



**HAL**  
open science

# Les composantes de la modélisation d'un projet de transport urbain : la spécificité de la Grande Région de Montréal

Baptiste Frioux

## ► To cite this version:

Baptiste Frioux. Les composantes de la modélisation d'un projet de transport urbain : la spécificité de la Grande Région de Montréal. Gestion et management. 2012. dumas-02913082

**HAL Id: dumas-02913082**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-02913082>**

Submitted on 7 Aug 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Baptiste Frioux – Mémoire de stage  
Master Transports Urbains et Régionaux de Personnes  
Cohabitation ENTPE – Université Lyon 2  
20<sup>ème</sup> promotion – 2011/2012

INFORMATION STRATÉGIQUE ET AFFAIRES MÉTROPOLITAINES (ISAM)

# Les composantes de la modélisation d'un projet de transport urbain

La spécificité de la Grande Région de Montréal

SEPTEMBRE 2012



AGENCE MÉTROPOLITAINE  
DE TRANSPORT

Membre du jury :

Patrick Bonnel (Laboratoire d'Économie des Transports – ENTPE - Responsable du Master)

Daniel Bergeron (AMT - Vice-président Information stratégique et Affaires Métropolitain)

Timothy Spurr (AMT – Spécialiste Modélisation et Analyses)





## Fiche bibliographique

<b>[Intitulé du diplôme]</b> Master professionnel Transports Urbains et Régionaux de Personnes (TURP)		
<b>[Tutelles]</b> - Université Lumière Lyon 2 ; - Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE) ;		
<b>[Titre]</b> Les composantes de la modélisation d'un projet de transport urbain		
<b>[Sous-titre]</b> La spécificité de la Grande Région de Montréal		
<b>[Auteur]</b> Baptiste FRIOUX		
<b>[Membres du Jury (nom et affiliation)]</b> Patrick BONNEL (Laboratoire d'Économie des Transports - ENTPE - Responsable du Master) Daniel BERGERON (AMT - Vice-président Information stratégique et Affaires Métropolitain) Timothy SPURR (AMT – Spécialiste Modélisation et Analyses)		
<b>[Nom et adresse du lieu de stage]</b> Agence Métropolitaine de Transport 700, rue De La Gauchetière Ouest - 26e étage Montréal (Québec) - H3B 5M2 Canada		
<b>[Résumé]</b> La connaissance de la future mobilité est un levier d'action efficace et primordiale afin d'optimiser l'offre en transport à mettre en place sur le territoire. Le présent document propose, à partir de la connaissance actuelle du système de modélisation présent à Montréal, d'expliquer et d'améliorer le processus mis en place qui permet de mesurer la mobilité future de la Grande Région de Montréal. Pour ce faire, elle présente, les acteurs ainsi que leurs démarches et leurs outils techniques permettant d'analyser et comprendre, de visualiser et illustrer, de décrire et expliquer ainsi que de prévoir et définir les grandes tendances qui s'opèrent sur le territoire de la Grande Région de Montréal.		
<b>[Mots clés]</b> Montréal ; Modèle désagrégé ; Modélisation ; Ensemencement ; Annualisation ; Extrapolation ; Enquête Origine-Destination ;	<b>[Diffusion]</b> - Papier : [Non] - Electronique : [Non]	
<b>[Date de publication]</b> Septembre 2012	<b>[Nombre de pages]</b> 78	<b>[Bibliographie (nombre)]</b> 25



## Publication data form

<b>[Entitled of diploma]</b> Master Degree Diploma in Urban and Regional Passenger Transport Studies		
<b>[Supervision by authorities]</b> - Université Lumière Lyon 2 ; - Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (ENTPE) ;		
<b>[Title]</b> The modelling components of a urban transport project		
<b>[Subtitle]</b> The specificity of the Greater Montreal		
<b>[Author]</b> Baptiste FRIOUX		
<b>[Members of the Jury (name and affiliation)]</b> Patrick BONNEL (Laboratoire d'Économie des Transports - ENTPE - Responsable du Master) Daniel BERGERON (AMT - Vice-président Information stratégique et Affaires Métropolitain) Timothy SPURR (AMT – Spécialiste Modélisation et Analyses)		
<b>[Place of training]</b> Agence Métropolitaine de Transport 700, rue De La Gauchetière Ouest - 26e étage Montréal (Québec) - H3B 5M2 Canada		
<b>[Summary]</b> The knowledge of the future mobility is an effective and essential way to optimize the transport services which are present on the territory. This document proposes, from the present knowledge of the modelling system developed in Montreal, to explain and improve the processes which measure the future mobility of greater Montreal. To do this, this paper presents the actors and their approaches and technical tools to analyze and understand, to visualize and illustrate, to describe and explain and to predict and define the major trends occurring on the territory of the Greater Montreal.		
<b>[Key words]</b> Montreal ; Disaggregate model ; Modelling ; Sowing ; Annualization ; Extrapolation ; Origin-Destination survey ;	<b>[Distribution statement]</b> - Paper : [No] - Electronic : [No]	
<b>[Publication date]</b> September 2012	<b>[Number of pages]</b> 78	<b>[Bibliography]</b> 25



## Remerciement

Avant d'entamer la lecture de ce mémoire de stage, je souhaite attirer votre attention sur les personnes que j'aimerais remercier pour leur implication, de près ou de loin, dans la phase de recherche, les remarques critiques, la relecture et même simplement pour leur soutien dans cette expérience internationale.

Je pense notamment à Daniel Bergeron qui, malgré ses responsabilités de vice-présidence, arrive à garder une certaine proximité avec son équipe d'Information Stratégique et Affaires Métropolitaines. Il m'a permis d'intégrer une équipe compétente et pédagogue et surtout un mode de vie bien différent de la France.

Je pense également à Timothy Spurr qui a su m'apporter des critiques constructives et toutes informations relatives aux transports de Montréal afin de mener à bien ce mémoire.

Et bien sûr, un grand merci à l'ensemble du service ISAM.

Merci à Patrick Bonnel et Bruno Faivre d'Arcier pour cette année riche en informations et l'immersion dans un domaine fort intéressant.

Et plus personnellement, merci aux colocataires du 5703 rue St Urbain qui ont partagé avec moi cette expérience et à mon fidèle groupe de TERESE.



## Sommaire

Fiche bibliographique .....	I
Publication data form .....	II
Remerciement .....	III
Sommaire .....	IV
Introduction.....	1
Mise en contexte et problématique.....	2
Objectif et méthodologie .....	3
Contenue .....	3
1. Les différentes étapes de la réflexion .....	5
1.1. Le processus général .....	5
1.1.1. Le DPS .....	5
1.1.2. Le DAI.....	6
1.1.3. Le DAF .....	7
1.2. La place de l'AMT .....	8
1.2.1. ISAM - Information stratégique.....	9
1.2.2. ISAM – Modélisation des réseaux .....	9
1.2.3. Planification .....	10
2. Le corps de la modélisation des systèmes de transport urbain à l'AMT .....	11
2.1. Généralités sur les modèles .....	11
2.1.1. Rappel du schéma de la modélisation à quatre étapes (modèle agrégé) .....	12
2.1.2. La base de données de Montréal (Les enquêtes OD régionales) .....	17
2.1.3. Le modèle Montréalais (totalement désagrégée).....	20
2.2. L'environnement de simulation à Montréal.....	22
2.2.1. La représentation de la demande (Enquête OD).....	22
2.2.2. La représentation de l'offre (Codification des réseaux) .....	23
2.2.3. Paramètres de calibration .....	24
2.2.4. Le transfert modal .....	25
3. Le développement de composantes .....	30
3.1. La méthode d'ensemencement.....	30



3.1.1. Mise en contexte .....	31
3.1.2. Méthodologie .....	31
3.1.3. Analyse et critique de la méthode.....	38
3.2. Les méthodes d'annualisation et d'extrapolation.....	39
3.2.1. Mise en contexte .....	39
3.2.2. Méthodologie .....	41
3.2.3. Analyse et critique des méthodes .....	61
Conclusion .....	63
Annexe.....	64
Liste des abréviations .....	71
Références Bibliographique .....	72
Table des tableaux.....	74
Table des figures.....	75
Table des matières .....	76

## Introduction

Le système de transport afin d'être efficace doit permettre l'interaction entre les déplacements et le système économique de la région. En effet, son principal défi est de s'intégrer, de façon pérenne, au sein des habitudes de la société dans laquelle il évolue. Pour cela, il doit proposer des solutions efficaces, tout au long de la chaîne de déplacements, afin de répondre aux attentes de la population.

Le défi méthodologique de l'analyse du système de transport et donc de la modélisation est de conduire à une analyse globale de la mobilité dans une situation particulière (Marvin L. Manheim, 1979). La mobilité doit donc être considérée dans son intégralité et à long terme, et non pas se concentrer sur un périmètre d'étude restreint à un projet.

En effet, comme l'explique Bonnel P. dans son ouvrage « *Prévoir la demande de transport* » (éditions des ponts et chaussées, 2004), les deux dimensions que sont l'espace et le temps amènent à 9 situations théoriques différentes comme le montre le tableau 1. Cependant, les trois sous-systèmes du système urbain que sont celui du transport, celui des localisations et celui des relations sociales évoluent et interagissent totalement entre eux seulement dans le groupe C (relation entre l'agglomération et le long terme).

	court terme < 5 ans	moyen terme 5 à 15 ans	long terme > 15 ans
quartier	-A- interactions négligeables	-B-	
zone	-A-B-	-B- prise en compte partielle des interactions entre les sous-systèmes urbains	-B-C-
agglomération	-B-	-B-C-	-C- les interactions sont prépondérantes pour l'avenir lointain

**Tableau 1 : Échelles spatio-temporelles et modélisation.**  
Source : Bonnel P. (2004), *Prévision de la demande de transport*.

De plus, au vu des dépenses engendrées par la construction des infrastructures de transport ainsi que de leurs répercussions sur le long terme aussi bien sur le tissu économique que social, il est devenu nécessaire de permettre une prédiction relativement précise de la demande sur tout le territoire et à un horizon le plus lointain possible. Celle-ci permet notamment de développer une approche stratégique quant au développement des systèmes de transport.

La modélisation, si elle est bien menée, est donc un outil qui permettrait de répondre à de nombreuses interrogations sur l'évolution de la mobilité au sein d'un territoire. Elle faciliterait la compréhension et la quantification des interactions entre les trois sous-systèmes, mais surtout



elle permettrait de définir l'efficacité (économique et sociale sur l'ensemble du territoire) des projets à long terme et la classification des enjeux qui leur sont liés.

## Mise en contexte et problématique

Lors des 20 prochaines années, les réseaux de transport sur le territoire de la Grande Région de Montréal (GRM) vont se développer. En effet, de grands projets tels que des prolongements de métro, un système léger sur rail, un Service Rapide par Bus (SRB), un train de banlieue, etc... sont en cours d'étude et ont comme but de faciliter les déplacements de la population. Les chercheurs, planificateurs et gestionnaires se penchant sur le cas de la capitale économique du Québec développent sans cesse des outils permettant de lier les différentes variables susceptibles de modifier la mobilité du territoire. Le but étant de trouver une corrélation entre ces variables et la réduction de l'utilisation de la voiture. Cette corrélation va notamment permettre aux décideurs de s'appuyer sur des réflexions techniques et ainsi éclaircir les orientations à prendre au vu des décisions politiques.

Depuis plus de 40 ans, la GRM est un véritable laboratoire d'étude de la mobilité urbaine. En témoigne la mise en place il y a une trentaine d'années, d'un groupe de recherche appelé MADITUC<sup>1</sup>. En effet, ce groupe mène des recherches afin de faciliter et améliorer l'analyse de la mobilité et la planification des transports. Il a entre autres aidé à la création de nombreux logiciels utilisés à travers le monde tels qu'EMME (INRO) et HASTUS (GIRO) et depuis 2010 assure « *la recherche, le développement et la formation d'étudiants et professionnels de recherche dans le domaine de l'évaluation et la mise en œuvre de la durabilité en transport* »<sup>2</sup> au travers de la chaire de recherche Mobilité.

Dans le cadre des analyses des systèmes de transport urbain, l'existence des grandes enquêtes-ménages téléphoniques a amené à développer une méthode alternative au modèle à quatre étapes. Celle-ci permet de garder la finesse des caractéristiques de la population et de ses déplacements. La modélisation dite « totalement désagrégée » a été adoptée et toutes les composantes basées sur des modèles mathématiques ont été redéfinies afin de conserver un détail d'analyse semblable à celui des données utilisées.

Bien que certaines solutions aient déjà été apportées pour certaines composantes, de nombreuses variables apparaissent continuellement, certaines étrangères aux volontés politiques (crise économique, prise de conscience environnementale de la population, etc.) et d'autres, inhérentes à leurs choix (nouvelles infrastructures, usages des sols, etc.). L'environnement de la modélisation doit ainsi permettre d'apporter un côté technique afin de justifier la création de projets. En effet, les grosses dépenses qui leur sont liées peuvent être

---

<sup>1</sup> « Modèle d'Analyse Désagrégée des Itinéraires de Transport Urbain Collectif ». Il est composé de chercheurs qui développent les logiciels permettant l'analyse de l'information et la planification des TC.

<sup>2</sup> Tiré du site officiel de la chaire Mobilité ([www.polymtl.ca/mobilite/](http://www.polymtl.ca/mobilite/)).



acceptées si ceux-ci engendrent un impact suffisamment important sur les comportements des voyageurs.

## Objectif et méthodologie

Le présent document propose d'expliquer le processus mis en place qui permet de mesurer la mobilité future du territoire dans le cadre d'un projet d'étude. Pour ce faire, elle présente, à des fins explicatives et descriptives, les acteurs ainsi que leurs démarches et leurs outils techniques permettant d'analyser et comprendre, de visualiser et illustrer, de décrire et expliquer ainsi que de prévoir et définir les grandes tendances qui s'opèrent sur le territoire de la GRM notamment par la répartition des déplacements sur les différents modes et dans le temps.

Ainsi, le principal objectif de ce document est d'être une référence, expliquant l'état d'avancement du modèle Montréalais. En effet, il explique les différentes composantes, actuelles et en développement, utilisées afin de modéliser la mobilité sur le territoire de la Grande Région de Montréal. Il va notamment permettre aux services qui utilisent le modèle (directement ou indirectement) de mieux comprendre ces outils.

Dans un premier temps, elle va présenter les règles d'affaires qui sont imposées et qui orientent le processus de planification des grandes infrastructures de transports urbains ainsi que les différents acteurs qui vont permettre la démarche d'acceptation du projet en amont de sa construction.

Dans un deuxième temps, elle va conceptualiser la méthode de modélisation, jusqu'à présent développée, permettant de planifier les transports Montréalais et de définir les tendances futures vis-à-vis de l'utilisation des services de TC et routiers.

Enfin, en troisième partie, elle va présenter la réflexion qui a orienté le développement de nouvelles composantes et présenter la méthodologie appliquée. Au-delà du côté technique, elle va présenter les limites de chaque composante.

## Contenu

Les deux premières parties vont s'appuyer sur une revue de littérature afin de définir les différentes étapes permettant la planification des transports urbains en fonction de la prévision de la mobilité de la population.

En effet, la première partie va se pencher sur le contexte Montréalais notamment sur le processus à suivre ainsi que sur les différents acteurs qui jouent un rôle en amont de la planification. Tandis que la deuxième partie va s'attarder sur la méthode de modélisation mise en place à Montréal et exposer les différences avec le modèle dit « classique ». En effet, le contexte de ce territoire, notamment vis-à-vis de la finesse des données collectées sur les



individus et leurs déplacements (au travers des enquêtes OD<sup>3</sup>), a amené à développer de nouvelles techniques afin d'analyser l'évolution de la mobilité.

La dernière partie va permettre d'introduire un aspect technique à l'étude en expliquant la réflexion de développement vis-à-vis de deux nouvelles composantes propre au contexte Montréalais que sont l'ensemencement et l'annualisation/extrapolation de la demande future. En effet, la première composante ci-dessus ne peut être mise en place qu'au travers d'un modèle désagrégé du fait de pouvoir sélectionner qu'un certain type de population. La composante d'annualisation/extrapolation, quant à elle, est déjà utilisée dans des modèles « classiques », mais n'a pas été encore documentée à un niveau de finesse comparable au modèle utilisé à l'Agence Métropolitaine de Transport (AMT).

Ainsi, après une description de celles-ci et de leurs apports au modèle, la méthodologie mise en place pour permettre leur création sera abordée.

---

<sup>3</sup> Origine-Destination.



## 1. Les différentes étapes de la réflexion

La mise en service d'un nouveau projet tel qu'un prolongement de métro ou la création d'une nouvelle desserte en train doit être précédée d'une réflexion fine entre les différents acteurs. Chacun d'entre eux doit mettre en place une réflexion des plus complètes et ainsi fournir un maximum d'informations et orientations stratégiques permettant le bon déroulement des opérations suivantes (réflexion, construction et exploitation).

### 1.1. Le processus général

Le gouvernement du Québec encourage au développement de nouvelles infrastructures publiques si celles-ci vont permettre un développement économique du territoire et une amélioration du cadre de vie de sa population. Cependant, afin de ne pas financer des projets peu porteurs d'améliorations, une « Politique-cadre<sup>4</sup> » a été mise en place afin de garantir une gestion rigoureuse vis-à-vis de l'autorisation de développement. En effet, cette politique met en place un processus<sup>5</sup> visant à écarter les projets ne répondant pas à un certain nombre d'attentes. Ainsi, la planification d'un projet passe par la création d'un « Dossier d'Affaires » qui, lui-même, est découpé en trois étapes chronologiques :

- Le « Dossier de Présentation Stratégique » (DPS) met en avant la pertinence du projet et la nécessité de sa réalisation ;
- Le « Dossier d'Affaires Initial » (DAI) définit le scénario répondant au maximum aux besoins et objectifs de l'étude ainsi que son mode de réalisation ;
- Le « Dossier d'Affaires Final » (DAF) présente le scénario en détail (risques, coûts/rentabilité et échéanciers) ;

Chaque sous-étape doit présenter un rapport clair comprenant toutes les informations nécessaires<sup>6</sup> à une prise de décision en toute objectivité. Ainsi, cette procédure permet une certaine structuration dans la réflexion quant aux besoins et à la façon d'y répondre. En effet, si un projet n'est pas bien défini (aussi bien l'offre que la demande) alors il se verra annulé afin d'utiliser les ressources pour des projets cohérents et utiles.

#### 1.1.1. Le DPS

Le « Dossier de Présentation Stratégique » est la première étape qui compose le « Dossier d'Affaires ». Il peut être apparenté à un diagnostic qui met en avant les besoins et donc la

---

<sup>4</sup> Pour plus d'information sur la « Politique-cadre », se référer au document officiel du Québec : [http://www.tresor.gouv.qc.ca/fileadmin/PDF/faire\\_affaire\\_avec\\_etat/loi\\_reglements\\_politiques/Politique\\_e-cadre\\_Mars2010.pdf](http://www.tresor.gouv.qc.ca/fileadmin/PDF/faire_affaire_avec_etat/loi_reglements_politiques/Politique_e-cadre_Mars2010.pdf)

<sup>5</sup> Voir en annexe 1 le « Sommaire des grandes étapes de planification d'un projet » défini par le « Guide d'élaboration du dossier d'affaires ». Tiré de : [www.infra.gouv.qc.ca/images/stories/documentation/guide\\_elaboration\\_du\\_dossier\\_affaires\\_2011.pdf](http://www.infra.gouv.qc.ca/images/stories/documentation/guide_elaboration_du_dossier_affaires_2011.pdf)

<sup>6</sup> Voir en annexe 2 l'« Élaboration du dossier d'affaires » qui comporte les éléments à fournir.



pertinence de la réalisation d'une infrastructure afin d'atteindre les résultats recherchés. Ce document n'est pas défini par une forte technicité, au contraire il s'appuie principalement sur la connaissance du territoire d'étude et des objectifs stratégiques liés aux orientations gouvernementales d'un organisme public.

L'organisme public doit justifier d'un besoin qui rentre dans les priorités gouvernementales et/ou régionales et doit s'amarrer au sein d'une stratégie locale. Pour ce faire, il doit présenter la situation actuelle (qualitative et quantitative), la problématique qui y résulte et les avantages pour le territoire.

Il est intéressant d'introduire dans ce document les premières réflexions quant aux solutions qui semblent être possibles à mettre en place avec leurs avantages et leurs inconvénients (même si ceux-ci paraissent éliminatoires) afin de les classer :

- Degré d'atteintes des résultats ;
- Satisfaction estimée de la clientèle ;
- Coûts estimés ;
- Faisabilité ;
- Échéancier approximatif ;
- Principaux risques ;
- Acceptabilités politiques, économiques et sociales ;
- Enjeux socio-politiques (réglementaire, légal, environnemental, architectural, culturel, historique, touristique, etc.) ;
- Modification du service lors de la mise en œuvre ;
- Etc. ;

A ce stade de l'étude, le but n'est pas de définir toutes les possibilités détaillées, mais bien de faire une description préliminaire des options qui pourront être étudiées par la suite. Ainsi, le Ministre titulaire a toutes les données lui permettant de s'assurer de la pertinence du projet et ainsi autoriser à passer à la deuxième étape.

### 1.1.2. Le DAI

La deuxième étape du « Dossier d'Affaires » est le « Dossier d'Affaires Initial ». Ce dossier permet tout d'abord de mettre à jour la situation initiale, la problématique et les objectifs si ceux-ci ont été modifiés depuis la création du DPS<sup>7</sup>.

En ce qui concerne le projet en tant que tel, le dossier rentre plus en profondeur dans l'analyse des scénarios, les plus vraisemblables, qui ont été survolés lors du DPS. Toutefois, seules les répercussions sur le territoire et sa population (avantages et inconvénients vus précédemment) vont être précisées pour chaque projet, les questions de financement, de construction et d'exploitation seront abordées dans un second temps. En effet, le but est de permettre la comparaison entre les scénarios afin d'en définir le « scénario favorisé » et d'en définir des

---

<sup>7</sup> L'élaboration de chacune des étapes du « Dossier d'Affaires » peut prendre jusqu'à 1 an.



modes de réalisation potentiels. Cependant, la définition des objectifs doit être clairement détaillée en mettant en avant les principaux résultats recherchés.

Ainsi, en fonction de tous les avantages et inconvénients pour chaque scénario, le service public doit en mettre un en avant : le « scénario favorisé ».

La deuxième partie du DAI est consacrée à la définition des obligations fonctionnelles, opérationnelles et physiques propres au « scénario favorisé » ainsi que des plans et devis préliminaires à l'échelle :

- Du quartier (intégration urbaine et architecturale, espace public et mobilier urbain, accès, circulation, stationnement et cheminement, etc.) ;
- Du bâtiment (complémentarité avec les services existants, mixité de l'utilisation interne, ergonomie, exigence d'aménagement et de construction, etc.) ;

Cette seconde partie va aussi permettre d'approfondir les coûts (planification, conception, construction, exploitation et entretien) ainsi que l'échéancier de réalisation précédemment estimés dans le DPS.

C'est aussi à ce moment-là que le mode de réalisation est défini en fonction des attentes de l'organisme public, on en distingue 4 différents :

- Le mode en gérance (la réalisation de l'infrastructure est confiée à plusieurs entrepreneurs) ;
- Le mode traditionnel (la réalisation de l'infrastructure est confiée à un entrepreneur défini après un appel d'offres) ;
- Le mode « clés en main » (la réalisation de l'infrastructure ainsi que la préparation des plans et devis sont confiées à une entreprise ou un groupement) ;
- Le mode partenariat public-privé (PPP) (la conception, la construction et l'exploitation sont confiées à une entreprise) ;

Une fois le dossier complet, celui-ci est remis au conseil des Ministres qui en fonction de la nécessité de réaliser l'infrastructure et le prix de celle-ci va autoriser à passer à la troisième étape.

### **1.1.3. Le DAF**

La troisième et dernière étape du « Dossier d'Affaires » est le « Dossier d'Affaires Final ». Ce dossier permet de présenter l'ensemble du projet le plus précisément possible afin de noter des moindres détails. En effet, c'est à partir de celui-ci que le Conseil des ministres décidera de la réalisation de l'infrastructure.

Ainsi, tous les paramètres liés au projet sont expliqués, ceux-ci vont de la construction à l'exploitation au long terme notamment pour définir :



- Le coût global (avec une marge de plus ou moins 5 %) de construction et d'exploitation ;
- La qualité de l'infrastructure (matériaux, efficacité énergétique, implantation dans l'environnement, etc.) ;
- Le financement ;
- Les risques ;
- Les échéanciers et le détail de la construction ;
- La gestion ;
- La productivité ;
- Les résultats attendus à court et long terme ;
- Etc. ;

Ainsi, si le dossier est assez complet, les contrats pour la construction et l'exploitation peuvent être signés afin de passer à la phase de création.

## 1.2. La place de l'AMT<sup>8</sup>

La mission de l'AMT est « *d'accroître les services de transport collectif afin d'améliorer l'efficacité des déplacements des personnes dans la région métropolitaine de Montréal* ». En effet, « *depuis le début de nos activités en 1996, nous mettons à profit notre expertise pour planifier, exploiter et promouvoir les transports collectifs dans la région métropolitaine de Montréal. Pour remplir notre rôle, nous bénéficions d'un statut d'agence gouvernementale à vocation métropolitaine et relevons du ministre des Transports du Québec* ».

Ainsi, les principaux mandats de l'AMT afin de répondre à sa mission sont :

- « *Planifier, coordonner, intégrer et faire la promotion des services de transport collectif, en étroite collaboration avec nos partenaires* » ;
- « *Exploiter le réseau de trains de banlieue et le réseau de transport métropolitain par autobus* » ;
- « *Contribuer à l'amélioration de l'efficacité des routes qui ont une vocation métropolitaine* » ;
- « *Planifier et construire tout prolongement du réseau de métro* » ;
- « *Participer au financement de l'exploitation des services des 14 organismes de transport de la région* » ;
- « *Soutenir, développer, coordonner et promouvoir les services spéciaux de transport pour les personnes handicapées* » ;
- « *Offrir à nos partenaires notre expertise et des outils qui répondent aux besoins divers en matière de financement et de gestion des déplacements* » ;

Parmi les 8 services que compose l'AMT, deux d'entre eux interviennent directement dans le développement et la rédaction du « Dossier d'Affaires » :

---

<sup>8</sup> Tirée du site officiel de l'AMT ([www.amt.qc.ca](http://www.amt.qc.ca)).



- Le service de l'Information Stratégique et des Affaires Métropolitaines (ISAM) ;
- Le service de planification et innovation ;

*« La mission de l'équipe de l'Information stratégique et des Affaires métropolitaines (ISAM) est d'offrir une expertise analytique de pointe en matière de transport urbain ».*

*« Cette expertise s'exprime d'abord par la réalisation d'analyses et de recommandations pertinentes à la clarification des problématiques et enjeux posés par l'organisation, la planification, l'exploitation, la mise en marché, la tarification et le financement du système de transport métropolitain. La mise en place d'un système d'information sur la mobilité et le transport métropolitain pour exprimer cette expertise est au cœur de nos activités. Cette expertise contribue aussi au rayonnement et la légitimité de l'AMT au niveau de l'information sur la mobilité, le transport métropolitain, le financement et l'organisation des services de transport collectif ».*

L'ISAM intervient à différents moments lors de la mise en place d'un nouveau projet de TC. En effet, c'est lui qui va noter du besoin en infrastructure (prolongement de métro, création de nouvelles lignes, etc.) et fournir au service de planification les données de mobilités permettant d'analyser différents scénarios. Ces deux services sont donc fortement complémentaires.

### **1.2.1. ISAM - Information stratégique**

Le service d'« Information Stratégique » a une *« une connaissance fine du territoire, de la population qui y réside, des déplacements quotidiens qu'y effectuent ainsi que de la clientèle des services de transport collectif ».*

De par les informations récoltées (enquêtes Origine-Destination (OD), sondages, témoignages, etc.), le service témoigne de la performance du système de transport et accompagne le développement de projets par l'apport de recommandations afin d'améliorer la qualité de service. Ainsi, il permet de mettre en avant les besoins en desserte sur le territoire et donc la pertinence de réaliser un projet.

En effet, il fournit les principales données permettant de rédiger la 1<sup>ère</sup> partie du « Dossier d'Affaires » : le « Dossier de Présentation Stratégique ». La difficulté majeure de ce travail est de créer une base de données complète, mais surtout la plus précise possible afin de permettre l'identification des besoins (point de départ du long processus de mise en place d'un projet).

### **1.2.2. ISAM – Modélisation des réseaux**

Le service de « Modélisation des réseaux » *« encadre le développement et l'utilisation de simulateurs pour les réseaux de transport. Avec ces logiciels de haute-technologie, il s'efforce de bien reproduire l'utilisation que font les citoyens des réseaux routiers et de transport collectif de la région. Et, surtout, de prévoir l'usage qu'ils feront des nouvelles infrastructures à planifier ».*



Le développement de tels outils permet ainsi l'analyse et la planification des réseaux (présents et futures) de TC et routier de la GRM. Pour cela, à partir des données fournies par le service d'« Information Stratégique », ce service définit un environnement de modélisation permettant la simulation de la mobilité et de son évolution. La comparaison entre la situation de référence et la situation avec projet va permettre d'estimer l'évolution de l'achalandage par mode de transport et le transfert modal de l'automobile vers le TC. Ces résultats vont permettre de noter de la pertinence de la future offre en TC en fonction de la demande future.

### 1.2.3. Planification

La mise à jour et la création de nouvelles méthodes permettant à l'environnement de modélisation (actuel et futur) de coller à la réalité de la part du service de « Modélisation des réseaux » vont permettre notamment au service de « planification » de « projeter, anticiper, analyser et innover, afin d'être prêts à répondre aux besoins en déplacements dans les prochaines années ». Sa première mission est donc de définir les besoins en termes d'offre à mettre en place et contribue donc à la rédaction du « Dossier de Présentation Stratégique ».

Il va aussi définir le scénario le plus adapté (principales composantes de la 2<sup>ème</sup> partie du « Dossier d'Affaires » : le « Dossier d'Affaires Initial ») en fonction des nombreuses composantes sur lesquelles il peut intervenir :

- Tracé ;
- Positionnement des arrêts ;
- Restructuration du réseau de bus autour du projet ;
- Fréquence ;
- Etc. ;



## 2. Le corps de la modélisation des systèmes de transport urbain à l'AMT

La modélisation permet de mettre en avant la pertinence du projet (tracé, mode, etc.), elle est donc une étape importante afin de se projeter et d'analyser les répercussions futures (sur la mobilité et économiques). En effet, le coût élevé, aussi bien en termes de construction de l'infrastructure que de l'exploitation de tels projets doit permettre une amélioration significative de la mobilité de la population des secteurs appartenant au corridor du tracé. La modélisation intervient donc principalement dans la phase 2 du « Dossier d'Affaires » (lors de la création du DAI) qui permet de définir le projet.

Grâce à une calibration complexe et une sensibilité liée à la pertinence des variables permettant de coller à la réalité (offre et demande), le modèle va permettre de définir la mobilité générée autour du projet. Ainsi, la modélisation permet de mettre en avant les contraintes et les opportunités des différents scénarios proposés afin de choisir le plus adapté.

### 2.1. Généralités sur les modèles

*« Un modèle n'est qu'une représentation simplifiée de la réalité, destinée à mieux comprendre ou à agir sur elle ».*

(Guitton, 1964)

*« Comprendre pour agir, agir pour mieux comprendre ».*

(Le Moigne, 1990)

En effet, un bon modèle nous apprend un certain nombre de choses en fonction des attributs de base qui lui sont donnés d'analyser.

Ainsi, la mise en place d'un modèle reprenant les attributs territoriaux, politiques, sociaux et économiques d'un environnement donné a pour objectif de décrire la situation actuelle de la mobilité et d'être sensible aux changements qui peuvent être apportés. De plus, cette situation va pouvoir servir de base à la mise en place d'un processus permettant de définir l'évolution de cette mobilité en fonction de prédictions à apporter sur les différents attributs.

*« Il n'y a pas de modèle sans objectifs... [car] on ne construit pas d'outils dont on ne saurait à quoi il pourrait servir »*

(Legay, 1990)

La simulation du réseau de transport est une étape importante lors de la planification des transports. En effet, au-delà de vouloir définir finement l'estimation de la demande afin de s'y adapter, de nombreux enjeux (économiques et sociaux) sont rattachés aux choix des systèmes de transport :



- L'estimation des coûts d'infrastructure et leur financement ;
- L'estimation de la rentabilité et des bénéfices du projet ;
- La durée de vie des projets (étude à long terme vis-à-vis de la rentabilité) ;
- La requalification urbaine (économique et sociale) autour du projet ;
- L'attractivité du mode ;

Ainsi, les modèles de prévision de la demande sont un enjeu essentiel afin de définir le trafic attendu et donc la rentabilité économique du projet.

### **2.1.1. Rappel du schéma de la modélisation à quatre étapes (modèle agrégé)**

Le modèle à quatre étapes est le standard global. En effet, dans la majorité des cas (Europe, États-Unis, etc.) l'étude de la mobilité se fait au travers de ce paradigme.

Ce modèle intègre les 4 étapes de bases suivantes et la figure 1 (page suivante) montre les relations qu'elles ont entre elles.

- Génération de déplacement ;
- Distribution des déplacements ;
- Choix modal ;
- Affectation sur un réseau ;

S'il est autant répandu, cela est dû au fait que dans la majorité des villes, les seules données disponibles sont définies au niveau des zones (comme par exemple les données de recensement). Ainsi, l'analyse est basée sur une réflexion zonale au travers d'un individu moyen (ses caractéristiques sont les moyennes des caractéristiques des individus de sa zone) et fictif qui se déplace depuis et vers les lieux « centraux » des zones. L'approche agrégée est donc parfois la seule possibilité d'analyser la mobilité d'un territoire. Les informations relatives aux déplacements étant restreintes, les résultats permettront de schématiser la mobilité effectuée sur le territoire.

La figure 1 suivante présente le procédé de la modélisation agrégée d'un réseau de transport :

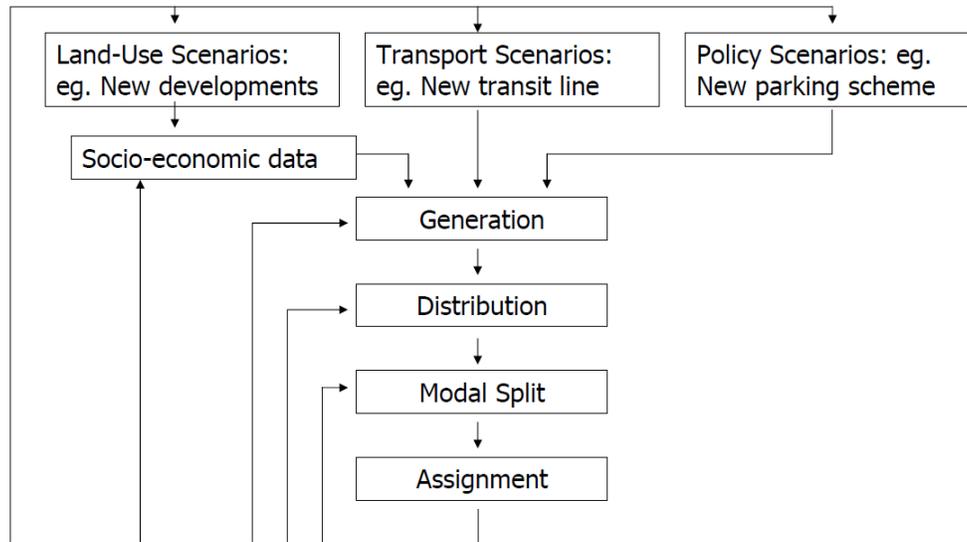


Figure 1 : Schéma de la modélisation à quatre étapes d'un réseau de transport.

Source: Murga M. (2002), Urban Transportation Planning - MIT Course (<http://ocw.mit.edu/courses/urban-studies-and-planning/11-380j-urban-transportation-planning-fall-2002/lecture-notes/Week5a.pdf>).

La description des étapes ci-dessous se base principalement sur les recherches de Chapleau R. (*La modélisation de la demande de transport urbain avec une approche totalement désagrégée*, 1992) et de Bonnel P. (*Prévision de la demande de transport*, 2004) qui, lui-même, s'est inspiré des travaux de J.D. Ortúzar et L.G. Wilumsen (*Modelling transport*, 1994). En effet, leur ouvrage introduit un aspect plus technique et expérimental du modèle à quatre étapes.

### Étape 1 – Génération de déplacement

La génération constitue la première étape du modèle, elle permet de définir la demande en déplacement. Dans la réflexion de l'individu, cette première étape peut être apparentée à la décision prise d'effectuer un déplacement et donc à sa nécessité.

Elle permet donc de définir le volume de déplacements réalisé par la population du territoire. Cette donnée regroupe aussi bien les déplacements émis qu'attirés par chacune des zones du terrain d'étude et cela en fonction de leurs nombreuses caractéristiques.

#### Principales variables

Pour les déplacements émis depuis les zones, les variables sont relatives à l'utilisation des sols, aux politiques qui sont mises en place et à la population résidante au sein de ces zones :

- Revenu du ménage ;
- Motorisation du ménage ;
- Taille et composition du ménage ;
- Nombre de ménages habitant dans la zone ;
- Nombre d'enfants allant à l'école, au collège ;
- Âge des individus ;

Pour les déplacements attirés par les zones, les variables sont, elles, relatives aux activités disponibles dans la zone :

- Nombre d'emplois (tertiaires, commerciaux...);
- Nombre de places dans les écoles, collèges ;
- Nombre de ménages habitant dans la zone ;

### Étape 2 – Distribution des déplacements

La deuxième étape du modèle agrégé est la distribution des déplacements. Dans la prise de décision de l'individu, cette étape peut être représentée par le choix de la destination de ce dernier. D'un point de vue technique, cette analyse permet la création d'une matrice OD (tableau 2) des déplacements en fonction des zones de départs et des zones d'arrivées.

		destination			Emissions :
					$\sum_j T_{ij}$
Zone		1	2	3	Total
origine	1	$T_{11}$	$T_{12}$	$T_{13}$	$T_{1.} \approx E_1$
	2	$T_{21}$	$T_{22}$	$T_{23}$	$T_{2.} \approx E_2$
	3	$T_{31}$	$T_{32}$	$T_{33}$	$T_{3.} \approx E_3$
Attractions :	Total	$T_{.1} \approx A_1$	$T_{.2} \approx A_2$	$T_{.3} \approx A_3$	$T$ ou $T_{..} = \sum_{i,j} T_{ij}$

Tableau 2 : Distribution des déplacements : notations.

Source : Bonnel P. (2004), *Prévision de la demande de transport*.

### Principales variables

Tout comme pour la 1<sup>ère</sup> étape, les déplacements émis depuis les zones sont relatifs à la population résidante au sein de ces zones :

- Catégorie socioprofessionnelle ;
- Motif de déplacement ;

Les déplacements attirés par les zones sont aussi définis par les activités disponibles dans la zone (utilisation des sols) :

- Activité économique ;
- Présence de générateurs (hôpitaux, centres commerciaux, administration...);
- Temps de parcours généralisé ;

Ainsi, la distribution des déplacements repose sur un modèle gravitaire en établissant un rapport entre l'utilité de la destination et le temps de parcours généralisé depuis le point d'origine.

### Étape 3 – Choix modal

Cette 3<sup>ème</sup> étape peut-être rapprochée au choix du mode de transport de la part de l'individu pour réaliser son déplacement. De façon concrète du point de vue de la simulation, cette étape consiste à séparer la matrice générée par l'étape numéro 2 en plusieurs matrices. Le nombre de matrices finales est égal au nombre de possibilités en terme de mode de transport (généralement trois : TC, automobile et mode actif).



### Principales variables

Il est classique d'organiser les facteurs explicatifs du choix du mode en 3 groupes :

- L'offre des différents modes transport :
  - Rapidité ;
  - Coût ;
  - Accessibilité et attente (pour les TC) ;
  - Le stationnement (pour l'automobile) ;
- Les caractéristiques du déplacement :
  - Origine-Destination ;
  - Motif ;
  - Heure ;
  - Correspondance ;
- Les caractéristiques de l'individu ou du ménage :
  - Captivité ;
  - Statut de l'individu (sexe, âge, profession, etc.) ;
  - Revenu du ménage ;
  - Motorisation du ménage ;

De nombreuses fonctions mathématiques et notamment statistiques ont été définies afin de représenter au mieux le choix de l'individu quant à son mode de transport. On peut notamment citer McFadden D. qui a proposé une analyse logit conditionnelle, dans laquelle chaque individu d'une population fait face à un nombre fini de choix. Ce dernier cherche alors à maximiser son utilité compte tenu de ses possibilités. Les recherches qu'il a menées ont été récompensées par l'Académie Nobel et composent maintenant la majorité des études de choix modal.

### *Étape 4 – Affectation des déplacements*

Cette dernière étape représente le choix de l'itinéraire par l'individu pour réaliser son déplacement avec le mode défini par l'étape numéro 3. Ainsi, grâce à cette étape, le modèle va distribuer la demande de déplacement, en fonction des modes, sur les différents tronçons du réseau routier et sur chacune des lignes de transport collectif. Grâce à cette étape, les charges de trafic et donc les taux de saturation sur les différents réseaux vont pouvoir être définis.

Pour ce faire, une codification<sup>9</sup> des différents réseaux est nécessaire. Celle-ci doit être le plus réaliste possible afin de permettre une distribution logique. Ainsi en s'appuyant sur les réflexions de Wardrop<sup>10</sup>, Dijkstra<sup>11</sup> (ou autres théoriciens, mais ceux-ci sont les plus répandus) et une bonne codification, le modèle va définir le meilleur trajet pour l'individu.

---

<sup>9</sup> Voir le chapitre 2.2.2. (page23) sur « La représentation de l'offre ».

<sup>10</sup> Le principe de Wardrop définit le coût généralisé en fonction de nombreux critères de calcul liés au chemin (temps, distance, énergie utilisée, usure, etc.) par arc.

<sup>11</sup> L'algorithme de Dijkstra permet de déterminer le plus court chemin entre deux points. Il se base sur le coût généralisé pour chaque tronçon de chaque trajet possible. Cet algorithme permet de définir le trajet le plus court, le plus rapide ou le plus économique en fonction des résultats recherchés.



### Principales variables

Il est d'abord nécessaire de définir les hypothèses quant aux comportements de la population. En effet, en fonction de l'étude et des objectifs à atteindre, il est intéressant de définir certaines orientations sur l'utilisation des réseaux. On distingue généralement trois hypothèses comportementales :

- Optimisation de l'utilisateur ;
- Optimisation du système ;
- Equilibre ;

Ainsi, le choix de l'individu va être principalement défini par l'hypothèse comportementale, mais va aussi s'appuyer sur les caractéristiques des réseaux notamment les tronçons. Ainsi, il va tenter de minimiser son coût généralisé (rapport entre le temps de parcours et son coût monétaire) en fonction du trajet utilisé :

- Le réseau routier :
  - o Congestion (capacités en nombre de véhicules par heures) ;
  - o Sens de circulation ;
  - o Péage ;
  - o Coût d'usage ;
  - o Stationnement ;
- Le réseau de transport collectif (notion d'impédance) :
  - o Accessibilité ;
  - o Temps de parcours ;
  - o Fréquence ;
  - o Régularité ;
  - o Correspondance ;
  - o Tarification ;

### ***La pertinence du modèle à 4 étapes***

Un certain nombre de personnes critique cette méthode qui se veut trop schématique. En effet, Kane L. et Behrens R. dans leur rapport intitulé « Transport planning models – An historical and critical review<sup>12</sup> » (2002) citent certaines de ces personnes. On peut notamment noter que Lee D. et Atkins S. estiment que ces modèles fournissent des résultats exhaustifs et trop peu précis vis-à-vis de la quantité de données entrantes nécessaires. En effet, ces résultats leur paraissent difficiles à interpréter et nécessitent un certain nombre d'ajustements afin de pouvoir les utiliser. Ainsi, pour eux ce type de modèle n'est pas adapté au vu des résultats espérés.

Depuis, le modèle désagrégé a vu le jour et semble répondre aux attentes de Lee D. et Atkins S. Cependant, trois éléments montrent la pertinence de l'analyse agrégée vis-à-vis de celle désagrégée (Bonnell P., 2004) :

---

<sup>12</sup> Tiré de [www.ctfs.uct.ac.za/downloads/publication/2002/kanebehrens\\_2002.pdf](http://www.ctfs.uct.ac.za/downloads/publication/2002/kanebehrens_2002.pdf)



- Les modèles désagrégés sont difficiles à mettre en place<sup>13</sup> en plus d'une analyse des résultats qui nécessite une certaine maîtrise des outils de statistique (matrice OD relativement complexe). À ce niveau-là, les répercussions d'une erreur d'interprétation peuvent avoir des conséquences importantes sur la planification ;
- L'utilisation du principe de zone permet de situer les extrémités (inconnues) du déplacement en un point appelé centroïde. Ainsi, la localisation de ces centroïdes étant connue, le modèle va utiliser des données considérées comme désagrégées ;
- Dans un modèle désagrégé, il est difficile d'obtenir un niveau de désagrégation de prévision aussi précis que celui des données et donc toute la précision mise en place dans le modèle semble remise en question ;

Toutefois, il semblerait que les modèles désagrégés intègrent de plus en plus de composantes et donc définissent une mobilité se rapprochant de plus en plus de la réalité. Ainsi, le modèle désagrégé, contrairement au modèle agrégé, intègre une multitude de dimensions et donc permet une analyse intégrante de multiples caractéristiques (comme par exemple le nombre d'étudiants hommes sur un tronçon de ligne donné). De plus, les populations des villes étant de plus en plus cosmopolites et hétérogènes, le principe d'utiliser des déplacements moyens faits par des individus moyens devient de plus en plus critiquable.

Cependant, étant donné que le modèle à quatre étapes est adapté à l'exploitation d'informations non détaillées et que nombre de territoires n'ont pas développé de systèmes afin de récolter des informations précises, ce modèle semble être le seul modèle opérationnel, et donc c'est ce dernier qui fait toujours loi pour de nombreux territoires.

### **2.1.2. La base de données de Montréal (Les enquêtes OD régionales)**

Sur le territoire de la Grande Région de Montréal, l'enquête Origine-Destination est devenue une étude récurrente depuis sa mise en place dans les années 70. En effet, ces enquêtes permettent, tous les six puis cinq ans depuis 1993, d'actualiser et de définir la mobilité des résidents effectuée lors d'un jour moyen d'automne. L'échantillonnage de cette étude étant relativement grand, 4 à 5 % des ménages privés vivant sur le territoire (plus de 60 000 en 2008), celle-ci dresse un portrait relativement précis de la population lors de la période la plus représentative de l'année, soit la période d'automne (peu de perturbations liées aux conditions climatiques ou aux vacances) et donc la plus complète pour la planification des réseaux de transport.

La figure 2 et le tableau 3 suivants présentent l'évolution du périmètre d'étude et de l'échantillonnage des différentes enquêtes OD régionales de Montréal :

---

<sup>13</sup> Vis-à-vis de la création de la base de données (voir chapitre 2.1.2. suivant).

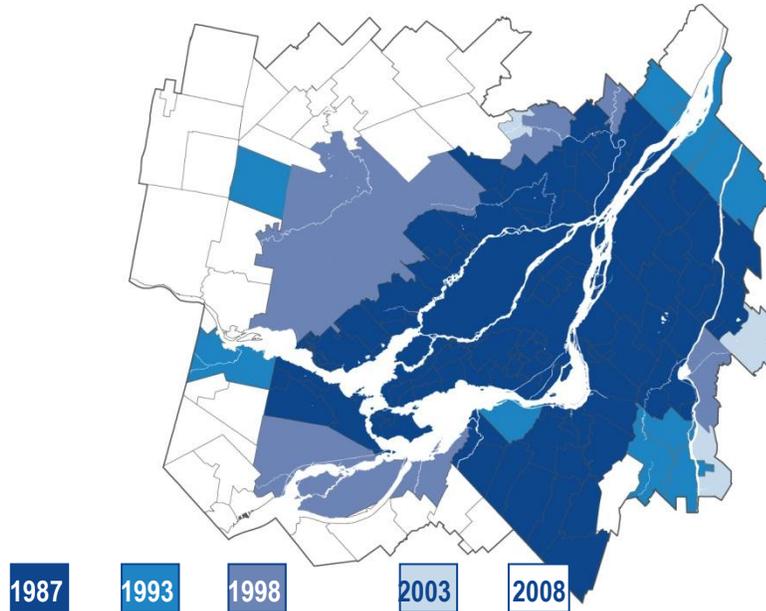


Figure 2 : Territoire d'enquête de la GRM, enquêtes de 1987 à 2008.

Source : AMT (2010), *Enquête Origine-Destination 2008, Constat sur la mobilité des personnes dans la grande région de Montréal – Faits saillants.*

Enquête OD	1970	1974	1978	1982	1987	1993	1998	2003	2008
Territoire (km <sup>2</sup> )	1 190	2 330	2 330	3 300	3 300	4 740	5 400	5 520	8 200
Population (en milliers)	2 484	2 835	2 954	2 896	2 930	3 278	3 499	3 613	3 940
Échantillon (%)	3,78	4,78	5,31	6,98	4,68	4,65	4,64	4,70	4,10

Tableau 3 : Évolution de la couverture de l'enquête OD.

Source : AMT (2010), *Enquête Origine-Destination 2008, Constat sur la mobilité des personnes dans la grande région de Montréal – Faits saillants.*

Parallèlement à cette enquête périodique, l'AMT a mis en place une enquête en mode continu<sup>14</sup> afin de connaître plus finement la saisonnalité des comportements de mobilités.

Les informations qui suivent proviennent principalement des études du groupe MADITUC<sup>15</sup>.

Dans les années 50's, la croissance du parc de voiture et ses conséquences sur la circulation automobile commence à préoccuper les grandes villes nord-américaines. Des études ont donc commencé à être mises en place afin de connaître les habitudes de déplacement de la population, ces recherches vont permettre de développer un réseau routier adapté à la nouvelle mobilité de ces villes.

Ainsi, en 1951, la Commission de Transport de Montréal<sup>16</sup> (CTM) met en place la première enquête dans la GRM à bord de ses véhicules (autobus et tramways). Mais, c'est vraiment à partir de 1961 que les enquêtes OD sont apparues, cette première se fait notamment à l'aide de cartes postales qui permettent à l'usager de dessiner son parcours. Cette enquête est mise en

<sup>14</sup> L'enquête en mode continu sera développée dans le chapitre 3.2.1. page 40.

<sup>15</sup> Source : [www.madituc.polymtl.ca/](http://www.madituc.polymtl.ca/) et [www.transport.polymtl.ca/eodmtl/](http://www.transport.polymtl.ca/eodmtl/)

<sup>16</sup> Ancien exploitant des transports urbains de Montréal.



place dans le cadre du développement du réseau de transport en commun, notamment par la création d'un mode lourd : le métro<sup>17</sup>.

En 1967, la CTM développe son 1<sup>er</sup> service de planification, principalement composé de scientifiques afin d'apporter un côté technique aux études. Ainsi, en 1969, les enquêtes à grandes échelles voient le jour notamment grâce à l'enquête téléphonique. En 1970, l'expérience est renouvelée puis une enquête tous les quatre puis cinq ans suivra.

### *L'enquête OD de 2008*

En 2008, la 9<sup>ème</sup> enquête OD régionale a été mise en place. Les enquêtes s'inscrivent comme un exercice de cueillette massive<sup>18</sup> de données concrètes dont l'analyse permettra de décrire les besoins de mobilité de la population. Il s'agit donc, à partir des informations brutes, de constituer un fichier de déplacements permettant d'instituer une planification du système de transport afin de le rendre adéquat aux habitudes de déplacement en :

- Optimisant le réseau actuel ;
- Organisant la desserte sur son territoire ;
- Organisant les lignes de rabattement aux nouvelles stations de métro ;
- Prévoyant l'achalandage aux stations de métro ;
- Contribuant à l'établissement d'un plan directeur de transport ;
- Répartissant les subventions en fonction de l'utilisation de chaque réseau ;

Depuis 1998, contrairement aux premières enquêtes, les enquêteurs ont accès à une assistance informatique, ce qui permet de rendre la transcription des données plus rapide, mais aussi de limiter les erreurs et incohérences. Ainsi, le questionnaire a pu être complexifié au vu de définir des données à une échelle plus détaillée et donc permettre la mise en place d'analyse relativement précise sur l'ensemble du territoire. On distingue ainsi trois types d'informations qui sont géolocalisés de façon très précise<sup>19</sup> (sur le ménage (M), sur l'individu (I) et sur ses déplacements (D)) et répertoriés selon deux composantes :

- La démographie :
  - o Taille du logis (M) ;
  - o Nombre de véhicules par logis (M) ;
  - o Langue de la personne (I) ;
  - o Sexe (I) ;
  - o Âge (I) ;
  - o Revenu (I) ;
  - o Statut (I) ;

---

<sup>17</sup> Le 1<sup>er</sup> Métro à Montréal est apparu en 1966.

<sup>18</sup> Plus de 70 000 ménages en 2008 (pour comparaison, l'enquête-ménage du Grand Lyon est d'environ 5 000 ménages).

<sup>19</sup> Les origines et les destinations ne sont plus définies dans une zone, mais sur un point (géolocalisation en format x ; y) défini au mètre près.



- Le déplacement :
  - o Origine (D) ;
  - o Destination (D) ;
  - o Jonction (D) ;
  - o Heure de départ (D) ;
  - o Motifs (travail, étude, domicile, loisirs, magasinage ou autres) (D) ;
  - o Mode (conducteur VP, passagers VP, à pied, transport collectif, autobus scolaire, taxis ou train, bimode) (D) ;
  - o Lignes empruntées si TC (D) ;
  - o Titre de transport (D) ;
  - o Ponts et autoroutes empruntés si VP (D) ;
  - o Stationnement (D) ;

La finesse des détails a engendré une réflexion quant aux nouvelles possibilités d'analyses. Ainsi, d'autres préoccupations se sont inscrites parmi les principaux objectifs de cette démarche. Le concept général de planification des transports est mis en avant via les composantes suivantes :

- L'aménagement du territoire et la mobilité ;
- La responsabilité et l'équité du financement des équipements collectifs de transport ;
- Les modes de gestion de la demande ;
- La préservation de l'environnement et des ressources naturelles ;
- La mesure de l'évolution des facteurs de mobilité ;
- Le développement et l'organisation des transports collectifs ;
- La planification d'interventions et la mesure des impacts ;
- La modélisation des comportements de transports et des interrelations entre les facteurs d'influence ;

### **2.1.3. Le modèle Montréalais (totalement désagrégée)**

L'approche de modélisation privilégiée à l'AMT est l'approche<sup>20</sup> mise en place par le groupe MADITUC. En effet, les informations fournies par les enquêtes OD étant relativement fines, l'utilisation d'un modèle totalement désagrégé permet de valoriser au maximum les données des enquêtes à grande envergure.

Contrairement à l'approche agrégée qui considère des individus moyens et fictifs, le modèle totalement désagrégé quant à lui se base sur les déplacements des individus isolément les uns des autres avec leurs propres caractéristiques. C'est pourquoi les modèles sont considérés comme totalement désagrégés lorsque ceux-ci ont basé leur analyse à l'échelle de l'individu où ce dernier est appelé à faire un choix face aux différentes possibilités (mode de déplacement, parcours, correspondances...) qui lui sont proposées afin de maximiser l'utilité de son déplacement. Cette approche sur la composition du déplacement peut prendre la forme définie par la figure 3 suivante :

---

<sup>20</sup> Voir en annexe 3 les « *Étapes de la simulation MADITUC* ».

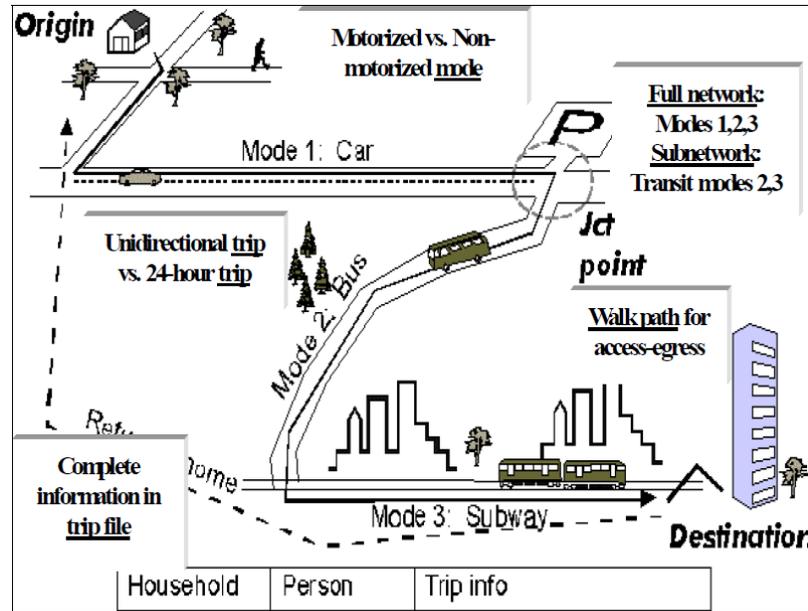


Figure 3 : Modélisation d'un déplacement OD totalement désagrégé.

Source : R. Chapleau (2000), *Conducting Telephone Origin-Destination Household Surveys With an Integrated Informational Approach*.

Ce schéma permet de bien comprendre la finesse de l'analyse par désagrégation totale. En effet, l'origine est connue de façon précise grâce à la géolocalisation (tout comme la destination), puis le déplacement est défini en fonction du parcours (utilisation d'autoroute, de ponts lors d'utilisation de la voiture particulière (VP) ou/et le numéro de TC, etc.) jusqu'à la destination finale. La perte d'information est donc fortement minimisée lorsque l'on connaît le parcours (de porte-à-porte).

Dans le contexte Montréalais, l'AMT a mis en place sa réflexion à partir des enquêtes OD, notamment le traitement des informations sur les données individuelles. Ainsi, cette approche totalement désagrégée vise à intégrer parfaitement les particularités du ménage et de la personne qui est enquêtée, afin de permettre un traitement individuel de la donnée de déplacement. Chaque déclaration est par la suite étudiée sous un SIG (Système d'Information Géographique avec géocodage) afin de valider sa cohérence.

Ainsi, la méthode désagrégée partant sur les informations issues de bases de données individualisées se différencie de la méthode classique sur deux principaux points :

- La désagrégation spatiale (suppression du système de zones) ;
- L'analyse individualisée des déplacements (préoccupation du déplacement du point de vue de l'itinéraire et des caractéristiques socio-économiques de l'individu / du ménage) ;

L'utilisation de ces informations permet de mettre en avant la capacité de mobilité sur le territoire d'étude de la population. Elle permet aussi de combiner un certain nombre de facteurs (démographique, spatiale, économique, etc.) et donc de générer une multitude de profil et de déplacements.



## 2.2. L'environnement de simulation à Montréal

Dans le cadre de la modélisation des réseaux de transport afin d'analyser les répercussions de la création de grandes infrastructures, la PPAM<sup>21</sup> d'une journée moyenne d'automne<sup>22</sup> (ou PPAMMA) est représentée. L'analyse de la PPAM est due au fait que cette période représente la période où la demande en transport est à son maximum. C'est-à-dire que c'est à ce moment-là que l'offre doit répondre au mieux à cette demande. De plus, c'est en règle générale aussi à ce moment-là que la chaîne de déplacement d'un individu se dessine. En effet, si ce dernier décide d'utiliser tel mode de transport alors la majorité des déplacements de sa journée seront caractérisés par ce même mode.

Afin de noter de la pertinence d'un projet, il est essentiel de se baser sur une comparaison entre deux scénarios d'étude que sont la situation de référence et la situation de projet. Pour ce faire, ces situations se basent sur des hypothèses quant à la demande de déplacements projetée de la population de la GRM pour l'année de mise en exploitation du projet. Seule une différence est portée sur l'offre proposée, la situation de référence reproduit l'offre actuelle en TC tandis que la situation de projet intègre en plus les modifications de l'offre.

Mettons en avant le fait que chaque modèle représente une situation particulière. Ainsi, avant de se lancer dans la phase permettant de prévoir la mobilité, il faut « *s'assurer de la capacité du modèle à reproduire la réalité* » (Bonnell P., 2004). En effet, il faut que les données d'enquête permettent une reproduction de l'image de la mobilité sur la totalité du territoire et pour ce faire sa sensibilité se doit être bien définie afin de noter de changements probables.

### 2.2.1. La représentation de la demande (Enquête OD)

À Montréal, ce sont les enquêtes OD régionales qui vont permettre de définir la demande sur son territoire. Comme nous l'avons vu précédemment, elles sont effectuées tous les cinq ans et permettent de recueillir certains déplacements qui, une fois pondérés, vont permettre de représenter l'ensemble des trajets effectués par la population totale du territoire. La pondération s'effectue en fonction de multiples paramètres liés à l'individu (lieux d'habitation, âge, sexe, taille du ménage, etc.).

Les paramètres liés aux déplacements qui seront présents sur le territoire pour l'année d'étude vont permettre de définir la demande future en fonction :

- Du mode de transport (auto-conducteur, auto-passager, TC, actif ou bimodal) ;
- De la période (généralement la PPAM) ;

Afin de définir la prévision en déplacement pour l'année d'étude, le Ministère des Transports du Québec (MTQ) va estimer l'évolution de la démographie entre la dernière enquête OD et l'année de mise en exploitation du projet. Cette estimation va permettre d'intégrer de nouvelles

---

<sup>21</sup> La PPAM est la période de pointe du matin (de 6 h à 8 h 59), période qui connaît le plus fort achalandage.

<sup>22</sup> Cette information sera rappelée régulièrement.



pondérations à appliquer aux déplacements recueillis lors de l'enquête OD. Ainsi, grâce aux prévisions d'études du MTQ, on obtient une prévision de la demande en transport à intégrer au modèle. La demande en déplacement de la GRM étant définie, on peut extraire les trajets effectués lors de la PPAMMA utilisant les TC, exclusivement ou en combiné et cela pour les deux scénarios à comparer (référence et projet) en modifiant les données sur l'offre (chapitre 2.2.2. suivant).

Il est intéressant de noter que les préoccupations principales de l'AMT sont les services de transport collectifs. Ainsi, le modèle est programmé pour analyser d'abord la demande liée au réseau de TC (et donc aux seuls modes TC et la portion TC du déplacement bimodal).

### **2.2.2. La représentation de l'offre (Codification des réseaux)**

Les paramètres liés aux réseaux, qui seront présents sur le territoire pour l'année d'étude, vont permettre de définir l'offre en transport proposée à la population. Ils regroupent aussi bien les différents réseaux de TC que le réseau routier.

Ainsi, les futurs réseaux sont codifiés sur la base de leurs caractéristiques actuelles dans lesquels on intègre les infrastructures (prolongement de métro, création de ponts et d'autoroutes, etc.) et les politiques (plan de circulation, déviations, mise en place d'une nouvelle offre TC, etc.) qui sont déjà acceptées et dont la mise en place sera postérieure à l'année d'étude.

Il est important de reproduire la future offre de la façon la plus juste possible afin de permettre une répartition des déplacements la plus réelle possible. Pour ce faire, certains facteurs doivent être définis :

- Facteurs liés à la géométrie des réseaux (longueurs des arcs, points de correspondances, etc.) ;
- Facteurs liés à l'exploitation des réseaux lors de la PPAM (vitesses, périodes, intervalles, régularités, énergie utilisée, usure, coûts, etc.) ;

Une fois que la simulation des réseaux reproduit fidèlement<sup>23</sup> la future offre de transport, alors la création du réseau de référence et donc de l'offre de référence est terminée.

Afin de noter de la pertinence d'un projet, une comparaison avec la situation de référence est nécessaire. C'est à ce moment-là, celui de la définition de l'offre, que des variations vont être apportées entre les deux situations. En effet, la situation de projet reprend le réseau de référence dans lequel on intègre le projet d'étude. Il est important de définir toutes les relations entre le projet et le réseau de référence (longueurs des arcs, points de correspondances, géométrie, Etc.).

---

<sup>23</sup> Notamment grâce à la calibration (chapitre 2.2.3. page 24).



### 2.2.3. Paramètres de calibration

Les enquêtes OD constituent les fondations de la modélisation désagrégée. En effet, en plus de permettre la prévision de la demande pour les années futures, ce sont elles aussi qui permettent le calibrage du modèle. Une fois la pondération des déplacements recueillis effectuée, les données peuvent être fusionnées<sup>24</sup> avec les différents réseaux présents sur le territoire lors de la mise en place de l'enquête afin de répartir les déplacements sur les différentes lignes TC et ainsi connaître les achalandages réels par mode de transport et par période<sup>25</sup>. On obtient ainsi la situation observée c'est-à-dire l'offre et la demande en transport lors de la PPAMMA de la dernière enquête OD effectuée.

Il est intéressant de noter à ce moment-là du développement que les données d'enquêtes (ou données déclarées), une fois injectées dans la simulation vont fournir deux autres bases de données :

- Les données validées : Elles représentent les données déclarées qui sont possibles. En effet, les données déclarées sont simulées en imposant le parcours entre l'origine et la destination (affectation à l'itinéraire déclaré). Ainsi, si une déclaration n'est pas possible, le simulateur va la mettre de côté ;
- Les données simulées : Le même principe est suivi que pour définir les données validées. Cependant, cette fois-ci l'itinéraire est calculé par le simulateur afin de rendre le parcours le plus rapide possible (affectation au chemin le plus court). L'itinéraire est fortement dépendant des paramètres de calibration définis ;

Le modèle de simulation est dérivé directement de la situation observée (démographie, réseaux de transport et demande en déplacement). Une légère différence est apportée, dans ce modèle, aucun itinéraire n'est prédéfini afin d'effectuer le trajet. En effet, c'est la simulation qui va définir, en fonction des données de l'individu et des caractéristiques liées à l'environnement et à son déplacement, l'itinéraire qui lui est le plus adapté.

Ce chapitre présente de manière succincte les principes de calibrations.

Le but de cette étape, appelée « la calibration », est de créer la base d'un modèle qui va reproduire de façon réaliste les comportements (choix de chemin) des usagers sur le réseau de transport collectif, afin de permettre une simulation et donc une prévision des chemins sur des réseaux modifiés. Cela permettra de produire différentes données relatives à l'usage des réseaux.

Pour y arriver, il est important de calibrer le réseau de façon réaliste :

<sup>24</sup> Cette étape peut être comparable à l'étape d'Affectation (n°4) d'un modèle agrégé.

<sup>25</sup> On étudie la PPAM moyenne (période de pointe du matin), période qui connaît le plus fort achalandage et l'on distingue le métro, des trains de banlieue et des bus ainsi que les différents exploitants.



- Le niveau de service des lignes TC doit traduire fidèlement le service proposé lors de la PPAM (fréquence du service, capacité, etc.) ;
- Les lignes doivent être définies par leurs caractéristiques opérationnelles réelles comme les vitesses de parcours, la ponctualité, etc. ;
- Les distances des tronçons et la géométrie doivent permettre l'approximation optimale du temps de parcours nécessaire ;

Concrètement, une bonne calibration fournit des itinéraires simulés qui correspondent le mieux possible aux itinéraires validés.

Pour ce faire, un certain nombre de paramètres de simulation (pénalité d'accès, régularité, ponctualité, rapidité, etc.) afin de générer de l'impédance en fonction des différents modes de transport peuvent être modifiés afin d'orienter le choix de l'individu vers tel ou tel itinéraire. Ainsi, en faisant varier ces derniers, on peut se rapprocher de la situation observée et donc de la réalité via la comparaison de l'achalandage par mode de transport entre la réalité et la simulation.

Chaque possibilité d'itinéraire a une impédance qui lui est propre. Celle-ci se calcule généralement de la manière suivante :

$$\text{Impédance} = \alpha \cdot t_{acc} + \beta \cdot t_{att} + \gamma \cdot t_{traj}$$

Avec :

- $\alpha$  = coefficient d'accès lié au mode de transport (attractivité) ;
- $t_{acc}$  = temps d'accès lié à la distance entre l'origine et le lieu de d'entrée dans un des réseau de transport et la vitesse de marche à pied ( généralement 4 km/h) ;
- $\beta$  = coefficient lié au mode de transport (ponctualité, régularité, etc.) ;
- $t_{att}$  = temps d'attente moyen lié à la ligne de TC (fréquence) ;
- $\gamma$  = coefficient lié à l'intermodalité (tarification, difficulté de correspondance perte de charge, etc.) ;
- $t_{traj}$  = temps de trajet lié à l'itinéraire (vitesse et distance pour chaque mode utilisé) ;

L'impédance permet donc de définir l'itinéraire le plus adapté pour chaque individu. Une fois la totalité des individus répartis vers leur itinéraire, le modèle va pouvoir calculer le profil de charge sur le réseau, c'est-à-dire la charge par tronçon pour chaque ligne de TC ainsi qu'au niveau des nœuds.

#### 2.2.4. Le transfert modal

Le modèle comprend un complément qui permet de définir le transfert modal et ainsi lui permettre de concevoir qu'une part de la population va changer de mode si une amélioration de l'offre est effectuée.

Ce chapitre qui présente le principe de calcul du transfert modal se base dans sa majeure partie sur l'analyse et les résultats de Spurr T. extraits de son rapport « Documentation



méthodologique du transfert modal v4.0 » pour l'AMT. Le but recherché par l'AMT a été d'appliquer une méthode robuste et adaptée à l'environnement de Montréal. En effet, l'approche mise en avant quant au calcul du transfert modal est l'application d'un transfert modal incrémental à seuil. Cette technique permet ainsi d'augmenter la part des TC lorsque l'offre qui leur est liée augmente, cependant la variation du temps de parcours engendrée doit atteindre un seuil minimum afin de susciter des changements de comportements.

### *Généralités sur le transfert modal*

Un certain nombre de caractéristiques ont été développées afin de permettre au transfert modal de reproduire au maximum le comportement des individus et de se focaliser seulement sur les déplacements pris en compte par le modèle :

- Le calcul d'un transfert auto-pur vers TC ou vers bimodal par l'utilisation du ratio du temps en TC sur le temps en Auto ;
- Les temps de parcours en automobile et TC utilisés sont définis par une simulation sans congestion ;
- Les courbes de diversion sont basées sur l'environnement de simulation ;
- Le choix du point de jonction pour le bimodal est défini par une fonction d'impédance ;

La Figure 4 ci-dessous illustre la théorie de base du transfert modal incrémental à seuil. Le transfert modal entre deux modes est effectif si le mode cible (nouveau mode potentiellement utilisé) devient compétitif avec le mode source (mode actuel pour effectuer le déplacement). Cette compétitivité peut-être définie par le ratio des temps de parcours entre les deux modes.

Ainsi, lors d'une amélioration supérieure à la valeur du seuil de l'offre du mode cible<sup>26</sup>, le ratio des temps de parcours se voit diminuer, ce qui se traduit par un transfert entre les deux modes et donc une augmentation de la part modale du mode cible. La courbe utilisée afin de permettre la représentativité de cette modification de la part modale est définie en fonction des comportements observés sur le territoire d'étude (à partir de l'enquête OD).

---

<sup>26</sup> Le modèle actuel ne traite pas les augmentations du ratio des temps. Le transfert ne peut se faire que vers le transport collectif.

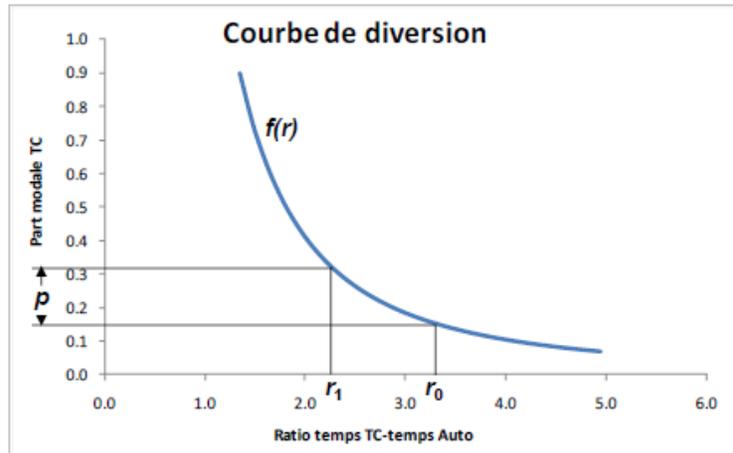


Figure 4 : Principe du transfert modal incrémental à seuil.

Source: AMT (Juin 2012), *Documentation méthodologique du transfert modal v4.0.*

Une explication mathématique est à préciser :

Soit « i », le déplacement donné, le ratio ( $r$ ) du temps de parcours en TC ( $t_{TC}$ ) sur le temps de parcours en Auto ( $t_{AU}$ ) qui lui est défini se calcule comme suit<sup>27</sup> :

$$r_i = \frac{t_{TC}}{t_{AU}}$$

La modification de la part « p » liée à l'amélioration de l'offre TC entre le scénario de base ( $r=0$ ) et le scénario d'étude ( $r=1$ ) est calculé avec la formule suivante :

$$p = \begin{cases} f(r_1) - (r_0) & \text{si } t_{TC} - t_{AU} \geq 2 \\ \text{sinon } 0 \end{cases}$$

Autrement dit, si la variation du ratio des temps de parcours entre les deux modes est inférieure à 2 minutes (seuil de transfert) alors on considère que ce gain n'est pas significatif et donc ne justifie pas un changement de mode. Ainsi, aucun transfert modal ne sera effectué.

### **Estimation du transfert modal**

L'estimation d'un transfert modal se base donc sur une courbe de diversion. Celle-ci est propre à chaque territoire et à chaque population. L'enquête OD va nous permettre de définir la part modale observée et le logiciel de simulation va nous permettre de connaître les temps de parcours par mode afin de calculer le ratio moyen des temps de parcours.

Les données recueillies sont regroupées en fonction du type de déplacement (vers le centre-ville, vers Montréal hors centre-ville ou vers l'extérieur de l'île) et définissent les nuages de points correspondant à la figure 5 suivante :

<sup>27</sup> Les unités des temps de parcours sont les minutes.

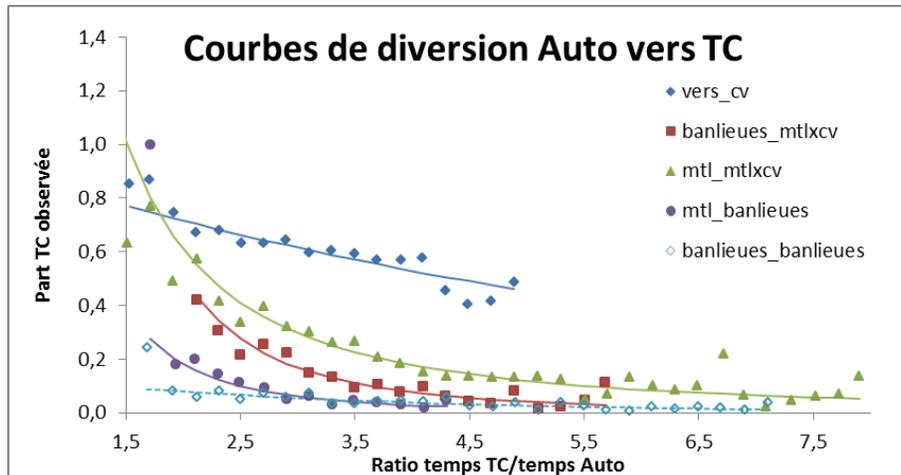


Figure 5 : Courbes de diversion auto pur vers TC pur.

Source : AMT (Juin 2012), *Documentation méthodologique du transfert modal v4.0.*

### Les trois étapes de l'estimation d'une courbe de diversion

#### 1 - La sélection d'un échantillon de déplacements en fonction

- Du mode (auto-conducteur, auto-passager, TC et bimodal) ;
- De la destination des déplacements ;
- De la période de déplacement (toujours la PPAM) ;
- Du lieu du choix de mode<sup>28</sup> ;
- De la notion d'exclusion<sup>29</sup> et de captivité<sup>30</sup> ;

#### 2 - L'affectation de l'échantillon sur les réseaux routiers et TC

- Temps de parcours TC :

Les temps de parcours utilisés lors de l'estimation des courbes de diversion proviennent de la simulation des déplacements lorsque ceux-ci sont exclusivement effectués en TC. Il est important de toujours utiliser la même fonction d'impédance pour chaque analyse de transfert modal.

- Temps de parcours auto :

Les temps de parcours auto proviennent aussi de la simulation, ils sont définis par le chemin ayant le temps de parcours le plus court entre le point d'origine et le point de destination. Chaque arc du réseau est hiérarchisé afin de définir sa vitesse de parcours<sup>31</sup>.

<sup>28</sup> Le choix de mode est pris généralement au domicile, ainsi seuls les déplacements ayant le domicile comme origine sont inclus dans l'échantillon.

<sup>29</sup> Une personne dite « exclue » du mode concurrent est une personne qui ne peut pas utiliser le mode opposé (auto-conducteur / TC) comme par exemple les non-titulaires du permis de conduire.

<sup>30</sup> Une personne dite « captive » à un mode est une personne qui n'a pas d'autre solution que de prendre ce mode comme par exemple les déplacements à motif « sur la route » ou reconduire quelqu'un ».

<sup>31</sup> Pour rappel, les trajets sont effectués en écoulement libre (sans congestion).



- Temps de parcours bimodal :

Chaque déplacement de l'échantillon doit aussi être défini par un temps de parcours bimodal afin de calculer le transfert auto-pur vers bimodal. Pour cela, ils sont segmentés en deux tronçons : un premier entre l'origine et la jonction, effectué en automobile et un second entre la jonction et la destination, effectué en TC<sup>32</sup>.

L'algorithme de simulation d'un déplacement bimodal (présenté dans l'annexe 4), permettant de définir le chemin le plus court en termes de temps, définit pour chaque point de jonction son temps d'accès en automobile et le temps nécessaire pour effectuer la seconde partie du déplacement.

Pour chaque itinéraire, l'algorithme calcul la somme du temps de parcours en transport en commun et le temps de parcours en automobile pondéré. Ici, la pondération du temps en automobile permet d'intégrer des caractéristiques qui ne sont pas prises en compte par la modélisation telles que la congestion routière, le coût, etc. Ainsi, le point de jonction ayant l'impédance minimum est celui qui définira le parcours bimodal.

### *3 - La régression linéaire des données groupées*

Chaque déplacement de l'échantillon d'étude est donc simulé trois fois (en auto pur, en TC, et en bimodal) permettant de calculer pour chaque déplacement un ratio de temps de parcours TC/Auto pur et un ratio Bimodal/Auto pur.

Les déplacements sont groupés par ratio et la part modale observée est définie pour chaque groupe. Une régression généralisée est ensuite appliquée afin de définir la corrélation entre le ratio de temps de parcours et la part modale. Les trois types de déplacements définis précédemment (en fonction de la destination du déplacement) permettent de ne pas regrouper trop de déplacements hétérogènes entre eux.

---

<sup>32</sup> Pour la production des courbes et pour les analyses de transfert modal, les bimodaux de type TC vers Auto ne sont pas considérés.



### 3. Le développement de composantes

Historiquement, les études de faisabilité et d'opportunité qui ont été mise en place par l'AMT se sont basées sur des prévisions tendancielle fournies par le MTQ. En effet, ces prévisions sont faites sur une estimation des tendances quant aux tendances démographiques et économiques de la population de la GRM. Cette approche avait pour but d'uniformiser les études mises en place par l'ensemble des acteurs et des entreprises sur le territoire qui s'appuyaient toutes sur les mêmes prévisions.

La mise en place d'un projet de transport va modifier la mobilité du territoire. Ainsi, les analyses qui sont effectuées en amont doivent permettre de prévoir les modifications de cette mobilité aussi bien spatialement que dans le temps. Nous allons voir les composantes qui sont en cours de développement par l'AMT et qui viendront s'intégrer à celles définissant la base de la modélisation d'un projet de transport urbain.

Ses composantes vont s'appuyer sur l'exemple des prolongements des métros de Montréal. En effet, d'ici 2018, 5 prolongements sont prévus sur le territoire de la GRM, ils représentent donc la principale modification à moyen terme quant à l'évolution du réseau de transport. L'annexe 5 présente le réseau de métro actuel de Montréal et l'annexe 6 celui prévu en 2018.

Les trois composantes qui vont être présentées sont l'ensemencement, l'annualisation et l'extrapolation. La première d'entre elles va permettre de tenir compte du développement immobilier prévu à des endroits précis à proximité des stations de prolongements. Les deux autres, qui fusionnées ensemble, vont permettre de définir l'achalandage annuel à long terme des lignes de métro avec prolongement.

#### 3.1. La méthode d'ensemencement

La création d'infrastructure permettant d'améliorer l'offre de transport a aussi de nombreuses répercussions sur le territoire d'implantation. En plus de modifier les déplacements de la population, celle-ci va engendrer un renouveau au sein de son périmètre d'attractivité. En effet, la population va s'accaparer ce nouvel environnement et une modification de l'utilisation des sols va s'effectuer (espaces publics, commerces de proximités, etc.).

De telles infrastructures sont soit mises en place suite à la création de nouveaux générateurs de déplacements (hôpitaux, nouveaux quartiers, etc.), soit ce sont-elles qui vont permettre la mise en place d'une requalification urbaine à leurs proximités (projets d'urbanisme, réhabilitation de friche urbaine, etc.). Ainsi, un fort potentiel de développement est présent aux alentours de ces quartiers. La mobilité qui en sera générée ne va donc pas évoluer de la même manière que sur l'ensemble du territoire (tendances de croissance régionale), mais va évoluer en fonction du type d'amélioration (nouveaux logements, nouveaux emplois, générateurs de déplacements,



etc.) qui sera mis en place dans le secteur. La méthode d'ensemencement sert à incorporer ces effets lors de la modélisation d'un projet de transport urbain.

### 3.1.1. Mise en contexte

La particularité de la GRM est de posséder une source d'informations importante et détaillée quant à la mobilité sur son territoire, fournie par l'enquête OD. Des modèles, comme par exemple la synthétisation des populations (utilisée dans les modèles à quatre étapes), ont déjà été développés afin de définir la mobilité qui va être engendrée par la création de nouveaux projets sur des secteurs laissés de côté. Cependant, ceux-ci se basent sur des méthodes mathématiques telles que la régression linéaire ou des méthodes de micro-simulation.

Ici, l'objectif est tout autre, le but est de maximiser l'utilisation des données de l'enquête OD. En effet, on considère que la création de nouveaux logements ne va pas engendrer une augmentation de la population de plus que celles déjà prévues par le MTQ (tendances démographiques) mais va modifier leur répartition.

Une modification de la localisation de certains ménages va donc être effectuée. Le but recherché par la méthode d'ensemencement mise en place ici est donc dans un premier temps de créer de la demande en copiant certaines populations vers les nouveaux sites. Il est important de copier depuis des zones ayant les mêmes caractéristiques que les nouvelles, car les comportements (observés dans l'enquête OD) qui leur sont liés de ces populations vont aussi être copiés.

Le second objectif de cette méthode est de supprimer sur l'ensemble du territoire la même quantité de population copiée afin que la population totale de la région ne soit pas artificiellement gonflée. Ainsi, aucune répercussion de la mobilité ne se fera ressentir sur l'ensemble de la région, mais des changements locaux seront engendrés au niveau des nouveaux secteurs urbanisés.

Le but recherché n'est pas de définir un modèle à appliquer en tout temps, mais d'expliquer les raisonnements de la méthodologie qui a été mise en place tout au long du développement de cette composante de modélisation.

### 3.1.2. Méthodologie

La méthode d'ensemencement qui va être présentée prend en compte aussi bien les tendances régionales en termes de mobilité et de démographie définies par le MTQ que les tendances de développement plus locales liées à la modification des quartiers (logements, administration, bureaux et commerces). Ainsi, l'ensemencement va permettre de pallier les différences entre les deux prévisions en termes d'habitants.

L'exemple des prolongements de métro de Montréal va permettre d'illustrer cette méthodologie. En effet, en 2018, 5 prolongements seront mis en place sur le territoire et d'ici



2031, 37 projets situés à plus ou moins 1 000 mètres<sup>33</sup> des futures stations ont été définis par des études d'urbanisme. La méthodologie d'ensemencement va donc permettre de prévoir la mobilité qui sera engendrée par ces sites. Celle-ci repose sur quatre types de données :

- L'inventaire des projets de développement présent dans le secteur des futures infrastructures (2031) (Source : Urbanistes/Economistes) ;
- Les données de la dernière enquête OD régionale (2008) (Source : AMT) ;
- Les prévisions de démographies liées à la tendance d'évolution pour l'année de construction des projets d'urbanisme (2031) à partir de la dernière enquête OD régionale<sup>34</sup> (2008) (Source : MTQ) ;
- Le dernier recensement (2006) (Source : Statistique Canada) ;

Afin de mener à bien cette méthodologie, 4 grandes étapes<sup>35</sup> sont mises en place :

- Identification des zones à ensemercer ;
- Identification des Zones Sources (ZS) et de la population à transposer ;
- Reproduction et translation des déplacements dans les sites à ensemercer ;
- Récupération des personnes et des déplacements sur l'ensemble du territoire ;

La création de nouveaux projets d'urbanisme n'engendrera pas de nouvelles populations et donc pas de nouveaux déplacements que ceux prévus par la prévision tendancielle du MTQ. L'étape de « Récupération des personnes et des déplacements sur l'ensemble du territoire » permet donc de « supprimer »<sup>36</sup> dans les ZS une quantité équivalente à la population qui aura été préalablement copiée au sein des projets d'urbanisme.

La figure 6 ci-dessous présente les sites à urbaniser, leur implantation et les périmètres d'étude vis-à-vis des lignes de métro actuelles et les prolongements :

---

<sup>33</sup> Montréal tend à se développer d'après l'approche de Calthorpe P. (Urbaniste Américain) qui est un pionnier du TOD (Transit-Oriented Development), aménagement axé sur les TC. D'après lui, la population accède à une station de TCSP si celle-ci se situe à une distance de moins de 1 km. ([http://pmad.ca/fileadmin/user\\_upload/pmad2011/documentation/20111004\\_guideAiresTOD.pdf](http://pmad.ca/fileadmin/user_upload/pmad2011/documentation/20111004_guideAiresTOD.pdf)).

<sup>34</sup> Modification des facteurs d'expansion des déclarations.

<sup>35</sup> Modification de la méthodologie d'ensemencement mis en place en 2002 par l'AMT (8 étapes) lors de l'« Implantation d'un système léger sur rail (SLR) dans l'axe de l'autoroute 10 / Centre-ville (Montréal) ».

<sup>36</sup> Délocalisation des lieux de résidence dans le site à urbaniser.

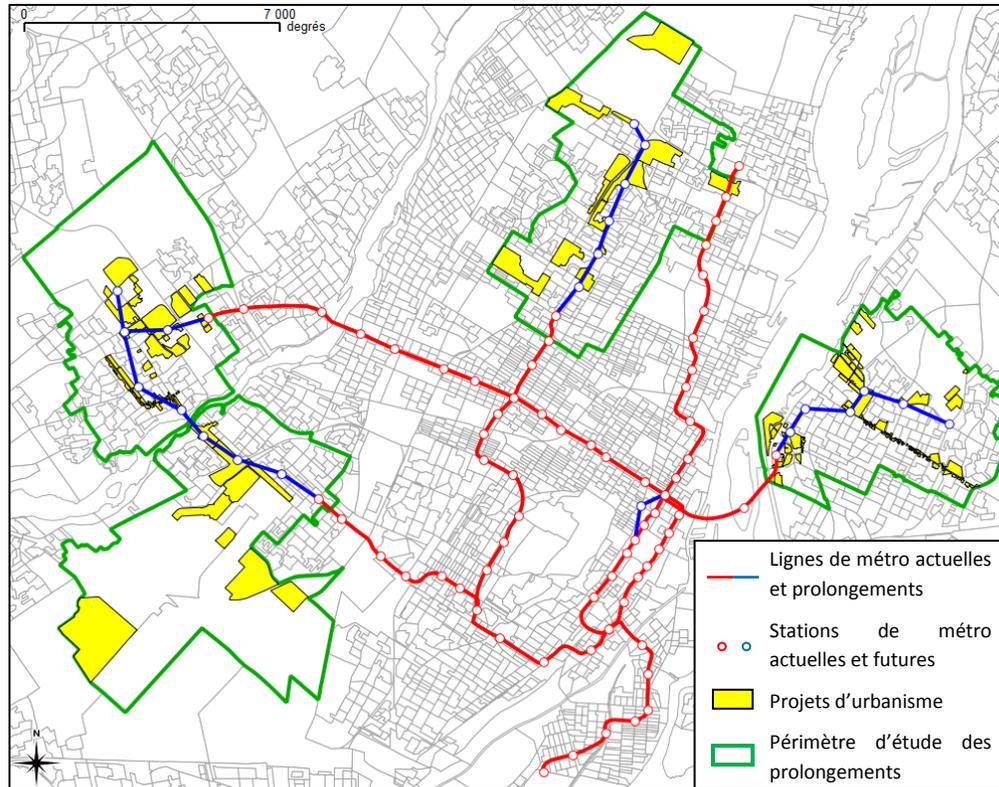


Figure 6 : L'implantation des projets d'urbanisme en fonction des prolongements de métro.  
 Source : Caractéristiques des projets d'urbanisme, Réseau de métro, Réalisation B. Frioux.

### Identification des zones à ensemercer

Les projets d'urbanisme vont permettre la création d'un certain nombre de logements. Ainsi, afin de noter de la nécessité d'ensemencer ou non ces nouveaux sites, il est nécessaire de mettre en place une analyse pour savoir si les croissances naturelles des populations de ces sites (prévision du MTQ) permettent de répondre aux futures capacités en logement.

Ainsi, une comparaison de deux sources de données indépendantes est mise en place afin de décider s'il faut copier des enregistrements de l'enquête OD ou non. Ainsi, un facteur de 2 doit être au minimum atteint entre la future capacité en logement<sup>37</sup> (population définie par l'enquête OD 2008 + la capacité des futurs logements) et la prévision de population du MTQ pour 2031 (tendance démographique). Ce facteur se calcule comme suit :

$$F = \frac{\text{Capacité}}{\text{Prévision}}$$

En deçà de ce nombre, on considère que la demande liée à l'augmentation naturelle de la population de ces sites à urbaniser est suffisante pour répondre (directement ou en quelques années) à la nouvelle offre en logement.

<sup>37</sup> En termes de personnes et non de ménages.

Dans l'exemple du site Agora<sup>38</sup> présenté dans le tableau 4 ci-dessous, la méthodologie d'ensemencement résidentiel devra être mise en place. En effet, le facteur lié aux logements est de 20,65. Il faut noter que pour certains projets, ces facteurs n'existent pas, car les sites sont actuellement non urbanisés (friches urbaines). Ainsi, l'ensemencement semble inévitable.

Site	Agora
Superficie (m <sup>2</sup> )	47,09
Distance au centre-ville (km à v.o.)	14,54
<b>Étude d'urbanisme (Horizon 2031)</b>	
Nouvelles personnes <b>A</b>	3860
Nouveaux logements	3300
Valeur moyenne d'un logement (\$)	275000
<b>Enquête OD 2008</b>	
Personnes 2008 <b>B</b>	95
Ménages 2008	34
Prévision du MTQ de la croissance naturelle (2031) <b>C</b>	192
Population avec dével. <b>A + B = P</b>	3955
Logements avec dével.	3334
Facteur (Pop. dével.)/(Pop. 2031) <b>P/C</b>	<b>20,65</b>

Tableau 4 : La base de données du site Agora permettant l'ensemencement.

Source : Enquête OD 2008, Prévision du MTQ, Caractéristiques des projets d'urbanisme, Réalisation B. Frioux.

Sur l'ensemble du territoire de la GRM, 20 des 37 projets vont nécessiter la mise en place de la méthodologie d'ensemencement résidentiel (d'après l'enquête OD, 6 d'entre eux ne possèdent actuellement aucun logement).

### *Identification des Zones Sources et de la population à transposer*

Les sites à ensemencher étant définis, il convient de définir parmi les aires de diffusion du recensement de la région de 2006 (6 208 pour la GRM) celles qui vont fournir la population et les déplacements à transposer.

### Indice de similarité résidentielle

Afin de noter de la similarité des zones entre elles, l'indice mis en place repose sur trois critères propres à chaque zone :

- La densité normalisée de logements<sup>39</sup> DL ;
- La valeur moyenne normalisée des logements<sup>40</sup> VL ;

<sup>38</sup> Les données présentées sont fictives.

<sup>39</sup> Critère pertinent car le Plan Métropolitain d'Aménagement et de Développement (PMAD) de la Communauté Métropolitaine de Montréal (CMM) impose des seuils minimaux pour tout développement futur.

<sup>40</sup> Critère représentatif des caractéristiques socio-démographiques.

- La distance normalisée du centroïde de la zone au centre-ville<sup>41</sup> DCV ;

Une explication mathématique est à préciser :

La fonction de normalisation ( $X$ ) de chaque donnée est définie par la valeur brute ( $x$ ) de chaque zone, la moyenne ( $\mu_x$ ) et l'écart type ( $\sigma_x$ ) (pour l'ensemble du territoire) et se calcule comme suit :

$$X = \frac{x - \mu_x}{\sigma_x}$$

Soit « i » le site à urbaniser et « j » la zone source, l'indice de similarité «  $I_{ij}$  » permettant de les comparer se calcule comme suit :

$$I_{ij} = \exp\left(-\sqrt{\Delta DL^2 + \Delta VL^2 + \Delta DCV^2}\right)$$

Avec :  $\Delta X = X_j - X_i$  ;

Ainsi, «  $I_{ij}$  » varie entre 0 et 1 et la similarité parfaite entre les deux zones est obtenue lorsque «  $I_{ij}$  » est égal à 1.

#### Sélection des ZS résidentielles et de la population à transposer

Afin de transposer un type de population similaire aux futurs habitants des sites à urbaniser, il est nécessaire de sélectionner parmi l'ensemble des zones de la GRM celles qui ont un indice de similarité le plus élevé. De plus, afin de garder une certaine cohérence quant aux déplacements qui seront transposés (qui doit être représentative de l'offre en TC du secteur au travers du mode, de l'heure de départ, etc., et des services de proximité proposés), les ménages transposés devront se situer dans un rayon relativement proche du site à urbaniser.

Ainsi, le principal défi de cette étape est d'obtenir un nombre suffisant de personnes qui ont les mêmes caractéristiques de mobilité et socio-économiques que la population future. De manière utopiste, il faudrait identifier un nombre équivalent de personnes, que celui attendu dans le site, qui vit à moins de 500 mètres de celui-ci et au sein d'une ZS qui a un indice de similarité égal à 1.

Pour ce faire, il est dans un premier temps important de ne pas transposer une quantité trop faible ou trop grande de déclarations de l'enquête OD afin de maintenir la valeur du facteur d'expansion (définie par le MTQ) qui leur est liée proche de sa valeur initiale et donc représentative de la réalité. Le facteur  $F_{moy,k}$  pour un site k, permet de noter de cet écart et se calcule comme suit :

$$F_{moy,k} = \frac{\sum_i f_{ios}}{P_k}$$

Où :

<sup>41</sup> Critère représentatif des caractéristiques de mobilité en transport. Dans le cas de Montréal, le centre-ville est défini comme l'intersection des rues McGill College et Ste-Catherine.

- $f_{i08}$  est le facteur d'expansion d'une personne transposée  $i$  dans l'année de base (2008) ;
- $P_k$  est la nouvelle population générée par le projet d'urbanisme  $k$  ;

En effet,  $F_{moy,k}$  devrait être compris entre 0,8 et 2 (1 étant la similarité parfaite entre la quantité de la nouvelle population et la quantité de population transposée au travers des déclarations d'enquête OD). 90 % des facteurs d'expansion de l'enquête OD de 2008 étant compris entre 15 et 39, les nouveaux facteurs, vont varier entre 7 (15/2 arrondi au-dessous pour améliorer la valeur de 90 %) et 49<sup>42</sup> (39/0,8 arrondi au-dessus pour la même raison).

Dans un second temps, en considérant la valeur du facteur  $F_{moy,k}$ , le but est de trouver la population la plus représentative de la population future aussi bien en termes de mobilité que socio-économique, il convient donc de trouver la meilleure relation entre la distance de translation et l'indice de similarité. Le tableau 5 suivant reprend l'acceptabilité de chaque caractéristique en fonction de leur valeur :

Acceptabilité	Distance (en km)	Indice de similarité
Très forte	0 - 1	0,8 - 1
Forte	1 - 2	0,6 - 0,8
Moyenne	2 - 3	0,4 - 0,6
Faible	3 - 4	0,2 - 0,4
Très faible	4 - 5	0 - 0,2

Tableau 5 : Acceptabilité des caractéristiques de la population à transposer.  
Réalisation B. Frioux.

Une fois la quantité et les caractéristiques des personnes à transposer acceptables, il faut redéfinir leur facteur d'expansion afin que ceux-ci soient représentatifs de la population totale prévue avec le projet d'urbanisme. Ce nouveau facteur  $f$  se calcule comme suit :

$$f_i = f_{i08} * F_{moy,k}$$

Le résultat de l'exercice pour le site Agora est résumé dans le tableau 6 suivant :

Site	Rayon de recherche (km)	IS min	Nbr personnes enquêtées (i)	Nbr déclarations	Population ( $\sum f_i$ )	Population avec projet	Fmoy
Agora	2.0	0.4	76	191	2027	3860	1.904

Tableau 6 : Résumé de l'exercice de transposition des déplacements pour le site Agora.

Source : Enquête OD 2008, Prévision du MTQ, Caractéristiques des projets d'urbanisme, Réalisation : B. Frioux.

### **Reproduction et translation des déplacements dans les sites à ensemercer**

La population à copier, précédemment identifiée, est affectée aux centroïdes des bâtiments des projets d'urbanisme. Ainsi, tous les déplacements de toutes les personnes de chaque ménage sont ajoutés à la base de données de l'enquête OD (2008) et cela afin de maintenir les structures de ménage des ZS. Cependant, certains de leurs champs vont devoir être modifiés :

<sup>42</sup> Valeurs des facteurs d'expansion acceptables.



- Identificateur unique (numéro d'enregistrement) ;
- Localisation du domicile<sup>43</sup> ;
- Extrémités du déplacement si celles-ci sont en rapport avec le domicile ;
- Extrémités du déplacement si celles-ci sont en rapport avec la zone de domiciliation (déplacements internes / de proximités<sup>44</sup>) ;

### Déplacements internes / de proximités

Cette étape, tirée de l'«*Implantation d'un système léger sur rail (SLR) dans l'axe de l'autoroute 10/Centre-ville (Montréal)* » (AMT, 2002), n'est pas utilisée dans la nouvelle méthodologie d'ensemencement. Cependant, afin de mieux comprendre le processus de reproduction et translation, il semble intéressant de décrire le procédé.

Lors de la modification de la localisation des domiciles, les déplacements internes vont devoir aussi être modifiés. Ceux-ci vont donc voir leurs deux extrémités être recodées. Ainsi, trois types de centroïdes vont être redéfinis lors de la délocalisation du domicile :

- Centroïde d'une école primaire : il est défini par la localisation de l'école primaire la plus proche du site à urbaniser. Les déplacements effectués vers ce centroïde sont effectués par les individus de moins de 12 ans qui effectuent un déplacement à motif « Étude » ;
- Centroïde d'une école secondaire : tout comme celui de l'école primaire, il est défini par la localisation de l'école secondaire la plus proche du site à urbaniser. Les déplacements effectués vers ce centroïde sont effectués par les individus de moins de 12 à 17 ans qui effectuent un déplacement à motif « Étude » ;
- Centroïde interne : il va représenter la destination de l'ensemble des déplacements interne à la zone et sera donc localisé au centroïde de celle-ci ;

Il semble intéressant de bien distinguer ces trois types de centroïdes. En effet, les déplacements vers les écoles primaires ou secondaires ne se font pas forcément au sein d'une même zone (il y a rarement de construction d'écoles dans les nouveaux quartiers), mais ils restent des déplacements relativement courts (et donc de proximités), généralement effectués en autobus scolaires. En revanche, les déplacements internes tels que les achats de proximités et certains loisirs peuvent être faits à proximité du domicile (déplacements internes) et sont donc généralement effectués à pied.

### *Récupération des personnes et des déplacements sur l'ensemble du territoire*

La méthode d'ensemencement ne doit pas engendrer un gonflement artificiel de la population totale de la région. En effet, elle doit seulement modifier la répartition de celle-ci.

Pour ce faire, les facteurs d'expansion de certaines personnes seront réduits pour contrebalancer les nouvelles personnes créées lors de l'étape de « Reproduction et

---

<sup>43</sup> Cette donnée est présente pour tous les déplacements, même ceux qui n'ont aucun lien avec le domicile.

<sup>44</sup> Voir le paragraphe suivant sur les « Déplacements internes / de proximités ».



translation ». Cette réduction sera proportionnelle à l'indice de similarité de la zone de résidence de la personne.

Ainsi, la récupération de la demande reproduite sur les sites à urbaniser se fera à partir des ménages vivant dans des zones dont l'indice de similarité est supérieur à celui utilisé précédemment (« Sélection des ZS résidentielles »). Afin de ne pas contrebalancer l'augmentation de la mobilité au niveau local, les ZS ciblées ici doivent être différentes des ZS dont la population a été copiée.

En effet, la création d'une infrastructure de transport ainsi que la requalification urbaine (projets d'urbanisme, réhabilitation de friche urbaine, etc.) qui se met en place à son pourtour vont améliorer la qualité de vie des habitants du secteur, mais aussi ceux qui vivent à proximité. Ainsi, ces deux caractéristiques permettent de « supprimer » des personnes similaires à la nouvelle population créée, mais qui vivent à une distance suffisante des infrastructures pour ne pas ressentir les bénéfices de leur création.

Il est important de vérifier que la populationensemencée a approximativement la même taille que la population récupérée afin de valider l'exercice d'ensemencement résidentiel.

### 3.1.3. Analyse et critique de la méthode

Le but de la réflexion qui a été mise en place est l'appropriation par l'AMT d'une méthodologie précédemment développée. En effet, le MTQ a défini son propre indice de similarité des zones cependant celui-ci se basait sur des zones relativement grandes (comparables aux secteurs municipaux). Ainsi, afin de mieux s'intégrer à la modélisation « totalement désagrégée » et aux données des enquêtes OD, l'AMT a décidé de définir son propre indice. Ce dernier permet notamment une résolution plus fine des résultats mis en avant, de par la comparaison de zones moins grandes (Aires de diffusions).

Le principal défi qui a été mis en place lors de la réflexion de cette composante a été de créer un modèle qui va au-delà d'un modèle de déménagement. En effet, même si le but est de délocaliser une certaine population, les déplacements qui lui sont liés vont fortement en être impactés et donc leurs caractéristiques vont évoluer (transfert modal, heure de départ, etc.). Ainsi, un certain enjeu est présent (si ce n'est le plus fort) lors de la définition des zones sources qui doivent représenter la future population, mais aussi les caractéristiques de la mobilité (qui doivent être représentatives de l'offre et des services de proximité) des zones à ensemenecer. Au vu des données disponibles grâce à l'enquête OD, il est possible d'améliorer l'indice de similarité en intégrant une plus grande quantité de composantes. Cependant, en intégrant plus de composantes, les résultats de cet indice vont être diminués et donc sa pertinence sera remise en question.

Si l'on reprend les objectifs des différentes étapes du « Dossier d'Affaires » (le DPS, le DAI et le DAF), alors la précision des résultats est une donnée fortement hétérogène entre chaque section. Le raffinement de l'indice de similarité va donc permettre de mettre en place des



études s'intégrant à chacune des étapes de ce dossier en fonction de la précision des résultats requis.

### 3.2. Les méthodes d'annualisation et d'extrapolation

Dans des villes telles que Montréal, qui sont sujettes à de fortes variabilités d'achalandage tout au long de la journée, de la semaine et de l'année, la prédiction de l'achalandage des infrastructures de transport est rendue complexe. En effet, en plus des habituels facteurs liés aux vacances, aux conditions météorologiques ou aux événements spécifiques<sup>45</sup>, les valeurs des facteurs d'annualisation ne seront pas les mêmes en fonction de la période d'étude et du mode de transport (métros, bus, automobiles, etc.).

En ce qui concerne l'annualisation, le MTQ définit des facteurs de pondération à appliquer aux données recueillies lors des enquêtes OD afin de définir la mobilité des horizons futurs (2011, 2016, 2021, 2026 et 2031). Ces facteurs s'appliquant à des données qui sont par la suite simulées vont permettre d'estimer les achalandages des PPAMMA de ces horizons. Ici, l'objectif est de définir des facteurs d'annualisation qui vont permettre de transposer l'achalandage d'une PPAM moyenne d'automne à l'année et cela notamment pour l'achalandage prévisionnel des futures infrastructures.

Pour ce qui est de l'extrapolation, si nous reprenons les objectifs du « Dossier d'Affaires » vus au chapitre 1.1. (page 5), cette composante va permettre de définir sur du long terme une fourchette de l'achalandage prévisionnel des infrastructures en projet. Ainsi, une idée de la capacité des infrastructures à mettre en place ainsi que de leur rentabilité pourra être estimée.

Les deux méthodes d'annualisation et d'extrapolation sont deux composantes distinctes, mais celles-ci restent fortement complémentaires et peuvent être donc fusionnées afin de n'en créer qu'une seule.

En soi, la méthode d'annualisation/extrapolation est un module à part de la simulation de réseau. En effet, les simulations de réseau permettent de définir l'achalandage futur, mais ceux-ci sont définis pour la PPAMMA et pour les horizons futurs à moyen terme. Les méthodologies présentées ici vont permettre d'estimer l'achalandage annuel futur à long terme (plus loin que 2031) sans avoir recours à la simulation.

#### 3.2.1. Mise en contexte

Les enquêtes OD sont mises en place tous les cinq ans lors de la saison d'automne et permettent de mettre en avant l'évolution des comportements qui s'est effectuée entre deux périodes données. Cependant, de par une période de non-enquête relativement longue, cette étude ne

---

<sup>45</sup> De nombreux festivals, événements sportifs, culturels et touristiques... sont organisés à Montréal.



permet pas d'apprécier les tendances et impacts de circonstances socio-économiques particulières entre deux enquêtes (Batellino et Peachman, 2003)<sup>46</sup>.

De plus, la qualité changeante des données recueillies ajoutée à la période de non-enquête influe sur l'interprétation des tendances évolutives de la mobilité :

*« So, are changes recorded in time series partly reflecting differences in the quality of survey processing rather than real changes? Measuring the general extent of this effect is difficult, and quantifying it accurately is impossible ».*

(Ortúzar, Armoogum, Madre et Potier, 2010).

Afin de permettre une analyse plus fine des changements de comportements en fonction des saisonnalités, les chercheurs et analystes de la mobilité se penchent de plus en plus sur les enquêtes OD en mode continu. Ortúzar, Armoogum, Madre et Potier (2010) dans leur ouvrage *« Continuous Mobility Surveys: The State of Practice »* présentent différentes enquêtes en mode continu dans le monde et posent les principaux avantages de celles-ci :

- Meilleure compréhension et suivi des changements comportementaux ;
- Appréciation des effets saisonniers (déplacements estivaux, non motorisés) et effets socio-économiques (crises économiques, prix de l'essence, climat, grève des TC, etc.) ;
- Maintien d'une main-d'œuvre formée en continu (diminution de l'effet de la courbe d'apprentissages (enquêteurs et organisateurs) en début d'enquête<sup>47</sup>) ;
- Facilité d'obtention de financement sur une base annuelle et en continu ;

#### ***Enquêtes OD en mode continu de Montréal***

Le projet pilote de l'enquête OD en mode continu à Montréal a vu le jour au début de l'année 2009. Le but de celle-ci est de mettre en avant les changements de comportement de la population tout au long de l'année. En effet, même si l'échantillonnage est plus faible que ceux des enquêtes OD régionales<sup>48</sup>, cette enquête permet d'analyser les évolutions de comportements entre les trimestres (hiver, été et automne) et d'une année sur l'autre. De plus, elle suit le même procédé que les enquêtes OD régionales afin de faciliter la comparaison entre elles.

Ainsi, une forte complémentarité se dégage des deux enquêtes OD présentes sur le territoire de la GRM. La plus grosse et la plus vieille, c'est-à-dire l'enquête régionale, permet de définir les grandes tendances à un niveau de précision élevé, notamment sur des questions de part modale et d'évolution de la mobilité dans le temps. La seconde, soit l'enquête en mode continu, permet de vérifier les tendances d'évolution mises en avant par l'enquête régionale.

<sup>46</sup> Tiré de *« Continuous Mobility Surveys: The State of Practice »* de Ortúzar, Armoogum, Madre et Potier (2010).

<sup>47</sup> Des problèmes sont survenus à Montréal lors de la mise en place de l'enquête OD en mode continu. Ainsi, le 1<sup>er</sup> trimestre de 2009 n'est pas ou peu exploitable.

<sup>48</sup> Plus de 15 000 ménages par année (soit 1 % des ménages privés) contre 70 000 pour l'enquête OD régionale de 2008.



Dans la méthodologie présentée ci-après, les données d'enquêtes utilisées vont provenir essentiellement de la dernière enquête OD régionale (2008). Les enquêtes OD en mode continu, auront servi en amont, à valider les résultats de l'enquête OD régionale de 2008 et vérifier que les tendances d'évolution qui lui sont liées sont logiques.

L'Agence Métropolitaine de Transport se préoccupant principalement des grandes infrastructures de transport, la méthode d'annualisation/extrapolation se consacre, au seul mode de transport qu'est le métro<sup>49</sup> (dont des extensions sont prévues d'ici 2018).

Le réseau de métro étant peu dense (4 lignes) et les données d'achalandages étant complètes (Enquête OD, tourniquets et cartes à puce), le développement de la méthode en sera facilité. Il est intéressant de noter qu'une méthodologie d'annualisation/extrapolation a déjà été mise en place pour les trains de banlieue<sup>50</sup>. Cependant, il était intéressant de développer une nouvelle méthodologie, car les données entrantes du train se basaient sur des comptages lors de certaines PPAM. Dans le cas du métro, les données entrantes sont plus précises et donc l'analyse peut aller plus loin.

### 3.2.2. Méthodologie

La méthode d'annualisation/extrapolation qui va être présentée se base en grande partie sur la dernière enquête OD régionale qui permet de définir la mobilité lors de la PPAMMA. Cependant, afin de définir les facteurs permettant de passer de cette PPAM à l'année ainsi que les tendances à reproduire pour chaque ligne et même pour chaque tronçon de lignes, les données sur l'achalandage historique annuel sont nécessaires. Ces dernières sont fournies par les exploitants.

Ainsi, la méthodologie repose sur six types de données :

- Les résultats de simulations de la dernière enquête OD régionale (Source : AMT) :
  - o Les données validées ;
  - o Les données simulées ;
- Les données de prévisions de démographies pour les années futures à partir de la dernière enquête OD régionale<sup>51</sup> (2008) (Source : MTQ) :
  - o Hypothèses de tendance (basée sur la croissance des emplois, celle de la population, la motorisation, etc.) ;
- Les données d'achalandages des métros (Source : STM) :
  - o Tourniquets et cartes à puce et tickets magnétiques (à partir de 2009) ;
  - o Taux de croissance de l'achalandage ;

La méthodologie comprend deux grandes composantes :

---

<sup>49</sup> Exploité par la STM (Société de Transport de Montréal).

<sup>50</sup> Exploité par l'AMT.

<sup>51</sup> Modification des facteurs d'expansion des déclarations.



- Annualisation :
  - Comparaison des comportements de mobilité des secteurs desservis par les tronçons et les secteurs d'étude des prolongements ;
  - Définition des facteurs d'annualisation permettant de passer de la PPAM moyenne d'automne à l'achalandage par an par tronçon de ligne ;
  - Transposition des résultats ;
- Extrapolation :
  - Définition des tendances des 13 dernières années ;
  - Définition de scénarios (Hypothèses haute et basse et Prévision du MTQ) ;
  - Hypothèse de gain lié aux prolongements ;
  - Extrapolations des résultats ;

### ***Annualisation (achalandage PPAMMA/achalandage annuel)***

L'objectif de la méthode d'annualisation est donc de définir les facteurs qui permettent de passer de l'achalandage d'une période donnée (ici la PPAMMA : la simulation réseau définit l'achalandage lors de cette période) à l'année (les économistes utilisent les achalandages annuels) et cela pour des projets d'infrastructures de transport.

En effet, afin de connaître la pertinence d'un projet et notamment du point de vue de sa rentabilité<sup>52</sup>, il est nécessaire de pouvoir estimer les retombées économiques annuelles qu'il va générer et donc la prévision d'achalandage annuelle est une donnée primordiale.

La méthodologie d'annualisation expliquée ci-dessous va présenter la réflexion qui a été mise en place afin de définir les facteurs d'annualisation à appliquer à l'achalandage prévisionnel des prolongements de métro et ainsi prévoir l'achalandage annuel d'une ligne de métro qui n'existe pas.

En effet, dans le cadre de l'amélioration de l'offre en transport, le service planification va s'appuyer sur les résultats de la simulation afin de définir le meilleur tracé. Cependant, ces résultats présentent seulement l'achalandage lors de la PPAMMA. Afin de fournir des données plus complètes, notamment des données annuelles pour les analyses financières, la méthode va prendre en compte les caractéristiques de la mobilité de la population résidante dans les futurs secteurs desservis. Ainsi, les facteurs d'annualisation définis seront représentatifs de la population et de sa mobilité.

### **Typologie des lignes**

Dans le cas des prolongements de métro de Montréal, il est nécessaire dans un premier temps de connaître la répartition horaire de l'achalandage des métros. Malgré une connaissance précise de l'achalandage de chaque métro grâce aux données des tourniquets ou des cartes à puce, cette répartition horaire est définie en fonction des données de l'enquête OD de 2008. En effet, afin de permettre une comparaison cohérente (voir le chapitre sur la « Similarité des différents tronçons » page 49) il convient de rester dans le même univers que les secteurs

---

<sup>52</sup> Donnée à fournir lors de la mise en place du « Dossier d'Affaires » vue au chapitre 1.1. page 5.

d'étude (voir le chapitre suivant sur les « Secteurs d'étude des prolongements » page 46) et donc d'utiliser la base de données de l'enquête OD.

Il est important de bien différencier chaque ligne, car l'utilisation des infrastructures est propre à chaque territoire desservi. Par exemple, comme le montre la figure 7 ci-dessous, la ligne Jaune qui permet de relier Longueuil au centre-ville de Montréal va principalement servir aux déplacements pendulaires et donc sera principalement achalandée lors de la période de pointe du matin dans le sens Banlieue-Centre-ville et lors de la période de pointe du soir dans le sens Centre-ville-Banlieue.

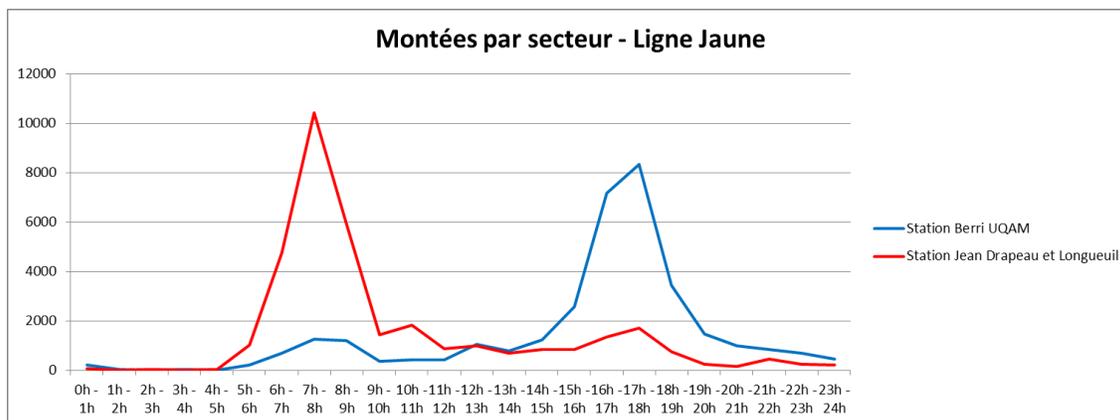


Figure 7 : Montées journalières moyennes d'automne 2008 par secteur - Ligne Jaune.

Source: Enquête OD 2008, Réalisation: B. Frioux.

A contrario, la ligne Orange (Figure 8) qui dessert les principaux quartiers de Montréal aura des facteurs de pointes moins élevés. En effet, cette ligne permet de transporter un grand nombre de travailleurs et d'étudiants lors des heures de pointe, mais va aussi desservir les quartiers qui génèrent des déplacements tout au long de la journée et en fin de semaine, ceux pour motifs « loisirs », « magasinage », « santé », etc.

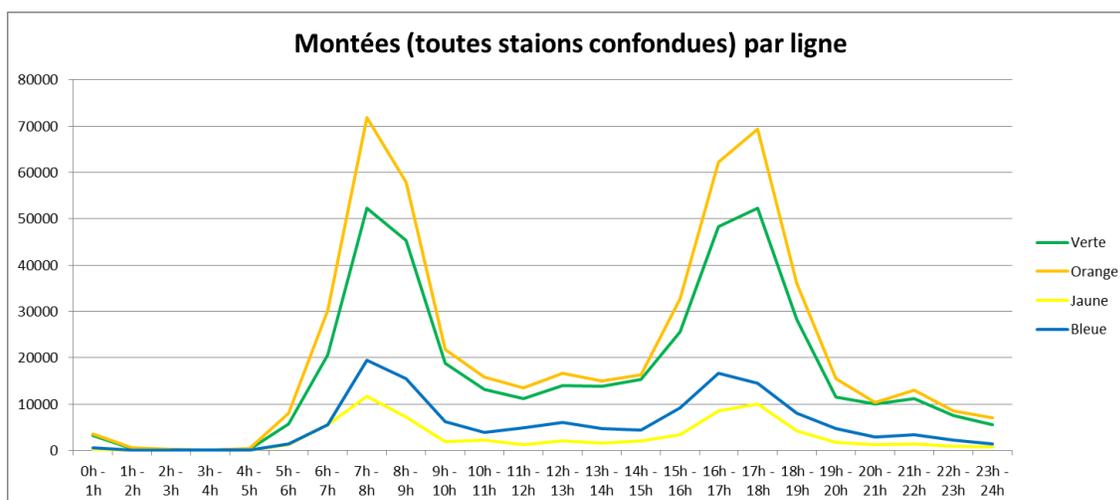


Figure 8 : Montées journalières moyennes d'automne 2008 par ligne.

Source: Enquête OD 2008, Réalisation: B. Frioux.

Le tableau 7 ci-dessous reprend les principales caractéristiques de chaque ligne de métro :

Ligne	Longueur (en km)	Nombre de station	Achalandage annuel 2008	Facteur de pointe PPAMMA 2008	Facteur de pointe PPPMMA 2008
1	22,1	27	414 274	3,50	3,22
2	30	31	526 010	3,29	3,14
4	4,3	3	68 968	2,84	3,02
5	9,7	12	135 659	3,36	3,46

Tableau 7 : Caractéristiques des lignes de métro.

Source : Enquête OD 2008, Réalisation : B. Frioux.

Pour les mêmes raisons, il est aussi nécessaire de découper chaque ligne du réseau en différents tronçons. En effet, les lignes de métro faisant plusieurs dizaines de kilomètres et desservant différents types de quartiers (quartier d'affaires, quartier historique et touristique, quartier commerçant, quartier résidentiel, etc.), chaque section de ligne a son propre profil d'achalandage.

Ainsi, chaque ligne va être étudiée par tronçon, ce qui va permettre de lier les caractéristiques des corridors avec la distribution temporelle des déplacements en métro qu'ils émettent. Les extrémités de chaque tronçon sont définies par les stations de correspondances et les terminus (ou après l'ancien terminus Henri-Bourassa de la ligne Orange avant le prolongement à Laval en 2007).

Le choix a été pris de ne pas intégrer les stations de correspondances (Snowdon, Lionel-Groulx, Berri-UQAM et Jean-Talon) dans les tronçons de lignes. En effet, ces stations ne peuvent pas être associées à une seule ligne.

Il faut noter que la méthodologie a aussi été effectuée en intégrant les stations de correspondances à leur tronçon adjacent le plus représentatif de leur utilisation. Cette seconde méthode est plus complexe et plus longue à mettre en place. En effet, il faut définir vers quelle ligne de métro s'orientent les entrants dans les stations de correspondances. La précision sera certes améliorée pour les données des enquêtes OD<sup>53</sup>, mais sera fortement revue à la baisse pour les données des tourniquets<sup>54</sup>. Les résultats finaux ont été relativement similaires entre les deux méthodes et donc le choix s'est porté vers la plus simple et synthétique.

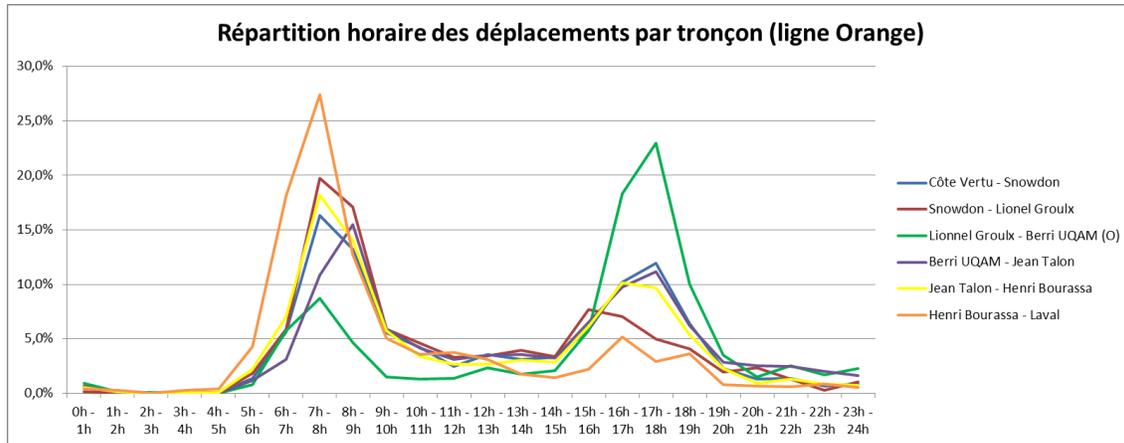
Le réseau a donc été découpé en 12 tronçons (6 pour la ligne Orange, 3 pour la Verte, 1 pour la Jaune<sup>55</sup> et 2 pour la Bleue). Ces tronçons peuvent être étudiés individuellement en fonction de la répartition horaire des entrants dans ses stations et seront caractérisés par la typologie du

<sup>53</sup> Le parcours étant connu pour chaque déplacement, on sait vers quel métro l'entrant dans ces stations s'oriente.

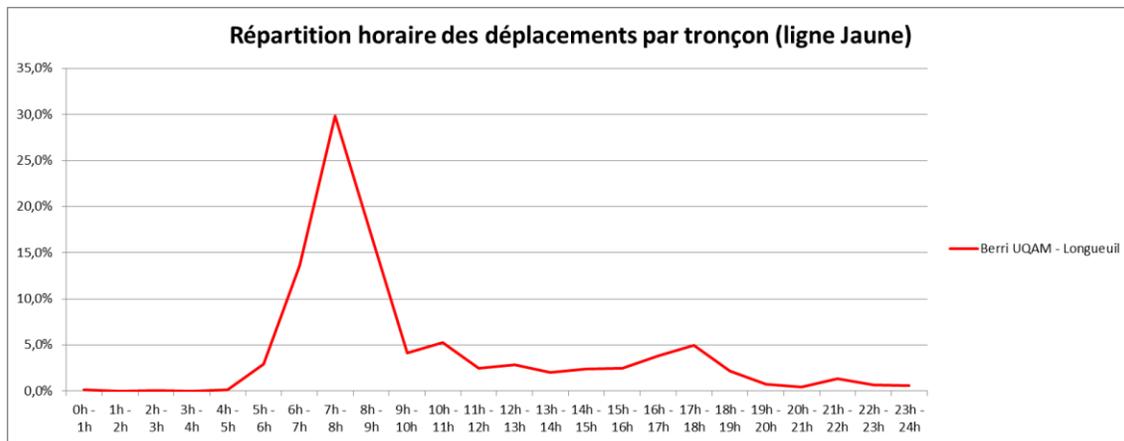
<sup>54</sup> On utilise la répartition des entrants dans ces stations définie par l'enquête OD.

<sup>55</sup> La ligne Jaune ne dessert que trois stations dont Berri-UQAM (les stations de correspondance ne pas prises en compte) et Jean Drapeau (pas de logements et très peu d'emplois), ainsi le tronçon existant est défini principalement par l'utilisation qui est faite à la station de Longueuil.

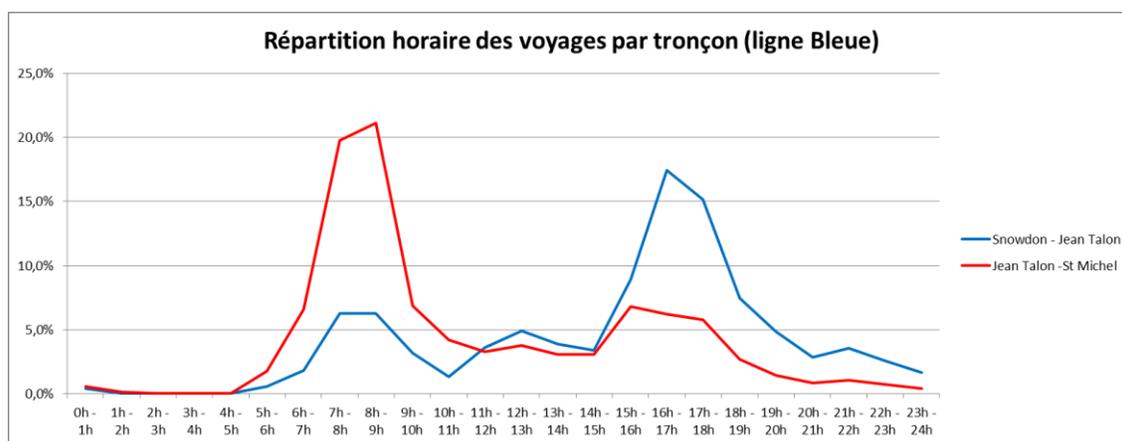
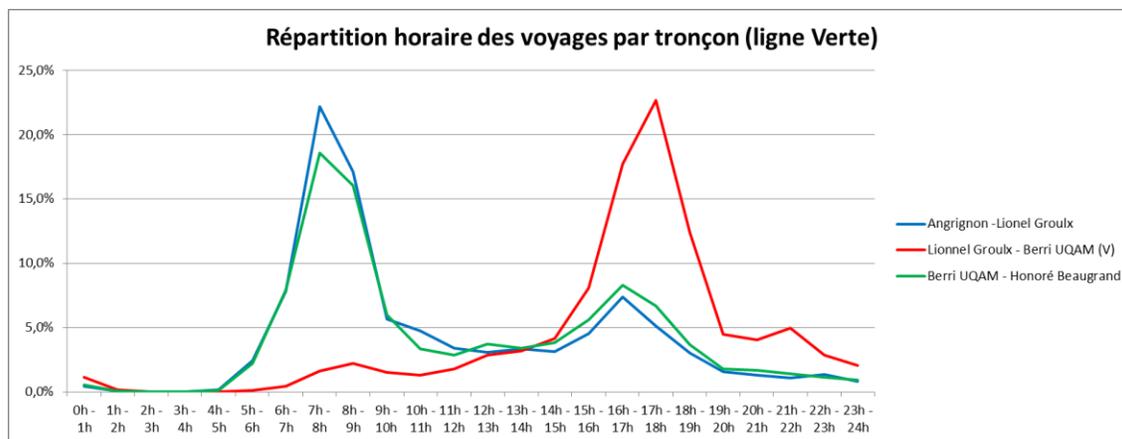
territoire qu'il dessert et des habitants qui y résident. Les figures 9 à 12 suivantes reprennent les résultats obtenus pour chaque ligne (sans les stations de correspondances) pour une journée moyenne d'automne 2008 :



**Figure 9 : Répartition horaire des déplacements par tronçon de la ligne Orange (sans les stations de correspondances) d'une journée moyenne d'automne 2008.**  
 Source : Enquête OD 2008, Réalisation : B. Frioux.



**Figure 10 : Répartition horaire des déplacements par tronçon de la ligne Jaune (sans les stations de correspondances) d'une journée moyenne d'automne 2008.**  
 Source : Enquête OD 2008, Réalisation : B. Frioux.



### Secteurs d'étude des prolongements

Le but de cette deuxième étape est de connaître les distributions temporelles de la demande en TC des personnes susceptibles d'utiliser le prolongement de chaque secteur prochainement desservi. Cette distribution sera comparée à la répartition horaire de l'achalandage des différents tronçons de métros définie précédemment.

Le service planification a défini un périmètre d'étude pour chaque prolongement. En principe, ces secteurs représentent l'ensemble des zones qui seront les plus impactées par les projets de prolongements en termes de mobilité. Ainsi, les données de l'enquête OD de 2008 vont permettre de connaître la demande pour le mode TC et le mode Bimodal de ces secteurs (voir figure 13 ci-dessous). En effet, on fait l'hypothèse que ces deux modes permettent de définir les personnes les plus susceptibles d'utiliser les futurs métros. Cette étape permet donc de définir la répartition horaire d'une journée moyenne d'automne de 2008 de l'utilisation des réseaux de TC de chaque secteur.

Afin de permettre la comparaison entre les différents tronçons et les différentes lignes (voir le chapitre sur la « Similarité des différents tronçons » page 49), chaque résultat sera standardisé, c'est-à-dire qu'il sera défini en pourcentages et non en valeurs absolues.

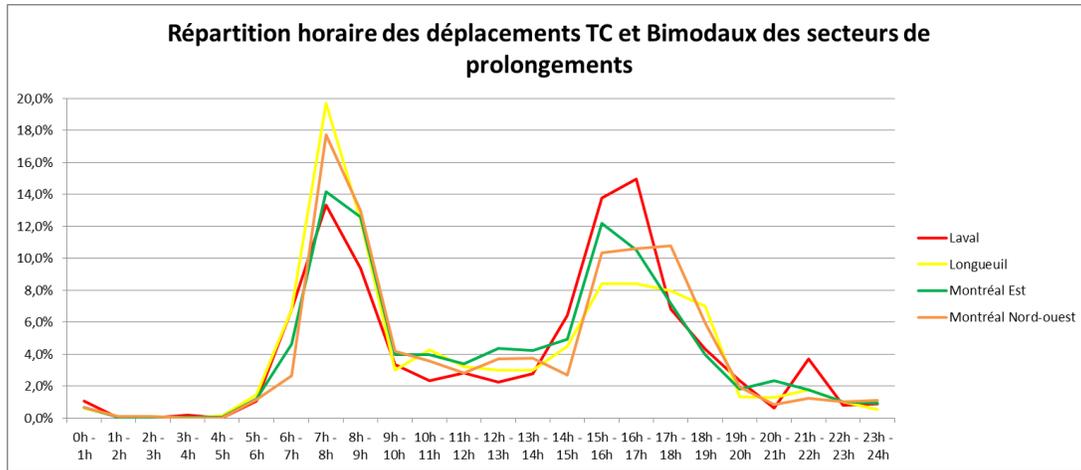


Figure 13 : Répartition horaire des déplacements TC et Bimodaux par secteurs d'étude des prolongements d'une journée moyenne d'automne 2008.

Source : Enquête OD 2008, Réalisation : B. Frioux.

Une fois le profil de chaque secteur défini, il convient de les comparer aux profils des différents tronçons de métro existants (définis dans le chapitre précédent : « Typologie des lignes » page 42). Cependant, avant de partir sur une analyse purement technique, la connaissance du territoire permet dans un premier temps d'identifier les secteurs susceptibles d'être les plus similaires.

On regarde donc chaque secteur de prolongement un par un :

#### *Prolongement à Longueuil*

Nous nous attendons à ce que le prolongement du métro à Longueuil va principalement permettre à de nombreuses personnes d'accéder à l'île de Montréal (nombreux déplacements pendulaires actuellement effectués en bus, en voiture ou en train du fait de difficultés d'accès au métro actuel<sup>56</sup>). Dans un second temps, de par la création de 6 nouvelles stations et la présence d'un certain nombre de commerces, le prolongement va faciliter et engendrer des déplacements internes à la commune.

Le secteur d'étude de Longueuil peut donc être comparé à des secteurs qui ont la majorité des caractéristiques suivantes. Les données entre parenthèses sont celles du secteur d'étude de Longueuil (sources : Enquête OD 2008, site internet de l'AMT ([www.amt.qc.ca](http://www.amt.qc.ca)) :

<sup>56</sup> La station de métro de Longueuil est située à l'extrême Sud-ouest de la commune et donc ne dessert pas efficacement le territoire.

- Secteur plus résidentiel (108 952 habitants) que commercial (75 434 emplois), qui émet et attire des personnes lors des deux périodes de pointe (avec une part importante de déplacements pendulaires) ;
- Présence de déplacements internes (309 519 déplacements) ;
- Présence de stationnements incitatifs (2 370 places) ;
- Présence d'au moins un terminus métropolitain (correspondances avec des bus de banlieues qui desservent 29 communes différentes) ;

Ainsi, ce prolongement peut être rapproché des tronçons de type « bout de ligne » tels que Côte Vertu-Snowdon et Berri UQAM-Honoré Beaugrand ou à des tronçons qui ont des fonctions similaires aux tronçons « bout de ligne », mais qui connaissent plus de déplacements internes tels que Jean Talon-Henri Bourassa et Snowdon-Lionel Groulx.

### *Prolongement à Laval*

Pour ce qui est du prolongement à Laval, ce secteur émet des déplacements (150 344 déplacements) vers l'île de Montréal, mais contrairement à son homonyme du Sud, il attire plus de travailleurs (22 466 pour Laval contre 10 670 pour Longueuil) venant de la capitale économique du fait d'une densité d'emplois plus élevée (voir figure 14). Les cinq nouvelles stations (plus trois actuellement) vont permettre de faciliter les déplacements internes (447 838 déplacements) et un transfert des bus vers le métro va s'effectuer.

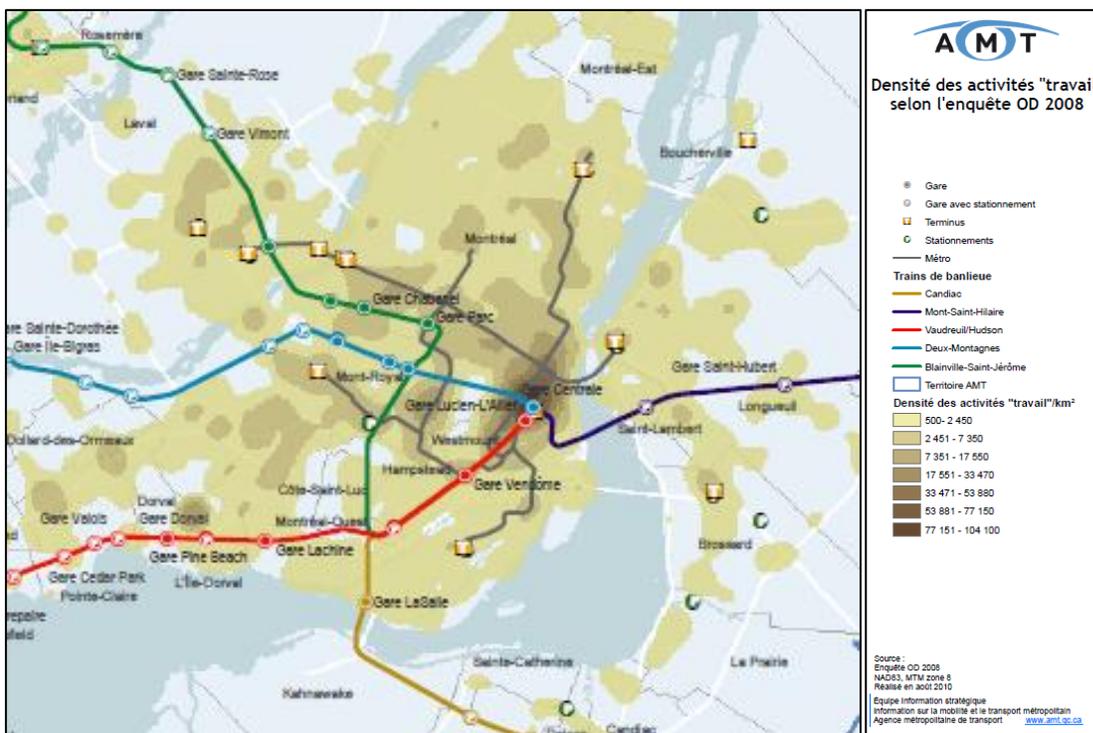


Figure 14: Densité des activités "travail" selon l'enquête OD 2008.

Source : Enquête OD 2008, Réalisation : Equipe Information Stratégique (AMT).



Cependant, malgré cette différence, les deux communes périphériques que sont Longueuil et Laval vont reproduire sensiblement le même comportement en termes de mobilité. Seule une différence est portée sur la plus grande homogénéité des deux périodes de pointes du secteur de Laval du fait d'une plus forte présence d'emplois sur ce territoire.

Le secteur d'étude de Laval peut donc être comparé aux mêmes secteurs que ceux utilisés pour le prolongement à Longueuil (Jean Talon-Henri Bourassa, Côte Vertu-Snowdon et Berri UQAM-Honoré Beaugrand), une préférence sera cependant portée pour le secteur Berri UQAM-Jean Talon à la place de Snowdon-Lionel Groulx du fait de la plus forte présence d'emplois sur ce secteur.

#### *Prolongement au Nord-ouest de Montréal*

Le secteur se rapportant au prolongement au Nord-ouest de Montréal (ligne Orange) étant similaire au secteur desservi par la branche Nord-est de cette même ligne, il peut donc être comparé à celui-ci (Jean Talon-Henri Bourassa), au secteur le précédent (Côte Vertu-Snowdon), et à un secteur plus standard tel que Berri UQAM-Jean Talon.

#### *Prolongement à l'Est de Montréal*

Pour le dernier prolongement relatif à l'Est de Montréal (ligne Bleue), la même logique que pour le prolongement du Nord-ouest peut être suivie, il peut donc être comparé à son homonyme de la ligne Verte (Berri UQAM-Honoré Beaugrand), au secteur le précédent (Jean Talon-St Michel) et aux tronçons plus classique<sup>57</sup> (Jean Talon-Henri Bourassa et Berri UQAM-Jean Talon).

#### Similarité des différents tronçons

Afin d'affirmer ou de contredire les hypothèses de similarités définies dans l'étape précédente, il faut se tourner vers des analyses mathématiques, notamment statistiques et calculer l'Erreur Quadratique Moyenne (EQM) permettant de comparer la distribution horaire de deux tronçons :

$$EQM = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_{1,i} - y_{2,i})^2}{n}}$$

Ainsi, plus l'EQM est bas, plus les distributions comparées sont homogènes. Dans notre cas, les populations des deux secteurs dont l'EQM est le plus bas reproduisent des comportements de mobilité semblables. Les résultats sont restitués dans le tableau 8 ci-dessous :

---

<sup>57</sup> Dont les deux facteurs de pointes sont similaires.

	Longueuil	Laval	Montréal Nord-ouest	Montréal Est
Côte Vertu - Snowdon	1,437%	2,651%	1,241%	1,877%
Snowdon - Lionel Groulx	1,529%	3,159%	2,005%	2,025%
Lionnel Groulx - Berri UQAM (O)	4,802%	4,315%	4,247%	4,672%
Berri UQAM - Jean Talon	2,371%	2,809%	1,825%	1,897%
Jean Talon - Henri Bourassa	1,154%	2,617%	1,375%	1,878%
Henry Bourassa - Laval	3,526%	5,157%	4,629%	4,737%
Berri UQAM - Longueuil	3,351%	5,304%	4,328%	4,633%
Angrignon -Lionel Groulx	1,828%	3,665%	2,545%	2,745%
Lionnel Groulx - Berri UQAM (V)	5,967%	5,087%	5,297%	5,438%
Berri UQAM - Honoré Beaugrand	1,424%	2,969%	1,984%	2,034%
Snowdon - Jean Talon	4,159%	3,089%	3,404%	3,370%
Jean Talon -St Michel	2,281%	3,808%	2,608%	2,708%

Tableau 8 : EQM (en %) entre la répartition horaire des secteurs des prolongements et les 12 tronçons.  
Source : Enquête OD 2008, Réalisation : B. Frioux.

Ainsi, la mobilité du secteur d'étude de Longueuil peut se rapprocher de celle de Jean Talon-Henri Bourassa et celles des secteurs de Montréal Nord-ouest et de Montréal Est à celle de Côte Vertu-Snowdon. La mobilité du secteur de Laval, bien que ses EQM soient moins grands que ceux des autres secteurs d'étude, peut se rapprocher de la mobilité de Jean Talon-Henri Bourassa.

#### Facteur d'annualisation par tronçon

Puisque chaque tronçon est utilisé différemment par la population alors, il paraît logique qu'ils n'aient pas les mêmes facteurs d'annualisation. En effet, certains tronçons vont être fortement achalandés lors de la PPAM tandis que lors de la PPPM<sup>58</sup> les rames seront presque vides, et inversement pour d'autres tronçons. Ainsi, les facteurs permettant le passage de la PPAMMA à l'Année doivent être calculés, et cela, pour chaque tronçon du réseau.

Cependant, il y a deux façons de mener à bien cette étape. En effet, la première possibilité est de continuer avec les données de l'enquête OD de 2008 pour l'achalandage de la PPAM d'une journée moyenne d'automne et d'utiliser les données tourniquets de 2008 pour l'achalandage annuel. Ainsi, chaque facteur calculé sera défini par deux composantes :

- Le facteur d'annualisation de 2008 ;
- Un facteur qui corrige les biais de l'enquête OD de 2008 ;

La seconde possibilité est de se baser sur les données des cartes à puce, qui sont plus réelles. Ainsi, pour chaque tronçon, le facteur annuel réel (PPAMMA / Année) peut être calculé. Cependant, les données cartes à puce n'étant pas disponibles pour 2008, le facteur annuel réel qui sera défini sera celui de la période de Septembre 2010 à Septembre 2011.

Ainsi, chacune des deux possibilités présente ses avantages. Les prévisions d'achalandage des prolongements, notamment l'achalandage à la PPAMMA, étant définies par la simulation, elles se basent donc sur les données de l'enquête OD de 2008. Ainsi, il conviendrait d'utiliser la

<sup>58</sup> Période de Pointe du Soir.

première possibilité et donc de mettre en place des facteurs intégrant une correction des données afin d'obtenir l'achalandage réel.

Cependant, un tel changement d'offre en transport va engendrer des modifications de comportements sur l'ensemble de la mobilité du territoire, quel que soit le mode. Ainsi, il convient de rester dans l'univers de l'enquête OD (seconde possibilité) afin de permettre, en plus d'une prévision d'achalandage annuel, une comparaison entre les modes (part modale) et ainsi constater d'une évolution en termes d'habitude. De plus, l'achalandage réel lors de la mise en service d'un projet étant impossible à prévoir, l'enjeu quant à la valeur du facteur d'annualisation est moindre que l'enjeu porté sur l'extrapolation (voir le chapitre portant le même nom page 52) des résultats sur du long terme.

Les résultats de l'analyse des cartes à puce de la période de Septembre 2010 à Septembre 2011 sont présentés dans le tableau 9 ci-dessous. Il faut noter que les stations de correspondances ne sont toujours pas prises en compte afin de garder une certaine logique dans l'utilisation des différentes bases de données.

Tronçon	Achalandage PPAM (6h-8h59) d'une journée moyenne d'automne	Achalandage Annuel (Septembre 2010 - Septembre 2011)	Facteur PPAMMA/Année (Carte à Puce)
Côte Vertu - Snowdon	16 553	18 510 913	1 118
Snowdon - Lionel Groulx	11 471	10 264 428	895
Lionnel Groulx - Berri UQAM (O)	10 441	22 780 216	2 182
Berri UQAM - Jean Talon	14 456	19 211 537	1 329
Jean Talon - Henri Bourassa	16 282	16 056 393	986
Henri Bourassa - Laval	14 308	8 056 520	563
<b>Total</b>	<b>83 511</b>	<b>94 880 007</b>	<b>1 136</b>
Berri UQAM - Longueuil	13 160	8 957 886	681
Angrignon -Lionel Groulx	17 834	14 951 653	838
Lionnel Groulx - Berri UQAM (V)	6 477	42 226 212	6 520
Berri UQAM - Honoré Beaugrand	35 066	32 593 893	929
<b>Total</b>	<b>59 377</b>	<b>89 771 758</b>	<b>1 512</b>
Snowdon - Jean Talon	7 159	14 959 224	2 090
Jean Talon -St Michel	8 946	7 876 856	881
<b>Total</b>	<b>16 105</b>	<b>22 836 080</b>	<b>1 418</b>
<b>Tous</b>	<b>172 153</b>	<b>216 445 731</b>	<b>1 257</b>

Tableau 9 : Facteurs d'annualisation par tronçons pour la période Septembre 2010 à Septembre 2011.

Source : Données carte à puce 2010/2011, Réalisation : B. Frioux.

### Facteurs d'annualisation des prolongements

En considérant les résultats sur la similarité de la répartition horaire des déplacements de chaque tronçon (tableau 8 page 50) et sur le calcul des facteurs d'annualisation des tronçons existants (tableau 9), le tableau 10 ci-dessous présente les facteurs d'annualisation pour chaque prolongement à appliquer à une prévision d'achalandage lors de la PPAMMA :

Prolongement	Tronçon de référence	Facteur d'annualisation (PPAMMA/Année)
Longueuil	Jean Talon - Henry Bourassa	614
Laval	Jean Talon - Henry Bourassa	614
Montréal Nord-ouest	Côte Vertu - Snowdon	923
Montréal Est	Côte Vertu - Snowdon	923

Tableau 10 : Prévion des facteurs d'annualisation des prolongements de métro.  
Source : Enquête OD 2008 et données tourniquets 2008, Réalisation : B. Frioux.

L'utilisation des données cartes à puce permet de pousser l'analyse de l'achalandage futur à une échelle plus fine. En effet, à partir de l'achalandage annuel, il sera possible de prévoir l'achalandage de différentes périodes de l'année (samedi moyen d'hiver, jour férié moyen, etc.) grâce à l'application d'autres facteurs d'annualisation (Année/Période recherchée).

La figure 15 ci-dessous présente la méthodologie à appliquer :

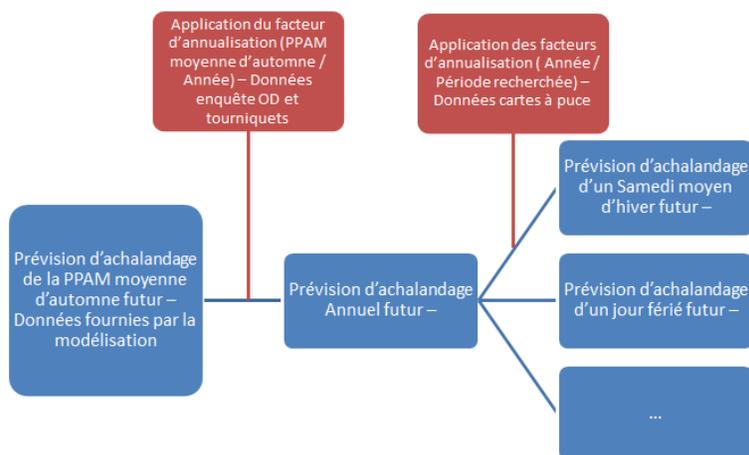


Figure 15 : Méthodologie pour définir l'achalandage d'une période précise.  
Réalisation : B. Frioux.

### *Extrapolation (achalandage actuel/achalandage futur)*

L'objectif de la méthode d'extrapolation est de prévoir l'achalandage annuel futur<sup>59</sup> (en intégrant les projets définis par le service planification) afin de permettre au service financier de calculer les retombées économiques (rentabilité des projets<sup>60</sup>) liées à la création et à l'exploitation de ces projets. Comme on l'a dit, l'achalandage réel est impossible à prévoir avec certitude, mais une fourchette se basant sur des hypothèses haute et basse permettra de donner une idée générale de celui-ci.

La méthodologie présentée va dans un premier temps permettre de définir les tendances d'évolution de l'achalandage des 13 dernières années<sup>61</sup> pour chaque ligne de métro. Celles-ci pourront ainsi être transposées au futur et comparées aux prévisions du MTQ. En effet, ce

<sup>59</sup> Jusqu'à 40 ans après la mise en service des projets (projection des analyses financières de l'AMT) soit 2058 dans le cas des prolongements de métro.

<sup>60</sup> Donnée à fournir lors de la mise en place du « Dossier d'Affaires » vu au chapitre 1.1. page 5.

<sup>61</sup> Les données des tourniquets fournis par la STM commencent en 1999.

dernier a mis en place sa propre méthodologie afin de définir des facteurs à appliquer aux données de l'enquête OD de 2008. Celle-ci permet donc de définir la mobilité au travers d'une simulation, à moyen terme (jusqu'en 2031), qui sera effectuée sur l'ensemble du territoire de la GRM. Il faut noter que les prolongements et donc les croissances qui leur sont liées ne sont pas pris en compte dans cette analyse, seule la croissance naturelle est représentée.

La méthodologie proposée ici sera un complément de celle du MTQ. En effet, elle va se baser sur des données réelles et va estimer la mobilité à long terme en se basant sur ce qui s'est passé dans le passé. Cependant, elle ne va s'intéresser qu'au mode dont des changements sont à venir (dans l'exemple présenté : le métro). Elle va donc intégrer les gains d'achalandage directs liés à la mise en service des projets, gains qui seront hypothétiques pour la mise en place de la méthodologie et qui devront être définis par une simulation<sup>62</sup> pour chaque nouveau projet. La figure 16 présente l'achalandage annuel (données tourniquets à partir de 1999) ainsi que l'achalandage quotidien obtenu par les enquêtes OD pour l'ensemble des métros :

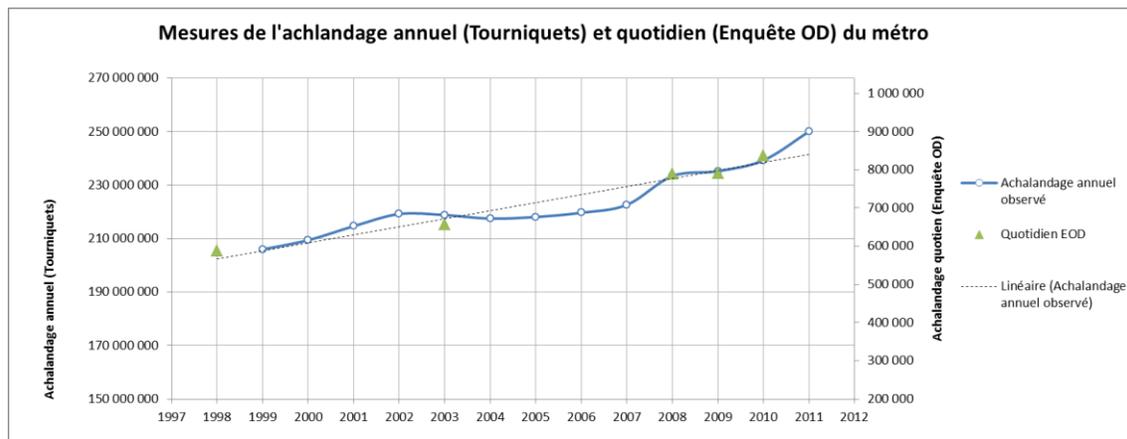


Figure 16 : Achalandage annuel et achalandage d'une journée moyenne d'automne du métro depuis 1998.

Source : Enquête OD et données tourniquets, Réalisation : B. Frioux.

### Tendance des 13 dernières années

Dans le cas des prolongements de métro de Montréal, il est nécessaire, dans un premier temps, de connaître l'évolution historique qui a été effectuée sur l'ensemble du réseau de métro. La figure 17 présente les achalandages annuels depuis 1999<sup>63</sup> par métro. Les données des tourniquets ne permettent pas de différencier vers quelle ligne de métro les entrants dans les stations de correspondances s'orientent. Cependant, contrairement à la méthodologie d'annualisation qui n'est pas obligée de prendre en compte les stations de correspondances afin de définir les facteurs d'annualisation, la méthodologie d'extrapolation doit considérer l'ensemble de l'achalandage. Ainsi, afin de définir au mieux la répartition des entrants dans chaque station de correspondances, des facteurs sont calculés à partir des données de l'enquête

<sup>62</sup> La modélisation va permettre de définir le gain d'achalandage lors d'une PPAMMA. La méthodologie d'annualisation vue dans le chapitre précédent (page 42) va permettre de définir le gain annuel.

<sup>63</sup> D'après les données tourniquets.

OD de 2008. Ceux-ci sont déterminés par la répartition des entrants dans ces stations qui s'orientent vers telle ou telle ligne.

Ainsi, la répartition des données tourniquets de l'ensemble des stations de correspondances sera, et ceci quel que soit l'année d'étude : environ 30 % pour la ligne Verte, 49 % pour l'Orange, 8 % pour la Jaune et 12 % pour la Bleue.

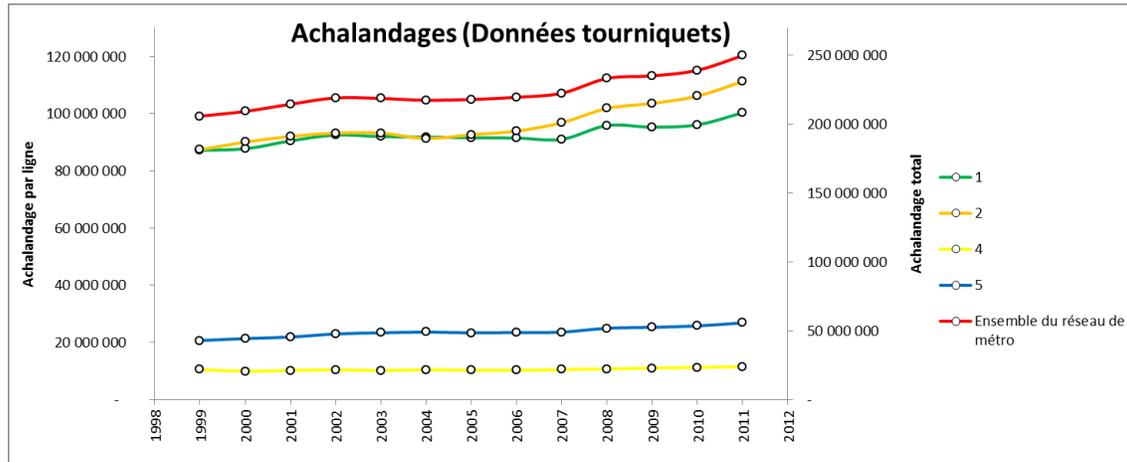


Figure 17 : Achalandages annuels des métros depuis 1999.  
Source : Données tourniquets, Réalisation : B. Frioux.

Ainsi, si l'on reprend l'achalandage annuel de l'ensemble de réseau de métro (qui croît de 2,21 % en moyenne par an), il semble intéressant de diviser cette courbe en plusieurs sections. Des périodes de 5 ans<sup>64</sup> vont ainsi être identifiées (source : données tourniquets) :

- Période 1999 à 2004 : Croissance annuelle moyenne de 0,45 % ;
- Période 2000 à 2005 : Croissance annuelle moyenne de 0,34 % ;
- Période 2001 à 2006 : Croissance annuelle moyenne de 0,19 % ;
- Période 2002 à 2007 : Croissance annuelle moyenne de 0,13 % ;
- Période 2003 à 2008 : Croissance annuelle moyenne de 0,54 % ;
- Période 2004 à 2009 : Croissance annuelle moyenne de 0,66 % ;
- Période 2005 à 2010 : Croissance annuelle moyenne de 0,78 % ;
- Période 2006 à 2011 : Croissance annuelle moyenne de 1,08 % ;

A noter la forte croissance des périodes intégrant 2008 et les années postérieures. En effet, la croissance de 2008 à 2011 est fortement impactée (effet d'offre et effet d'image) par le prolongement du métro Orange à Laval qui a été effectif fin Avril 2007.

Cependant, comme nous l'avons vu précédemment (voir le chapitre sur l'annualisation page 42), chaque ligne a ses propres caractéristiques. Il est donc opportun d'étudier l'évolution historique

<sup>64</sup> Une période de 5 ans permet de limiter les anomalies d'achalandage, de ne pas prendre en compte la création du prolongement de 2007 à Laval pour les périodes 1999-2004, 2000-2005 et 2001-2006, mais surtout d'avoir une palette de résultats suffisamment large.

ligne par ligne. Ainsi, toujours pour des périodes de 5 ans, le tableau 11 présente les résultats obtenus :

Période	1	2	4	5	Ensemble du réseau de métro
99-04	0,43%	0,37%	-0,03%	1,12%	0,45%
00-05	0,36%	0,23%	0,24%	0,75%	0,34%
01-06	0,09%	0,17%	0,03%	0,59%	0,19%
02-07	-0,14%	0,32%	0,08%	0,23%	0,13%
03-08	0,35%	0,74%	0,43%	0,55%	0,54%
04-09	0,31%	1,06%	0,42%	0,57%	0,66%
05-10	0,40%	1,14%	0,80%	0,83%	0,78%
06-11	0,77%	1,42%	1,00%	1,12%	1,08%

Tableau 11 : Variation de l'achalandage des lignes de métro par période de 5 ans.

Source : Données tourniquets, Réalisation : B. Frioux.

Tout comme pour l'ensemble du réseau de métro, en plus de la ligne Orange, le prolongement à Laval a aussi impacté les autres lignes du réseau. Ainsi, les périodes connaissant la plus forte croissance sont celles qui intègrent l'année de mise en service du prolongement (effet d'offre) et les années la succédant (effet d'image).

### Prévision du MTQ

Le MTQ a mis en place une méthodologie<sup>65</sup> afin de déterminer la croissance naturelle future de la population du territoire. Cette analyse a permis de calculer de nouveaux facteurs d'expansion à appliquer à l'enquête OD de 2008 et à la simulation. La figure 18 met en avant les résultats obtenus de l'achalandage prévisionnel par métro pour une journée moyenne d'automne selon les multiples horizons que sont 2011, 2016, 2021, 2026 et 2031 et le tableau 12 la croissance annuelle linéaire liée à ces prévisions. Il faut noter que l'achalandage journalier des années antérieures à 2011 se base sur les données d'enquêtes et non les données des tourniquets (achalandage annuel), d'où les différences<sup>66</sup> de résultats avec la figure 17 (page précédente). En 2011, deux données sont représentées par ligne : celle de l'enquête OD de 2011 et celle prévue par l'étude menée par le MTQ<sup>67</sup>.

<sup>65</sup> Définie dans sa publication de Novembre 2011 intitulée « *Prévisions de la demande de déplacements pour la région de Montréal 2008-2031 - Hypothèses détaillées et faits saillants* ».

<sup>66</sup> Sur la forme des courbes et les valeurs brutes.

<sup>67</sup> Les données de l'enquête OD de 2011 n'étaient pas connues lorsque le MTQ a sorti ses prévisions, dont celles pour 2011. A noter l'écart entre les deux résultats qui montre bien qu'il est difficile de prévoir l'achalandage réel.

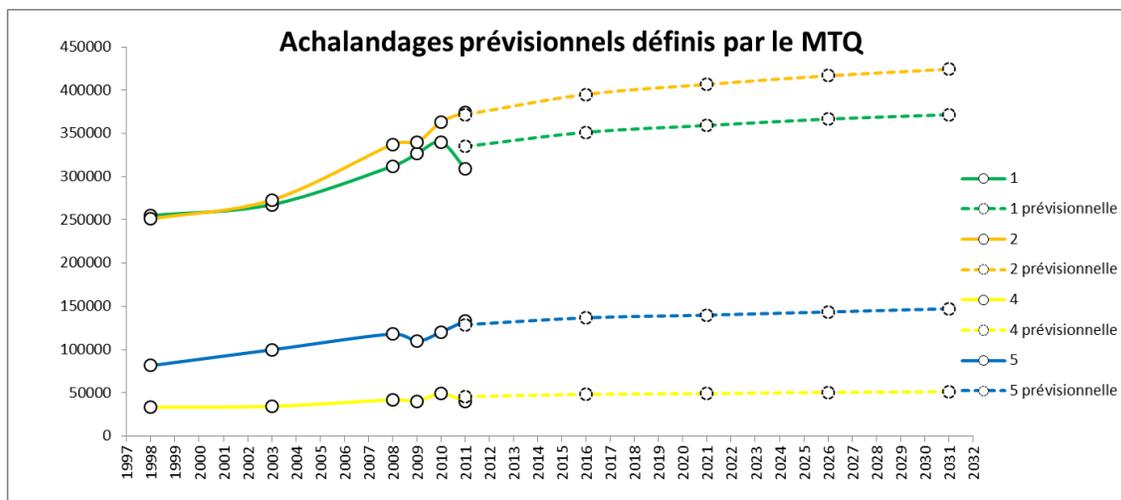


Figure 18 : Achalandage prévisionnel du MTQ par ligne d'une journée moyenne d'automne.

Source : Enquête OD, Données MTQ, Réalisation : B. Frioux.

Ligne	1	2	4	5
Croissance annuelle prévisionnelle	0,35%	0,44%	0,40%	0,45%

Tableau 12 : Croissance annuelle des prévisions du MTQ (2011-2031).

Source : Enquête OD, Données MTQ, Réalisation : B. Frioux

Ainsi, en appliquant les prédictions des croissances annuelles définies par le MTQ sur l'achalandage réel (données des tourniquets), on définit les prévisions d'achalandage annuel du MTQ par ligne, et donc sans prolongement (figure 19) :

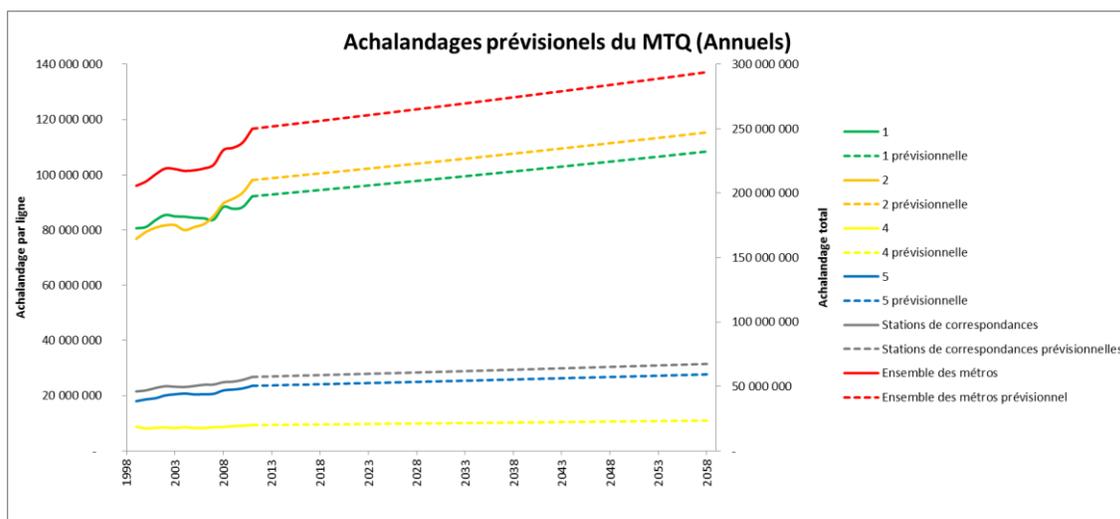


Figure 19 : Achalandage annuel prévisionnel par ligne sans prolongement.

Source : Prévisions du MTQ, données des tourniquets, Réalisation : B. Frioux.

### Hypothèse du gain d'achalandage des prolongements

Selon Faivre d'Arcier B. et son cours sur les « Méthodes d'évaluation des projets de transport » dispensé dans le cadre du Master TURP<sup>68</sup> (Cohabilitation entre l'Université Lyon 2 et l'ENTPE<sup>69</sup>), en théorie, comme le montre la figure 20, un prolongement va engendrer un gain d'effet d'offre<sup>70</sup> lors de la mise en service qui va être suivi par gain d'effet d'image<sup>71</sup> durant plusieurs années. La durée de l'effet image dépend du type d'infrastructure construite et de l'image que la population du territoire fait du réseau de transport. Puis l'achalandage va revenir à une croissance annuelle linéaire similaire à la croissance avant prolongement.

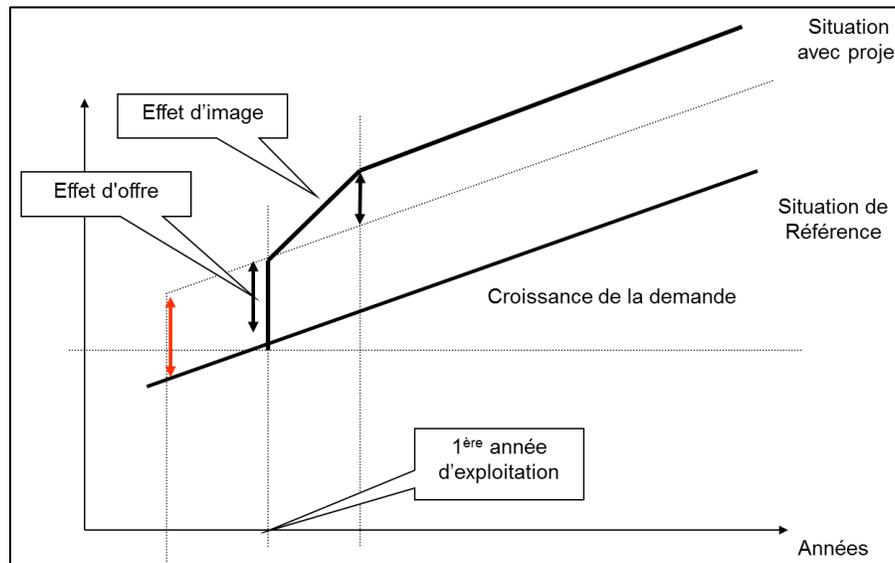


Figure 20 : Évolution théorique de l'achalandage suite à un prolongement.

Source : Cours du Master TURP (2011/12) sur les Méthodes d'évaluation des projets de transport », Réalisation B. Faivre d'Arcier.

L'évolution de l'achalandage réel de la ligne Orange est présentée par la figure 21. L'achalandage de 2007 est analysé de façon particulière. En effet, comme le prolongement a été mis en place fin Avril, il convient de séparer l'avant et l'après prolongement. Ainsi, un facteur a été appliqué à chacune des deux périodes :

- L'achalandage de Janvier à Avril représente en moyenne 34 % de l'achalandage annuel (pour les années antérieures à 2007). Le facteur est donc de  $1/0,34$  soit 2,9 ;
- L'achalandage de Mai à Décembre représente en moyenne 65 % de l'achalandage annuel (pour les années postérieures à 2007). Le facteur est donc de  $1/0,65$  soit 1,5 ;

Ainsi, les sections en pointillés représentent l'achalandage théorique annuel de 2007 avec et sans prolongement tandis que la courbe grise représente l'achalandage réel.

<sup>68</sup> Transports Urbains et Régionaux de Personnes.

<sup>69</sup> Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat.

<sup>70</sup> L'effet d'offre est le gain direct (le jour de sa mise en service) que la modification de l'offre engendre.

<sup>71</sup> L'effet image est le gain indirect (sur une période plus ou moins longue en fonction du territoire) que la modification de l'offre engendre.

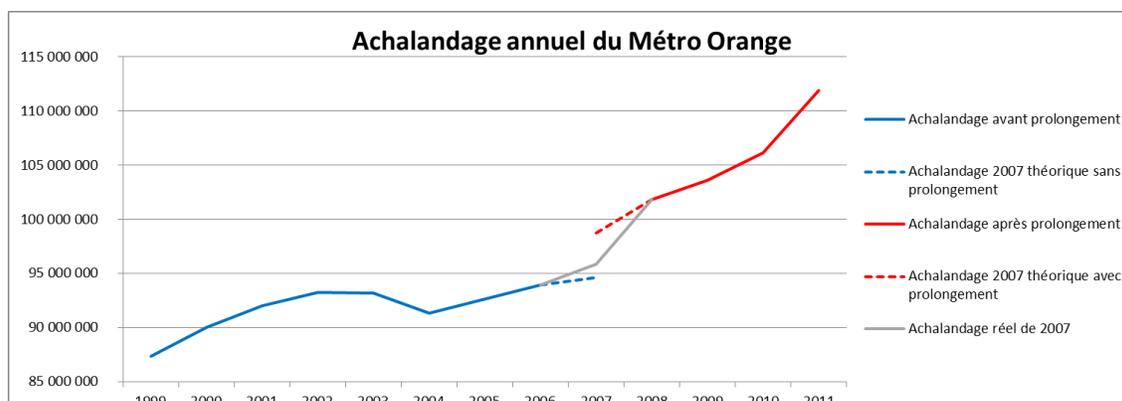


Figure 21 : Évolution de l'achalandage annuel du métro Orange.

Source : Données tourniquets, Réalisation : B. Frioux.

Il convient de transposer la courbe théorique (figure 20 page 57) et la courbe réelle (figure 21) afin de mieux comprendre l'évolution qui s'est produite, et qui est représentée par la figure 22 ci-dessous :

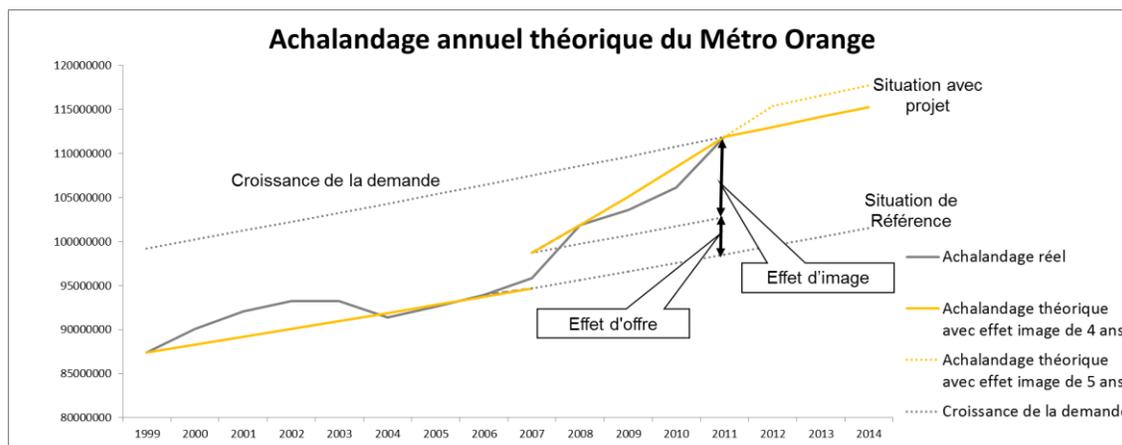


Figure 22 : Transposition de l'achalandage de la ligne Orange au modèle théorique.

Source : Données tourniquets, Cours du Master TURP (2011/12), Réalisation : B. Frioux.

D'après la forte croissance d'achalandage entre 2010 et 2011, l'effet d'image du prolongement semble toujours engendrer un gain d'achalandage. Cependant, ne connaissant pas l'achalandage de 2012, il est difficile de savoir si cet effet d'image attire toujours une nouvelle clientèle ou non, c'est pourquoi la figure 22 présente deux courbes à partir de 2011 (avec un effet d'image durant 4 ans et un de 5 ans)<sup>72</sup>.

Ainsi, si la théorie s'applique au cas du prolongement de métro à Laval, une fois l'achalandage de 2012 (et celui de 2013 sera encore un plus) connu, celui-ci permettra de prévoir si l'effet d'image est terminé et donc de prévoir l'achalandage théorique des années futures.

<sup>72</sup> D'autres courbes pourraient être ajoutées, celles intégrant des effets d'images de 6 ans et plus. Mais un effet d'image durant plus de 5 ans est déjà rare.

Comme nous l'avons dit en introduction de ce chapitre sur l'extrapolation, la méthodologie présentée ne permet pas de définir les gains liés aux prolongements<sup>73</sup>, mais se base sur des hypothèses pour la rendre probable. Ainsi, l'hypothèse choisie est qu'en 2012 l'effet d'image aura disparu ou du moins fortement diminué et l'achalandage va reprendre la tendance de la croissance de la demande (théorie représentée par la courbe pleine et orange dans la figure 22).

Ainsi, le tableau 13 reprend, les résultats théoriques et hypothétiques choisis pour définir le prolongement à Laval de 2007 :

Caractéristique théoriques du prolongement de 2007 à Laval Achalandage Ligne Orange		
Données de bases	Achalandage 1999 A	87 394 191
	Achalandage sans prolongement (Janvier-Avril 2007 transposé à l'année) B	94 673 378
	Croissance annuelle tendancielle (1999 à Janvier-Avril 2007 transposé à l'année) (en %) C	1,01%
	Nombre de stations du prolongement D	3
Calcul de l'effet d'offre	Achalandage avec prolongement (Mai-Décembre 2007 transposé à l'année) E	98 735 674
	Effet d'offre $G = E - B$	4 062 296
	Effet d'offre (en % de l'achalandage de 2007) $H = G / B$	4,29%
	Gain direct moyen par station (en % de l'achalandage de 2007) $I = H / D$	1,43%
	Gain direct moyen par station $J = G / D$	1 354 099
Calcul de l'effet image	Achalandage 2011 avec prolongement F	111 882 331
	Gain d'achalandage sur 4 ans (2007-2011) $K = F - E$	13 146 657
	Croissance de l'achalandage sur 4 ans (en % de l'achalandage de 2007 avec prolongement) $L = K / E$	13,32%
	Croissance de l'achalandage par an (en %) $M = (L+1)^{(1/4)} - 1$	3,17%
	Gain effet d'image par an (en %) $N = M - C$	2,17%
	Gain effet d'image moyen par station par an (en %) $O = N / D$	0,72%
	Gain effet d'image moyen par station en 2008 $P = O * E$	713 952
Gain effet d'image moyen par station en 2011 $Q = O * (E * (1+C+N)^3)$	784 123	

**Tableau 13 : Résultats hypothétiques de l'évolution de l'achalandage de la ligne Orange liée au prolongement du métro de 2007 à Laval.**

Source : Données tourniquets, Réalisation : B. Frioux.

On considèrera aussi pour la suite du développement que chaque prolongement ne va pas générer de gains d'achalandage pour les autres lignes (pas de correspondances entre les lignes des nouveaux utilisateurs). En effet, même si le tableau 11 (page 55) tend à montrer le contraire du fait que pour l'ensemble des lignes, la période connaissant la plus forte croissance est celle intégrant le prolongement du métro Orange et ses années futures (effet d'image), ces données sont difficiles à prévoir sans modélisation.

Enfin, la dernière hypothèse qui sera prise en compte va utiliser les résultats hypothétiques de l'achalandage de la ligne Orange (tableau 13) suite au prolongement à Laval en considérant que chaque nouvelle station va suivre les mêmes tendances que les stations créées en 2007 :

- Effet d'offre : + 1,43 % de l'achalandage de la même année ;
- Effet d'image : + 0,72 % par an de l'achalandage de l'année précédente, et ceci pendant 4 ans ;

### Extrapolation par ligne

Afin de mener à bien l'extrapolation de l'achalandage par ligne, trois scénarios vont être étudiés en fonction des croissances annuelles moyennes :

<sup>73</sup> Ceux-ci devront être définis par une modélisation.

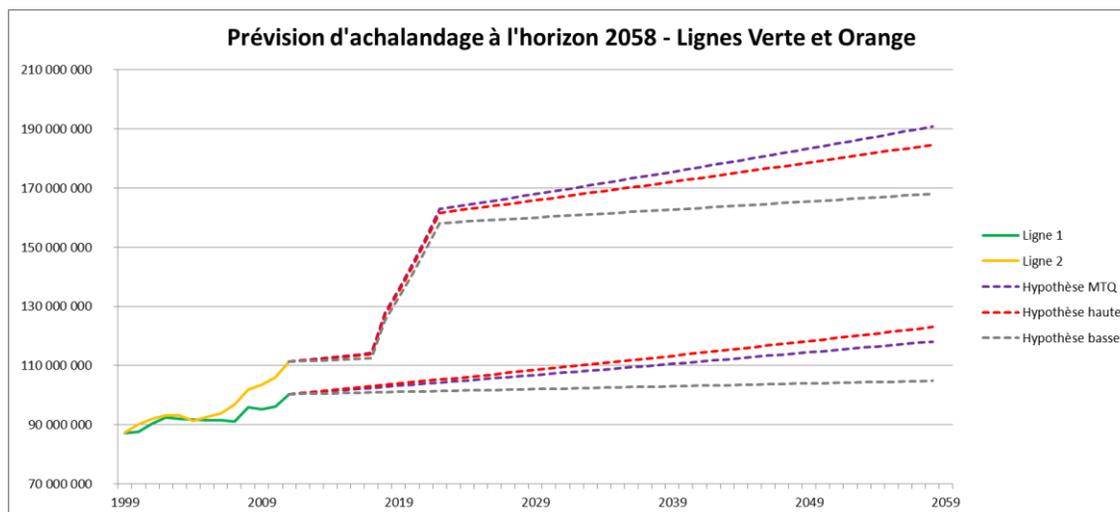
- Croissance annuelle moyenne définie par le MTQ (Hypothèse MTQ) ;
- Croissance annuelle moyenne minimum (période de 5 ans) avant le prolongement à Laval définie par le tableau 11 (page 55) (Hypothèse basse) ;
- Croissance annuelle moyenne maximum (période de 5 ans) avant le prolongement à Laval définie par le tableau 11 (page 55) (Hypothèse haute) ;

Le tableau 14 suivant reprend les hypothèses de croissance par scénario et par ligne :

Scénario	1	2	4	5
Hypothèse MTQ	0,35%	0,44%	0,40%	0,45%
Hypothèse basse	0,09%	0,17%	-0,03%	0,59%
Hypothèse haute	0,43%	0,37%	0,24%	1,12%

**Tableau 14 : Hypothèses de croissance annuelle des différents scénarios.**  
Source : Données MTQ, Données tourniquets, Réalisation : B. Frioux.

Les figures 23 et 24 représentent les fourchettes prévisionnelles d'achalandage annuel à l'horizon de 2058 en intégrant les prolongements prévus en 2018 :



**Figure 23 : Prévission d'achalandage à l'horizon 2058 - Lignes Verte et Orange.**  
Source : Données MTQ, Données tourniquets, Réalisation : B. Frioux

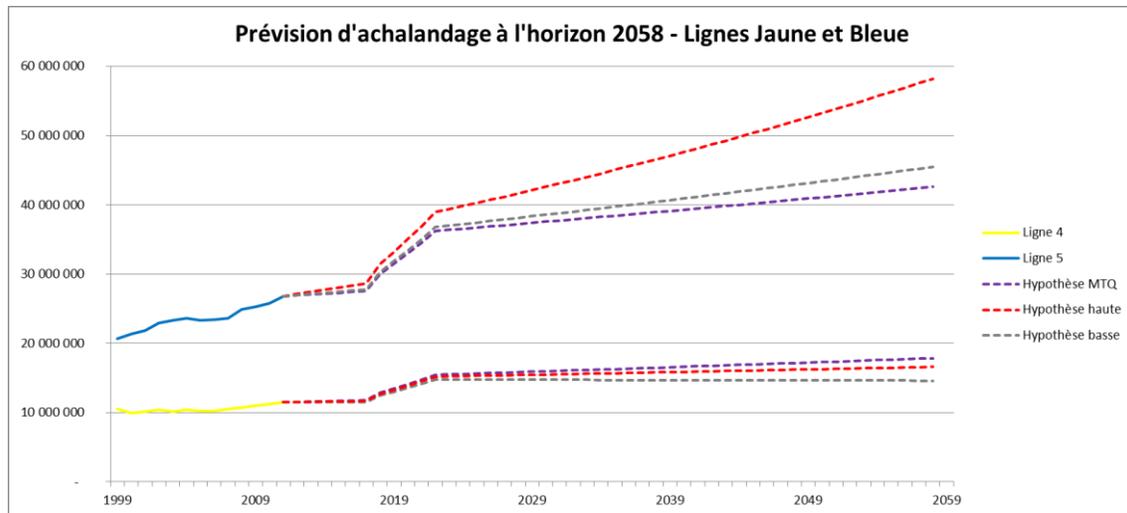


Figure 24 : Préviction d'achalandage à l'horizon 2058 - Lignes Jaune et Bleue.  
Source : Données MTQ, Données tourniquets, Réalisation : B. Frioux.

### 3.2.3. Analyse et critique des méthodes

Le principal défi est de savoir quelles données utiliser et comment les utiliser (données brutes, moyennes, standardisées, etc.). En effet, trois bases de données ont été définies en amont de cette méthodologie :

- Les données d'enquêtes OD : dans cette méthodologie, elles sont principalement utilisées pour la simulation réseau d'une PPAMMA du fait qu'elles ne couvrent pas l'ensemble de l'année. Cependant, elles sont fortement utiles lorsque l'on s'intéresse à la mobilité allant plus loin que l'utilisation unique du mode métro ou train<sup>74</sup>. Dans le cas des métros, elles permettent aussi de mieux définir vers quelle ligne l'utilisateur s'oriente lors d'une entrée dans une station de correspondance ;
- Les données cartes à puce : elles sont effectives depuis 2009 et permettent d'analyser l'achalandage tout au long de l'année et pour chaque heure. Ainsi, un fort avantage est porté à ce système qui permet de comparer toutes les périodes entre elles. Elles ne représentent cependant pas la réalité :
  - lors d'évènements spéciaux le choix peut être porté de ne pas faire valider les titres de transport pour des raisons de gratuité ou de fluidité de passage ;
  - les groupes peuvent accéder aux TC grâce à une seule validation (ticket groupe) ;
- Les données tourniquets : elles sont limitées à une analyse mensuelle ou annuelle. Elles non plus ne représentent pas la réalité même si elles s'en rapprochent :
  - ouverture de portes lors d'évènements spéciaux ou de passage de groupes pour les mêmes raisons évoquées précédemment ;

Il faut dans un premier temps utiliser la même source entre les données qui doivent être comparées (comme dans l'annualisation et la similarité entre les tronçons et les secteurs

<sup>74</sup> Intégrant les modes dont les données d'achalandage sont inconnues (tourniquets, cartes à puce, etc.).



d'étude des prolongements ou entre les données des cartes à puce journalières et les données des cartes à puce annuelles) et utiliser des données standardisées (en pourcentage). Ensuite, il faut définir dans quelles circonstances la méthodologie est appliquée et quels sont les résultats qui sont recherchés (évaluation de la part modale, analyse d'achalandage d'un seul mode, etc.).

Dans l'exemple présenté, l'annualisation va permettre de définir l'achalandage annuel des prolongements à partir de l'achalandage prévisionnel défini par la simulation (données d'enquête et données réseau). Ainsi, il faut utiliser au maximum les données d'enquête. Cependant, les réflexions sur cette méthodologie ont amené à utiliser un facteur d'annualisation réel (relatif aux cartes à puce) afin de ne pas sortir de l'univers de l'enquête OD. En effet, la modélisation va générer un transfert modal lié à la mise en place des prolongements. Ainsi, en dehors de l'analyse financière (achalandage annuel), il est tout aussi intéressant d'analyser l'impact de ces projets sur les parts modales de chaque mode. L'annualisation des modes piéton, vélo, auto et TC étant définie au travers de l'enquête OD, il semblait juste d'utiliser des facteurs d'annualisation permettant de rester dans l'univers de l'enquête OD.

Dans un second temps, cette méthodologie repose en grande partie sur des analyses de corrélations et non de causalités. Ainsi, les résultats obtenus restent une prédiction basée sur ce qui a été identifié par le passé (taux de croissance, facteur d'annualisation, etc.). C'est pourquoi, à chaque évolution des bases de données (annuelle pour les données de tourniquets, de cartes à puce et d'enquête OD en mode continu et tous les 5 ans pour les données d'enquête OD régionale), les résultats vont évoluer. De plus, dans l'exemple des prolongements de métro, la prédiction de gain (effet d'offre et effet d'image) repose sur les analyses de celui de 2007 à Laval. Cependant, chaque territoire et chaque population vont réagir différemment à une telle modification de l'offre de transports. Ainsi, ce gain devra être défini par une simulation et pas par proportionnalité avec celui de 2007.

Il faut noter que les résultats mis en avant par la méthode d'annualisation (tableau 10 page 52) présentent certaines limites. En effet, les 4 secteurs de prolongements reproduisent seulement 2 des 12 tronçons du réseau. Ainsi, il semblerait qu'une meilleure définition des déplacements qui seront transférés vers les métros, liés à la mise en place des prolongements pourrait être mis en place. Ainsi, au lieu d'étudier l'ensemble des déplacements TC et bimodaux des secteurs d'étude, l'enquête OD permettrait d'appliquer des filtres (destination des déplacements dans des zones desservies par un métro par exemple) afin d'en mettre de côté une partie et se concentrer seulement sur ceux qui auraient une utilité d'utiliser les métros.

Quant à la méthode d'extrapolation présentée, elle comprend certaines limites. En effet, la méthodologie d'annualisation/extrapolation mise en place dans le cadre des trains de banlieue intègre la question du transfert modal, composante que la méthodologie présentée ici ne prend pas totalement en compte. Ainsi, une réflexion doit être portée afin d'améliorer cet aspect. Une fusion des deux méthodes pourrait être mise en place.



## Conclusion

En dehors des analyses techniques qui ont été faites afin de mettre en place cette étude, il apparaît dans un premier temps que la modélisation est un outil complexe et unique à chaque territoire. En effet, en fonction de ce dernier et de la disponibilité de sa base de données, le modèle utilisé sera de type agrégé ou désagrégé, et sera surtout plus ou moins réaliste en fonction des volontés politiques quant à son développement. Cependant, la modélisation est un outil fortement apprécié des politiques et elle est un véritable outil d'aide à la décision et donc doit être constamment améliorée.

Dans le cas de Montréal, les enquêtes OD de grande envergure permettent la mise en place d'une approche dite « totalement désagrégée ». Ainsi, l'objectif de ce rapport est de documenter les particularités méthodologiques associées à cette approche. Plus particulièrement, la méthodologie a été développée dans le cas de la prévision de la demande future liée aux prolongements du réseau de métro, à moyen terme (Ensemencement) et à long terme (Annualisation/Extrapolation).

Au vu des deux points mentionnés ci-dessus, il semble que les composantes exposées dans cette étude sont propres au cas de Montréal (les méthodologies mises en place sont définies en fonction des données fournies par l'enquête OD) et même propres au moment où celles-ci ont été développées. En effet, étant des méthodologies exploratrices, celles-ci ont été et vont encore être critiquées et améliorées. Ce rapport contribue donc à noter des évolutions liées au constant développement des composantes de la modélisation d'un projet de transport urbain.

C'est en ce sens la raison qui fait que les exemples présentés (Ensemencement et Annualisation / Extrapolation) ne rentrent pas dans les détails techniques et sont fictifs. En effet, la documentation présente la méthodologie mis en place à l'AMT et non un cas d'étude particulier.

De plus, il n'y a pas une méthodologie unique<sup>75</sup>, le but est de pousser la réflexion afin que celle-ci soit représentative de la réalité et de mettre en place les analyses qui vont permettre de visualiser les changements qui peuvent s'opérer et que ceux-ci soient probables.

---

<sup>75</sup> Il n'y a aucun moyen de vérifier la véracité des résultats.

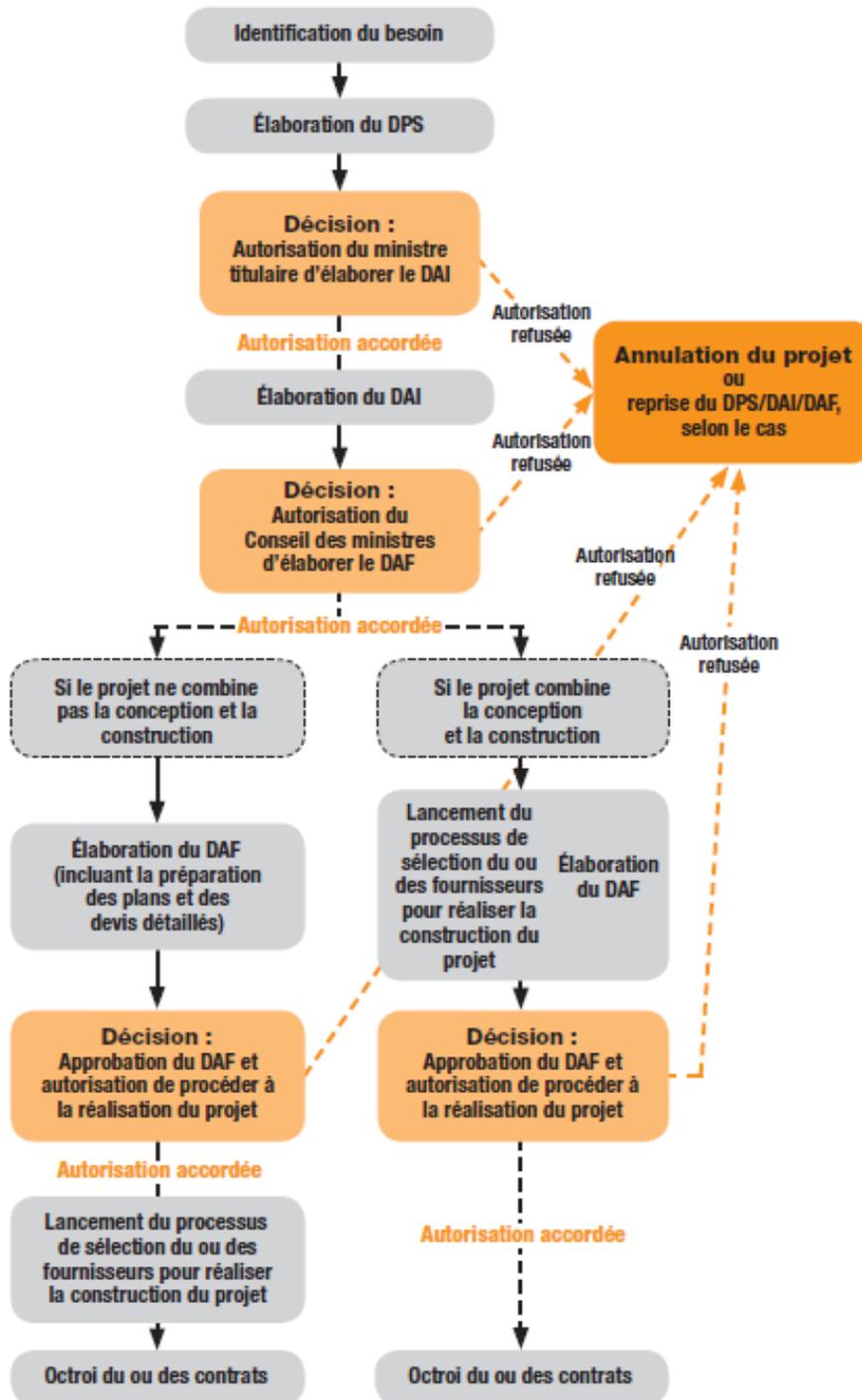


## Annexe

Annexe 1 : Sommaire des grandes étapes de planification d'un projet. Source : Guide d'élaboration du dossier d'affaires, Secrétariat du conseil du trésor, Québec, 2011.....	65
Annexe 2 : Élaboration du dossier d'affaires. Source : Guide d'élaboration du dossier d'affaires, Secrétariat du conseil du trésor, Québec, 2011.....	66
Annexe 3 : Étapes de la simulation MADITUC.....	67
Annexe 4 : Algorithme de simulation d'un déplacement bimodal. Source : Documentation méthodologique du transfert modal v4.0 - AMT (Juin 2012).....	68
Annexe 5 : Plan du réseau de transport de Montréal (Août 2012) Source : Société de Transport de Montréal.....	69
Annexe 6 : Plan du futur réseau de transport de Montréal (2018) Source : AMT (Juin 2012) .....	70

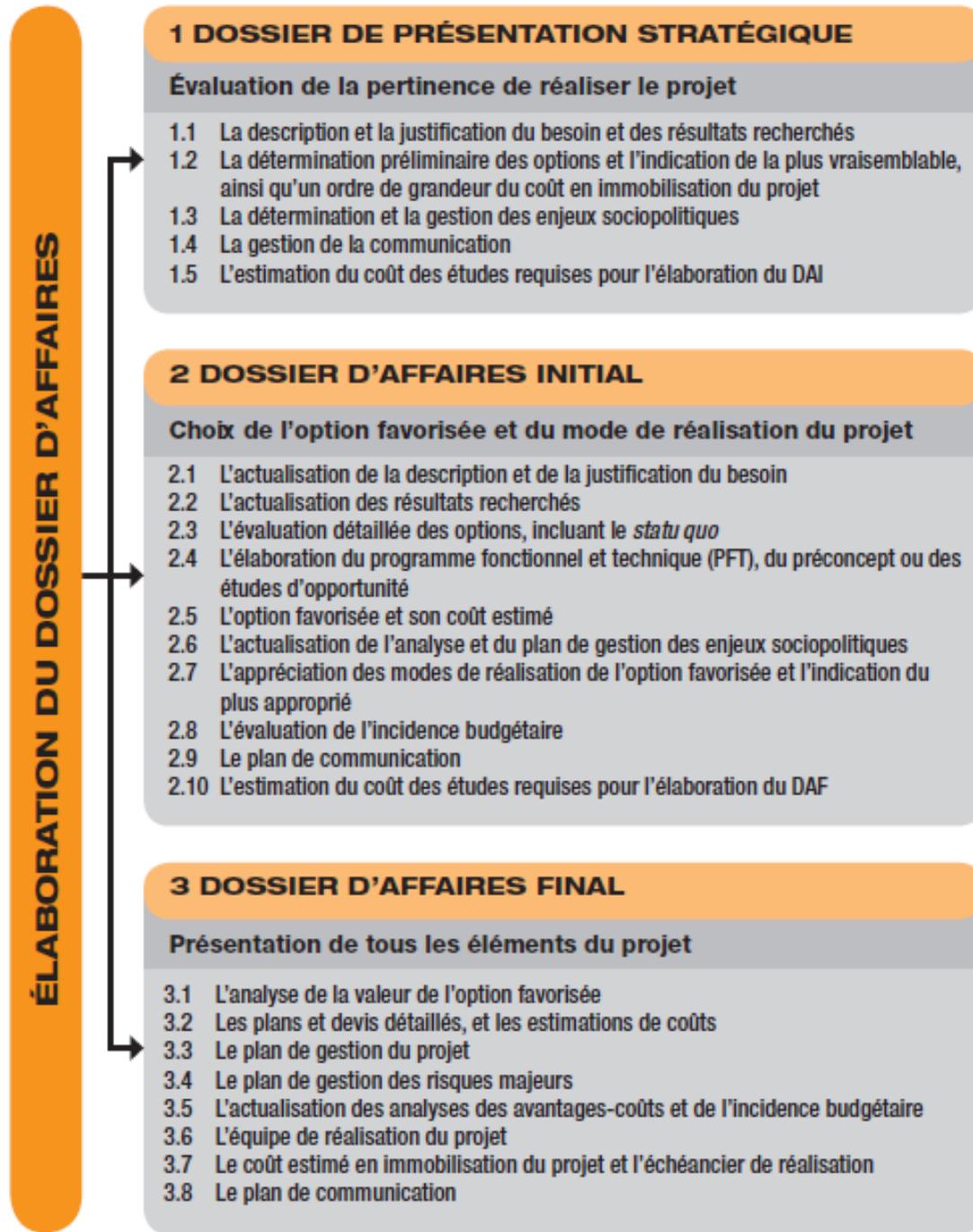
**Annexe 1 : Sommaire des grandes étapes de planification d'un projet.**  
 Source : Guide d'élaboration du dossier d'affaires, Secrétariat du conseil du trésor, Québec, 2011

([www.infra.gouv.qc.ca/images/stories/documentation/guide\\_elaboration\\_du\\_dossier\\_affaires\\_2011.pdf](http://www.infra.gouv.qc.ca/images/stories/documentation/guide_elaboration_du_dossier_affaires_2011.pdf))

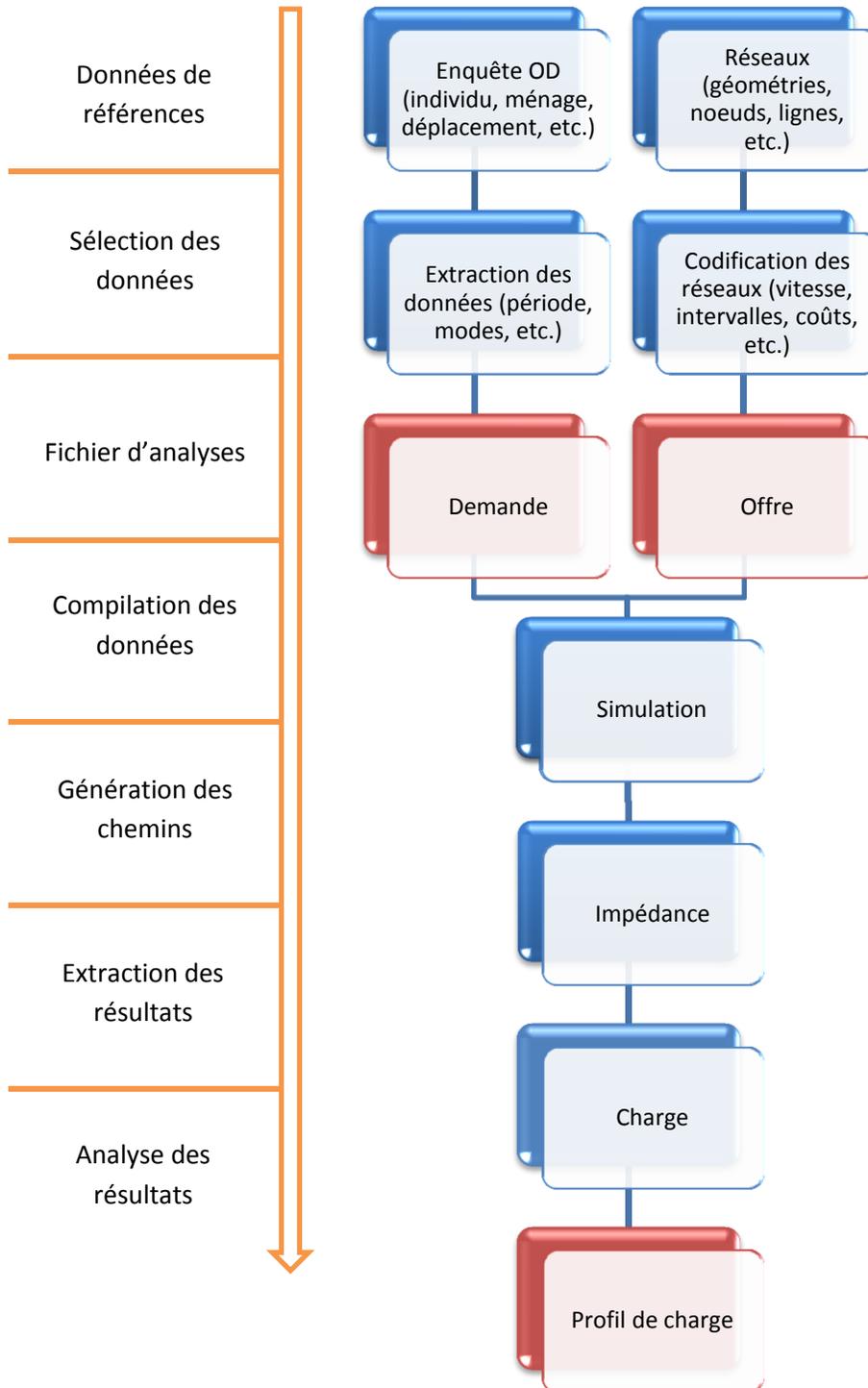


Annexe 2 : Élaboration du dossier d'affaires. Source : Guide d'élaboration du dossier d'affaires, Secrétariat du conseil du trésor, Québec, 2011

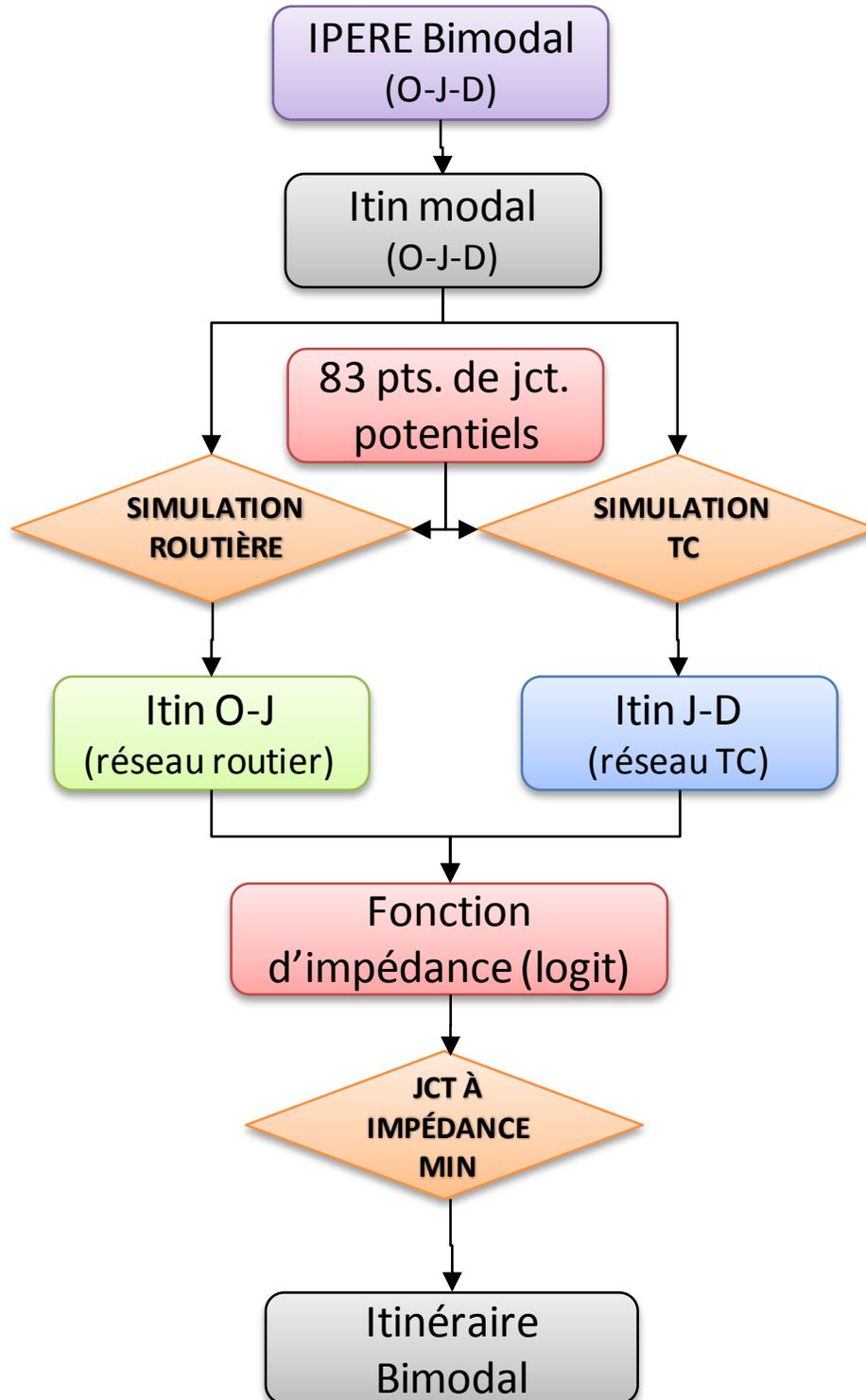
[www.infra.gouv.qc.ca/images/stories/documentation/guide\\_elaboration\\_du\\_dossier\\_affaires\\_2011.pdf](http://www.infra.gouv.qc.ca/images/stories/documentation/guide_elaboration_du_dossier_affaires_2011.pdf)



### Annexe 3 : Étapes de la simulation MADITUC Réalisation : B. Frioux



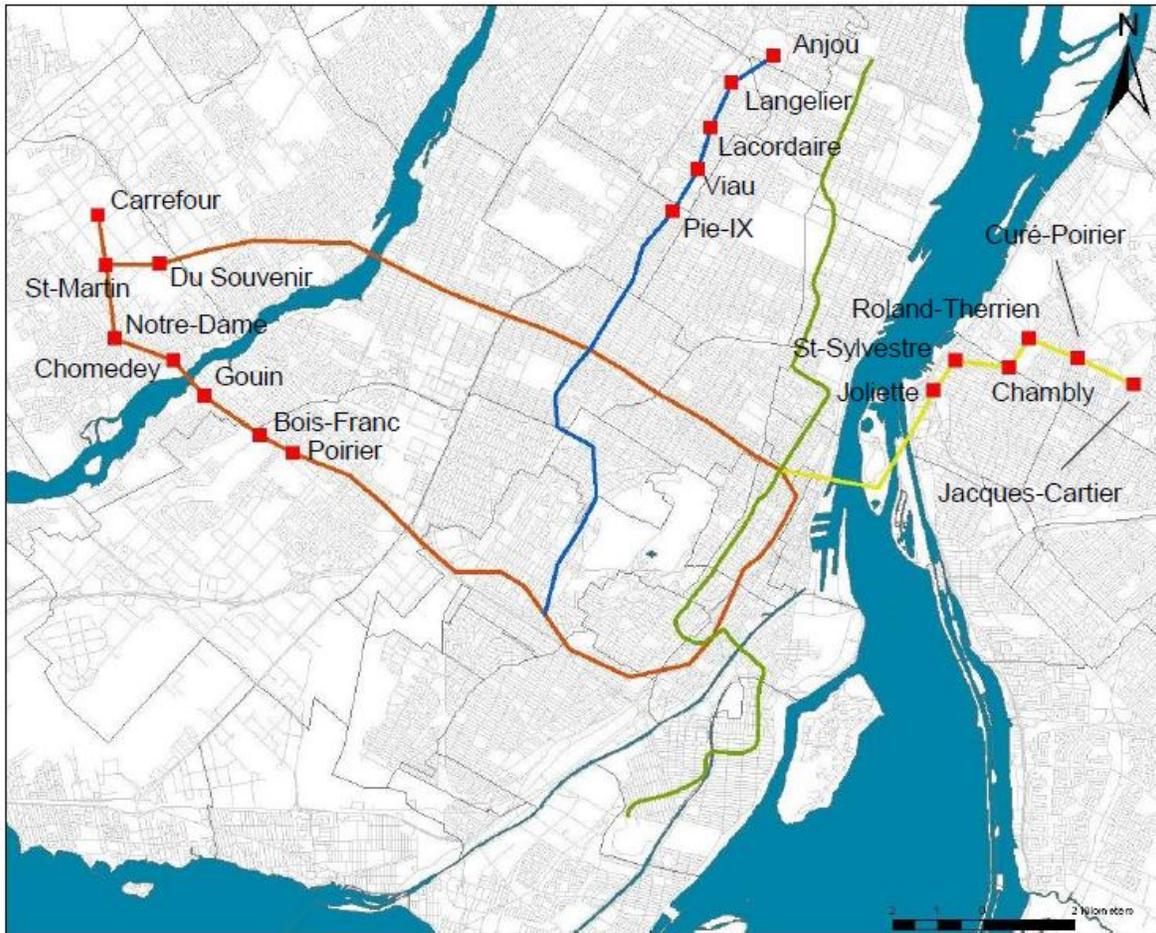
**Annexe 4 : Algorithme de simulation d'un déplacement bimodal.**  
**Source : Documentation méthodologique du transfert modal v4.0 - AMT (Juin 2012)**



Annexe 5 : Plan du réseau de transport de Montréal (Août 2012)  
 Source : Société de Transport de Montréal  
 (<http://www.stm.info/metro/mapmetro.htm>)



**Annexe 6 : Plan du futur réseau de transport de Montréal (2018)**  
Source : AMT (Juin 2012)





## Liste des abréviations

AMT :	Agence Métropolitaine de Transport.
AOT :	Autorité Organisatrice de Transport.
CIT :	Conseil Intermunicipal de Transport.
CMM :	Communauté Métropolitaine de Montréal.
CTM :	Commission de Transport de Montréal.
DAF :	Dossier d'Affaires Final.
DAI :	Dossier d'Affaires Initial.
DPS :	Dossier de Présentation Stratégique.
ENTPE :	Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat.
EQM :	Erreur Quadratique Moyenne.
GRM :	Grande Région de Montréal.
ISAM :	Information Stratégique et Affaires Métropolitaines.
MADITUC :	Modèle d'Analyse Désagrégée des Itinéraires de Transport Urbain Collectif.
MRC :	Municipalité régionale de comté.
MTQ :	Ministère des Transports du Québec.
OD :	Origine-Destination.
OMIT :	Organismes Municipaux et Intermunicipaux de Transport.
PENALM :	Pénalité pour une correspondance métro-métro.
PMAD :	Plan Métropolitain d'Aménagement et de Développement.
PPAM :	Période de Pointe du Matin.
PPAMMA :	Période de Pointe du Matin d'une journée moyenne d'automne.
PPP :	Partenariat Public-Privé.
PPPM :	Période de Pointe du Soir.
PPPMMA :	Période de Pointe du Soir d'une journée moyenne d'automne.
RTL :	Réseau de Transport de Longueuil.
SIG :	Système d'Information Géographique avec géocodage.
SLR :	Système Léger sur Rail.
SRB :	Service Rapide par Bus.
STI :	Système de Transport Intelligent.
STL :	Société de Transport de Laval.
STM :	Société de Transport de Montréal.
TC :	Transport en Commun.
TURP :	Transports Urbains et Régionaux de Personnes.
TCSP :	Transport en Commun en Site Propre.
TINMOD :	Matrice de 10 par 10 pour entrer les pénalités entre les modes de transports.
TOD :	Transit-Oriented Development.
VP :	Voiture particulière.
ZS :	Zone source.



## Références Bibliographique

AMT (Mai 2002). *Implantation d'un système léger sur rail (SLR) dans l'axe de l'autoroute 10 / Centre-ville (Montréal) - Version préliminaire.*

AMT (2010). *Enquête Origine-Destination 2008, Constat sur la mobilité des personnes dans la grande région de Montréal – Faits saillant.*

AMT (Mars 2012). *Guide de codification régional du réseau de transport collectif version 6.*

AMT (Mars 2011). *Rapport de calibration PPAM 2008 Régional version 3.1.*

AMT (Juin 2012). *Documentation méthodologique du transfert modal v4.0.*

Bonnel P. (2004). *Prévoir la demande de transport*, Paris: Presse de l'école nationale des Ponts et chaussées, 425 p.

Chapleau R. (1992). *La modélisation de la demande de transport urbain avec une approche totalement désagrégée*, Selected Proceedings of The World Conference on Transportation Research, WCTR Society, Lyon, Vol. II, pp. 937-948.

Chapleau R. (2000). *Conducting Telephone Origin-Destination Household Survey with an Integrated Informational Approach*, "Transport Surveys: Raising the Standard - Proceedings of an International Conference on Transport Survey Quality and Innovation", Grainau, Allemagne, Transportation Research Circular EC-008.

Communauté Métropolitaine de Montréal (Octobre 2011). *Guide d'aménagement pour les aires TOD (Transit-Oriented Development)*, tiré de :  
[http://pmad.ca/fileadmin/user\\_upload/pmad2011/documentation/20111004\\_guideAiresTOD.pdf](http://pmad.ca/fileadmin/user_upload/pmad2011/documentation/20111004_guideAiresTOD.pdf)

Faivre d'Arcier B. (2012). *Méthodes d'évaluation des projets de Transport*, cours du Master TURP (Université Lyon 2 et ENTPE).

Guitton H. (1964). *Statistiques et économétrie*, Dalloz, Paris, 560 p.

Kane L. et Behrens R. (2002). *Transport planning models – An historical and critical review*. Tiré de [www.ctfs.uct.ac.za/downloads/publication/2002/kanebehrens\\_2002.pdf](http://www.ctfs.uct.ac.za/downloads/publication/2002/kanebehrens_2002.pdf)

Legay J.-M. (1990). *De la complexité des objets à la méthode des modèles - synthèse des travaux du colloque*, La modélisation, confluent des sciences, Brissaud M, Forsé M, Zighed A (éd.), Éditions du CNRS, Lyon, pp. 235-239.

Le Moigne J.-L. (1990). *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod (ré - édition 1991, 1995, 1999, 2002), 192 p.



MADITUC. *Les enquêtes origine-destination à Montréal*, Consulté le 21 mai 2012, tiré de : <http://www.transport.polymtl.ca/eodmtl/>

MADITUC. *Le groupe MADITUC*, Consulté le 21 mai 2012, tiré de : <http://www.madituc.polymtl.ca/>

Manheim M. L. (1979). *Fundamentals of Transportation Systems Analysis – Volume 1 : Basic Concepts*, 658 p.

Ministère des Transport du Québec (Novembre 2011). *Prévisions de la demande de déplacements pour la région de Montréal 2008-2031 - Hypothèses détaillées et faits saillants*.

Murga M. (2002). *Urban Transportation Planning - MIT Course*, tire de : <http://ocw.mit.edu/courses/urban-studies-and-planning/11-380j-urban-transportationplanning-fall-2002/lecture-notes/Week5a.pdf>).

Ortúzar J.D., Armoogum J., Madre J.-L. et Potier F. (Novembre 2010). *Continuous Mobility Surveys: The State of Practice*, Transport Reviews, 312 p.

Ortúzar J.D. et Wilumsen L.G. (1994). *Modelling transport*, 2<sup>e</sup> Edition, John Willey and Sons, 499 p.

Secrétariat du Conseil du trésor, Québec. (2011). *Guide d'élaboration du dossier d'affaires – Des grands projets d'infrastructure publique*, tiré de : [www.infra.gouv.qc.ca/images/stories/documentation/guide\\_elaboration\\_du\\_dossier\\_affaires\\_2011.pdf](http://www.infra.gouv.qc.ca/images/stories/documentation/guide_elaboration_du_dossier_affaires_2011.pdf)

Secrétariat du Conseil du trésor, Québec. (2011). *Politique-cadre sur la gouvernance – Des grands projets d'infrastructure publique*, tiré de : [http://www.tresor.gouv.qc.ca/fileadmin/PDF/faire\\_affaire\\_avec\\_etat/loi\\_reglements\\_politiques/Politique-cadre\\_Mars2010.pdf](http://www.tresor.gouv.qc.ca/fileadmin/PDF/faire_affaire_avec_etat/loi_reglements_politiques/Politique-cadre_Mars2010.pdf)

Wikipédia, *Principe de Wardrop*, Consulté le 05 juin 2012, tiré de : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Principe\\_de\\_Wardrop](http://fr.wikipedia.org/wiki/Principe_de_Wardrop)

Wikipédia, *Algorithme de Dijkstra*, Consulté le 05 juin 2012, tiré de : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Algorithme\\_de\\_Dijkstra](http://fr.wikipedia.org/wiki/Algorithme_de_Dijkstra)



## Table des tableaux

Tableau 1 : Échelles spatio-temporelles et modélisation.....	1
Tableau 2 : Distribution des déplacements : notations. ....	14
Tableau 3 : Évolution de la couverture de l'enquête OD. ....	18
Tableau 4 : La base de données du site Agora permettant l'ensemencement. ....	34
Tableau 5 : Acceptabilité des caractéristiques de la population à transposer.....	36
Tableau 6 : Résumé de l'exercice de transposition des déplacements pour le site Agora. ....	36
Tableau 7 : Caractéristiques des lignes de métro. ....	44
Tableau 8 : EQM (en %) entre la répartition horaire des secteurs des prolongements et les 12 tronçons.....	50
Tableau 9 : Facteurs d'annualisation par tronçons pour la période Septembre 2010 à Septembre 2011.....	51
Tableau 10 : Prévion des facteurs d'annualisation des prolongements de métro. ....	52
Tableau 11 : Variation de l'achalandage des lignes de métro par période de 5 ans. ....	55
Tableau 12 : Croissance annuelle des prévisions du MTQ (2011-2031). ....	56
Tableau 13 : Résultats hypothétiques de l'évolution de l'achalandage de la ligne Orange liée au prolongement du métro de 2007 à Laval.....	59
Tableau 14 : Hypothèses de croissance annuelle des différents scénarios. ....	60



## Table des figures

Figure 1 : Schéma de la modélisation à quatre étapes d'un réseau de transport. ....	13
Figure 2 : Territoire d'enquête de la GRM, enquêtes de 1987 à 2008.....	18
Figure 3 : Modélisation d'un déplacement OD totalement désagrégé.....	21
Figure 4 : Principe du transfert modal incrémental à seuil. ....	27
Figure 5 : Courbes de diversion auto pur vers TC pur. ....	28
Figure 6 : L'implantation des projets d'urbanisme en fonction des prolongements de métro. ...	33
Figure 7 : Montées journalières moyennes d'automne 2008 par secteur - Ligne Jaune. ....	43
Figure 8 : Montées journalières moyennes d'automne 2008 par ligne. ....	43
Figure 9 : Répartition horaire des déplacements par tronçon de la ligne Orange (sans les stations de correspondances) d'une journée moyenne d'automne 2008.....	45
Figure 10 : Répartition horaire des déplacements par tronçon de la ligne Jaune (sans les stations de correspondances) d'une journée moyenne d'automne 2008.....	45
Figure 11 : Répartition horaire des déplacements par tronçon de la ligne Verte (sans les stations de correspondances) d'une journée moyenne d'automne 2008.....	46
Figure 12 : Répartition horaire des déplacements par tronçon de la ligne Bleue (sans les stations de correspondances) d'une journée moyenne d'automne 2008.....	46
Figure 13 : Répartition horaire des déplacements TC et Bimodaux par secteurs d'étude des prolongements d'une journée moyenne d'automne 2008.....	47
Figure 14: Densité des activités "travail" selon l'enquête OD 2008.....	48
Figure 15 : Méthodologie pour définir l'achalandage d'une période précise. ....	52
Figure 16 : Achalandage annuel et achalandage d'une journée moyenne d'automne du métro depuis 1998. ....	53
Figure 17 : Achalandages annuels des métros depuis 1999. ....	54
Figure 18 : Achalandage prévisionnel du MTQ par ligne d'une journée moyenne d'automne. ...	56
Figure 19 : Achalandage annuel prévisionnel par ligne sans prolongement. ....	56
Figure 20 : Évolution théorique de l'achalandage suite à un prolongement. ....	57
Figure 21 : Évolution de l'achalandage annuel du métro Orange. ....	58
Figure 22 : Transposition de l'achalandage de la ligne Orange au modèle théorique.....	58
Figure 23 : Prévision d'achalandage à l'horizon 2058 - Lignes Verte et Orange. ....	60
Figure 24 : Prévision d'achalandage à l'horizon 2058 - Lignes Jaune et Bleue.....	61



## Table des matières

Fiche bibliographique .....	I
Publication data form .....	II
Remerciement .....	III
Sommaire .....	IV
Introduction.....	1
Mise en contexte et problématique.....	2
Objectif et méthodologie .....	3
Contenu .....	3
1. Les différentes étapes de la réflexion .....	5
1.1. Le processus général .....	5
1.1.1. Le DPS .....	5
1.1.2. Le DAI.....	6
1.1.3. Le DAF.....	7
1.2. La place de l'AMT .....	8
1.2.1. ISAM - Information stratégique.....	9
1.2.2. ISAM – Modélisation des réseaux .....	9
1.2.3. Planification .....	10
2. Le corps de la modélisation des systèmes de transport urbain à l'AMT.....	11
2.1. Généralités sur les modèles .....	11
2.1.1. Rappel du schéma de la modélisation à quatre étapes (modèle agrégé).....	12
Étape 1 – Génération de déplacement.....	13
Principales variables.....	13
Étape 2 – Distribution des déplacements.....	14
Principales variables .....	14
Étape 3 – Choix modal .....	14
Étape 4 – Affectation des déplacements.....	15
Principales variables .....	16
La pertinence du modèle a 4 étapes .....	16
2.1.2. La base de données de Montréal (Les enquêtes OD régionales).....	17
L'enquête OD de 2008.....	19



2.1.3.	Le modèle Montréalais (totalement désagrégée).....	20
2.2.	L'environnement de simulation à Montréal .....	22
2.2.1.	La représentation de la demande (Enquête OD).....	22
2.2.2.	La représentation de l'offre (Codification des réseaux).....	23
2.2.3.	Paramètres de calibration .....	24
2.2.4.	Le transfert modal .....	25
	Généralités sur le transfert modal .....	26
	Estimation du transfert modal .....	27
	Les trois étapes de l'estimation d'une courbe de diversion .....	28
	1 - La sélection d'un échantillon de déplacements en fonction.....	28
	2 - L'affectation de l'échantillon sur les réseaux routiers et TC.....	28
	3 - La régression linéaire des données groupées .....	29
3.	Le développement de composantes .....	30
3.1.	La méthode d'ensemencement.....	30
3.1.1.	Mise en contexte .....	31
3.1.2.	Méthodologie .....	31
	Identification des zones à ensemercer .....	33
	Identification des Zones Sources et de la population à transposer .....	34
	Indice de similarité résidentielle .....	34
	Sélection des ZS résidentielles et de la population à transposer.....	35
	Reproduction et translation des déplacements dans les sites à ensemercer .....	36
	Déplacements internes / de proximités .....	37
	Récupération des personnes et des déplacements sur l'ensemble du territoire .....	37
3.1.3.	Analyse et critique de la méthode.....	38
3.2.	Les méthodes d'annualisation et d'extrapolation.....	39
3.2.1.	Mise en contexte .....	39
	Enquêtes OD en mode continu de Montréal .....	40
3.2.2.	Méthodologie .....	41
	Annualisation (achalandage PPAMMA/achalandage annuel).....	42
	Typologie des lignes .....	42
	Secteurs d'étude des prolongements .....	46
	Prolongement à Longueuil .....	47
	Les composantes de la modélisation d'un projet de transport urbain .....	77



Prolongement à Laval .....	48
Prolongement au Nord-ouest de Montréal.....	49
Prolongement à l'Est de Montréal .....	49
Similarité des différents tronçons .....	49
Facteur d'annualisation par tronçon.....	50
Facteurs d'annualisation des prolongements .....	51
Extrapolation (achalandage actuel/achalandage futur).....	52
Tendance des 13 dernières années .....	53
Prévision du MTQ.....	55
Hypothèse du gain d'achalandage des prolongements .....	57
Extrapolation par ligne .....	59
3.2.3. Analyse et critique des méthodes .....	61
Conclusion .....	63
Annexe.....	64
Annexe 1 : Sommaire des grandes étapes de planification d'un projet. Source : Guide d'élaboration du dossier d'affaires, Secrétariat du conseil du trésor, Québec, 2011.....	65
Annexe 2 : Élaboration du dossier d'affaires. Source : Guide d'élaboration du dossier d'affaires, Secrétariat du conseil du trésor, Québec, 2011.....	66
Annexe 3 : Étapes de la simulation MADITUC.....	67
Annexe 4 : Algorithme de simulation d'un déplacement bimodal. Source : Documentation méthodologique du transfert modal v4.0 - AMT (Juin 2012).....	68
Annexe 5 : Plan du réseau de transport de Montréal (Août 2012) Source : Société de Transport de Montréal.....	69
Annexe 6 : Plan du futur réseau de transport de Montréal (2018) Source : AMT (Juin 2012) .	70
Liste des abréviations .....	71
Références Bibliographique .....	72
Table des tableaux.....	74
Table des figures.....	75
Table des matières .....	76