tableau 86 – Ratio v/c des huit tronçons étudiés pour l'heure de pointe du matin – 2041, pont de Québec à 2 voies

Tronçon	Ratio v/c Matrice fil de l'eau	Ratio v/c Bouclage final
Pont de Québec	1,83	1,36
Pont Pierre-Laporte*	1,63	1,45
Autoroute Laurentienne	1,37	1,26
Autoroute Félix-Leclerc	1,11	1,08
Autoroute Duplessis	1,03	0,95
Autoroute Henri-IV	1,17	1,13
Autoroute Robert-Bourassa	1,12	1,07
Autoroute Dufferin-Montmorency	1,10	1,00

* : Capacité théorique de 6000 véh/h, cependant des comptages passés montrent que la valeur de 6500 véh/h est atteignable

Bien que les ratios v/c aient grandement diminué entre la première affectation et le bouclage final, plusieurs tronçons sont encore bien au-dessus de la capacité du tronçon, en particulier sur les deux ponts permettant la traversée vers Québec. Afin de s'assurer que l'hypothèse de changement d'heure soit valide, il faut que le ratio v/c de la période soit inférieur à 1. Dans le cas positif, tous les véhicules désirant circuler sur ce tronçon peuvent le faire durant la période. Le Tableau 87 présente les ratios v/c du même scénario pour la période du matin.

Tableau 87 – Ratio v/c des huit tronçons étudiés pour la période du matin (6h à 9h) – 2041, pont de Québec à 2 voies

Tronçon	Ratio v/c Matrice fil de l'eau
Pont de Québec	0,96
Pont Pierre-Laporte	1,22
Autoroute Laurentienne	1,14
Autoroute Félix-Leclerc	0,94
Autoroute Duplessis	0,64
Autoroute Henri-IV	0,98
Autoroute Robert-Bourassa	0,89
Autoroute Dufferin-Montmorency	0,59

Les résultats présentés au tableau précédent démontrent une situation problématique pour la traversée du fleuve Saint-Laurent. En effet, puisqu'il s'agit des deux seules options routières pour accéder à la ville de Québec (hormis le traversier, mais dont la capacité est faible), la somme des débits sur les deux ponts comparée avec la capacité des deux ponts donne un v/c de 1,17. De ce fait, les trois heures de la période du matin ne sont pas théoriquement suffisantes pour faire passer tous les véhicules qui désirent le faire. Cependant, ce calcul résulte de choix d'une capacité théorique de 6000 véh/h sur le pont Pierre Laporte et de 1410 véh/h sur le pont de Québec. Un ajout de 1500 véh à la capacité du pont Pierre-Laporte porterait le ratio v/c sur 3h à 1,10.

La situation est moins problématique pour l'autoroute Laurentienne, alors que d'autres options s'offrent aux véhicules. La section suivante traitera donc du cas particulier des ponts.

5.6 Déplacements sur les ponts (VP et TC)

La présente partie effectue le bilan des usagers des ponts tels que modélisés dans les différents scénarios afin d'évaluer les équilibres globaux entre les deux modes de transport. Les périodes de pointe dans cette partie sont d'une durée de 2h30, cohérentes avec celles de l'enquête OD, entre 6h30 et 9h et entre 15h30 et 18h. Les ratios v/c routiers vont donc légèrement différer de ceux de la partie précédente. Pour les besoins des estimations, un ratio de 2/3 a été considéré pour passer de la période 6-7h à la période 6h30-7h.

5.6.1 Bilan Sans tramway (2011 et 2041)

Le Tableau 88 présente le bilan des déplacements sur les ponts pour le scénario de 2011.

Tableau 88 – Bilan des déplacements dans le sens de la pointe sur les ponts pour le scénario 2011

	Déplacements auto	Déplacements TC	Total	Part modale TC
PPM	22 844 x 1,2 = 27 413	2 456	29 869	8,2 %
PPS	22 306 x 1,2 = 26 767	2 334	29 101	8,0 %

Les déplacements auto sont multipliés par un facteur de 1,2, puisqu'un taux d'occupation de 1,2 personne par véhicules est considéré. Il est cependant intéressant de regarder si tous les autos empruntant les ponts sont capables de circuler lors de la période. Le Tableau 89 présente donc les rapports v/c pour chaque période.

Tableau 89 – Rapport v/c des ponts dans le sens de la pointe pour le scénario 2011

	Débit	Capacité période	V / C
PPM	22 844	23 500*	0,97
PPS	22 306	23 500*	0,95

* : 23 500 résulte d'une capacité horaire de 6000 véh/h sur le pont Pierre-Laporte et de 3400 véh/h sur le pont de Québec durant une période de 2,5 heures

Les deux ponts ne sont pas tout à fait à saturation en 2011 pour chacune des périodes. Il sera intéressant d'observer l'évolution des déplacements et des rapports v/c pour le scénario sans tramway en 2041. Le Tableau 90 présente le bilan des déplacements sur les ponts pour ce scénario.

Tableau 90 – Bilan des déplacements dans le sens de la pointe sur les ponts pour le scénario sans tramway 2041

	Déplacements auto	Déplacements TC	Total	Part modale TC
PPM	25 156 x 1,2 = 30 187	4 250	34 437	12,3 %
PPS	26 620 x 1,2 = 31 944	4 145	36 089	11,5 %

Tableau 91 – Rapport v/c des ponts dans le sens de la pointe pour le scénario sans tramway 2041

	Débit	Capacité période	V / C
PPM	25 156	23 500*	1,07
PPS	26 620	23 500*	1,13

* : 23 500 résulte d'une capacité horaire de 6000 véh/h sur le pont Pierre-Laporte et de 3400 véh/h sur le pont de Québec durant une période de 2,5 heures

Entre 2011 et 2041, les déplacements totaux ont augmenté de 15 % pour la période du matin et de 24 % pour la période du soir. Les déplacements auto ont augmenté de 10 % le matin et 20 % le soir, alors que les déplacements TC ont augmenté de plus de 70 % pour les deux périodes. Cette augmentation des déplacements TC contribue à l'augmentation de la part modale TC d'environ 65 % entre 2011 et 2041. L'analyse des rapports v/c permet de constater que les ponts sont à saturation pour ce scénario, alors que le rapport v/c observé le matin est de 1.07 et de 1.13 le soir.

5.6.2 Bilan – Scénario avec tramway – Pont de Québec à 3 voies

Le Tableau 92 présente le bilan des déplacements pour le scénario avec tramway et un pont de Québec à 3 voies de circulation.

Tableau 92 – Bilan des déplacements dans le sens de la pointe sur les ponts - Scénario avec tramway du pont de Québec à 3 voies

	Déplacements auto	Déplacements TC	Total	Part modale TC
PPM	23 750 x 1,2 = 28 500	5 936	34 436	17,2 %
PPS	25 233 x 1,2 = 30 280	5 694	35 974	15,8 %

L'insertion du tramway sur le Pont de Québec a un effet direct sur le nombre de déplacements TC et ainsi sur le nombre de déplacements auto, puisque le total des déplacements d'un scénario à l'autre est similaire pour la traversée des ponts. En effet, la part modale du TC est doublée en comparaison avec le scénario 2011 et augmente de 70 % en comparaison avec le scénario 2041 sans tramway. La diminution du nombre de déplacements auto est également liée à la diminution de capacité sur le pont de Québec.

Tableau 93 – Rapport v/c dans le sens de la pointe – Scénario avec tramway du pont de Québec à 3 voies

	Débit	Capacité période	V / C
PPM	23 750	22 050*	1,08
PPS	25 233	22 050*	1,14

* : 22 050 résulte d'une capacité horaire de 6000 véh/h sur le pont Pierre-Laporte et de 2820 véh/h sur le pont de Québec durant une période de 2,5 heures

Tout comme pour le réseau sans tramway, les v/c observés sur les ponts sont supérieurs à 1. Ils sont d'ailleurs globalement similaires dans les deux scénarios, les baisses de véhicules étant compensées par la baisse de capacité routière engendrée par l'insertion du tramway.

5.6.3 Bilan – Scénario avec tramway – Pont de Québec à 2 voies

Le Tableau 94 présente le bilan des déplacements pour le scénario avec tramway et un pont de Québec à 2 voies de circulation.

Tableau 94 – Bilan des déplacements dans le sens de la pointe sur les ponts - Scénario avec tramway du pont de Québec à 2 voies

	Déplacements auto	Déplacements TC	Total	Part modale TC
PPM	23 182 x 1,2 = 27 818	6 556	34 374	19,1 %
PPS	24 612 x 1,2 = 29 534	6 337	35 871	17,7 %

La capacité routière du pont de Québec est significativement diminuée dans ce scénario, qui montre une augmentation du nombre de déplacements TC et une diminution du nombre de déplacements auto. Les rapports v/c routiers sont alors les suivants.

Tableau 95 – Rapport v/c dans le sens de la pointe – Scénario avec tramway du pont de Québec à 2 voies

	Débit	Capacité période	V / C
PPM	23 182	18 525*	1,25
PPS	24 612	18 525*	1,33

* : 18 525 résulte d'une capacité horaire de 6000 véh/h sur le pont Pierre-Laporte et de 1410 véh/h sur le pont de Québec durant une période de 2,5 heures

Les rapports v/c sont grandement supérieurs à 1, ce qui reflète une situation de saturation sur le réseau routier.

5.6.4 Synthèse

L'exercice de bilan des déplacements pour chacun des scénarios 2041 permet de démontrer que le modèle minimise les effets de congestion sur les deux ponts, en particulier dans le scénario où le pont de Québec est à une voie par direction. En effet, dans ce scénario, et malgré l'ajout de pénalités pour simuler un changement d'heure de départ de la plupart des usagers ainsi que la considération de l'étalement de la pointe dans les conditions de circulation, le transfert modal résultant n'est pas suffisant pour empêcher une saturation des ponts sur les deux périodes de pointe. Il est donc probable que les déplacements TC estimés pour ce scénario puissent en réalité être plus élevés. Il est aussi à conclure que ce scénario implique des conditions de circulation inter-rives nettement altérées par rapport aux deux autres scénarios évalués en 2041 (sans tram ou avec pont de Québec à trois voies).

Si l'on considère dans le cas du scénario du pont de Québec à une voie par direction que la limite maximum de surcapacité est de l'ordre de 15 % (soit approximativement ce qui se passe dans la situation avec tramway à la PPS), le nombre de déplacements supplémentaires maximum susceptibles d'être détournés vers le tramway peut être estimé à 6 000 déplacements journaliers. Il s'agit bien ici d'un maximum, l'ensemble des utilisateurs concernés n'ayant pas forcément la possibilité d'utiliser effectivement les transports collectifs. En considérant que seuls 2/3 de ces voyageurs peuvent effectivement utiliser les transports collectifs, cela correspond à un supplément de 7 % d'achalandage pour les lignes de tramway desservant la rive sud. Cela ne remet pas en cause l'équilibre des parts modales sur l'ensemble de l'agglomération mais renforce encore la part modale des transports collectifs pour les déplacements inter-rives. Par contre, l'analyse des serpents de charge montre que dans ce cas, on serait nettement en limite de capacité pour le tramway sur la section la plus chargée.

6 CONCLUSIONS

Les différentes activités déployées dans le lot 3.2 ont permis de développer dans un temps relativement court un modèle multimodal de prévisions des déplacements pour l'agglomération de Québec. Ce modèle a utilisé de manière intensive l'ensemble des données disponibles et notamment l'enquête OD 2011, que ce soit pour la prévision de la demande au fil de l'eau ou pour l'analyse du choix modal. Cet outil reproduit de manière satisfaisante les comportements modaux et les pratiques de déplacement observées pour l'année de base 2011.

Ce modèle a ensuite été mis en œuvre à l'horizon 2041 sur un scénario sans tramway et un scénario avec tramway. Plusieurs variantes dont celles spécifiées dans le devis (prise en compte d'un scénario sans tramway avec BHNS à Lévis et variante de tracé du tramway à Limoilou) ont été étudiées.

L'analyse des différentes prévisions permet d'aboutir aux conclusions suivantes :

- Les évolutions sociodémographiques à long terme ne sont pas favorables à l'utilisation des transports collectifs. Par rapport à 2011, elles conduisent en situation au fil de l'eau, c'est-à-dire sans modification des offres de transports, à une érosion de la part modale des transports collectifs et des modes actifs. Les causes principales en sont notamment une mobilité individuelle en baisse liée au vieillissement de la population et un développement de la motorisation pour les femmes de statut travailleur.
- Le développement de l'offre de transports collectifs et la mise en service du tramway permettent cependant de regagner le terrain perdu et d'augmenter sensiblement la part des transports collectifs.
- En situation avec tramway, les gains d'achalandage prévus par le lot 3.2 (de l'ordre de +30 % par rapport à la situation au fil-de-l'eau) sont tout à fait comparables avec ce qui a pu être observé en France dans des agglomérations où le tramway a été un succès. Compte tenu de son achalandage, le tramway constitue à l'horizon 2041 une composante majeure du réseau de transports collectifs de l'agglomération.
- Par rapport au scénario sans tramway, la mise en service du tramway permet de renforcer la part modale des transports collectifs de près de 22 000 déplacements quotidiens soit plus de 11 %. Par rapport au scénario sans tramway avec BHNS, la mise en service du tramway permet de renforcer la part modale des transports collectifs de près de 19 500 déplacements quotidiens soit plus de 9,5 %. De plus, la mise en service du tramway permet de renforcer nettement la performance de l'ensemble du réseau de transports collectifs.
- Le scénario sans tramway avec BHNS permet de renforcer la part modale des transports collectifs de près de 2 500 déplacements quotidiens par rapport à la situation sans tramway sans BHNS. Cela représente environ 10 % de demande supplémentaire pour les flux concernés à Lévis ce qui n'est pas négligeable.
- Le tramway est donc un bon outil du Plan de Mobilité Durable mais ce ne peut être l'unique instrument d'un changement profond des pratiques de mobilité. Il permet sur un certain nombre de relations - déplacements inter-rives notamment - de doubler la part modale des transports collectifs. Sur d'autres relations où la part modale est déjà élevée, le doublement n'est pas véritablement envisageable, même en développant très significativement l'offre. D'autres leviers existent comme la mise d'une politique urbaine nettement plus volontariste que le scénario qui a été envisagé en matière de limitation de l'offre de stationnement.
- Au niveau du franchissement du Saint-Laurent, les estimations montrent que les flux TC en situation avec tramway ne pourraient être pas être satisfaits avec un mode moins capacitaire que le tramway de 43 m. En situation sans tramway les estimations montrent qu'on est en limite de capacité avec des bus articulés aux 3 minutes.
- Par rapport à la problématique du Pont de Québec et à la comparaison des variantes à 2 et 3 voies, on arrive ici à la limite de l'exercice en termes de modélisation : on a tenu compte de la problématique de l'étalement de la pointe et des pénalités de changement d'heure de départ ce qui conduit à un report modal légèrement supérieur mais il est possible que l'on minimise les difficultés de circulation compte tenu de la prise en compte spécifique des temps de parcours dans le modèle, issue des comportements recensés dans l'enquête OD 2011. À long terme, la solution à 2 voies sur le pont de Québec est sans doute à même d'induire des changements plus nets de pratique modales et constitue un « réservoir » de part modale par rapport à nos estimations. Ainsi, dans l'hypothèse où l'on se limiterait dans le cas du Pont de Québec à 2 voies à 15 % de surcapacité routière, le transfert de 2/3 des utilisateurs excédentaires de la voiture vers le tramway conduirait à

un gain de 7 % d'achalandage pour les lignes desservant Lévis. Cela ne remettrait pas en cause l'équilibre des parts modales au sein de l'agglomération mais renforcerait l'utilité du tramway pour les déplacements inter-rives qui arriverait alors en limite de capacité. En revanche, la variante du pont de Québec à 2 voies implique potentiellement une dégradation significative des conditions de circulation aux approches des ponts.

- L'analyse des parcs de stationnement incitatifs est également un thème très difficile à aborder par la modélisation dans le cas de Québec car les pratiques actuelles sont assez limitées et l'échantillonnage de l'enquête 2011 insuffisant. L'analyse par cas comparables nous semblent ici plus adaptée (cf. Annexe K). Les principales recommandations qui en découlent sont la nécessité d'avoir une offre comprise entre 3 000 à 4 000 cases à terme. Cette offre sera développée sur les deux rives, non seulement autour des terminus des lignes de tramways, mais autour des terminus des lignes structurantes (Métrobus, Lévisiens et principales lignes leBus et eXpress). Enfin, la totalité des trafics associée à ces parcs n'est pas intégrée à nos estimations, notamment pour des zones que la mise en service de parcs de stationnement incitatifs permettrait de connecter au réseau de transports collectifs.
- De manière générale, le tramway permet une meilleure productivité du système de transports collectifs. Les différentes variantes d'exploitation ont des résultats peu contrastés en termes de report modal, des gains sur certaines relations se trouvant contrebalancés par des pertes sur d'autres. C'est plus en coût d'exploitation ou en niveau d'investissement que les différences peuvent apparaître. Ainsi la variante à 13 stations côté Lévis conduit à des trafics similaires à la variante à 19 stations mais pour un coût inférieur : elle constitue donc une piste intéressante pour la suite des études et notamment les analyses avantages-coûts.



Le consortium



setec

4700, boulevard, Wilfrid-Hamel, Québec (Québec) G1P 2J9
T : 418.871.2444 | F : 418.871.5868
www.aecom.com