PolyPublie
Polytechnique Montréal

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL
UNIVERSITÉ D'INGÉNIERIE

Titre: Title:	Simulation détaillée du comportement des usagers dans le métro de Montréal
Auteur: Author:	Loukas Sarakinis
Date:	2006
Type:	Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis
Référence: Citation:	Sarakinis, L. (2006). Simulation détaillée du comportement des usagers dans le métro de Montréal [Master's thesis, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. https://publications.polymtl.ca/7911/

Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: PolyPublie URL:	https://publications.polymtl.ca/7911/
Directeurs de recherche: Advisors:	Robert Chapleau
Programme: Program:	Unspecified

Ce fichier a été téléchargé à partir de PolyPublie, le dépôt institutionnel de Polytechnique Montréal
This file has been downloaded from PolyPublie, the institutional repository of Polytechnique Montréal

https://publications.polymtl.ca

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

SIMULATION DÉTAILLÉE DU COMPORTEMENT DES USAGERS DANS LE MÉTRO DE MONTRÉAL

LOUKAS SARAKINIS
DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE CIVIL)
SEPTEMBRE 2006

© Loukas Sarakinis, 2006.

Library and Archives Canada

Published Heritage Branch

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Bibliothèque et Archives Canada

Direction du Patrimoine de l'édition

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence
ISBN: 978-0-494-19331-0
Our file Notre référence
ISBN: 978-0-494-19331-0

NOTICE:
The author has granted a non-exclusive license allowing Library and Archives Canada to reproduce, publish, archive, preserve, conserve, communicate to the public by telecommunication or on the Internet, loan, distribute and sell theses worldwide, for commercial or non-commercial purposes, in microform, paper, electronic and/or any other formats.

The author retains copyright ownership and moral rights in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

AVIS:
L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, publier, archiver, sauvegarder, conserver, transmettre au public par télécommunication ou par l'Internet, prêter, distribuer et vendre des thèses partout dans le monde, à des fins commerciales ou autres, sur support microforme, papier, électronique et/ou autres formats.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur et des droits moraux qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

Canada

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé:

SIMULATION DÉTAILLÉE DU COMPORTEMENT DES USAGERS DANS LE MÉTRO DE MONTRÉAL

présenté par: SARAKINIS Loukas

en vue de l'obtention du diplôme de: Maîtrise ès sciences appliquées

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. BAASS Karsten, Ph.D., président

M. CHAPLEAU Robert, Ph.D., membre et directeur de recherche

Mme MORENCY Catherine, Ph.D., membre

Remerciements

L'auteur désire remercier le professeur Robert Chapleau pour sa patience, ses pistes de réflexion et son support financier durant ce travail de recherche. Ce travail écrit n'aurait pas pu être réalisé sans son aide.

L'auteur remercie également ses parents, sa sœur ainsi que les personnes suivantes : Daniel Piché, Vincent Dionne, Luc Pellecuer, Christophe Hurisse, Émilie Voyer, Sébastien Gagné, Eya-Wetu Talaki, Ka Kee Alfred Chu, Catherine Morency et Bruno Allard. Un grand merci pour votre temps, coopération et encouragement.

Resumé

Les clients du transport public dans la région métropolitaine de Montréal ont à leur disposition des calculateurs de trajets sophistiqués pour planifier leurs déplacements. Divers réseaux sont considérés dans le calcul des meilleurs trajets: autobus, métro, trains de banlieue et trottoirs. Toutefois, dans la modélisation actuelle des déplacements, les composantes horizontale et verticale de l'itinéraire piétonnier à l'intérieur des stations de métro sont négligées puisque les stations sont modélisées comme des nœuds. Par conséquent, le voyageur doit souvent s'orienter par ses propres moyens, dû au manque d'information sur la partie piétonne du déplacement réalisée dans le métro.

Cette expérimentation, à un niveau de résolution plus précis, teste la faisabilité d'une codification des stations de métro et explore quelques opportunités offertes par une connaissance plus fine des réseaux piétonniers. En outre, les attributs de la marche tels que la dépense énergétique seront étudiés.

La modélisation des déplacements piétonniers dans le réseau souterrain du métro représente un vrai défi. En effet, la tridimensionnalité inhérente et le concept architectural unique de chaque station sont des points à considérer. La codification du réseau filamentaire s'est inspirée de la modélisation en graphe, c'est-à-dire d'une schématisation d'un réseau par un ensemble de nœuds et de liens. L'accent a été mis sur les quatre stations de correspondance du réseau. Pour atteindre les objectifs de ce travail de recherche, différents outils ont été utilisés: plans des stations sur papier et logiciel de dessin assisté par ordinateur pour codifier le réseau piétonnier; bases de données et logiciels de système d'information géographique (SIG). Des expérimentations ont été réalisées sur le terrain pour noter le choix d'itinéraire des voyageurs et chronométrer leurs temps de marche.

La représentation graphique du réseau filamentaire à l'intérieur du métro peut faciliter l'orientation spatiale des usagers et, par conséquent, minimiser l'incertitude durant l'itinéraire piétonnier. En outre, les temps de marche et la dépense énergétique peuvent être estimés. Ceci facilitera le déplacement des personnes, surtout celles à mobilité réduite, car elles auront l'option de choisir le chemin qui minimise la dépense calorique dans l'éventualité d'un nouveau système d'information pour le client du métro. Ce travail démontre que l'usager qui utilise de façon rationnelle son temps d'attente de la rame et qui est actif sur les escaliers mécaniques passe moins de temps dans le métro et minimise facilement son temps total de déplacement. De plus, selon la revue de littérature, la composante piétonne du déplacement dans le métro peut contribuer à la santé des voyageurs.

Abstract

People using public transit in the metropolitan region of Montreal have trip planners at their disposal that take into consideration several networks in finding the best routes: bus, subway, commuter train and sidewalk. However, the horizontal and vertical dimensions of the pedestrian trip inside the subway stations are neglected because the stations are actually modelled as nodes. Therefore, there is a lack of information on the pedestrian part of the trip inside the subway.

This experimentation, at a finer level of resolution, tests the feasibility of geocoding the subway stations and explores the opportunities offered by a more precise knowledge of underground pedestrian networks. Also, the attributes of walking such as energy expenditure will be studied.

Modeling pedestrian movements inside the subway represents a real challenge. The intrinsic three-dimensionality and the unique architectural concept of each station have to be taken into consideration. The geocoding of the subway stations was done using the graph modeling approach, which consists of representing a network with a set of nodes and links. Emphasis was placed on the four transfer stations of the subway system. To reach the goals of this research project, different tools were used: blueprints of the subway stations, computer-aided design software, databases, as well as geographical information systems (GIS). Observations and measurement of travelers' walking times were gathered inside the subway.

This project helps guide the pedestrians in the underground network of the Montreal subway and make the journey of people easier, especially those with reduced mobility, because they will have the option to choose the path that minimizes energy expenditure in the event of a new passenger information system for the people using the subway.

This research shows that the traveler who uses his waiting time efficiently and who is active on escalators can minimize the time he spends in the subway network and reduce the overall travel time significantly. Also, according to literature, travelers can attain health benefits from the walking part of their journey inside the subway stations.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS ..... **IV**

RÉSUMÉ ..... **V**

ABSTRACT ..... **VII**

TABLE DES MATIÈRES ..... **IXIII**

LISTE DES TABLEAUX ..... **XIII**

LISTE DES FIGURES ..... **XV**

LISTE DES SIGLES ET LEXIQUE ..... **XIX**

CHAPITRE 1 :INTRODUCTION **1**

1.1 Mise en contexte 1

1.2 Objectifs de la recherche 1

1.3 Méthodologie prévue 2

1.4 Utilité de la recherche 2

1.5 Contenu du mémoire 3

CHAPITRE 2 :REVUE DE LITTÉRATURE **4**

2.1 Analyse systémique en transport 4

2.2 Concepts clés 5

2.3 Modélisation désagrégée 8

2.3.1 Modélisation du choix de chemin sur un réseau piétonnier 8

2.3.1.1 Choix de chemin sur un terrain plat 9

2.3.1.2 Choix de chemin sur le plan vertical 9

2.3.1.3 Choix de chemin sur le plan horizontal et vertical 10

2.3.2 Modélisation du choix de chemin sur un réseau de métro 11

2.4 Modélisation totalement désagrégée 12

2.5 Expérimentations antérieures 13

2.6 Dépense énergétique 14
2.6.1 Métabolisme au repos 15
2.6.2 Niveaux d'intensité de différentes activités physiques 16
2.6.3 Vitesse optimale de marche 17
2.6.4 Dépense énergétique de la marche et de la course 18
2.7 Transport actif 20
2.7.1 Activité physique quotidienne recommandée 20
2.7.2 10 000 pas par jour 22
CHAPITRE 3 :LE MÉTRO DE MONTRÉAL 23
3.1 Introduction 23
3.2 Historique 24
3.3 Analyse systémique du métro 25
3.3.1 Les réseaux 25
3.3.1.1 Territoire desservi 26
3.3.1.2 Stations de métro 27
3.3.1.3 Lignes de métro 29
3.3.2 Les terminus 32
3.3.3 Les points de transferts 33
3.3.4 Les usagers 34
3.3.5 Les véhicules 34
3.4 Les stations de correspondance 36
3.4.1 Berri-UQAM 36
3.4.2 Jean-Talon 40
3.4.3 Lionel-Groulx 43
3.4.4 Snowdon 45
3.4.5 Conclusion 48

CHAPITRE 4 :PROBLÉMATIQUE ET MÉTHODOLOGIE 49

4.1 Itinéraire piétonnier dans les stations de métro 49

4.2 Itinéraire actif souterrain 50

4.3 Codification et modélisation du réseau piétonnier 51

4.3.1 Codification filamentaire du réseau 52

4.3.1.1 Codification au niveau du quai 53

4.3.1.2 Codification au niveau de la mezzanine 55

4.3.1.3 Codification au niveau de l'édicule 56

4.3.1.4 Réseau piétonnier de la station en 3D 56

4.4 Impédance de chaque chemin 57

4.5 Génération de l'ensemble des chemins pour chaque paire O-D du réseau 59

4.6 Optimisation du temps de déplacement 61

CHAPITRE 5:CARACTÉRISTIQUES ET COMPORTEMENT DES USAGERS 64

5.1 Profil socio-démographique des usagers 64

5.2 Caractéristiques des usagers 65

5.2.1 L'espace physique requis par passager 65

5.2.2 Physiologie et psychologie du confort 66

5.3 Comportement sur un terrain plat 68

5.3.1 Trajectoires empruntées 68

5.3.2 Écarts entre les piétons et distance latérale par rapport aux obstacles 69

5.3.3 Vitesse de marche 71

5.4 Comportement sur les escaliers 72

5.4.1 Choix entre l'escalier fixe et mécanique 72

5.4.2 Comportement à l'approche des escaliers 76

5.4.3 Comportement sur l'escalier mécanique 76

5.4.4 Vitesse de montée/descente sur les escaliers 80
5.5 Comportement sur le quai 81
5.5.1 Position des usagers durant l'attente de la rame 81
5.5.2 Position des usagers sur le quai à l'arrivée de la rame 82
5.5.3 Temps d'arrêt en station 83
5.6 Conclusion 85
CHAPITRE 6 :RÉSULTATS ET ANALYSE 86
6.1 Analyse d'un itinéraire typique 86
6.1.1 Correspondance 1 : Berri-UQAM 89
6.1.2 Correspondance 2 : Jean-Talon 91
6.1.3 Résumé du déplacement 94
6.2 Analyse d'un échantillon de l'enquête O-D 2003 96
6.2.1 Distribution temporelle des déplacements 97
6.2.2 Caractérisation et comportement des voyageurs 97
6.2.3 Itinéraire choisi par la clientèle (résultats de l'enquête O-D 2003) 100
6.2.4 Explication du choix d'itinéraire 102
6.2.4.1 Analyse des correspondances 102
6.2.4.2 Analyse du niveau de service des lignes de métro 107
6.2.4.3 Conclusion 108
6.3 Estimation du temps qu'on peut faire économiser aux usagers 109
CHAPITRE 7 :CONCLUSION 111
7.1 Rappel des contributions 111
7.2 Pistes de recherche futures 111
REFERENCES 113

Liste des tableaux

Tableau 2.1: L'équivalent métabolique de différentes activités physiques (Ainsworth, 2002) 16

Tableau 2.2: Mode de vie d'une personne en fonction du nombre de pas par jour 22

Tableau 5.1: Profil de la clientèle du métro 64

Tableau 5.2: Données anthropométriques (95e percentile) des hommes et femmes (Fruin et al. 1995) 65

Tableau 5.3: Territoire occupé par le piéton en fonction des conditions de circulation (Chapleau, 1994) 67

Tableau 5.4: Distance latérale minimale que les piétons se tiennent à l'écart de différents obstacles (Daamen, 2004) 70

Tableau 5.5: Vitesse des usagers mobiles et immobiles sur les escaliers dans les deux directions 80

Tableau 6.1: Temps de déplacement désagrégé et dépense énergétique selon le type d'usager et la voiture choisie de la station Longueuil à Université-de-Montréal 94

Tableau 6.2: Attributs de chaque alternative (cas d'usager semi-actif) 96

Tableau 6.3: Choix d'itinéraire de la clientèle selon la station de débarquement 100

Tableau 6.4: Choix d'itinéraire de la clientèle qui se destine au campus de l'UdeM 100

Tableau 6.5: Temps de déplacement en minutes selon les circonstances de l'itinéraire et la station de débarquement 101

Tableau 6.6: Choix d'itinéraire fait par la clientèle selon la station d'embarquement 101

Tableau 6.7: Choix d'itinéraire agrégé de la clientèle qui se destine à Longueuil-UdeS 102

Tableau 6.8: Temps de correspondance (s) à Berri-UQAM en fonction du choix d'itinéraire, le genre de l'individu, sa vitesse de marche et son comportement sur les escaliers.....104

Tableau 6.9: Temps de correspondance (s) à Jean-Talon et Snowdon en fonction du choix d'itinéraire, du genre de l'individu, sa vitesse de marche et son comportement sur les escaliers.....107

Liste des figures

Figure 2.1: Relation entre l'offre, la demande et le comportement des voyageurs (inspirée de Chapleau, 2000) 5

Figure 2.2: Itinéraire totalement désagrégé 13

Figure 2.3: Dépense énergétique par unité de poids corporel et par unité de distance marchée sur un terrain plat en fonction de la vitesse de marche (Inman et al, 1981) 18

Figure 2.4: Comparaison de la dépense énergétique de la marche et de la course en fonction de la vitesse 19

Figure 2.5: Affiches incitatives pour promouvoir l'utilisation des escaliers 21

Figure 3.1: Réseau du métro et variation de la possession automobile dans la région métropolitaine de Montréal 26

Figure 3.2: Niveaux d'une station de métro 28

Figure 3.3: Plan du réseau du métro de Montréal 29

Figure 3.4: Plan et élévation d'une voiture motrice (Métro de Montréal, BTM, 1983) 35

Figure 3.5: Rame de métro et rampe à la station Plamondon 36

Figure 3.6: Niveaux de la station Berri-UQAM 37

Figure 3.7: Quais latéraux de la station Berri-UQAM 37

Figure 3.8: Vue de face d'un déplacement à partir du niveau le plus bas de la station Berri-UQAM jusqu'à la sortie Saint-Denis 38

Figure 3.9: Réseau piétonnier, disposition des quais et accès de la station Berri-UQAM 39

Figure 3.10: Quai de la ligne bleue, direction Saint-Michel, de la station Jean-Talon 41

Figure 3.11: Réseau piétonnier, disposition des quais et accès de la station Jean-Talon 42

Figure 3.12: Signalisation sur un cube suspendu à un point de décision dans la station Jean-Talon 42

Figure 3.13: Station de correspondance Lionel-Groulx 44

Figure 3.14: Vue en plan de la disposition des quais et du réseau piétonnier de la station Snowdon 46

Figure 3.15: Signalisation sur un cube à la station de correspondance Snowdon 47

Figure 4.1: Raffinement de l'itinéraire totalement désagrégé aux nœuds souterrains 49

Figure 4.2: Étapes et nœuds qui composent le déplacement souterrain d'un usager du métro (figure inspirée de Li, 2000) 51

Figure 4.3: Codification au niveau du quai (station de métro Jean-Talon) 53

Figure 4.4: Accès sur le quai de la station Henri-Bourassa 54

Figure 4.5: Codification au niveau de la mezzanine (station de métro Jean-Talon) 55

Figure 4.6: Codification au niveau de l'édicule (station de métro Jean-Talon) 56

Figure 4.7: Réseau piétonnier de la station de métro Jean-Talon en 3D 57

Figure 4.8: Base de données du réseau filamentaire (inspirée de Piché, 2005) 58

Figure 4.9: Voiture de la rame qui minimise la distance de marche jusqu'à la destination finale 63

Figure 5.1: Données anthropométriques de l'homme debout et ellipse corporelle (Fruin et al. 1995) 66

Figure 5.2: Zones de circulation autour d'un piéton (Chapleau, 1994) 67

Figure 5.3: Séparation des mouvements conflictuels : corridor menant au quai de la ligne orange destination Henri-Bourassa de la station Jean-Talon 71

Figure 5.4: Choix d'escaliers entre les deux niveaux de la ligne bleue (1ère étude) 73

Figure 5.5: Choix d'escaliers entre les deux niveaux de la ligne bleue (2ème étude) 74

Figure 5.6: Nouvel équilibre qui se crée, pour la descente, lorsque l'escalier mécanique en panne est à gauche au lieu d'être au milieu (Piéton : Fruin, 1971) 75

Figure 5.7: Illustration de passagers conformes sur les escaliers mécaniques (Baldon, 1989)....78
Figure 5.8: Coupe transversale des escaliers mécaniques du métro (Strakosch, 1983)....79
Figure 5.9: Dimensions des marches d'un escalier mécanique....79
Figure 5.10: Distribution des usagers sur le quai durant le temps d'attente....82
Figure 5.11: Distribution des usagers sur le quai à l'arrivée de la rame....82
Figure 5.12: Distribution des usagers sur le quai....84
Figure 6.1: Déplacement totalement désagrégé de la rive-sud de Montréal jusqu'à UdeM....86
Figure 6.2: Description détaillée de l'itinéraire sur le réseau du métro....87
Figure 6.3: Visualisation de cheminements de correspondance dans la station Berri-UQAM....89
Figure 6.4: Temps de correspondance à la station Berri-UQAM selon la voiture de débarquement et le comportement de l'usager sur le mobilier transitoire....90
Figure 6.5: Profil énergético-temporel d'un usager qui débarque à une position optimale sur le quai pour la correspondance à Berri-UQAM (montée) selon le type d'usager....91
Figure 6.6: Profil énergético-temporel d'un usager qui débarque à une position optimale sur le quai pour la correspondance à Jean-Talon (descente) selon le type d'usager....92
Figure 6.7: Temps de correspondance à Jean-Talon en fonction de la voiture de débarquement, du type d'usager et de l'accès choisi....93
Figure 6.8: L'ensemble des alternatives pour se déplacer de Longueuil-UdeS à UdeM...95
Figure 6.9: Distribution temporelle des déplacements selon le motif....97
Figure 6.10: Choix d'itinéraire fait par les voyageurs qui se destinent au campus de l'UdeM....98
Figure 6.11: Nombre de déplacements par motif selon le profil de la clientèle....99

Figure 6.12: Comparaison du choix d'itinéraire selon le profil de la clientèle 99

Figure 6.13: Visualisation des trajectoires de correspondance à Berri-UQAM.....103

Figure 6.14: Visualisation de la trajectoire de correspondance à Jean-Talon (vue en plan).....105

Figure 6.15: Visualisation de la trajectoire de correspondance à Snowdon (vue en plan).....106

Figure 6.16: Visualisation de la trajectoire de correspondance à Snowdon (vue isométrique) 106

Liste des sigles et lexique

Édicule : Petit édifice servant d'accès au métro.

Mezzanine : Étage de la perception dans les stations (généralement au-dessus des quais).

Passerelle : Passage surélevé, au-dessus des voies, reliant les quais d'une station.

Quai : Plate-forme au niveau du plancher des trains, qui s'étend le long des voies afin de permettre l'embarquement et le débarquement des voyageurs.

Station de métro : Lieu où s'arrête la rame de métro pour laisser ou prendre des voyageurs.

Volume : Espace intérieur

2D : Deux dimensions

3D : Trois dimensions

AMT : Agence métropolitaine de transport

STM : Société de transport de Montréal

Chapitre 1 : Introduction

1.1 Mise en contexte

Les clients du transport public dans la région métropolitaine de Montréal ont à leur disposition des calculateurs de trajets sophistiqués pour planifier leurs déplacements. Divers réseaux sont considérés dans le calcul des meilleurs trajets: autobus, métro, trains de banlieue et trottoirs. Toutefois, dans la modélisation actuelle des déplacements, les composantes horizontale et verticale de l'itinéraire piétonnier à l'intérieur des stations de métro sont négligées puisque les stations sont modélisées comme des nœuds. Par conséquent, le voyageur doit souvent s'orienter par ses propres moyens, dû au manque d'information sur la partie piétonne du déplacement réalisée dans le métro.

1.2 Objectifs de la recherche

Cette expérimentation, à un niveau de résolution plus précis, teste la faisabilité d'une codification des stations de métro et explore quelques opportunités offertes par une connaissance plus fine des réseaux piétonniers. En particulier, la marche, en tant que composante intrinsèque d'un déplacement en transport en commun, et ses attributs tels que la dépense énergétique seront étudiés. En outre, il est prévu de proposer à l'usager différentes options d'utilisation du temps d'attente de la rame. Le voyageur peut substituer à son temps d'attente, un temps de déplacement vers la voiture qui minimisera son temps de correspondance et de sortie à sa station de destination. Enfin, un échantillon de l'enquête Origine-Destination 2003 de Montréal sera analysé pour mieux comprendre le comportement déclaré des voyageurs.

1.3 Méthodologie prévue

La codification du réseau filamentaire s'est inspirée de la modélisation en graphe, c'est-à-dire d'une schématisation d'un réseau par un ensemble de nœuds et de liens. Suite à l'énumération des alternatives qui existent pour se déplacer d'une origine à une destination donnée, le chemin optimal est déterminé à l'aide d'un algorithme de calcul de chemins. L'accent a été mis sur les quatre stations de correspondance du réseau.

Pour atteindre les objectifs de ce travail de recherche, différents outils ont été utilisés: plans des stations sur papier et logiciel de dessin assisté par ordinateur pour codifier le réseau piétonnier; bases de données et logiciels de système d'information géographique (SIG). Des expérimentations ont été réalisées sur le terrain pour noter le choix d'itinéraire des voyageurs et chronométrer leurs temps de marche.

1.4 Utilité de la recherche

La représentation graphique du réseau filamentaire à l'intérieur du métro peut faciliter l'orientation spatiale des usagers et, par conséquent, minimiser l'incertitude durant l'itinéraire piétonnier. En outre, les temps de marche et la dépense énergétique peuvent être estimés. Ceci facilitera le déplacement des personnes, surtout celles à mobilité réduite, car elles auront l'option de choisir le chemin qui minimise la dépense calorique dans l'éventualité d'un nouveau système d'information pour le client du métro. Ce travail démontre que l'usager qui utilise de façon rationnelle son temps d'attente de la rame et qui est actif sur les escaliers mécaniques passe moins de temps dans le métro et minimise facilement son temps total de déplacement. De plus, selon la revue de

littérature, la composante piétonne du déplacement dans le métro peut contribuer à la santé des voyageurs.

1.5 Contenu du mémoire

Le chapitre deux contient une revue de littérature sur les concepts importants reliés à ce projet de recherche. Le chapitre trois comprend un historique, une analyse systémique du métro de Montréal et une description détaillée des quatre stations de correspondance du réseau. Le chapitre quatre explique la problématique et la démarche suivie pour codifier le réseau souterrain du métro. Les caractéristiques et le comportement des usagers sont décrits dans le chapitre cinq. Quant au chapitre six, il présente les résultats et leur analyse. Une conclusion avec des pistes de recherche pour le futur clôt ce travail.

Chapitre 2 : Revue de littérature

Les principales références utilisées pour la rédaction de ce mémoire et les concepts importants reliés au sujet sont résumés dans ce chapitre.

2.1 Analyse systémique en transport

L'analyse systémique des transports vise à reconnaître qu'il y a un lien entre les systèmes de transport et d'activité d'une région. Selon Manheim (Chapleau, 2000), l'analyste en transport est confronté à deux défis : un substantiel et un méthodologique.

« Le défi de substance consiste à intervenir, délicatement et délibérément, sur le tissu complexe d'une communauté afin d'utiliser le transport efficacement en concordance avec d'autres actions publiques ou privées, dans l'atteinte des buts de cette communauté » (Chapleau, 2000). Donc, étant donné que le système de transport est un soutien au développement économique, il faut déterminer où se situe l'analyse de transport du point de vue de la société.

« Le défi méthodologique est de mener, pour une situation particulière, une analyse systématique qui soit valide, pratique et pertinente, et qui contribue à la clarification des enjeux à débattre » (Chapleau, 2000). Bref, l'approche systémique identifie toutes les composantes du système de transport à l'étude.

2.2 Concepts clés

La demande, l'offre et le comportement sont les trois grandes dimensions d'analyse d'un système de transport. « La mobilité observée est le résultat d'un désir ou besoin comblé de participer à une activité hors domicile » ([1]). Il est intéressant de savoir qu'il y a une symétrie de révolution autour du centre-ville de Montréal qui est comparable à celle de la ville de GUTS (Game of Urban Transportation Simulation), i.e. que la plupart des systèmes d'activité de la région sont concentrés au centre-ville et que les zones en périphérie ont des caractéristiques socio économiques fonction de l'éloignement du centre (Chapleau et Morency, 2004).

Comme l'illustre la figure 2.1, « la demande de transport est intimement liée à l'utilisation du sol » (Kanafani, 1983). Par conséquent, l'offre de transport est supérieure lorsqu'il y a une concentration d'activités.

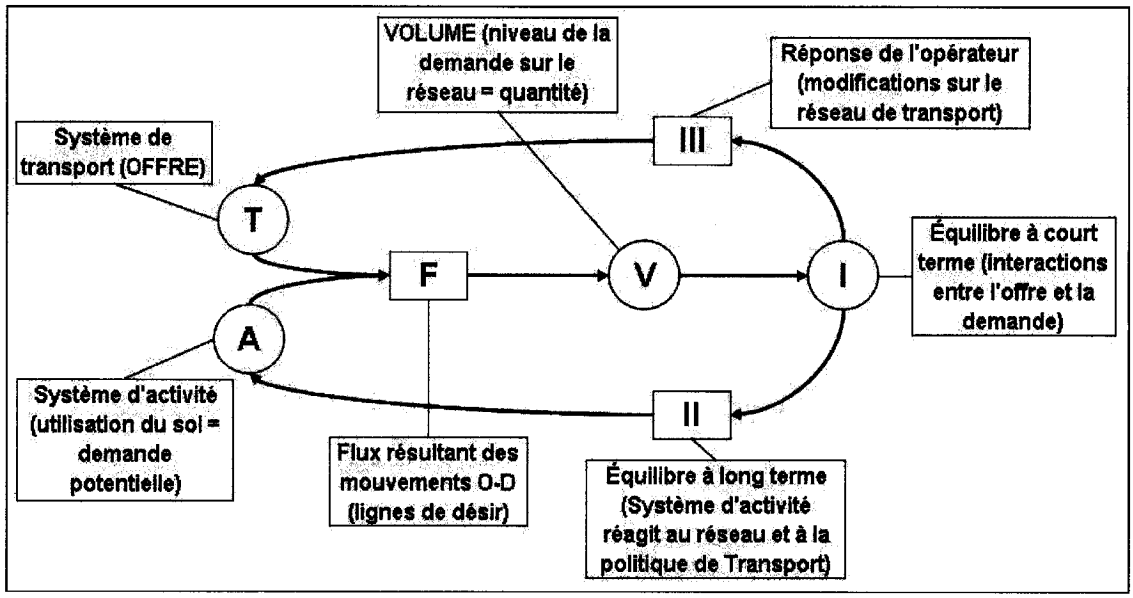

Figure 2.1: Relation entre l'offre, la demande et le comportement des voyageurs (inspirée de Chapleau, 2000)

[1] http://www.transport.polymtl.ca/person/EtudH02/cmorency.htm

Le chemin choisi par les voyageurs et la distribution temporelle des déplacements créent un équilibre sur le réseau de transport. De plus, il y a un équilibre à long terme qui se crée lorsque des entreprises se relocalisent près des nouvelles infrastructures de transport. Ce changement à long terme ainsi que les décisions prises par l'opérateur du réseau de transport créent un nouvel équilibre sur ce réseau, qui change constamment en fonction de la relation dynamique entre l'offre, la demande et le comportement des voyageurs.

Un réseau de transport en commun est composé d'un ensemble de lignes qui s'arrêtent à un endroit où les voyageurs peuvent embarquer/débarquer (arrêt d'autobus, station de métro, gare de train). Les lignes de transport en commun sont caractérisées par leur longueur, intervalle minimal, vitesse commerciale, heure d'opération, capacité, achalandage, etc. La fréquence de service dépend de l'achalandage prévu, par conséquent, de l'heure de la journée et du jour de la semaine. Les stations de correspondance assurent la connexité entre les lignes de transport public. À titre d'exemple, à Montréal, il y a des stations de correspondance métro-métro, métro-train, métro-autobus, etc.

En général, un individu peut choisir entre plusieurs alternatives lorsque le réseau de transport en commun est de taille importante. Par exemple, pour un déplacement de la station de métro Longueuil Université-de-Sherbrooke à la station Université-de-Montréal, une personne a l'option de choisir entre trois alternatives. Celles-ci se chevauchent partiellement puisque l'individu doit emprunter la ligne jaune jusqu'à Berri-UQAM où il doit décider quel chemin prendre pour atteindre sa destination.

La durée d'un déplacement est un facteur prépondérant dans le choix d'itinéraire sur un réseau de transport collectif. Les composantes du temps de déplacement sont énumérées ci-dessous :

$$Temps_de_déplacement = Temps_d'accès + Temps_d'attente + Temps_en_véhicule + Temps_de_correspondance$$

Le temps de marche est décomposé en temps d'accès et temps de correspondance, car ces deux temps sont perçus différemment et ont donc un coût différent (Wardman, 2001). Le temps d'accès est le temps nécessaire pour accéder et sortir du réseau. Chaque composante du temps de déplacement est multipliée par un coefficient qui reflète sa valeur relative. Donc, le coût généralisé d'un déplacement s'écrit :

$$CG_Temps_de_déplacement = a * Temps_d'accès + b * Temps_d'attente + c * Temps_en_véhicule + d * Temps_de_correspondance$$

Où a, b, c, d représentent les valeurs relatives du temps.

Wardman (2001) cite l'étude de Steer Davies Gleeve qui recommande d'utiliser un poids de 1 pour le temps passé en véhicule, de 2 pour le temps de marche et de 3 pour le temps d'attente. En outre, il cite l'étude de Wardman et Shires qui a déduit que le poids relatif du temps de correspondance est égal à 1,7 lorsque le transfert de ligne se fait sur le même niveau et de 2,7 lorsque le voyageur doit changer de niveau.

Il est intéressant de savoir que ce ne sont pas tous les voyageurs qui choisissent le chemin à temps minimum. En effet, selon les résultats de l'étude de Pursula et Weurlander (1999), certains individus préfèrent prendre un chemin qui est 15 minutes plus long s'ils peuvent s'asseoir durant le déplacement. Le voyageur prend donc en considération d'autres critères tels que le nombre de correspondances, le confort ou la sécurité avant de décider quel chemin il va emprunter.

Le chemin choisi sur le réseau de transport par un voyageur est dynamique, car la fréquence de service varie en fonction du temps de la journée et il peut y avoir des incidents sur le réseau qui interrompent le service (Chapleau, 1997).

2.3 Modélisation désagrégée

Le choix d'un individu peut être prédit à l'aide des modèles désagrégés. Selon la théorie de la micro-économie, un individu évalue les différentes alternatives qui s'offrent à lui, en se basant sur des critères pondérés, et choisit celle qui maximise la fonction d'utilité de son déplacement.

La théorie de l'utilité suppose que l'individu est un être rationnel et qu'il connaît toutes les caractéristiques des différents chemins. Cette hypothèse est acceptable mais pas très réaliste, car la majorité des individus n'ont pas une connaissance parfaite du réseau.

La fonction d'utilité pour un individu n et une alternative i s'écrit sous la forme suivante :

$$U_{in} = V_{in} + \varepsilon_{in}$$

Où V_{in} est la partie déterministe et ε_{in} la partie aléatoire.

La partie aléatoire représente ce qui ne peut être expliquée par le modèle.

2.3.1 Modélisation du choix de chemin sur un réseau piétonnier

Selon Daamen (2004), les facteurs qui influencent le choix de chemin d'un piéton sont les caractéristiques du réseau, des chemins, des usagers et des déplacements. En général, les piétons choisissent le plus court chemin lorsqu'ils sont familiers des lieux.

2.3.1.1 Choix de chemin sur un terrain plat

Daamen (2005) cite l'étude de Borgers et Timmerman qui a formulé un modèle prédisant le choix d'itinéraire d'un piéton au centre-ville en fonction de sa destination. Ils ont supposé que le chemin choisi par un piéton dépend surtout de la distance de marche. L'utilité de chaque alternative s'écrit sous la forme suivante : Ur = a*Lr + εr où Lr est la distance de chaque option. Leur modèle a prédit 52% des chemins choisis par les piétons.

2.3.1.2 Choix de chemin sur le plan vertical

Cheung et Lam (1998) ont utilisé un modèle Logit afin de prédire le type d'escalier (fixe ou mécanique) choisi par un individu pour franchir deux niveaux. L'utilité de chaque alternative est décrite par l'équation suivante :

$$U_r = V_r + \varepsilon_r$$

avec $V_r = C_r + \beta * T_r$

Où Cr est la constante qui reflète la désutilité relative de l'alternative r (escalier fixe ou mécanique), et β pondère le temps de parcours sur l'escalier (Tr).

Le modèle Logit s'écrit sous la forme suivante :

$$P_esc_mécanique = \frac{1}{1 + \exp(V_{esc_mécanique} - V_{esc_fixe})}$$

$$P_esc_mécanique = \frac{1}{1 + \exp(\alpha + \beta * \Delta T)}$$

Où α est la différence entre les constantes Cr de chaque alternative (Cr = C esc mécanique – C esc fixe) et ΔT la différence des temps de parcours entre l'escalier fixe et mécanique (ΔT = T esc mécanique – T esc fixe).

D'après leurs résultats, les piétons considèrent le temps de parcours, la distance, et l'effort physique nécessaire au franchissement des escaliers dans le choix de chemin sur le plan vertical.

2.3.1.3 Choix de chemin sur le plan horizontal et vertical

Daamen et al. (2005) ont développé un modèle qui explique le chemin choisi par les individus non seulement sur le plan vertical, mais sur toutes les infrastructures à l'intérieur d'une gare de train. Ils ont utilisé un modèle logit multinominal qui prend la forme suivante :

$$Pn(r) = \frac{\exp(\mu * V_r)}{\Sigma \exp(\mu * V_r)}$$

Où Pn (r) est la probabilité qu'un individu n choisit le chemin r de l'ensemble des alternatives R, μ est un facteur d'échelle et Vr est la partie déterministe de la fonction d'utilité pour une personne n. Vr dépend des attributs de la personne, de l'alternative r, d'une constante spécifique à l'alternative r et d'un indice qui prend en considération le chevauchement entre les alternatives.

Selon leurs observations, la majorité des voyageurs choisissent le chemin qui prend le moins de temps. En outre, les personnes préfèrent emprunter l'escalier mécanique au détriment de l'escalier fixe. Les données recueillies ont permis de calibrer la fonction d'utilité suivante:

$$U_r = -0{,}130 * T_r_terrain_plat - 0{,}362 * T_r_escalier_fixe_ascendant - 0{,}043 * T_r_escalier_fixe_descendant - 0{,}242 * T_r_escalier_mécanique_ascendant - 0{,}094 * T_r_escalier_mécanique_descendant - 0{,}216 * T_r_surface_inclinée_ascendante - 0{,}124 * T_r_surface_inclinée_descendante + 3{,}036 * PS_r + \varepsilon_r$$

Où le temps de marche T_r [s] est décomposé selon le type et l'orientation des infrastructures empruntées et PS_r est le facteur de chevauchement de l'alternative r qui s'écrit sous la forme suivante :

$$PS_r = \ln[\sum \frac{l_a}{L_r} \frac{1}{N_a}]$$

Où a est l'index pour un lien compris dans l'alternative, r est l'index du chemin, l_a est la longueur du lien a et L_r la longueur du chemin r. Quant à N_a, il représente le nombre d'alternatives dans l'ensemble des chemins existants dont fait partie le lien a.

2.3.2 Modélisation du choix de chemin sur un réseau de métro

L'usager du métro de Montréal doit faire un choix d'itinéraire sur deux réseaux : le réseau du métro et le sous réseau, i.e. le réseau piétonnier à l'intérieur d'une station, pour effectuer la correspondance ou pour accéder/sortir du métro. Selon ce qui a été énoncé dans la section 2.3.1, il est facile de prédire le chemin emprunté à l'intérieur d'une station, car la majorité des piétons choisissent le chemin qui minimise la dépense énergétique (plus court chemin, escalier mécanique au lieu de l'escalier fixe). Ce qui est plus intéressant, c'est de trouver une réponse à la question suivante : Qu'est-ce qui guide le choix d'itinéraire d'un usager sur le réseau du métro?

Bovy (1990) cite une étude de Shimazaki et Matsumoto sur la simulation du comportement des voyageurs du métro de Tokyo. Cette étude a permis d'énoncer les

facteurs considérés dans le choix d'itinéraire fait par l'usager sur le réseau, qui sont les suivants :

- La connectivité du chemin (Nombre de correspondances requises)
- Le temps de déplacement (Temps de déplacement de l'Origine à la Destination, Temps d'attente, Temps de voyage)
- Le niveau de service (Intervalle de service, Probabilité de trouver un siège libre, Nombre de lignes perçues congestionnées)

En somme, des pénalités importantes sont associées aux correspondances et les voyageurs tiennent compte des attributs du temps de déplacement et du niveau de service avant d'arrêter leur choix d'itinéraire.

2.4 Modélisation totalement désagrégée

L'approche totalement désagrégée, développée par M. Chapleau durant les années 1980, est basée « sur le traitement informationnel de données individuelles de déplacement » (Chapleau, 1992) provenant des enquêtes Origine-Destination. Dans cette approche de modélisation, tous les nœuds d'un itinéraire (domicile, origine, stations, destination) sont géo-localisés par une paire de coordonnées x,y. En outre, tout est désagrégé (lorsqu'il est question de déplacements issus d'une enquête Origine-Destination): le déplacement (origine, destination, motif, modes utilisés, heure de départ et d'arrivée, etc.), le ménage (nombre de personnes, d'autos, coordonnées X,Y) et la personne (âge, genre, statut, permis de conduire) impliquée dans l'itinéraire.

La figure 2.2 illustre les composantes de l'itinéraire totalement désagrégé pour un déplacement de la rive sud de Montréal jusqu'à l'École Polytechnique. Le déplacement est caractérisé par une séquence ordonnée de nœuds et lignes. Ceci permet de connaître les modes de transport utilisés, les réseaux de transport empruntés, etc. Bref, l'approche

de modélisation totalement désagrégée nous donne de l'information précise sur l'individu qui se déplace d'un endroit à un autre au lieu d'être un flot anonyme.

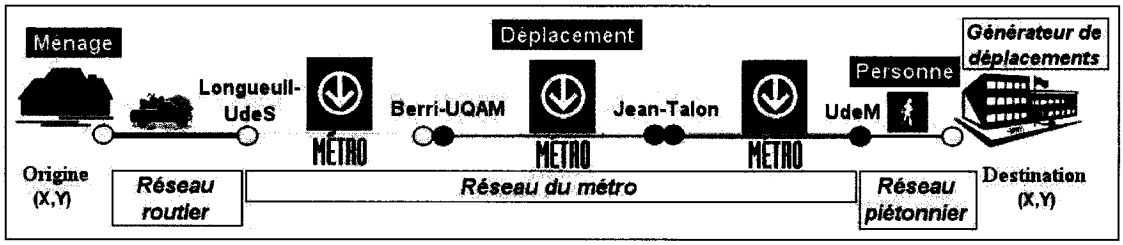

Figure 2.2: Itinéraire totalement désagrégé

2.5 Expérimentations antérieures

Des études similaires en relation avec ce sujet de recherche ont été réalisées à travers le monde. Parmi celles-ci :

- La modélisation des déplacements piétonniers dans la ville intérieure de Montréal (Piché, 2005)
- La représentation des stations de métro en réalité virtuelle (Chapleau et al., 2003)
- Daamen (2004) a développé un outil qui modélise les déplacements des piétons à l'intérieur d'une infrastructure de transport (gare de train, station de métro, aéroport). Cet outil permet de simuler différents scénarios, de visualiser les conditions d'écoulement du trafic piétonnier, et d'évaluer la qualité de la conception préliminaire d'une nouvelle station.
- La codification tridimensionnelle du réseau filamentaire d'un immeuble (Kwan et Lee, 2005) afin de minimiser le temps de réponse des services d'urgence en cas d'attentat terroriste visant un gratte-ciel. Cet article est une suite logique des travaux de Lee (2001, 2004) portant sur la même thématique.
- L'École Polytechnique fédérale de Lausanne a développé un outil pour orienter les gens sur le campus de l'école. Le réseau piétonnier à l'intérieur des

bâtiments a été codifié avec des noeuds et des liens. De plus, un calcul d'itinéraire suggère aux individus comment se rendre d'un point à un autre.

Des systèmes d'information à l'usager peuvent augmenter l'achalandage du transport en commun de 5 à 25% ([2]). Ceci peut aider la STM à atteindre un des objectifs de son plan stratégique de développement du transport en commun pour les années 2004 à 2013 (STM, 2004a).

2.6 Dépense énergétique

« La dépense énergétique est la quantité d'énergie consommée par l'organisme au cours d'une unité de temps pour réaliser une action ou remplir une fonction déterminée » ([3]). Les unités couramment employées pour parler d'énergie sont le joule (J) et la Calorie (Cal). Une Calorie équivaut à 4,1855 kilojoules. Une autre unité utilisée en énergie est la quantité d'oxygène consommée, le volume d'O_2. Un litre d'O_2 utilisé est égal à 20,17 kilojoules.

La dépense énergétique d'un individu est divisée en trois composantes:

- le métabolisme de base
- la thermogenèse
- l'activité physique

La dépense énergétique d'une activité physique est généralement estimée en multipliant le métabolisme au repos par un coefficient qui dépend du niveau d'intensité de l'activité physique réalisée et par sa durée.

[2] http://www.uitp.com/mediaroom/sept_2003/research.htm
[3] http://www.i-dietetique.com/?action=calcul-besoins-caloriques

2.6.1 Métabolisme au repos

Le métabolisme au repos correspond à l'énergie minimale nécessaire à l'organisme pour entretenir ses fonctions vitales comme la respiration, les battements de cœur, etc. La dépense énergétique au repos varie selon les paramètres suivants ([4]) :

- l'âge (elle diminue de la naissance à la vieillesse)
- le genre (besoin de base est plus élevé chez l'homme que chez la femme)
- le poids (besoin de base augmente avec le poids)
- la taille (besoin de base augmente avec la taille)

Le métabolisme de base peut être estimé à l'aide de différentes formules comme celles développées par Harris et Benedict en 1919, Durnin et Passmore en 1967 et Black et al. en 1996. L'équation de Black est la référence en Occident ([5]). C'est cette dernière qui sera utilisée pour l'estimation des coûts énergétiques des activités physiques présentées dans cette étude. Pour un homme, cette équation est de la forme suivante :

$$MEB = 1{,}083 * P^{0,48} * T^{0,50} * A^{-0,13} * (1000/4{,}1855)$$

Et pour une femme : $MEB = 0{,}963 * P^{0,48} * T^{0,50} * A^{-0,13} * (1000/4{,}1855)$

Où MEB = Métabolisme de base, exprimé en Calories/jour ; P = Poids en kg ; T = Taille en m ; A = Âge en années.

L'équation de Black est précise, mais elle surestime légèrement la dépense énergétique au repos ([5]). Cette formule donne un métabolisme au repos de 1,2 Cal/min pour un homme adulte de 30 ans qui pèse 70 Kg.

---

[4] http://www.doctissimo.fr/html/nutrition/mag_2002/mag0510/nu_5478_bruler_calories.htm
[5] http://www.doctissimo.fr/html/nutrition/mag_2002/mag0510/nu_5478_bruler_calories_02.htm

2.6.2 Niveaux d'intensité de différentes activités physiques

Les coefficients multiplicateurs de diverses activités physiques couramment observées dans le métro sont indiqués dans le tableau 2.1.

Tableau 2.1: L'équivalent métabolique de différentes activités physiques (Ainsworth, 2002)

Activité physique	Coefficient multiplicateur (Coût en énergie de l'activité / Métabolisme au repos)
Marche lente (1 m/s = 3,6 km/h)	2,75
Marche moyenne (1,33 m/s = 4,8 km/h)	3,50
Marche rapide (1,67 m/s = 6,0 km/h)	4,00
Marche très rapide (2 m/s = 7,2 km/h)	4,50
Marche sur une surface inclinée vers le bas (1,11 m/s = 4 km/h)	3,00
Marche sur une surface inclinée vers le haut (1,56 m/s = 5,6 km/h)	6,00
Descendre des escaliers	3,00
Monter des escaliers	8,00
Monter des escaliers avec une charge (générale)	9,00

À titre d'exemple, la marche moyenne exige 3,5 fois plus d'énergie que le métabolisme au repos. Donc, pour un homme adulte de 30 ans qui pèse 70 kg, le coût est de 4,2 Cal/min (3,5*1,2 Cal/min). En bref, le coût énergétique de la marche par unité de temps augmente avec la vitesse et monter des escaliers demande un effort physique plus important que la marche sur un terrain plat et la descente des escaliers.

L'énergie nécessaire à monter/descendre des escaliers augmente avec la hauteur de la marche (Fruin, 1971). Selon des mesures prises sur le terrain, les escaliers mécaniques

ont une hauteur de marche de 20 cm comparativement à 16 cm pour les escaliers fixes. On suppose donc que la dépense calorique est 20% plus élevée pour la montée des escaliers mécaniques et 10% supérieure pour la descente. Le coût de la descente des escaliers mécaniques est alors égal à 3,3 multiplié par la valeur du métabolisme au repos.

Précisons que les valeurs dans le Tableau 1 approximent la dépense calorique pour des adultes et que le coût énergétique d'une activité peut varier beaucoup d'une personne à une autre.

2.6.3 Vitesse optimale de marche

Selon Inman, Ralston et Todd (1981), la vitesse de marche choisie par un piéton est basée sur le choix d'une fréquence de pas (pas/min) et d'une longueur de pas (m/pas) qui minimise la dépense énergétique par unité de distance marchée. La longueur du pas varie selon la physiologie du piéton, la pente du terrain et son comportement (Walthert, 1985).

La figure 2.3 illustre la variation de la dépense énergétique en fonction de la vitesse de marche et l'existence d'une vitesse optimale, 1,33 m/s, qui minimise la dépense énergétique par mètre parcouru. La dépense calorique est pratiquement constante pour des vitesses entre 1 et 1,7 m/s.

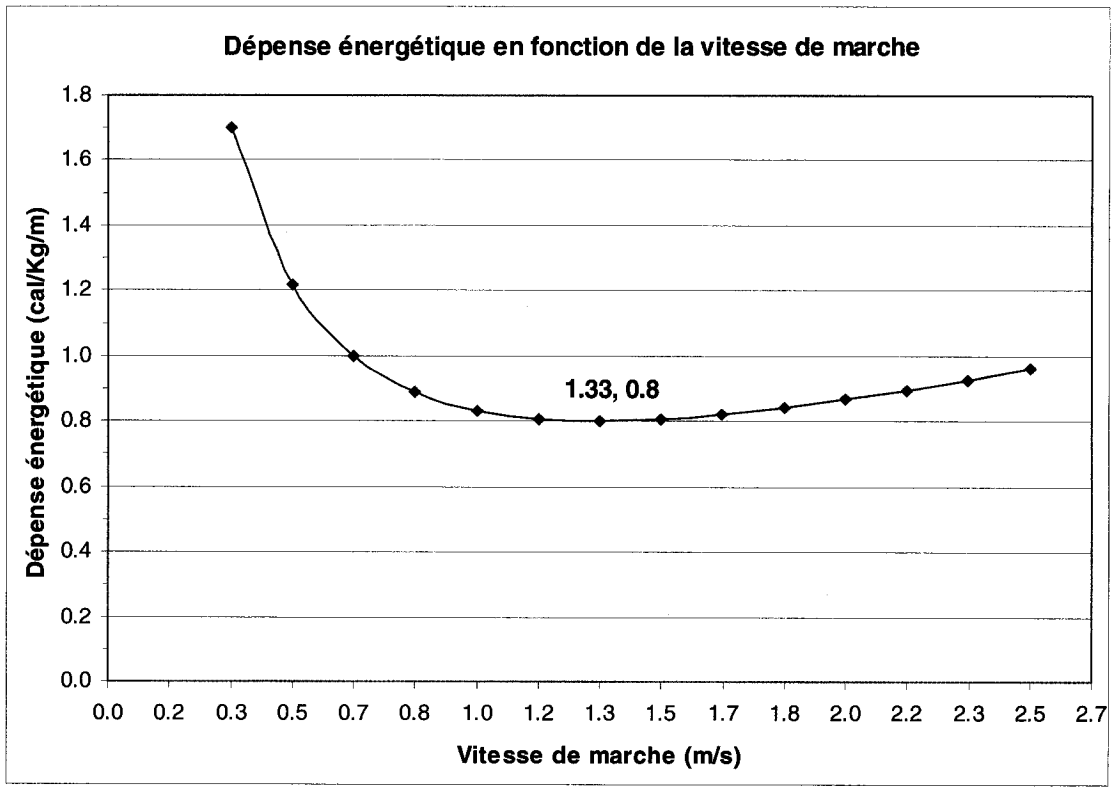

Figure 2.3: Dépense énergétique par unité de poids corporel et par unité de distance marchée sur un terrain plat en fonction de la vitesse de marche (Inman et al., 1981)

Cette vitesse optimale peut baisser jusqu'à 1 m/s lorsqu'un piéton transporte une charge (Flandrois, 2005).

2.6.4 Dépense énergétique de la marche et de la course

La dépense énergétique de la course sur un terrain plat peut être estimée facilement à l'aide de la formule suivante : Pour chaque kilomètre parcouru, un individu dépense 1 Cal par Kg de poids corporel ([6]). Donc, un homme qui pèse 70 kg brûle 70 Calories/km.

[6] http://www.brianmac.demon.co.uk/energyexp.htm

Il est intéressant de savoir qu'à une vitesse supérieure à 2,22 m/s (8 km/h), la course est plus économique que la marche. Ceci est illustré sur la figure ci-dessous.

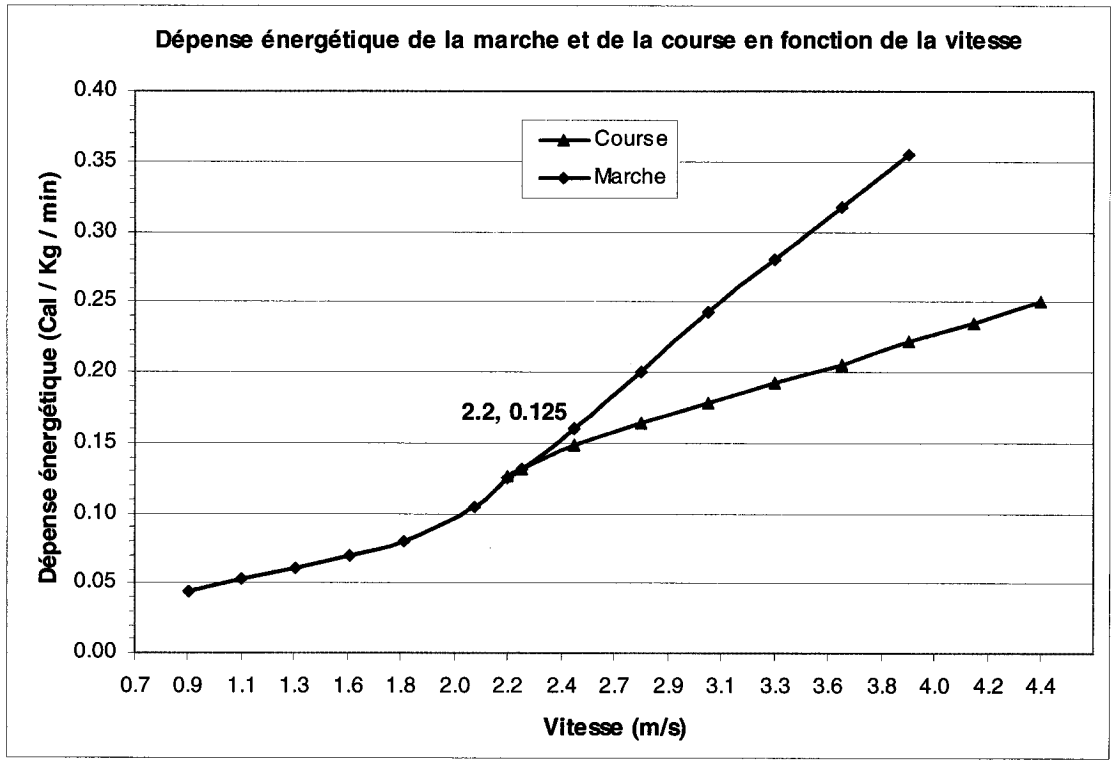

Figure 2.4: Comparaison de la dépense énergétique de la marche et de la course en fonction de la vitesse ([7])

Le coût énergétique de la course varie linéairement avec la vitesse. Pour la marche, la dépense énergétique par unité de temps est linéaire pour des vitesses inférieures à 6,5 km/h (1,8 m/s), mais le coût monte en flèche lorsque la vitesse est supérieure à 7 km/h. À partir de 8 km/h, il est plus confortable de courir car la marche athlétique exige une fréquence de pas et une longueur de pas très élevée.

En bref, le coût énergétique de la marche et de la course dépend surtout de la vitesse et du poids de l'individu.

[7] http://www.brianmac.demon.co.uk/energyexp.htm

2.7 Transport actif

« *Le transport actif, c'est toute forme de transport où l'énergie est fournie par l'être humain. La marche et le vélo sont les deux formes de transport actif les plus populaires. Il peut également s'agir d'une combinaison de modes de transport, par exemple marche à pied/vélo et transports en commun.* » (Agence de Santé publique du Canada[8])

« *Les bénéfices pour la santé que procure l'activité physique ne sont pas liés exclusivement à celle pratiquée durant les temps libres (activité physique de loisir, (APL). L'activité physique associée au travail (APT), aux tâches domestiques (APTD) et aux déplacements (APD) peut aussi contribuer à atteindre chaque jour une dépense énergétique optimale.* » (Comité Scientifique de Kino-Québec, 2005a)

2.7.1 Activité physique quotidienne recommandée

Kino-Québec recommande aux adultes de faire au moins trente minutes d'activité physique modérée par jour, et ce chaque jour ou presque. Par exemple, marcher à une vitesse de 4,8 à 5,6 km/h. Cela représente une dépense énergétique de 150 Calories par jour. Les jeunes devraient faire ce genre d'activité physique une heure par jour. Les 30 minutes d'activité physique modérée par jour recommandées par Kino Québec peuvent être scindées en 3 séances de 10 minutes telles que marcher durant l'heure du dîner, monter les escaliers au lieu de prendre l'escalier mécanique ou l'ascenseur, etc. (Comité Scientifique de Kino-Québec, 2005b).

[8] Agence de Santé publique du Canada : http://www.phac-aspc.gc.ca/pau-uap/condition-physique/transport.html

Il est intéressant de savoir qu'une étude a été réalisée dans un centre d'achats aux États-Unis pour observer l'efficacité des affiches qui encouragent l'utilisation des escaliers fixes. D'après les résultats de cette étude, la proportion de personnes choisissant l'escalier fixe, initialement mesurée à 4,8%, est passée respectivement à 6,9% et 7,2% lorsque l'affiche contenait un message sur la santé ou sur la perte de poids (Andersen, 1998). En outre, selon les résultats de l'étude de Hyman (2003), des messages incitatifs à l'intérieur d'une station de métro de Boston ont augmenté de 4,3% le nombre de personnes empruntant l'escalier fixe.

La STM pourrait ajouter des affiches incitatives aux points de décision pour encourager les usagers à être plus actifs durant leur déplacement et diminuer la congestion sur les escaliers mécaniques. La figure suivante illustre des affiches faisant la promotion de l'usage des escaliers.

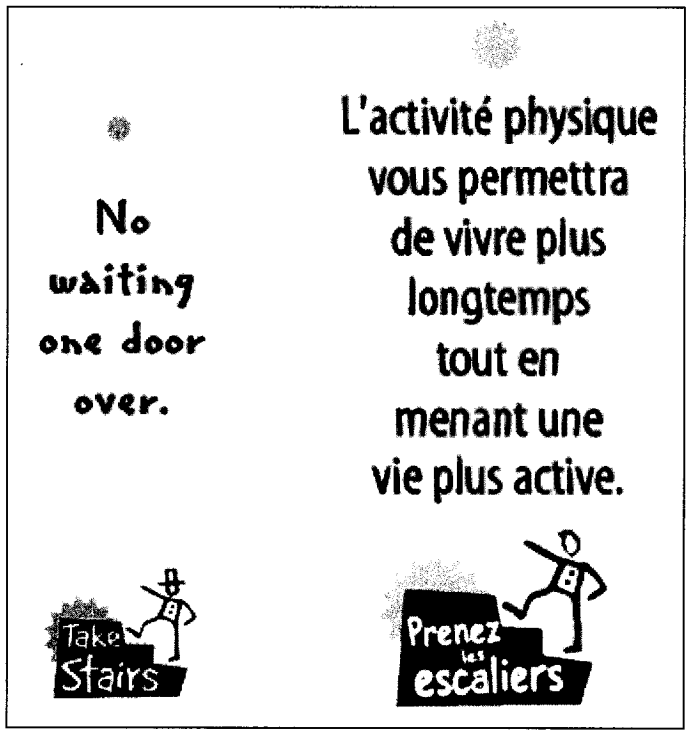

Figure 2.5: Affiches incitatives pour promouvoir l'utilisation des escaliers ([9])

[9] Santé Canada http://www.phac-aspc.gc.ca/sth-evs/francais/downloads/index.htm

2.7.2 10 000 pas par jour

Selon un guide développé par Catrine Tudor-Locke et David R Bassett [10], le niveau d'activité physique d'une personne dépend du nombre total de pas par jour.

Tableau 2.2: Mode de vie d'une personne en fonction du nombre de pas par jour ([11])

Nombre de pas/jour	Mode de vie
≤ 5000	Sédentaire
5000 à 7499	Peu actif (représente une journée typique sans activité physique, sport, marche ou autre)
7500 à 9999	Quelque peu actif (inclut un peu d'activité physique dans le quotidien ou un niveau élevé d'activité physique faite au travail)
≥ 10000	Actif (représente l'équivalent de 30 minutes de marche ou plus) en plus des activités faites dans une journée typique.
≥ 12500	Très actif

« 10 000 pas par jour représente un estimé raisonnable pour une population jeune et en santé. Un tel objectif peut s'avérer trop ambitieux pour une population plus âgée et/ou atteinte de maladie chronique alors qu'il sera beaucoup trop minime pour un enfant âgé entre 8 et 10 ans. Il importe conséquemment de discriminer entre ce qui constitue un bon slogan et une recommandation adaptée au profil du patient. À trop insister sur une quantité fixe à atteindre on risque de dénigrer des efforts pourtant substantiels. Les jeunes doivent faire 12 000 à 16 000 pas/jour » ([11]).

[10] http://www.santepub-mtl.qc.ca/mdprevention/chronique/2004/13092004.html
[11] http://www.santepub-mtl.qc.ca/mdprevention/chronique/2004/13092004.html

Chapitre 3 : Le métro de Montréal

« Le métro est à Montréal ce que les boulevards sont à Paris et les canaux à Venise. »
– Jean-Claude Germain, historien ([12])

3.1 Introduction

Le métro de Montréal, dans un réseau entièrement souterrain, est le premier au monde à rouler exclusivement sur pneumatiques[13]. En outre, les responsables du métro ont choisi un concept architectural différent pour chaque station et des œuvres d'art ont été intégrées au réseau pour embellir les stations.

Le métro de Montréal est exploité par la Société de transport de Montréal (STM) et sous la juridiction de la Ville de Montréal. Le métro assure environ 700 000 déplacements par jour moyen de semaine (du lundi au vendredi). Sachant que chaque usager fait en moyenne deux déplacements par jour (Tremblay, 2001), on compte 350 000 voyageurs qui utilisent le métro quotidiennement (du lundi au vendredi).

Ce chapitre est divisé en trois parties. Tout d'abord, l'historique du métro de Montréal sera exposé afin de connaître la raison d'être de sa construction. Ensuite, l'analyse systémique du métro va tenter de décrire les composantes du système de transport à l'étude (usagers, véhicules, stations, lignes). Enfin, les quatre stations de correspondance du réseau seront décrites de façon détaillée.

---

[12] www.metrodemontreal.com
[13] http://www.metrodemontreal.com/faq/index-f.html

3.2 Historique

La décision de construire le métro fût prise le 3 novembre 1961. Les travaux de construction ont commencé le 23 mai 1962. Trois lignes étaient prévues initialement : la ligne 1 (verte), la ligne 2 (orange) et une ligne sous le Mont-Royal, la ligne 3. Cette ligne est remplacée en 1963 par la ligne 4 (jaune), qui desservira le site de l'Exposition universelle de 1967. Le métro a été inauguré le 14 octobre 1966 à la station Berri-de Montigny. Le réseau initial était composé de 26 stations réparties sur trois lignes :

- la ligne 1, de la rue Atwater à la rue Frontenac;
- la ligne 2, depuis la Place Bonaventure jusqu'au boulevard Henri-Bourassa;
- la ligne 4, depuis la station Berri-de Montigny jusqu'à Longueuil. Cette ligne est entrée en service le 1er avril 1967

« Les travaux de prolongement du métro ont débuté le 14 octobre 1971. Le tronçon Préfontaine – Honoré-Beaugrand est complété en juin 1976, à temps pour la tenue des Jeux olympiques d'été en 1976. À l'ouest, le tronçon Lionel-Groulx – Angrignon est ouvert au public en septembre 1978. Les travaux sur la ligne orange, entre les stations Lucien-L'Allier et Côte-Vertu, sont terminés en 1986. Entre 1986 et 1988, une nouvelle ligne est-ouest, la ligne bleue, est entrée graduellement en service. » ([14]).

« Des dizaines de murales, verrières et sculptures de toutes les couleurs et de toutes les formes ont été installées dans la plupart des stations du métro de Montréal. Les œuvres d'art du réseau initial, installées après l'ouverture des stations, ont été financées par des mécènes. Quand aux œuvres d'art des prolongements, elles ont fait l'objet d'une étroite collaboration entre les artistes et les architectes et leur coût a été intégré dans le budget global de chaque station. Plusieurs artistes québécois de renom ont participé à la réalisation de la galerie d'art du métro : Robert LaPalme, Jean-Paul Mousseau, Marcelle Ferron, Charles Daudelin, Frédéric Back, Jordi Bonet, Jacques de Tonnancour et Pierre Granche, pour ne nommer que ceux là. » ([15]).

---

[14] http://www.stm.info/en-bref/notrefierte.pdf
[15] http://www.stm.info/en-bref/notrefierte.pdf

Ces œuvres d'art font partie de notre patrimoine puisqu'elles racontent l'histoire de Montréal et du Québec.

3.3 Analyse systémique du métro

Selon Marvin Manheim, les différentes composantes d'un système de transport sont les suivantes (Chapleau, 1994b):

- Les réseaux (tous les modes de transport)
- Les terminus
- Les points de transferts
- Les choses transportées (les usagers)
- Les véhicules

3.3.1 Les réseaux

Le réseau complet de la STM est composé de 4 lignes de métro, 164 lignes d'autobus de jour et 20 lignes d'autobus de nuit. Une centaine de lignes du réseau d'autobus de la STM se rabattent sur les stations de métro. Le service de transport adapté est assuré par 93 minibus et des taxis. Le métro est aussi intégré à la ville intérieure. *« Le réseau compte 290 escaliers mécaniques, 2 tapis roulants, 681 tourniquets et 275 distributeurs de correspondances pour les autobus. »* ([16]).

[16] http://www.stm.info/en-bref/notrefierte.pdf

3.3.1.1 Territoire desservi

Le réseau du métro compte 4 lignes et 65 stations réparties sur 66 kilomètres de voie, dont 61 sont exploités pour servir la clientèle. Comme l'illustre la figure 3.1, les lignes de métro sont situées au centre et à l'est de l'île de Montréal, là où la densité est la plus élevée afin de maximiser la population desservie.

La ligne 4 du métro, en jaune, relie l'île de Montréal à la rive-sud (Longueuil). Le réseau desservira un autre territoire dans le proche futur, Laval, suite au prolongement de la ligne 2 au nord d'Henri-Bourassa. Selon les résultats de l'enquête Origine-Destination de 1998, 78 % des usagers qui voyagent aux heures de pointe résident sur l'île de Montréal. Pour la période hors-pointe, 85% des usagers sont des Montréalais ([17]).

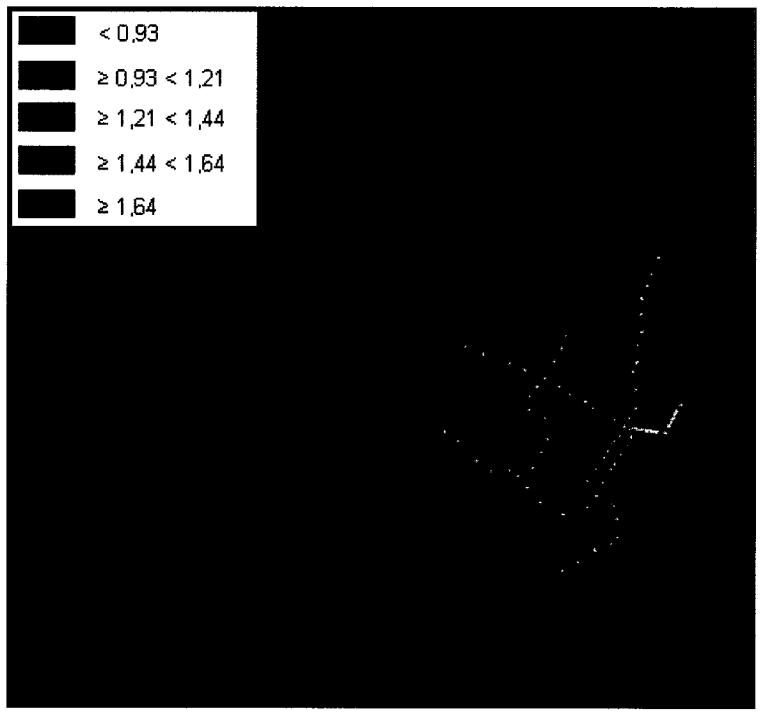

Figure 3.1: Réseau du métro et variation de la possession automobile des ménages dans la région métropolitaine de Montréal (réalisée à l'aide d'un échantillon de l'enquête O-D de 1998)

[17] http://www.stcum.qc.ca/en-bref/fiches/stm-a.pdf

Comme l'indique la figure 3.1, les secteurs desservis par le métro, au centre et à l'est de l'île de Montréal, ont une possession automobile par ménage relativement faible. Il est intéressant de savoir que d'après les résultats trouvés à partir de l'enquête Origine-Destination de 1998, un tiers des clients du métro (34%) qui se déplacent durant les heures de pointe sont des usagers captifs, i.e. ils ne possèdent pas une automobile. Pour la période hors-pointe, 46% des voyageurs sont des usagers captifs ([18]).

Donc, l'effet combiné d'une densité de population élevée et d'une possession automobile faible à proximité du métro favorisent l'utilisation de ce mode de transport à Montréal.

3.3.1.2 Stations de métro

« Les distances qui séparent les stations les unes des autres varient suivant la densité de population et l'achalandage présumé. La distance moyenne entre les stations est de 700 mètres. Les responsables du métro de Montréal ont voulu rapprocher suffisamment les stations afin que, tout le long du tracé de la ligne, les voyageurs puissent toujours gagner à pied la station la plus proche. » (Bureau de Transport Métropolitain, 1983)

La plupart des stations ont des quais latéraux de 152,4 m de longueur (à l'exception de Saint-Michel) et d'au moins 3,8 m de largeur. Champ-de-Mars est la seule station du réseau avec un quai de largeur variable : la largeur rétrécit aux extrémités du quai. En général, les voyageurs accèdent à une mezzanine au-dessus des quais par l'intermédiaire d'escaliers fixes, passent par des tourniquets, et s'élèvent jusqu'au niveau du sol par des escaliers mécaniques ou fixes. Les sorties des stations de métro se trouvent soit dans des édicules, soit dans des édifices situés en bordure de la voie publique. Certaines stations de métro ont une passerelle (ex : Édouard-Montpetit) ou un palier entre le niveau de la mezzanine et l'édicule (ex : Acadie). La figure 3.2 illustre

[18] http://www.stcum.qc.ca/en-bref/fiches/stm-a.pdf

les différents niveaux d'une station. La profondeur des stations varie de 4,3 m (Angrignon et Longueuil-UdeS) à 29,6 m (Charlevoix).

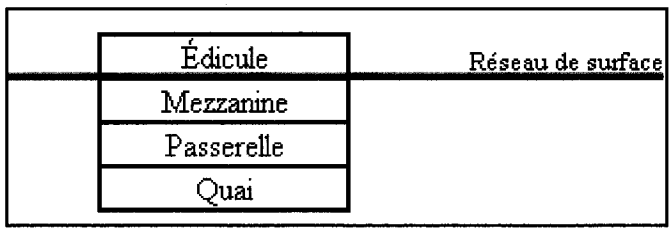

Figure 3.2: Niveaux d'une station de métro

Le métro est en train de vivre une cure de rajeunissement avec la première phase du programme Réno-Systèmes. Le centre de contrôle et environ 45 escaliers mécaniques sont ou seront remis à neuf. Ces escaliers mécaniques vont dorénavant rouler à une vitesse réduite (technologie mise en veille) pour économiser de l'énergie et reprendre leur vitesse normale, après quelques secondes, lorsqu'un usager emprunte l'escalier. Des caméras devraient être installées à l'intérieur des stations et la visibilité sera améliorée par l'ajout de lumières. La deuxième phase du programme vise à remplacer les autres escaliers mécaniques du réseau et les voitures MR-63 qui ont atteint leur durée de vie utile par des voitures neuves. Des ascenseurs qui permettront aux personnes à mobilité réduite de se rendre de l'édicule jusqu'au quai et vice-versa sont également prévus dans la deuxième phase du programme Réno-Systèmes. Les six premières stations du réseau actuel qui seront accessibles à tous ([19]) sont:

1. Berri-UQAM
2. Henri-Bourassa
3. Bonaventure
4. Côte-Vertu
5. Longueuil-UdeS
6. Lionel-Groulx

[19] http://www.mtq.gouv.qc.ca/fr/publications/modes/personnes/metro_030627.pdf

Toutefois, le gouvernement provincial n'a pas encore donné son accord à cette deuxième phase du programme.

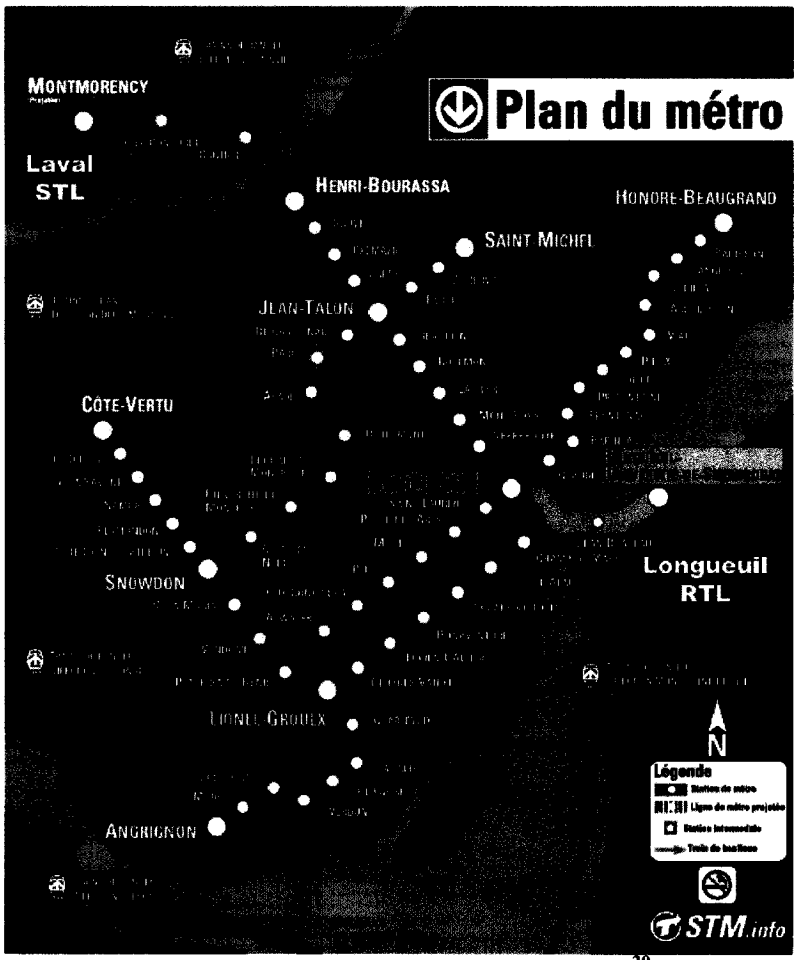

Figure 3.3: Plan du réseau du métro de Montréal ([20])

3.3.1.3 Lignes de métro

Les lignes de métro sont caractérisées par leur longueur, intervalle minimal, vitesse commerciale, heure d'opération, capacité, achalandage, etc. La fréquence de service n'est pas la même sur toutes les lignes de métro, puisqu'elle dépend de l'achalandage qui varie selon l'heure de la journée et du jour de la semaine. Les caractéristiques des

[20] www.stm.info

lignes de métro sont extraites du document : Le métro de Montréal, notre fierté ([21]) et à partir du site metrodemontreal.com. Les premiers départs, à partir des terminus de chaque ligne, sont à 5h30 le matin.

La ligne 1 (verte) a 27 stations, dont 2 stations de correspondance (Lionel-Groulx et Berri-UQAM), et une longueur totale de 22,1 km. La distance moyenne entre les stations est de 850 m et la durée moyenne du trajet (de Angrignon à Honoré-Beaugrand ou vice-versa) est de 38 minutes. La distance moyenne entre les stations au centre-ville (Atwater à Berri-UQAM) est de 435 m. Aux heures de pointe, l'intervalle minimal est de 2 minutes 50 s, la vitesse commerciale est égale à 34 km/h et 28 trains sont en service. La ligne verte est la plus achalandée du réseau avec 98,1 millions de voyageurs en 2001. La rame sur cette ligne est constituée de 9 voitures en tout temps. Le dernier départ à partir d'Angrignon, direction Honoré-Beaugrand, est à 1h00 le Samedi et 0h30 les autres soirs de la semaine. Le dernier train dans la direction opposée quitte huit minutes plus tard (1h08 le Samedi et 0h38 les autres soirs). Ces deux rames se rencontrent à Berri-UQAM.

La ligne 2 (orange) a présentement 28 stations et une longueur totale de 24,8 km. Quatre stations de correspondance et trois stations intermodales sont sur cette ligne. La distance moyenne entre les stations est de 919 m et la durée moyenne du trajet (de Henri-Bourassa à Côte-Vertu) est de 40 minutes. La distance moyenne entre les stations au centre-ville (Lucien-L'Allier à Berri-UQAM) est de 445 m. La vitesse commerciale aux heures de pointe est de 36 km/h et l'intervalle minimal est de 2 minutes 50 s. 28 trains sont en service sur cette ligne durant la période de pointe. L'achalandage annuel est de 89,1 millions de voyageurs. La rame sur cette ligne est constituée de 9 voitures en tout temps. Les derniers trains quittent Côte-Vertu à 1h00 le Samedi, et 0h30 les autres soirs de la semaine. Quand à Henri-Bourassa, le dernier train quitte cette station

[21] http://www.stm.info/en-bref/notrefierte.pdf

à 1h09 Samedi et 0h39 les autres soirs. Ces deux trains ont aussi comme point de rencontre la station Berri-UQAM.

Des travaux de prolongement de la ligne orange jusqu'à Laval sont en cours. Trois nouvelles stations viendront s'ajouter au réseau, au nord de la station Henri-Bourassa : Cartier, De la Concorde et Montmorency (voir figure 3.3). Ces nouvelles stations seront équipées d'ascenseurs pour améliorer l'accessibilité des personnes à mobilité réduite.

La ligne 4 (jaune) passe en dessous du fleuve pour se rendre à Longueuil. Elle a 3 stations, dont une station de correspondance, et une longueur totale de 4,25 km. La distance moyenne entre les stations est de 2125 m et la durée moyenne du trajet (de Berri-UQAM à Longueuil-UdeS) est de 5 minutes. Aux heures de pointe, l'intervalle minimal est de 4 minutes 30 s, la vitesse commerciale est égale à 51 km/h et le service est assuré par quatre rames de métro. La ligne jaune est la moins achalandée du réseau avec 8,3 millions de voyageurs en 2001. La rame sur cette ligne est constituée de 9 voitures aux heures de pointe et 6 voitures aux heures hors-pointe et durant la saison estivale. Les derniers départs, à partir des stations terminus, sont à 1h00 tous les soirs de la semaine, sauf le Samedi soir où les derniers trains quittent 30 minutes plus tard (1h30).

La ligne 5 (bleue) comprend 12 stations, dont 2 stations de correspondance et une intermodale (Parc). La longueur totale de cette ligne est de 9,7 km. La distance moyenne entre les stations est de 882 m et la durée moyenne du trajet (de Snowdon à Saint-Michel) est de 15 minutes. Aux heures de pointe, l'intervalle minimal est de 3 minutes 45 s, la vitesse commerciale est égale à 37 km/h et le service est assuré par onze rames de métro. La ligne bleue transporte annuellement 19,1 millions d'usagers. Le service sur la ligne bleue termine plus tôt comparativement aux autres lignes. En effet, les derniers départs sont à minuit et quart à partir des terminus Snowdon et Saint-Michel, et ce tous les soirs de la semaine. Les deux dernières rames arrivent en même

temps à la station Acadie. La rame sur cette ligne est constituée de 6 voitures du Lundi au Vendredi et 3 voitures la fin de semaine et durant la saison estivale.

Des projets d'extension sur les lignes jaune et bleue du métro (Ligne jaune jusqu'au cégep Édouard-Montpetit sur la rive sud et ligne bleue jusqu'à Anjou) sont également prévus dans le futur.

3.3.2 Les terminus

Le réseau a huit stations terminus, qui sont les suivantes :

1. Angrignon (ligne verte)
2. Honoré-Beaugrand (ligne verte)
3. Côte-Vertu (ligne orange)
4. Henri-Bourassa (ligne orange)
5. Longueuil-UdeS (ligne jaune)
6. Berri-UQAM (ligne jaune)
7. Snowdon (ligne bleue)
8. Saint-Michel (ligne bleue)

Les trains dans ces stations ont un temps d'arrêt qui varie de quelques secondes à quelques minutes puisque l'opérateur du train doit respecter l'horaire planifié du service. Avant le départ du train, un signal sonore est émis pour communiquer aux usagers que le train s'apprête à quitter et qu'il faut se dépêcher pour ne pas rater le train.

Plusieurs lignes d'autobus se rabattent à ces stations terminus à l'exception de Snowdon, Saint-Michel et Berri-UQAM. Des autobus de la STM, de la STL (Société de transport de Laval), des CIT (Basses-Laurentides et Des Moulins) et de Saint-Eustache

correspondent avec la station Henri-Bourassa. Il est intéressant de savoir que McDonough (2002) a développé un outil d'information aux usagers à l'aide de la technologie de la réalité virtuelle pour le territoire autour de la station de métro Henri-Bourassa. Des autobus de la STM et de la STL desservent la station Côte-Vertu. Les autobus de Honoré-Beaugrand desservent l'est de l'île, ceux de la station Angrignon l'ouest de l'île et la rive-sud (CIT). À partir de la station Longueuil-UdeS, les usagers peuvent voyager dans les autobus de la RTL (réseau de transport de Longueuil) ou ceux des CIT qui desservent la rive-sud de Montréal.

3.3.3 Les points de transferts

Certains déplacements faits par les usagers sont directs, i.e. sur la même ligne, alors que d'autres nécessitent une ou plusieurs correspondances. Le réseau du métro comprend quatre stations de correspondance métro-métro :

1. Berri-UQAM
2. Jean-Talon
3. Lionel-Groulx
4. Snowdon

Les caractéristiques de ces quatre stations de correspondance seront décrites dans la section 3.4.

Quatre stations de correspondance métro-train, communément appelées stations intermodales, permettent d'effectuer une correspondance avec les trains de banlieue qui sont sous la responsabilité de l'AMT (Agence métropolitaine de transport). Ces stations sont les suivantes : Bonaventure, Lucien L'Allier, Vendôme et Parc. Le Terminus centre-ville de l'AMT (bus vers la rive-sud de la RTL (Réseau de transport de Longueuil) et des CIT (Conseil intermunicipal de transport)) est à la station de métro

Bonaventure. La nouvelle station De La Concorde sera également intégrée au réseau des trains de banlieue.

Toutes les autres stations de métro, sauf Georges-Vanier, sont des stations de correspondance métro-autobus, car des lignes d'autobus se rabattent aux stations.

3.3.4 Les usagers

La classification des usagers utilisée par la Société de transport de Montréal est la suivante :

- enfants
- écoliers
- adultes
- personnes âgées
- autres (handicapés)

Cette classification est basée sur l'analyse de la grille tarifaire en vigueur chez la STM.

3.3.5 Les véhicules

Le matériel roulant est composé de 759 voitures (336 voitures de type MR-63 et 423 voitures de type MR-73). Les voitures originales du métro, les MR-63, sont en service sur la ligne verte, tandis que les voitures MR-73 le sont sur les autres lignes du réseau. Les véhicules roulent sur pneumatiques afin de freiner sur une distance plus courte et pour monter des pentes allant jusqu'à 6,5%.

Selon la demande, une rame de métro peut être constituée d'un, de deux ou de trois éléments. Chaque élément possède trois voitures, deux motrices accompagnées d'une remorque au centre. La figure 3.4 illustre une vue en plan et en élévation d'une voiture motrice.

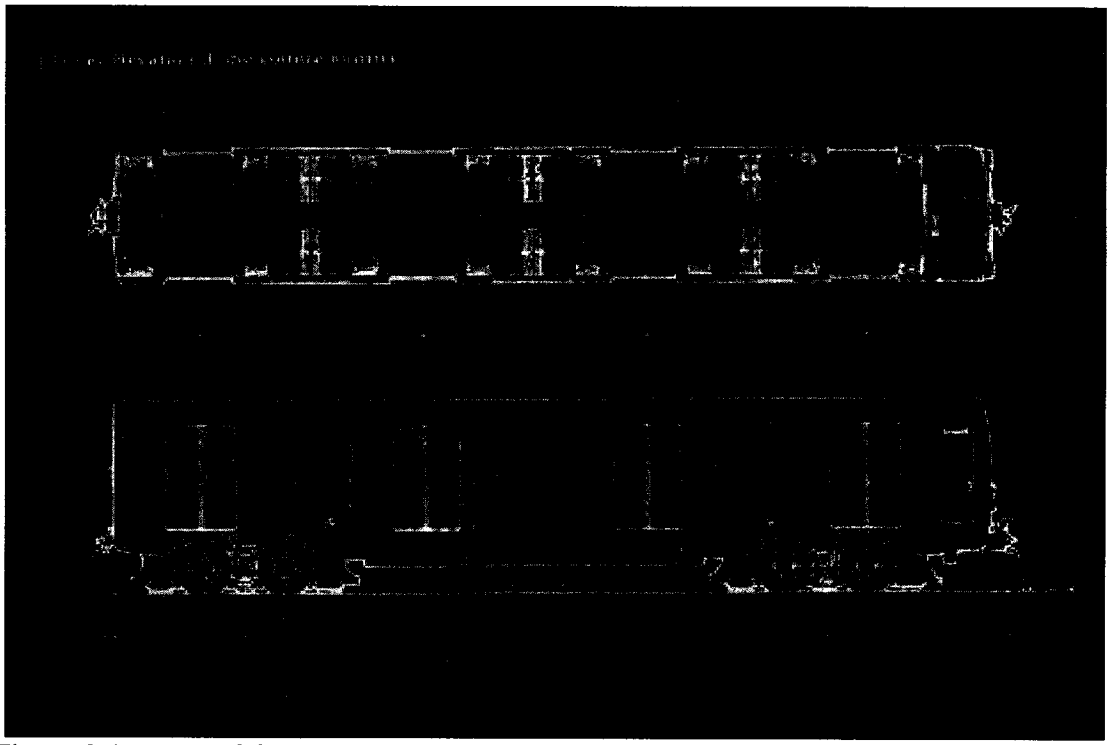

Figure 3.4: Plan et élévation d'une voiture motrice (Métro de Montréal, BTM, 1983)

La longueur d'une voiture motrice est de 17,2 m et celle d'une voiture remorque 16,4 m. Les voitures ont 4 portes sur chaque côté longitudinal et une largeur de 2,5 mètres. Chaque porte a une largeur de 1,30 m et une hauteur de 1,96 m. Il y a actuellement quarante sièges dans chaque voiture, mais l'aménagement à l'intérieur des wagons est en train d'être modifié. En effet, il y aura moins de sièges afin d'augmenter la capacité de la voiture (34 au lieu de 40). Ceci dans le but d'accommoder l'achalandage accru prévu sur la ligne orange suite à l'ouverture du métro à Laval en 2007. La capacité de chaque voiture est de 125 personnes (40 usagers assis et 85 debout). Cette valeur se réfère à la capacité maximale permise pour des questions de confort et de sécurité. Une

rame de neuf voitures correspond à la longueur des quais de la station, soit 152,4 mètres, compte 36 portes latérales doubles de chaque côté et peut transporter jusqu'à 1 125 passagers, dont 360 assis. La vitesse maximale d'une rame est de 72 km/h.

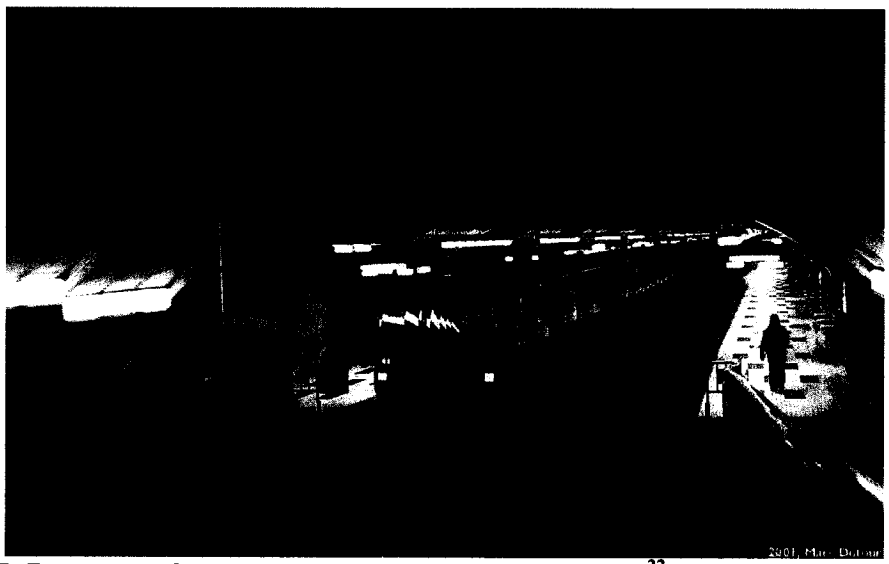

Figure 3.5: Rame de métro et rampe à la station Plamondon ([22])

3.4 Les stations de correspondance

Cette section décrit l'environnement à l'intérieur des quatre stations de correspondance du réseau du métro. Des caractéristiques telles que le nombre de lignes, le nombre de sorties, le nombre de niveaux, la disposition des quais et la signalisation présente seront décrites de façon détaillée.

3.4.1 Berri-UQAM

Berri-UQAM, initialement appelée Berri-de Montigny, est la plus importante station de correspondance du réseau puisqu'elle relie 3 lignes de métro : la ligne verte, orange et

[22] http://www.emdx.org/rail/metro/index.php

jaune. C'est la station la plus achalandée de l'année 2005 ([23]). La station comporte 6 niveaux et six édicules au total. La figure qui suit montre les différents niveaux à l'intérieur de la station Berri-UQAM.

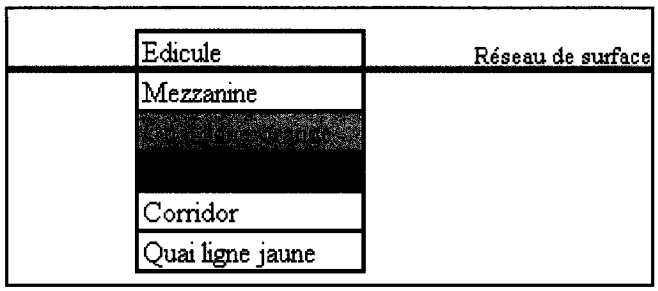

Figure 3.6: Niveaux de la station Berri-UQAM

Par rapport au niveau du sol, les quais de la ligne jaune sont à une profondeur de 27,4 m, ceux de la ligne verte à une profondeur de 16,8 m et ceux de la ligne orange, à 10,7 m. Tous les quais de la station sont latéraux, i.e. de part et d'autre de la voie au centre et parallèles (voir figure 3.7). Les quais des lignes jaune et orange sont parallèles entre elles et perpendiculaires aux quais de la ligne verte. Des projeteurs Métrovision sur les quais informent les usagers de l'heure de passage des deux prochains trains. Des nouvelles et des publicités sont aussi affichées.

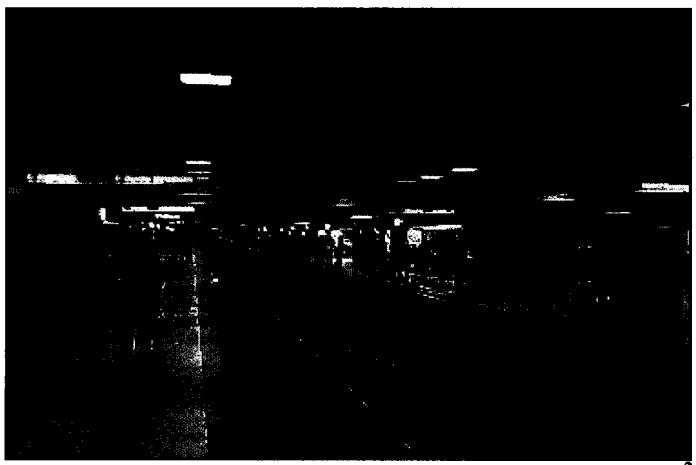

Figure 3.7: Quais latéraux de la station Berri-UQAM ([24])

[23] http://www.stm.info/info/infostm/2006/060413.pdf

La figure 3.8 illustre un chemin choisi par un usager qui vient de Longueuil-UdeS et qui se destine vers la Sortie Saint-Denis. Ceci permet de visualiser la composante verticale de la station et les endroits par où le piéton doit passer pour accéder au réseau de surface (escaliers, tourniquet, porte papillon).

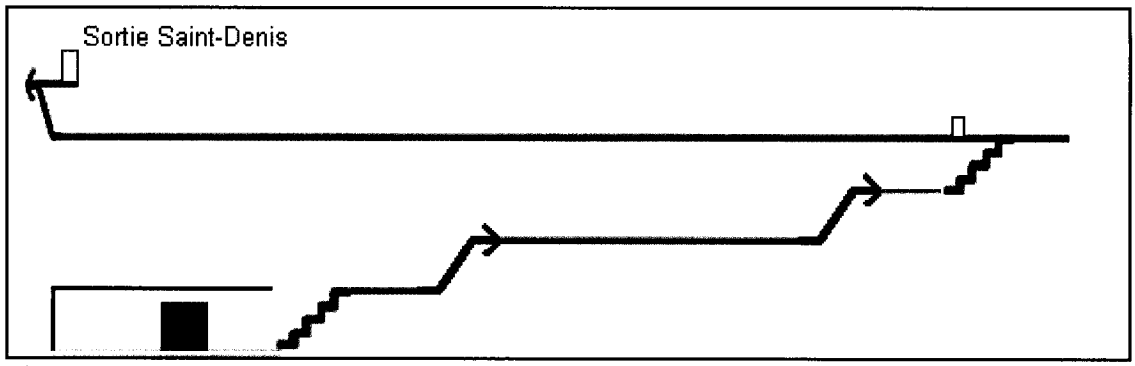

Figure 3.8: Vue de profil d'un déplacement à partir du niveau le plus bas de la station Berri-UQAM jusqu'à la sortie Saint-Denis

À partir de la mezzanine, quatre corridors radiaux permettent aux usagers de rejoindre les sorties suivantes, illustrées à la figure 3.9:

- La Sortie Station centrale d'autobus (par l'entremise du corridor vers le Nord)
- La Sortie Place-Dupuis (par l'entremise du corridor vers l'Est)
- La Sortie Sainte-Catherine (par l'intermédiaire du corridor vers le Sud)
- La Sortie Saint-Denis (en empruntant le corridor vers l'Ouest)

La figure 3.9 illustre également la disposition des quais, le réseau piétonnier et les nombreux accès (cercles en noir et les sorties en bleu avec le logo du métro) de cette station.

[24] (c) 2001-2006 Matthew McLauchlin, metrodemontreal.com, utilisée avec permission

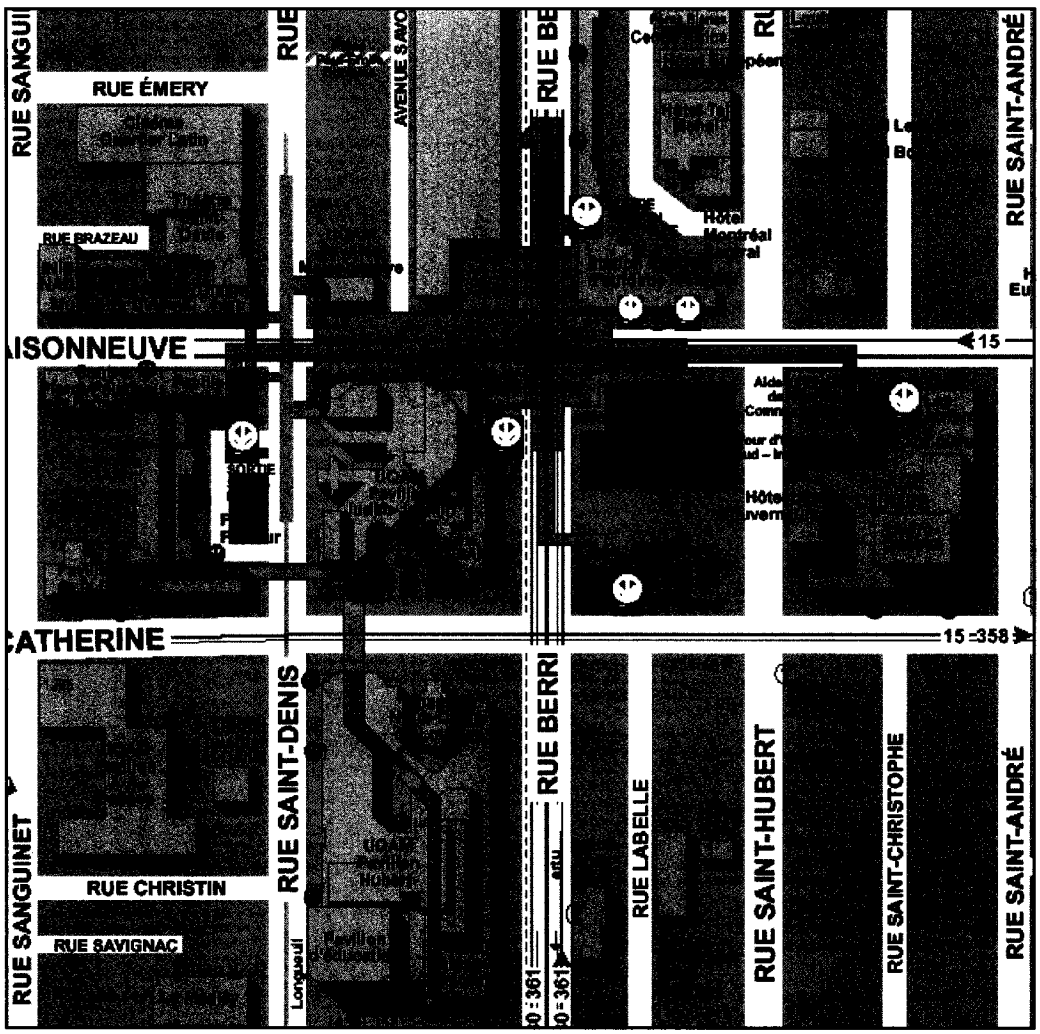

Figure 3.9: Réseau piétonnier, disposition des quais et accès de la station Berri-UQAM ([25])

La signalisation à l'intérieur de la station est omniprésente. Elle est assurée par des panneaux standard. Au niveau des quais, des panneaux avec une signalisation fléchée, sur fond rouge, guident l'usager vers la sortie de la station. Au niveau de la mezzanine et sur les autres niveaux, des panneaux aux couleurs des lignes indiquent aux voyageurs le chemin à prendre pour se rendre au bon quai. Il est intéressant de noter que la signalisation est forcée dans certains cas. Par exemple, seulement un chemin est suggéré aux usagers au niveau de la mezzanine pour aller au quai de la ligne verte direction Angrignon, alors qu'en réalité il existe deux chemins. Idem pour les usagers

[25] **http://www.stm.info/metro/images/c11.pdf**

qui débarquent au Terminus de la ligne jaune et qui veulent correspondre avec la ligne orange. Des panneaux indiquent aux usagers qu'il faut passer par le couloir pour se rendre jusqu'aux deux quais de la ligne orange, alors que le plus court chemin pour un usager qui veut se rendre au quai direction Côte-Vertu est différent de celui indiqué par la signalisation de la STM. Ces petits détails peuvent faire la différence entre quelqu'un qui arrive à temps pour prendre le métro et une autre personne qui doit attendre l'intervalle de service avant de prendre le prochain train.

Berri-UQAM a 29 escaliers mécaniques, 24 escaliers fixes, 6 postes d'assistance, 15 postes d'équipement d'incendie, 2 loges du changeur, 26 tourniquets (15 pour l'entrée et 11 pour la sortie seulement), 4 distributeurs de correspondance, 2 tabagies sur le niveau du quai orange et 58 téléphones publics.

Les postes d'assistance sont facilement identifiables par les voyageurs grâce à un pictogramme (SOS). D'autres symboles rappellent aux usagers les consignes de sécurité et règlements en vigueur dans le métro (interdiction de descendre sur les voies, de fumer dans les stations de métro, de faire du patin à roues alignées, etc.).

3.4.2 Jean-Talon

Jean-Talon est devenue une station de correspondance en 1986, suite à l'ouverture de la ligne 5. Les quais de la ligne bleue sont superposés et ils sont presque perpendiculaires à ceux de la ligne 2. Cette station comprend cinq entrées/sorties, cinq niveaux et plusieurs couloirs. Le quai de la ligne bleue, direction Saint-Michel, est le niveau le plus bas de la station (voir figure 3.10). L'autre quai de la ligne bleue est situé directement au-dessus.

Figure 3.10: Quai de la ligne bleue, direction Saint-Michel, de la station Jean-Talon ([26])

La mezzanine, située en haut du quai orange, permet de rejoindre La Tour Bell (accès intérieur) et les trois sorties suivantes :

- Sortie Jean-Talon Nord
- Sortie Jean-Talon Sud-Ouest
- Sortie Jean-Talon Sud-Est

L'entrée de la station au coin Jean-Talon/Saint-Hubert accepte seulement les cartes et billets à tarif régulier, les cartes à tarif réduit et les correspondances d'autobus puisque l'entrée est contrôlée par des portillons automatiques. Cette entrée est encerclée en rouge sur la figure 3.11. Les usagers qui veulent acheter un titre de transport, qui ont des billets à tarif réduit, qui voyagent avec des enfants de moins de six ans, des objets encombrants ou un vélo ne peuvent pas passer par ces portillons automatiques. Ils doivent utiliser un des autres accès de la station mentionnés précédemment, qui sont encerclés en vert sur la figure ci-dessous.

[26] (c) 2001-2006 Matthew McLauchlin, metrodemontreal.com, utilisée avec permission

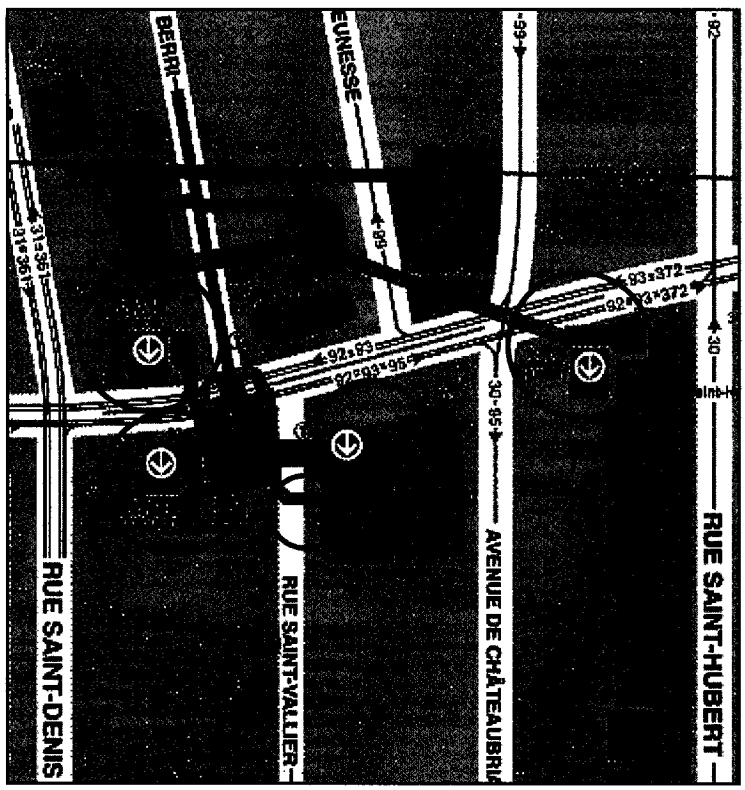

Figure 3.11: Réseau piétonnier, disposition des quais et accès de la station Jean-Talon ([27])

Figure 3.12: Signalisation sur un cube suspendu à un point de décision dans la station Jean-Talon ([28])

---

[27] **http://www.stm.info/metro/images/c05.gif**

[28] (c) 2001-2006 Matthew McLauchlin, metrodemontreal.com, utilisée avec permission

Comme l'illustre la figure 3.12, des cubes suspendus aident les voyageurs à se déplacer à l'intérieur de la station. Une signalisation sur fond noir indique le nom des rues, des générateurs de déplacements, et des lignes d'autobus accessibles à partir de chaque sortie. Une signalisation aux couleurs de la ligne indique aux voyageurs le chemin à prendre pour se rendre jusqu'au quai désiré.

Toutefois, un problème observé, à quelques reprises, est le choix d'un mauvais chemin entre les deux quais de la ligne bleue au début du quai direction Snowdon, i.e. l'endroit où l'usager doit choisir de rester sur le même niveau ou descendre les escaliers pour se rendre au quai de la ligne bleue, direction Saint-Michel. Les usagers qui ne connaissent pas les prochaines stations peuvent se tromper et prendre le mauvais train s'ils ne réalisent pas qu'ils ont commis une erreur. L'installation d'un panneau Direction Saint-Michel au-dessus des escaliers menant vers ce quai qui affiche les stations Fabre, D'Iberville et Saint-Michel pourrait minimiser le nombre d'erreurs faits par les usagers. Si la station de destination de l'usager ne figure pas parmi les stations Fabre, D'Iberville et Saint-Michel, ils feront probablement moins d'erreur, car ils ne descendront pas les escaliers.

En somme, la station Jean-Talon contient 16 escaliers mécaniques, 10 escaliers fixes, 6 postes d'assistance, 8 cabinets d'incendie, 12 tourniquets, 2 portes automatiques pour l'entrée et 2 pour la sortie, 6 distributeurs de correspondance, 1 tabagie et 30 téléphones publics.

3.4.3 Lionel-Groulx

Lionel-Groulx est le deuxième point de correspondance entre les lignes 1 et 2. *« Cette station, à quai central et à double niveau, a été conçue de façon à ce que les mouvements des passagers changeant de ligne se fassent pour la plus grande part au*

même niveau. » (Montréal en métro, 1992) Le niveau inférieur comprend les deux lignes vers la « banlieue » (direction Côte-Vertu et Angrignon) et les deux lignes vers le centre-ville sont sur le niveau supérieur. La figure ci-dessous illustre les niveaux de la station, ainsi que les mouvements des passagers pour correspondre entre les lignes.

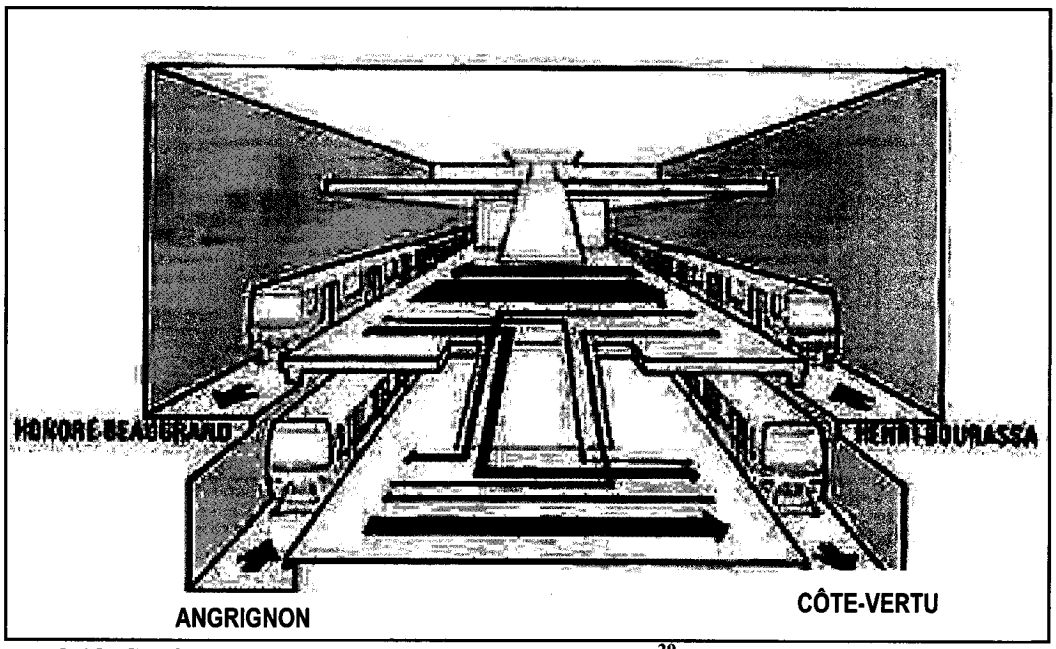

Figure 3.13: Station de correspondance Lionel-Groulx ([29])

Lionel-Groulx a beaucoup d'espace ouvert ce qui facilite l'orientation des voyageurs. De plus, la distance à traverser sur chaque niveau pour effectuer la correspondance est inférieure à celle de Snowdon, et les escaliers entre les deux niveaux sont relativement courts puisque la distance verticale séparant les deux quais est de 4 mètres seulement. De nouveaux commerces ont récemment été construits sur les deux niveaux (Couche Tard, Dunkin Donuts). Ces commerces ont diminué l'espace pour la libre circulation des piétons sur les deux niveaux, mais la STM en tire des revenus additionnels.

La signalisation à l'intérieur de la station est assurée par des panneaux standard. Lionel-Groulx contient 6 escaliers mécaniques, 8 escaliers fixes, 10 postes d'assistance, 4

[29] (c) 2001-2006 Matthew McLauchlin, metrodemontreal.com, utilisée avec permission

cabinets d'incendie, 8 tourniquets (5 pour l'entrée et 3 pour la sortie seulement), 3 distributeurs de correspondance et 30 téléphones publics. Plusieurs autobus correspondent avec cette station qui a un seul édicule.

3.4.4 Snowdon

La station de correspondance Snowdon permet aux usagers de transférer entre les lignes 2 et 5. C'est aussi le terminus de la ligne 5. Cette station a été construite selon le même principe que Lionel-Groulx (quai central et à double niveau), mais elle n'est pas aussi efficace que cette dernière à cause du concept architectural choisi. Afin de minimiser les travaux de démolition, l'architecte a conçu la station comme un réseau de tunnels. Le réseau est composé d'un tunnel central parallèle aux deux quais sur chaque niveau et quatre tunnels transversaux pour la correspondance directe sur le niveau supérieur, et trois sur le niveau le plus bas. Le quai de la ligne orange en direction d'Henri-Bourassa possède 4 accès, mais les usagers empruntant la sortie la plus proche de la queue du train doivent marcher une distance supplémentaire pour se rendre au quai de la ligne bleue. Le plan de quartier de cette station illustre ceci ainsi que la disposition des quais et le tunnel central mentionné précédemment.

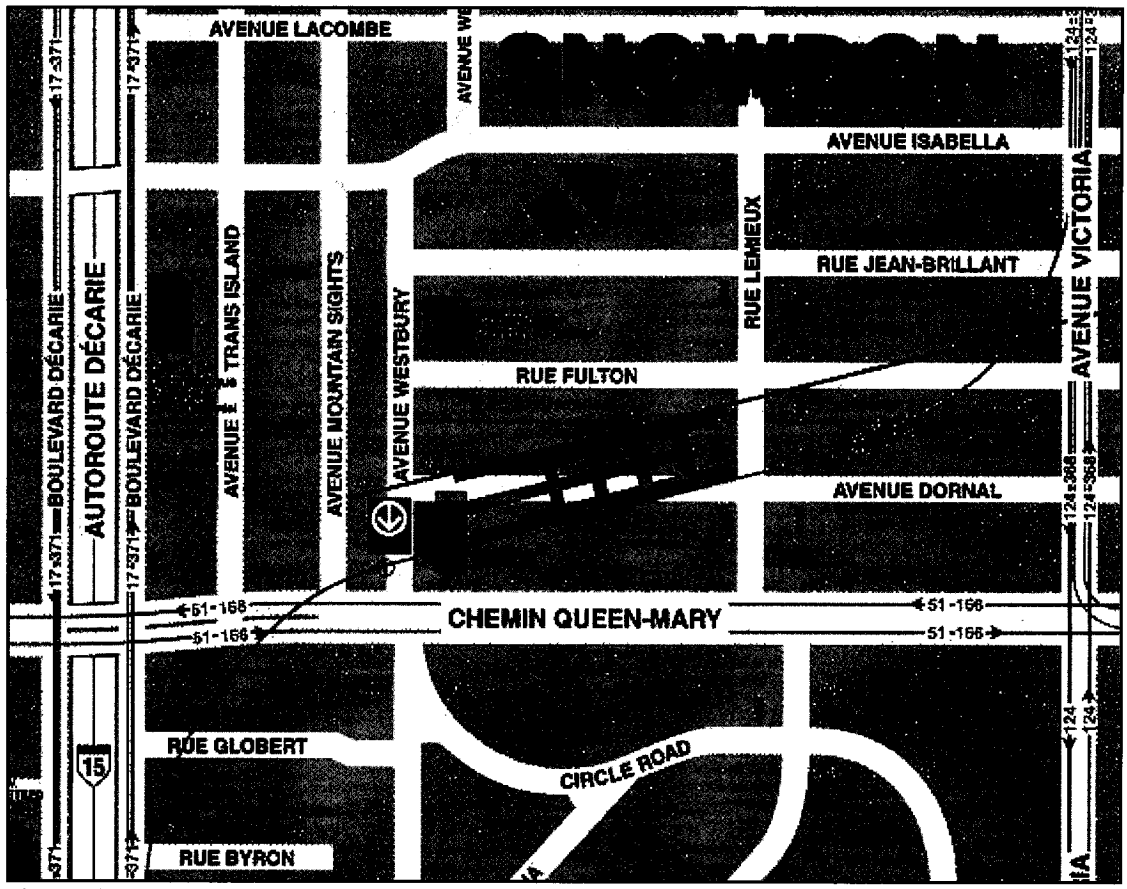

Figure 3.14: Vue en plan de la disposition des quais et du réseau piétonnier de la station Snowdon ([30])

Un point intéressant à noter est le fait qu'un usager qui effectue une correspondance à Snowdon ne doit jamais monter des escaliers.

La signalisation est particulière dans cette station de correspondance. Elle est assurée par quatre grands cubes sur chaque niveau, qui sont installés à l'intersection du tunnel central et des tunnels transversaux. Ces cubes indiquent aux usagers les directions à suivre pour effectuer la correspondance et pour sortir de la station. Cependant, cette signalisation n'est pas facilement comprise par tous les voyageurs puisque certains hésitent avant de poursuivre leur déplacement, ou demandent à d'autres personnes si le

[30] **http://www.stm.info/metro/images/c49.gif**

chemin qu'ils ont pris est le bon. La figure suivante illustre un de ces cubes sur le niveau le plus bas de la station.

Figure 3.15: Signalisation sur un cube à la station de correspondance Snowdon ([31])

Au niveau des quais, des cubes sont suspendus à l'intersection du quai et des tunnels transversaux. Ces cubes ont des panneaux non standard avec une signalisation fléchée, sur fond rouge, qui guident l'usager vers la sortie. Les correspondances sont aussi identifiées par des panneaux sur fond noir. Cette signalisation guide les usagers vers les cubes au milieu du tunnel central.

Le réseau à l'intérieur de la station Snowdon comporte 7 escaliers mécaniques, 7 escaliers fixes, 8 postes d'assistance, 8 cabinets d'incendie (1 au bout de chaque quai), 1 loge du changeur, 7 tourniquets (4 pour l'entrée et 3 pour la sortie seulement), 3 distributeurs de correspondance, 1 tabagie et 23 téléphones publics. Un jardin, comprenant quelques bancs, se trouve au niveau de la mezzanine et humanise la station.

[31] (c) 2001-2006 Matthew McLauchlin, metrodemontreal.com, utilisée avec permission

3.4.5 Conclusion

En résumé, l'équipement est à peu près le même d'une station de correspondance à l'autre (loge du changeur, tourniquets, distributeurs de correspondance, cabinets d'incendie, niches d'urgence, téléphones publics, etc.), mais la configuration des quais et la signalisation ne sont pas pareilles. Tous les quais de la station Berri-UQAM sont latéraux et la signalisation est assurée par des panneaux standard. À Jean-Talon, les quais de la ligne orange sont latéraux et ceux de la ligne bleue sont superposés. Des panneaux et des cubes suspendus aident les usagers à s'orienter dans cette station. Lionel-Groulx a un quai central sur deux niveaux et la signalisation est similaire à celle utilisée à Berri-UQAM. Snowdon est aussi une station à quai central sur deux niveaux et la signalisation est sur des cubes suspendus et des cubes déposés au milieu du tunnel central.

La navigation à l'intérieur de ces stations représente un défi pour certains usagers, surtout à Berri-UQAM et Jean-Talon à cause des nombreux niveaux et sorties. D'où l'utilité de codifier le réseau piétonnier de ces stations pour aider le voyageur à se déplacer dans cet environnement souterrain.

Chapitre 4 : Problématique et Méthodologie

4.1 Itinéraire piétonnier dans les stations de métro

Ce projet modélise un déplacement piétonnier sur le réseau souterrain du métro en s'inspirant de la modélisation en graphe. La figure 4.1 illustre les composantes d'un itinéraire totalement désagrégé pour un déplacement de la rive sud de Montréal jusqu'à l'École Polytechnique. L'individu fait du covoiturage à partir de son domicile jusqu'à la station de métro Longueuil-Université de Sherbrooke (nœud d'accès au réseau de transport en commun). Il emprunte trois lignes de métro (jaune, orange et bleue) et effectue deux correspondances (une à Berri-UQAM et une à Jean-Talon) pour arriver à la station Université-de-Montréal (nœud de sortie du réseau de transport en commun). Ensuite, il marche pour atteindre sa destination.

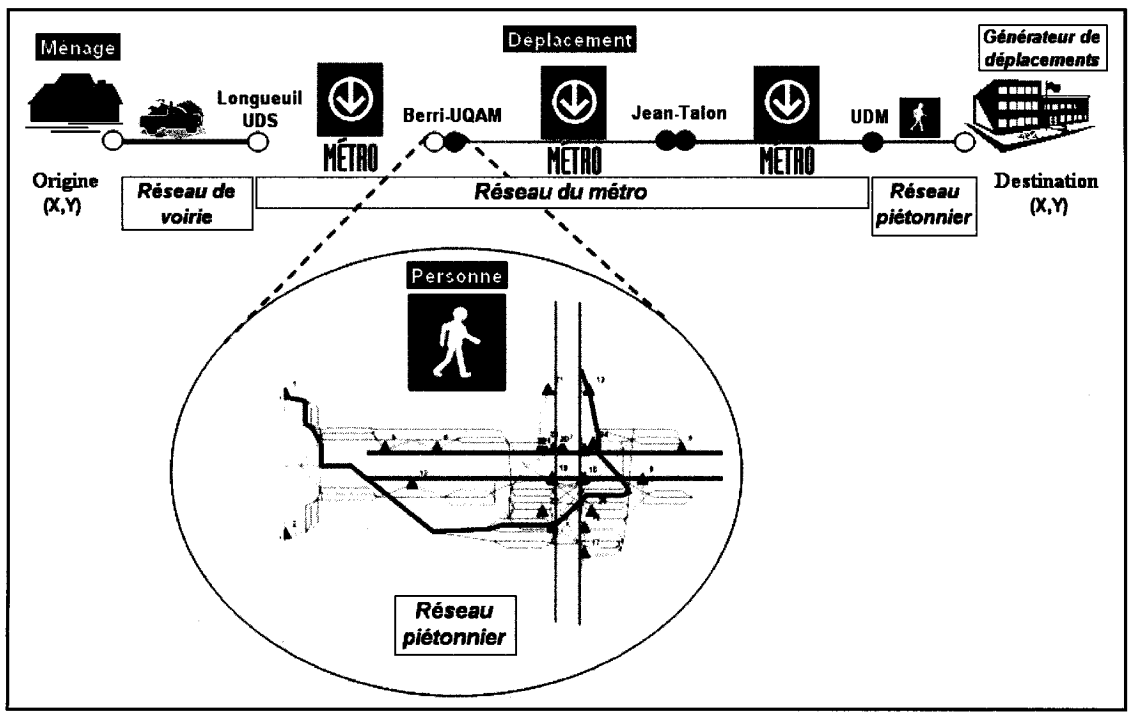

Figure 4.1: Raffinement de l'itinéraire totalement désagrégé aux nœuds souterrains

Le raffinement de l'itinéraire totalement désagrégé aux nœuds souterrains est aussi indiqué sur la figure 4.1. La station de métro Berri-UQAM, actuellement modélisée comme un nœud, est développée en réseau piétonnier. Ce raffinement permet de visualiser la position des quais des trois lignes et la correspondance suggérée par la signalisation de la STM, entre le quai de la ligne jaune (Terminus Berri) et le quai de la ligne orange, direction Henri-Bourassa.

4.2 Itinéraire actif souterrain

Les différentes étapes ainsi que les points de passage obligatoires qui composent le déplacement d'un usager sur le réseau souterrain du métro sont illustrés à la figure 4.2. La partie gauche de la figure comprend les étapes que l'usager doit faire à l'intérieur de la station d'embarquement. Les infrastructures qui permettent au voyageur de transférer entre les différents niveaux à la station de correspondance sont au milieu. Les étapes que l'usager doit faire à la station de débarquement pour accéder au réseau de surface sont montrées à l'extrême droite.

En général, lorsqu'un individu entre dans une station de métro (niveau *édicule*), il emprunte un escalier fixe ou mécanique pour se rendre jusqu'au niveau de la *mezzanine*. Il paye son droit de passage en franchissant les tourniquets. Si l'usager doit acheter un titre de transport, il doit passer par le tourniquet en face de la loge du changeur pour effectuer cette transaction, sinon il peut passer par n'importe quel autre tourniquet. Ensuite, il se dirige vers le *quai* pour prendre la rame de métro. Il sort à la station de correspondance et descend d'un niveau pour transférer de ligne, tel qu'illustré à la figure 4.2. Il emprunte une autre ligne de métro pour se rendre à sa station de destination. Lorsqu'il arrive à cette station, il effectue le cheminement inverse : i.e. marche vers l'accès sur le quai, passe par les tourniquets et emprunte des escaliers mécaniques et/ou fixes pour accéder à l'édicule le plus près de sa destination.

Bref, il existe des points de passage obligatoires (portes, escaliers, tourniquets, accès quai) qui permettent de simuler la trajectoire choisie par le piéton à l'intérieur du métro.

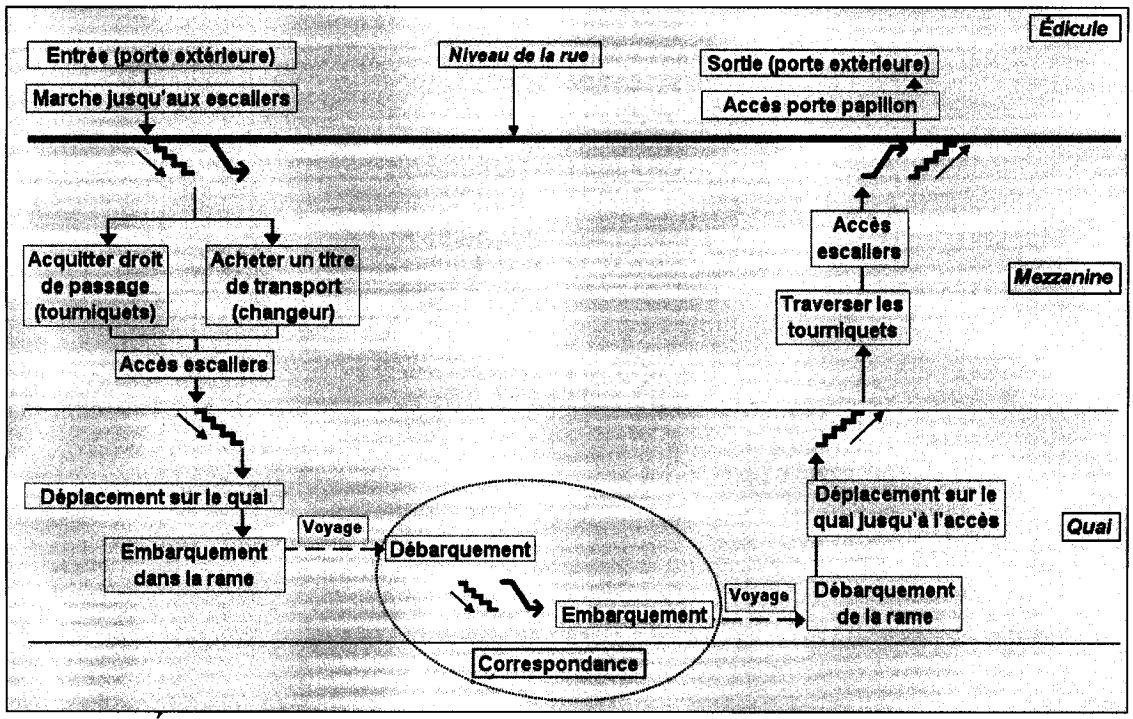

Figure 4.2: Étapes et nœuds qui composent le déplacement souterrain d'un usager du métro (figure inspirée de Li, 2000)

4.3 Codification et modélisation du réseau piétonnier

Afin de modéliser les déplacements des voyageurs dans le métro, chaque niveau est codifié en 2D à l'aide d'un ensemble de nœuds et de liens. Ensuite, les liens verticaux assurent la connexité entre les niveaux pour avoir le réseau filamentaire de la station en 3D.

Le logiciel *AutoCAD* a été utilisé afin de codifier le réseau filamentaire des stations de métro. Le point de référence (0,0,0) choisi est le coin inférieur gauche du quai (Chapleau, 2003).

4.3.1 Codification filamentaire du réseau

Comme l'illustre la figure 4.2, une station de métro comporte plusieurs niveaux et chaque niveau comprend différents objets. Donc, le réseau filamentaire est composé de plusieurs couches distinctes. Des figures illustrant le réseau piétonnier sur quelques niveaux de la station Jean-Talon sont présentées dans cette section.

En général, un nœud est placé aux endroits suivants afin de codifier un réseau en 3D (Piché, 2005) :

- à toute intersection ou point de décision (Accès quai, Mouvement, Transfert, Tourniquet)
- à un changement de direction (Mouvement)
- au début et à la fin d'un corridor (Mouvement)
- à un changement de juridiction (Porte intérieure, Tourniquet)
- à un point de correspondance (Porte extérieure, Voiture de la rame)
- au début et à la fin des escaliers fixes et mécaniques (Escalier fixe, Escalier mécanique)

Trois types de liens raccordent les nœuds entre eux : les liens « Corridor » assurent la connexité bidimensionnelle, i.e. sur chaque niveau, et les liens « Escalier » (Escalier fixe, Escalier mécanique) la connexité tridimensionnelle.

4.3.1.1 Codification au niveau du quai

Les quais ont une longueur de 152,4 m et une largeur minimale de 3,8 m ([32]). Chaque quai est divisé en neuf sections de 17 m de longueur avec un noeud placé au centre de gravité de chaque section pour modéliser les voitures de la rame. Ceci est illustré dans la figure ci-dessous qui schématise en noeuds et liens les déplacements permis sur le quai.

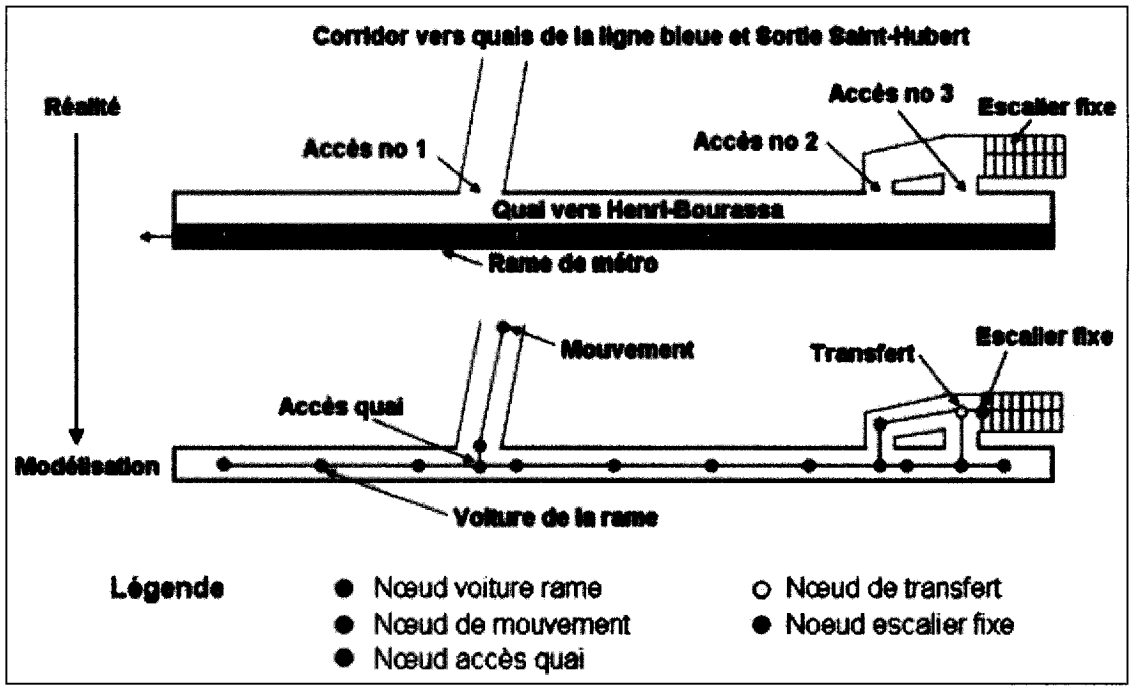

Figure 4.3: Codification au niveau du quai (station de métro Jean-Talon)

Les accès (escaliers, corridors) sont soit parallèles, perpendiculaires ou inclinés par rapport au quai. Comme la figure 4.4 l'illustre, un noeud accès quai est placé en face de chaque accès au même niveau que les noeuds modélisant les voitures de la rame. Les usagers doivent passer par ce noeud pour accéder/sortir du quai de la station.

[32] http://www.stm.info/en-bref/notrefierte.pdf

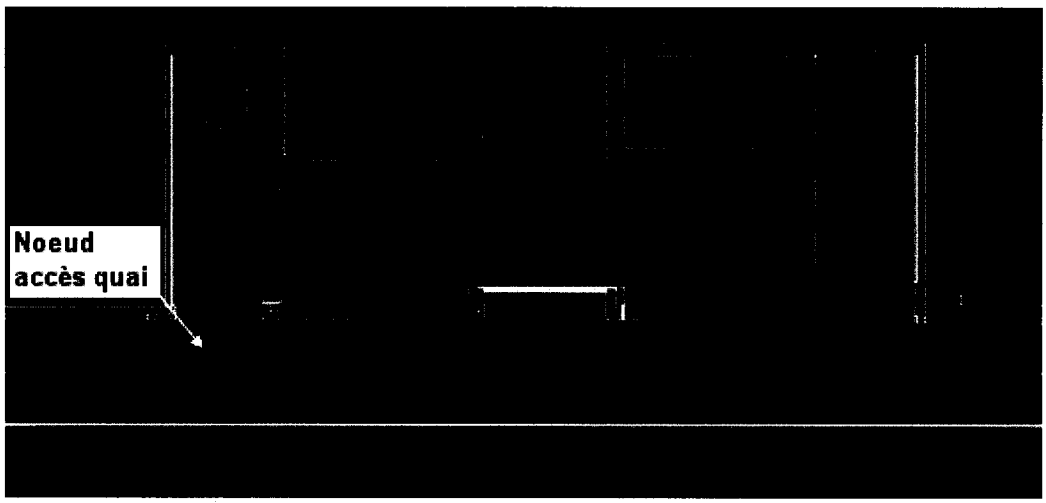

Figure 4.4: Accès sur le quai de la station Henri-Bourassa

Afin de modéliser la congestion qui se crée près des accès et des escaliers, les liens qui relient les voitures de la rame aux accès sur le quai et les nœuds de transfert aux escaliers pourraient se voir accorder un temps de parcours plus long, à certaines heures de la journée, notamment aux heures de pointe.

4.3.1.2 Codification au niveau de la mezzanine

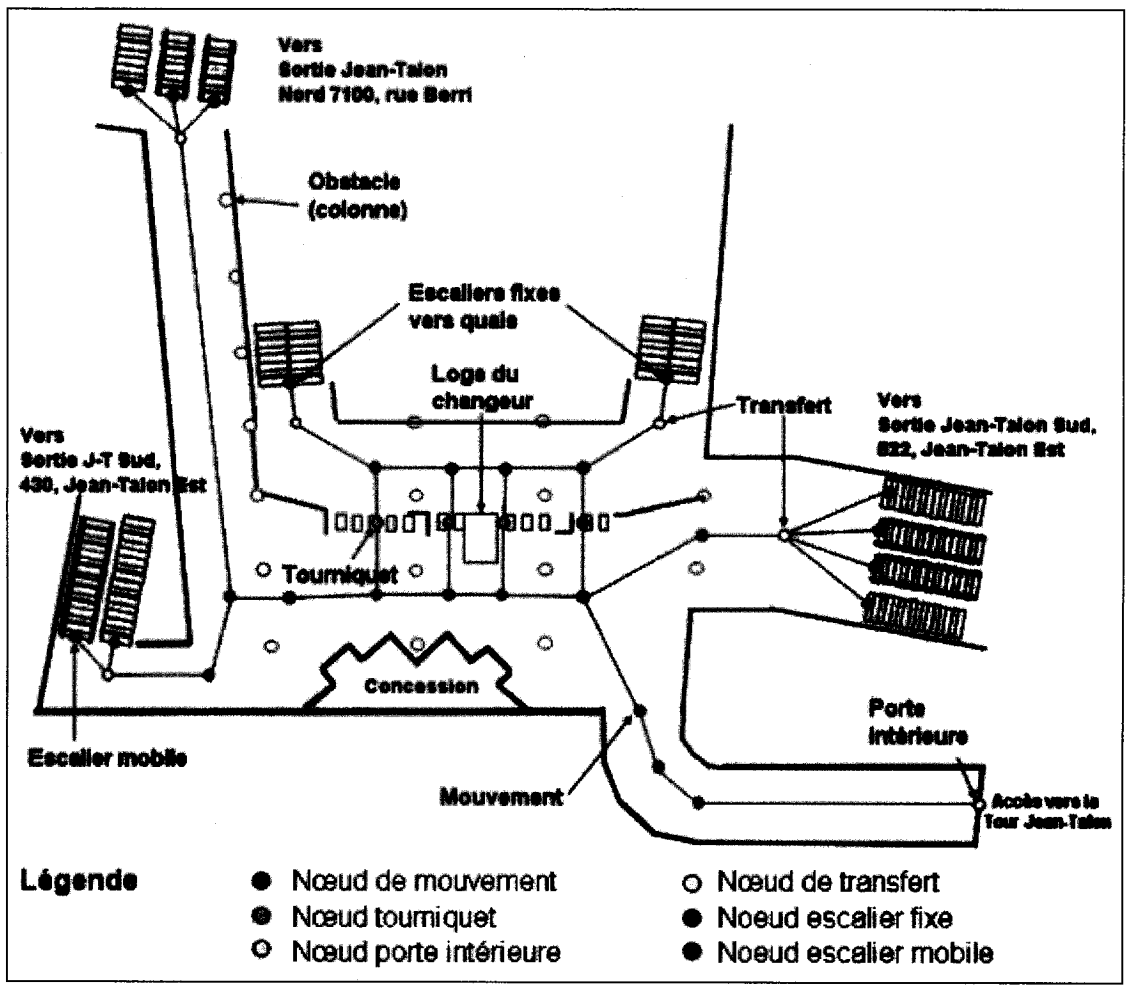

Figure 4.5: Codification au niveau de la mezzanine (station de métro Jean-Talon)

Comme l'illustre la figure 4.5, on retrouve différents objets au niveau de la mezzanine. Il y a au moins deux nœuds tourniquets par station: un placé en face de la loge du changeur pour les voyageurs qui doivent acheter un titre de transport et un autre pour les individus qui en possèdent déjà un de valide. La figure 4.5 illustre aussi un nœud porte intérieure, car il y a changement de juridiction lorsque les personnes traversent cette porte.

En général, les piétons choisissent une trajectoire qui minimise le nombre de pas. Donc, le fait de placer un nœud au début et à la fin d'un corridor tout en suivant la géométrie du couloir surestime la distance réelle parcourue par l'usager, mais cette différence est négligeable.

4.3.1.3 Codification au niveau de l'édicule

Au niveau de l'édicule, on retrouve les noeuds escaliers fixes, mécaniques, de transfert et les portes extérieures. Ces derniers établissent la correspondance avec le réseau de surface.

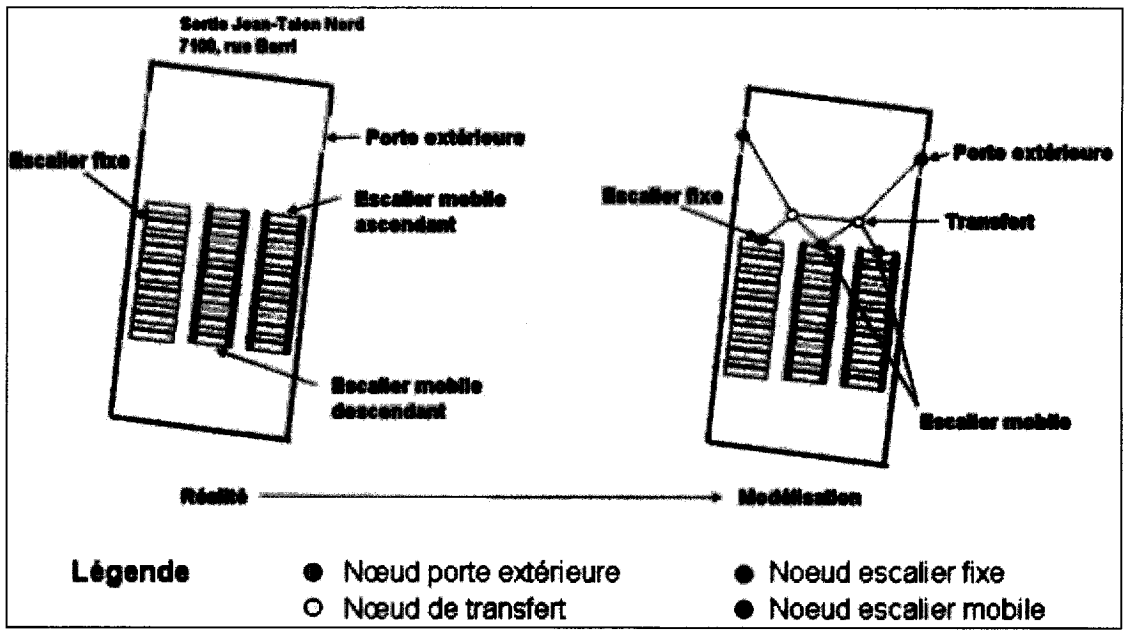

Figure 4.6: Codification au niveau de l'édicule (station de métro Jean-Talon)

4.3.1.4 Réseau piétonnier de la station en 3D

En insérant chaque niveau à son élévation, on obtient le réseau piétonnier tridimensionnel à l'intérieur de la station. La figure qui suit illustre une vue en plan, de

profil et isométrique de la station de métro Jean-Talon. Les quais de la ligne bleue sont superposés et presque perpendiculaires à ceux de la ligne orange.

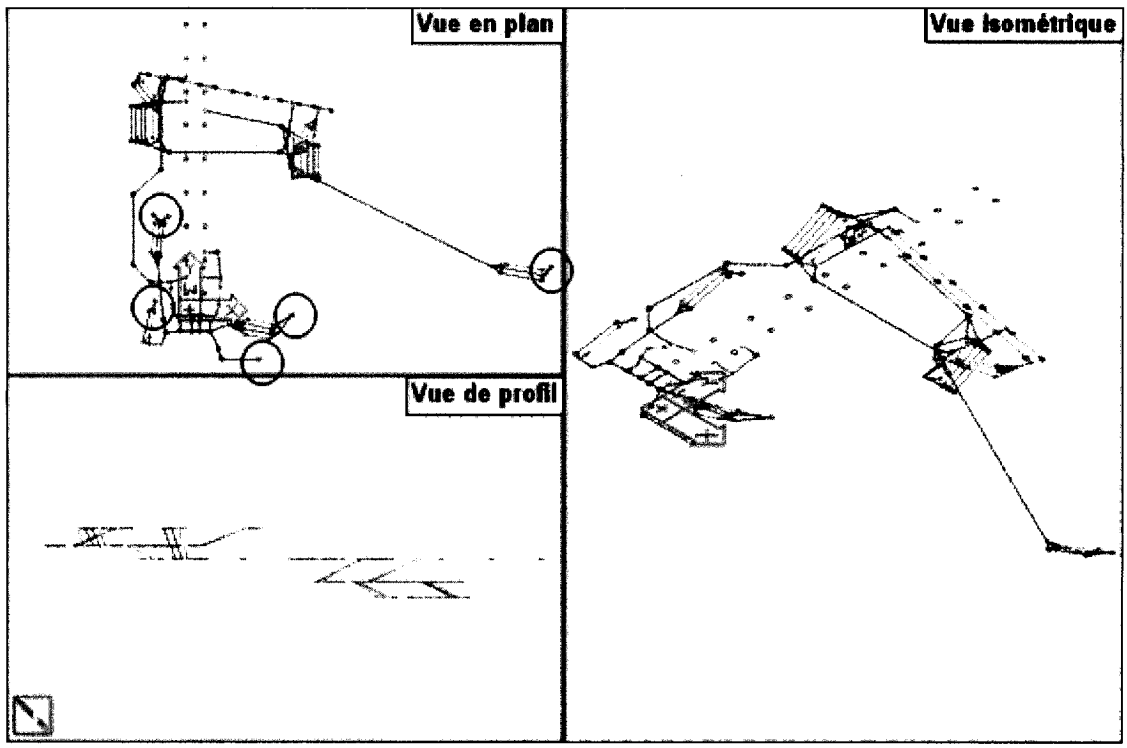

Figure 4.7: Réseau piétonnier de la station de métro Jean-Talon en 3D

Les escaliers fixes sont en rose, les escaliers mécaniques en turquoise et les liens corridor en vert. La vue de profil illustre la composante verticale du réseau (5 niveaux), et la vue en plan le nombre d'entrées et de sorties (5).

4.4 Impédance de chaque chemin

Pour estimer l'impédance de chaque chemin, divers attributs tels que le sens, la vitesse, la distance et le coût énergétique doivent être associés à chaque lien. Donc, la représentation d'un réseau nécessite le stockage de deux types d'informations dans une base de données :

1. La géométrie du réseau, i.e. les nœuds et liens du réseau.
2. Les données associées aux nœuds et liens du réseau.

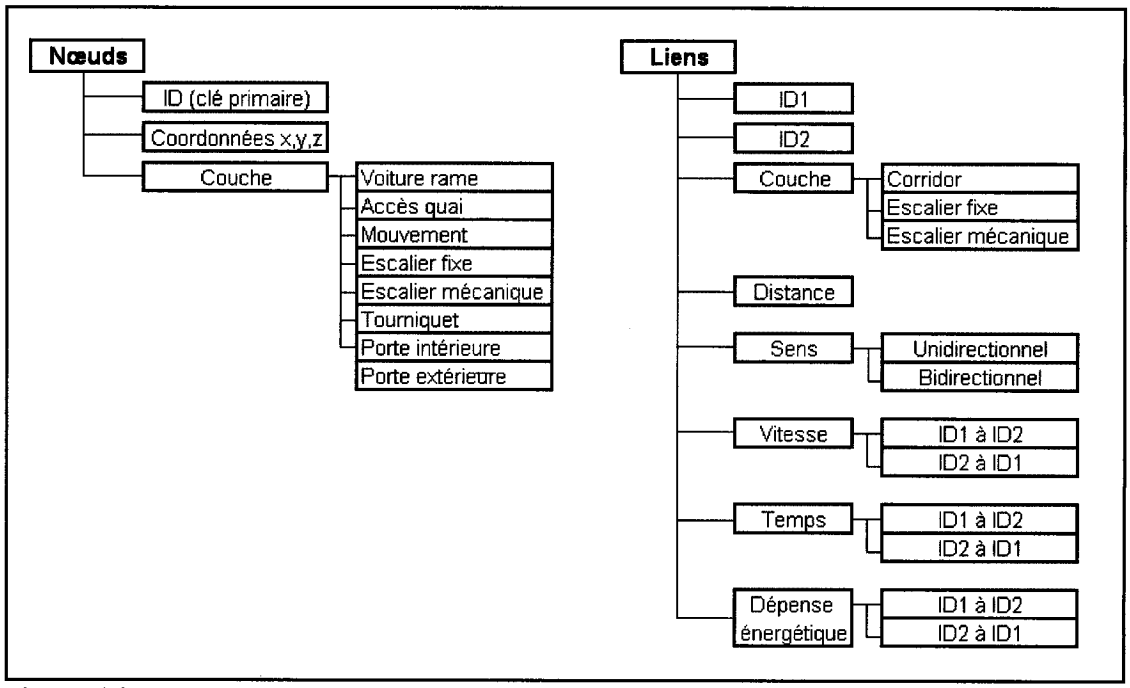

Figure 4.8: Base de données du réseau filamentaire (inspirée de Piché, 2005)

La base de données des noeuds contient les coordonnées (x, y, z) de chaque objet, la couche qui lui est associée ainsi qu'un numéro d'identification unique.

Quant à la base de données des liens, elle contient le numéro d'identification du noeud initial suivi du numéro d'identificateur du noeud final. En outre, les liens ont les attributs suivants : une longueur, direction (unidirectionnel ou bidirectionnel), temps de parcours dans chaque direction, dépense énergétique dans chaque direction et une couche associée.

L'impédance s'exprime sous la forme d'une distance, d'un coût ou d'un temps généralisé faisant intervenir un certain nombre de facteurs tels que le temps d'attente, le temps de transport, etc. Donc, différents critères peuvent être utilisés pour le calcul de

chemin, soit le chemin à temps minimum, à distance minimale, à coût énergétique minimal, etc.

Pour trouver le plus court chemin, l'impédance correspond à la distance des liens. Pour calculer les temps de parcours de chaque chemin, la vitesse de marche sur les liens doit être connue. Ces vitesses de marche sont exposées dans le chapitre suivant.

Pour estimer le temps de parcours d'un piéton sur un lien, la courbe du BPR (Bureau of Public Roads) peut être utilisée. Cette équation a la forme suivante (Piché, 2005) :

$$t(v) = t_0 + B \times (v/C)^n$$

Où t_0 = temps de parcours à écoulement libre sur le lien (s); B et n = Constantes à déterminer lors de la calibration du modèle; v = débit ou densité (piétons/m/h, piétons/m^2); C = Capacité du lien (piétons/m/h, piétons/m^2).

Donc, le coût pour emprunter un segment varie en fonction du flot de piétons et le temps de parcours de certains liens sera plus long, à certaines heures de la journée, notamment aux heures de pointe.

4.5 Génération de l'ensemble des chemins pour chaque paire O-D du réseau

L'objectif de cette étape consiste à énumérer toutes les alternatives qui s'offrent à l'usager pour se déplacer d'une origine à une destination donnée.

Des algorithmes de calcul de chemins ou des heuristiques peuvent être utilisés pour générer l'ensemble des chemins entre deux points sur un réseau.

L'algorithme de Dijkstra, inventé en 1959 par l'informaticien néerlandais Edsger Dijkstra, permet de calculer les plus courts chemins d'une origine à tous les autres nœuds pour un graphe G {N,L} orienté, connexe et dont les poids liés aux arcs sont positifs (≥ 0). L'ensemble N est l'ensemble des sommets du graphe. L'ensemble L est l'ensemble des liens de G. Si (n1,n2) est dans N, cela veut dire qu'il existe un chemin entre le nœud n1 et le noeud n2. Le résultat obtenu est une arborescence.

En modifiant le critère d'optimisation (minimisation du temps de parcours, de la distance de marche ou de la dépense énergétique), l'algorithme de Dijkstra permet de générer l'ensemble des chemins pour chaque paire O-D à l'intérieur d'une station.

Les critères qui rentrent dans le processus de choix de chemin pour les piétons sont les suivants (Tseng-Chyan et Lai, 2004) :

- Le chemin le moins long (minimisation de la distance de marche)
- Le chemin le plus rapide (minimisation du temps de parcours)
- Le chemin le plus simple (minimisation des changements de direction et d'élévation)
- Le chemin le moins exigeant (effort physique minimisé)
- Le chemin le plus attrayant (présence de lieux d'intérêt)

En bref, l'objectif consiste à utiliser différents critères de calcul qui permettront de générer l'ensemble des chemins existants qui reproduit le plus fidèlement possible les chemins choisis par les piétons entre deux points sur le réseau (Bovy, 1990).

Pour le calcul du chemin le moins exigeant, i.e. le chemin qui demande le moins d'effort physique, il faut désagréger le temps d'accès et de correspondance puisque le coût en terme d'énergie varie selon la direction parcourue (montée ou descente).

Donc, le coût de la marche peut être écrit de la forme suivante :

$$CG_T_{marche} = a * T_{marche_terrain_plat} + b * T_{montée_escaliers} + c * T_{descente_escaliers} + d * T_{marche_surface_inclinée_ascendante} + e * T_{marche_surface_inclinée_descendante}$$

Où les t_x sont les temps de parcours sur différents liens. Le coût énergétique varie également selon le sens du déplacement : par exemple la montée et la descente des escaliers ont un coût différent. C'est pourquoi ces deux temps ont été séparés.

4.6 Optimisation du temps de déplacement

Le temps de déplacement est le facteur prépondérant dans le choix d'itinéraire. Le temps nécessaire à effectuer un déplacement sur le réseau du métro s'écrit sous la forme suivante :

$$Temps_de_déplacement = Temps_d'accès + Temps_d'attente + Temps_en_véhicule + Temps_de_correspondance$$

Où le temps d'accès représente le temps de marche nécessaire pour se déplacer de l'édicule jusqu'au niveau du quai et vice versa ; Temps d'attente est le temps passé sur le quai durant l'attente de la rame ; Temps de voyage le temps passé dans la rame de métro et temps de correspondance le temps nécessaire pour transférer d'une ligne à une autre. Il est intéressant de savoir que l'usager peut optimiser son déplacement en utilisant de façon rationnelle son temps d'attente. En effet, le voyageur peut réduire son temps de déplacement en optimisant son positionnement sur le quai durant l'attente de la rame. Ainsi, il descend en face des escaliers qui mènent à la sortie la plus proche de sa destination.

Pour trouver la voiture optimale, un retour dans la séquence du déplacement s'impose. Ceci est décrit dans la démarche méthodologique qui suit:

1. Quelle est la destination de l'usager?
2. Quelle est la sortie la plus proche de cette destination?
3. Quel est l'accès le plus près de cette sortie?
4. Quelle est la voiture optimale de la rame?

Connaissant la destination finale de l'usager, l'édicule le plus proche de la destination et le plus court chemin entre cet édicule et les accès sur le quai peuvent être déterminés à l'aide d'un algorithme de calcul de chemins. Pour un déplacement nécessitant au moins une correspondance, il y aura alors plus qu'une voiture optimale.

Si l'usager n'a pas assez de temps pour se positionner au meilleur endroit sur le quai lorsque la rame arrive à la station, il va au moins savoir quel est le meilleur accès qu'il doit prendre afin d'effectuer la correspondance ou pour atteindre la sortie la plus proche de sa destination.

Par exemple, un usager qui veut se rendre au 5205 Rue Saint-Denis à partir de la station de métro Place-d'Armes devra se placer dans la première voiture de la rame en direction d'Henri-Bourassa et débarquer à la station Laurier pour déboucher en face des escaliers menant vers la sortie la plus proche de sa destination (Sortie Laurier). Cette voiture est encerclée en orange sur la figure 4.9.

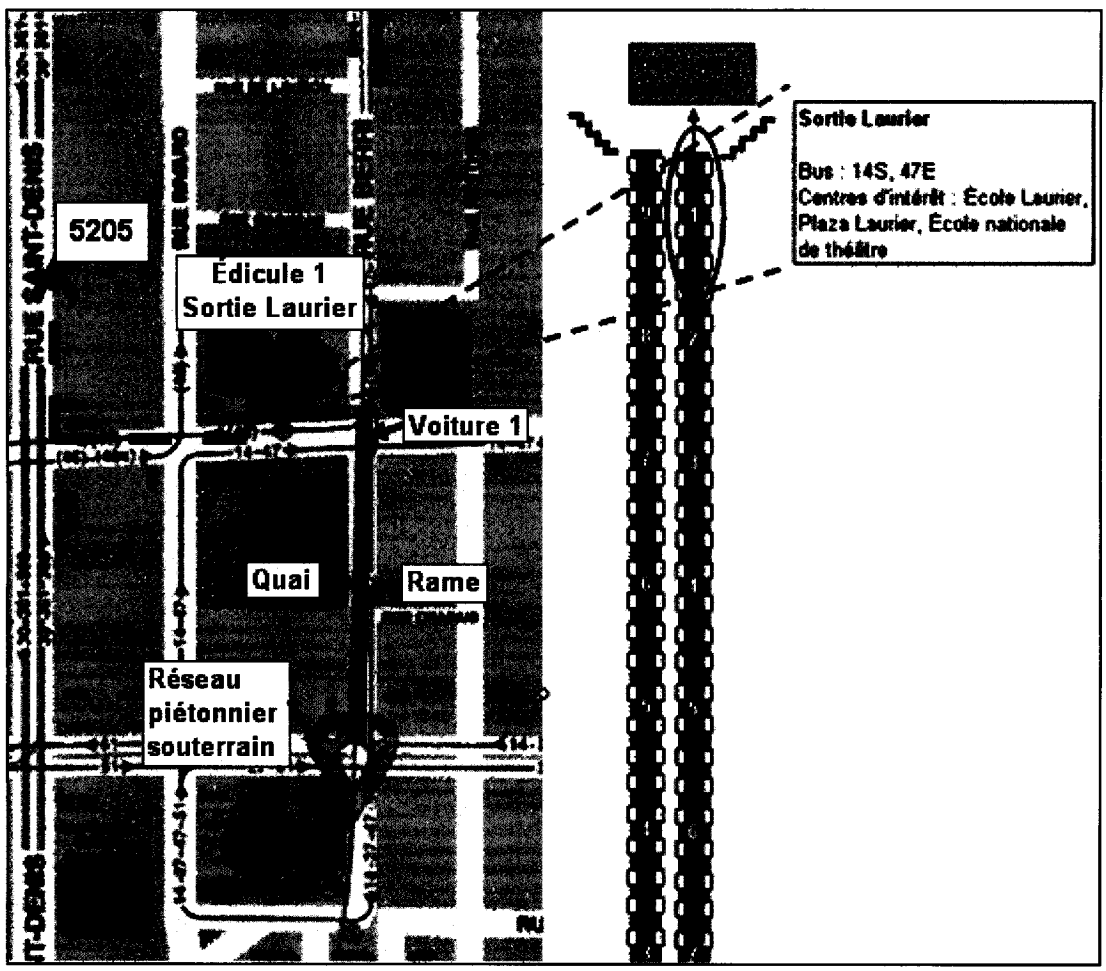

Figure 4.9: Voiture de la rame qui minimise la distance de marche jusqu'à la destination (18)

Chapitre 5: Caractéristiques et comportement des usagers

Ce chapitre vise à décrire les caractéristiques des usagers du métro et leur comportement à l'intérieur des stations. Des observations sur le terrain ont permis d'évaluer les vitesses des usagers sur différents liens, leurs préférences et les trajectoires qu'ils empruntent.

5.1 Profil socio-démographique des usagers

La classification des usagers employée par la STM a été exposée dans le chapitre 3. Le tableau ci-dessous caractérise le profil socio-démographique des utilisateurs du métro. Il est basé sur les résultats trouvés à partir de l'enquête Origine-Destination de 1998.

Tableau 5.1: Profil de la clientèle du métro ([33])

		Heures de pointe	Hors pointe
Résidents de Montréal		78%	85%
Age	Moins de 18 ans	10%	7%
	18-24	25%	31%
	25-64	63%	53%
	Plus de 65 ans	2%	9%
Motif	Travail	56%	34%
	Études	29%	22%
	Loisir, magasinage, autre	15%	44%
Passagers provenant de ménages sans auto		34%	46%

Les étudiants et les adultes sont les gens qui utilisent le plus le métro. Les principaux motifs de déplacement aux heures de pointe le matin sont le travail (56%) et les études (29%). En période hors-pointe, la majorité des gens se déplacent pour le motif loisirs,

[33] http://www.stcum.qc.ca/en-bref/fiches/stm-a.pdf

magasinage, autre (44%) suivi du motif travail à 34%. Les femmes représentent environ 55% de cette clientèle ([34]).

5.2 Caractéristiques des usagers

Cette section décrit les données anthropométriques des hommes et femmes et l'espace requis par le piéton pour son confort.

5.2.1 L'espace physique requis par passager

En général, les hommes sont plus corpulents que les femmes. Le tableau ci-dessous démontre ceci.

Tableau 5.2: Données anthropométriques (95e percentile) des hommes et femmes (Fruin et al. 1985)

Genre	A Largeur des épaules (mm)	B Épaisseur du corps (mm)	C Longueur des pieds (mm)
Homme	510	280	290
Femme	430	230	260

Ces valeurs ne tiennent pas compte de l'épaisseur des vêtements. Le 95e percentile veut dire que 95% des hommes ont une largeur des épaules inférieure à 51 cm. En prenant en considération l'épaisseur des vêtements, la surface occupée par un piéton est représentée par une ellipse avec un grand axe de 61 cm et un petit axe de 46 cm (voir figure 5.1).

Un point important à considérer est le fait que l'ellipse corporelle peut devenir plus grande : à cause de l'épaisseur des manteaux durant l'hiver et des objets transportés par

[34] http://www.erudit.org/revue/crimino/2001/v34/n1/004759ar.pdf

les usagers comme un sac à dos. Donc, la capacité d'une rame est plus élevée durant l'été qu'en hiver.

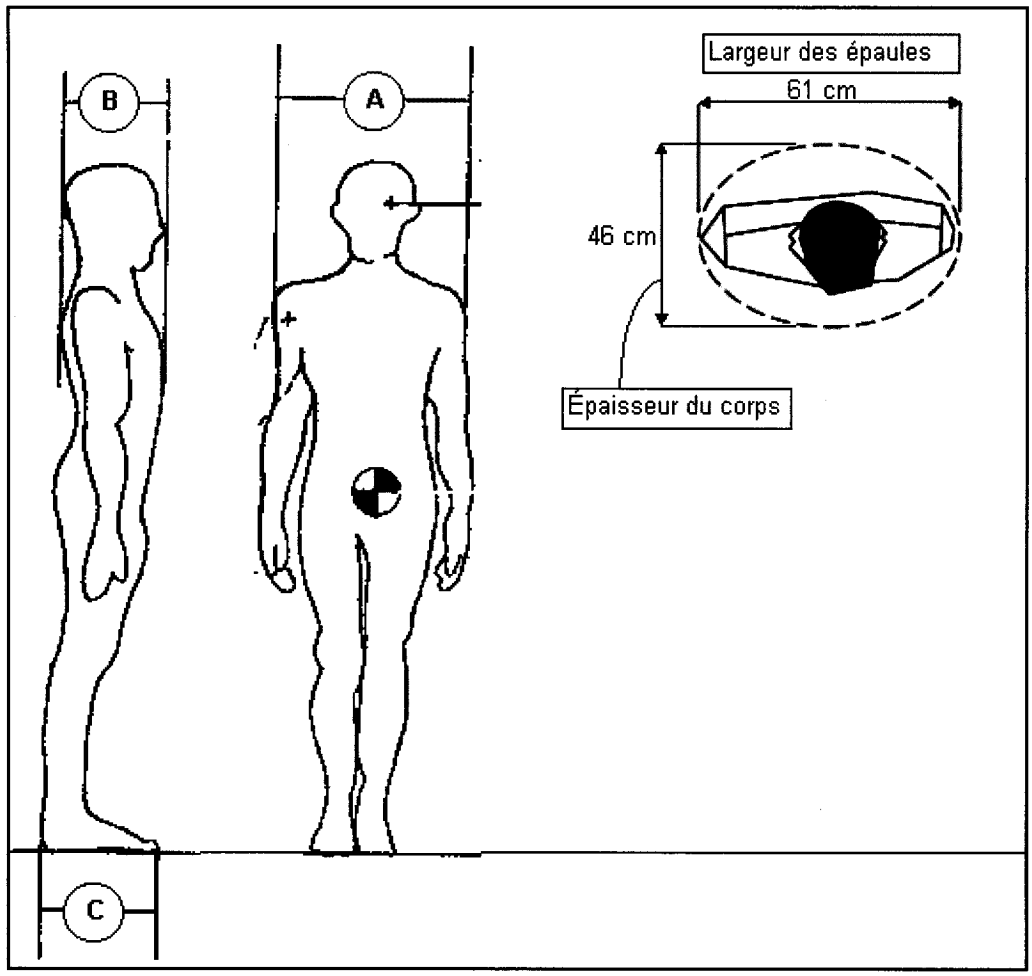

Figure 5.1: Données anthropométriques de l'homme debout et ellipse corporelle (Fruin et al. 1985, [35])

5.2.2 Physiologie et psychologie du confort

En Amérique du Nord, les gens tiennent à leur « bulle », communément appelée « buffer zone », et respectent l'espace personnel requis pour le confort. La figure 5.2

[35] http://www.elevator-world.com/magazine/archive01/9612-003.htm

illustre différentes zones de circulation autour d'un piéton. La définition, le diamètre et la superficie de ces zones sont affichés dans le tableau 5.3.

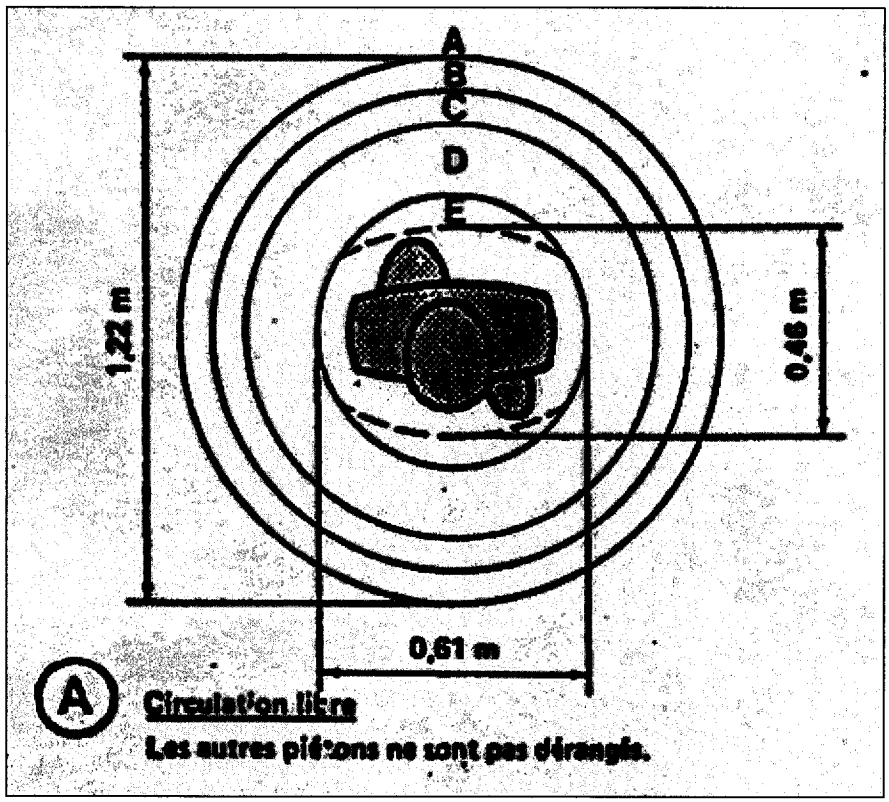

Figure 5.2: Zones de circulation autour d'un piéton (tirée de Chapleau, 1994b)

Tableau 5.3: Territoire occupé par le piéton en fonction des conditions de circulation (Chapleau, 1994b)

Zone	Définition	Diamètre (m)	Territoire occupé (m^2)
A	Circulation libre	< 1,22	< 1,17 m^2
B	Zone de circulation limitée	1,07 – 1,22	0,9 à 1,17 m^2
C	Zone de confort personnel	0,92 – 1,07	0,66 à 0,9 m^2
D	Circulation sans contact	0,60 – 0,92	0,28 à 0,66 m^2
E	Circulation avec contact	≤ 0,61	≤ 0,29 m^2
F	Ellipse corporelle	0,61 x 0,46	0,22 m^2

La zone de confort personnel (zone C) est représentée par un cercle avec un diamètre qui varie de 0,92 à 1,07 m. En allant de la zone A à F, la surface occupée par un piéton diminue puisque la densité augmente. Ceci a pour effet de rendre le déplacement moins confortable (contact physique avec d'autres voyageurs, etc.).

5.3 Comportement sur un terrain plat

Les variables microscopiques qui décrivent le comportement des piétons sont les trajectoires et les écarts. La trajectoire est une représentation du chemin emprunté dans le temps. L'écart est le temps entre le passage de deux piétons à un endroit donné.

5.3.1 Trajectoires empruntées

Selon Daamen (2004), les facteurs influençant le choix de chemin d'un piéton peuvent être regroupés en quatre catégories, qui sont les suivantes :

1. *Les caractéristiques du réseau* (nombre de chemins disponibles, type d'infrastructures)
2. *Les caractéristiques des chemins* (distance, temps, sécurité, attrait, congestion, qualité de la surface, protection contre les intempéries et la pollution)
3. *Les caractéristiques des usagers* (style de décision, genre, âge)
4. *Les caractéristiques des déplacements* (motif)

En général, le temps de parcours est le facteur primordial dans le processus de choix de chemin fait par un piéton. Cependant, conformément à ce qui précède, d'autres facteurs doivent être pris en compte. Les piétons choisissent le chemin à distance minimale, et ce de façon naturelle, lorsqu'ils sont familiers des lieux. Ce chemin est important pour les personnes à mobilité réduite, car elles attribuent une pénalité plus élevée à la marche.

La trajectoire empruntée dépend aussi des conditions de circulation à l'intérieur de la station. En écoulement libre, le piéton a la liberté de se déplacer comme il le veut, mais lorsque le nombre d'usagers augmente, il n'a pas le même espace pour bouger. Le niveau de service sur un lien peut affecter le choix fait par le piéton dans son cheminement. Par exemple, un piéton qui trouve le délai trop long à l'approche de l'escalier mécanique peut décider de marcher jusqu'à l'escalier fixe pour économiser du temps.

5.3.2 Écarts entre les piétons et distance latérale par rapport aux obstacles

Les écarts observés entre les piétons varient en fonction de la densité. Selon Fruin (1971), en conditions d'écoulement libre, le piéton garde un espace libre de 150 cm devant lui et de 105 cm sur ses côtés. Lorsque la densité augmente, le diamètre est de l'ordre de 120 cm ou moins (voir Tableau 5.3). Donc, le piéton accepte une plus grande réduction de la distance longitudinale que latérale. La vitesse de marche baisse lorsque le nombre d'usagers croît. Selon les résultats de l'étude de Hoogendoorn et Daamen (2005), les piétons gardent un écart de 1,3 s entre eux dans un goulot d'étranglement.

Les piétons gardent une distance latérale minimale entre eux-mêmes et les obstacles (murs, piétons, etc.) dans l'environnement où ils se trouvent. Le tableau 5.4 résume ces distances pour différents critères.

Tableau 5.4: Distance latérale minimale que les piétons se tiennent à l'écart de différents obstacles (Daamen, 2004)

Critère	Distance (cm)
Murs en béton	30-45 45 15 40 25
Murs en métal	20
Obstacles	40 10
Piétons marchant à contresens	60
Piétons	27,5
Bord du quai	80

Selon ces résultats, les piétons gardent une distance latérale minimale de 27,5 cm entre eux. Cette distance est environ deux fois plus grande lorsque les piétons marchent à contresens, soit 60 cm. La figure 5.3 illustre la séparation des mouvements conflictuels : les usagers circulant à droite dans le corridor comme les véhicules sur le réseau routier. Cette figure permet de visualiser les distances latérales minimales qui ont été citées dans le tableau ci-dessus.

Figure 5.3: Séparation des mouvements conflictuels : corridor menant au quai de la ligne orange destination Henri-Bourassa de la station Jean-Talon ([36])

5.3.3 Vitesse de marche

Les facteurs qui influencent la vitesse de marche des piétons (Daamen, 2004) sont les suivants:

- Les caractéristiques des piétons: âge, genre, condition physique
- Les caractéristiques du déplacement: le motif du déplacement, familiarité du chemin, distance du déplacement, charge
- Les caractéristiques du chemin: largeur, pente, surface, abris, attrait, densité de piétons, niveau de service sur un lien
- Les caractéristiques environnementales: les conditions météorologiques.

« La majorité des piétons marchent à une vitesse située entre 0.8 m/s et 1.8 m/s. Les personnes âgées et ceux avec des restrictions de mobilité marchent plus lentement, à une vitesse de l'ordre de 0.9 m/s à 1.0 m/s. » (Traduction libre, Land Transport New

[36] http://www.flickr.com/photos/onirique/46992635/in/pool-24675567@N00/, utilisée avec permission

Zealand, 2004). Selon les résultats issus de plusieurs études dans le monde (Daamen, 2004), la vitesse moyenne de marche est de 1,34 m/s. La vitesse moyenne des Canadiens est légèrement supérieure, soit 1,4 m/s (Morrall, 1991).

Pour ce projet, supposons que les piétons ont les trois vitesses de marches suivantes sur un terrain plat:

1. Vitesse lente de 1,0 m/s pour les personnes à mobilité réduite.
2. Vitesse moyenne de 1,33 m/s pour les piétons qui marchent d'un pas normal.
3. Vitesse rapide de 1,67 m/s pour les usagers pressés.

Ces vitesses sont pour des conditions d'écoulement libre. Les piétons ne peuvent pas toujours choisir la vitesse de marche qu'ils veulent puisqu'elle diminue lorsque la densité (nombre de personnes par m^2) augmente.

5.4 Comportement sur les escaliers

L'analyse du comportement des usagers sur les escaliers est fort intéressant dû à la variabilité des comportements observés. S'il est actif, l'usager est considéré comme un piéton, sinon il est un passager. L'usager peut décider de devenir passager à tout moment en s'immobilisant sur l'escalier mécanique. Pourquoi certains usagers du métro s'immobilisent sur les escaliers mécaniques au lieu d'être actifs pour réduire leur temps de parcours? Cette section tente de répondre à cette question.

5.4.1 Choix entre l'escalier fixe et mécanique

L'escalier mécanique est une infrastructure supérieure à l'escalier fixe puisqu'elle roule à une certaine vitesse. Donc, l'usager n'a pas besoin de dépenser de l'énergie pour se déplacer à moins qu'il veuille réduire son temps de déplacement.

D'après l'étude de Cheung et al. (1998), les piétons considèrent le temps de parcours, la distance, et l'effort physique nécessaire au franchissement des escaliers dans le choix de chemin sur le plan vertical. Presque tous les piétons (99%) choisissent l'escalier mécanique au lieu de l'escalier fixe lorsque le temps de parcours est équivalent sur les deux infrastructures. Ce n'est qu'en période de congestion, à partir d'un délai de 17,4 s, i.e. que le temps de parcours de l'escalier mécanique est 17,4 s plus long, qu'un plus grand nombre de piétons décident d'emprunter l'escalier fixe (15%) au détriment de l'escalier mécanique (85%). Pour la descente, la majorité des voyageurs choisissent l'escalier mécanique lorsque le temps de parcours est le même, mais pour le même délai (17,4 s), environ la moitié des piétons empruntent l'escalier fixe.

Une étude sur le choix de l'infrastructure pour passer du niveau quai de la ligne bleue direction Saint-Michel au quai de la ligne bleue direction Snowdon et vice-versa a été réalisée le 7 novembre 2005, en fin de soirée, à la station Jean-Talon. Le schéma ci-dessous illustre les escaliers au premier accès (tête du train) du niveau le plus bas de la station. L'escalier fixe est à gauche. L'escalier mécanique au milieu (escalier avec une flèche à chaque extrémité) était hors service, mais en temps normal il descend. L'escalier mécanique à droite est ascendant.

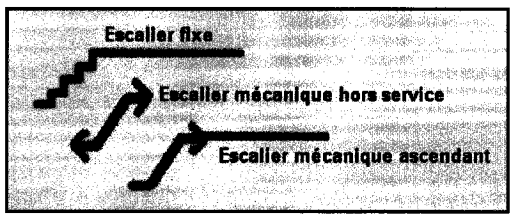

Figure 5.4: Choix d'escaliers entre les deux niveaux de la ligne bleue (1ère étude)

Pendant l'expérimentation, 149 voyageurs ont franchi ces niveaux en montant et 79 en descendant. Cette étude a permis de faire les constations suivantes: pour la montée, 96% des usagers ont pris l'escalier mécanique, 3% l'escalier fixe (certains en courant) et 1% l'escalier mécanique hors service.

Pour la descente, environ la moitié des usagers ont choisi l'escalier fixe (48%) et l'autre moitié l'escalier mécanique hors service (52%). Certains usagers remarquent que l'escalier mécanique est non fonctionnel à la toute dernière minute, rebroussent chemin et choisissent l'escalier fixe.

Une étude similaire a été réalisée le 4 décembre 2005, en fin de soirée, au même endroit puisque l'usager était confronté à un choix différent. L'escalier mécanique au milieu était ascendant (en temps normal il descend) puisque le premier escalier mécanique, celui à l'extrême droite, était hors service ce soir là.

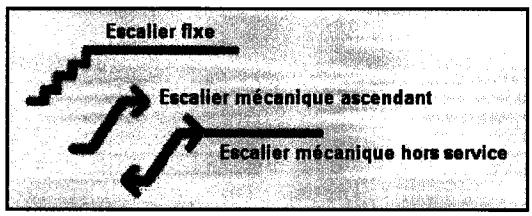

Figure 5.5: Choix d'escaliers entre les deux niveaux de la ligne bleue (2ème étude)

L'échantillon est composé de 166 voyageurs qui ont franchi ces niveaux en montant et 184 en descendant durant cette période. En résumé, cette étude a permis de faire les observations suivantes : presque tous les usagers (97%) ont choisi l'escalier mécanique pour la montée. Le reste des usagers (3%) ont emprunté l'escalier fixe et personne n'a choisi l'escalier mécanique hors service.

L'escalier mécanique qui descend normalement fonctionnait à sens inverse. Les usagers remarquent ceci et doivent alors choisir entre l'escalier fixe à leur droite ou l'escalier mécanique non fonctionnel à leur gauche. Presque 3 usagers sur 4 (74%) ont choisi l'escalier fixe au lieu de l'escalier mécanique en panne pour la descente. Il n'y a pratiquement pas de différence entre le choix fait par les hommes et les femmes puisque 75% des hommes et 73% des femmes ont décidé de prendre l'escalier physique.

Le fait de changer le sens de fonctionnement de l'escalier mécanique central n'a pas eu une influence sur le choix fait par les usagers se rendant au niveau supérieur, puisque pratiquement tous les usagers choisissent l'escalier mécanique au lieu de l'escalier fixe en fin de soirée. En revanche, un plus grand nombre de voyageurs descendant vers le quai de la ligne bleue, direction Saint-Michel, décidèrent d'emprunter l'escalier fixe au détriment de l'escalier mécanique hors-service. En effet, le pourcentage d'individus qui ont choisi l'escalier mécanique en panne est passé de 52% à 26%, soit une réduction de 50%. Ceci est intéressant puisque, comme il sera expliqué plus loin, il est plus facile de descendre des escaliers fixes que mécaniques. Le nouvel équilibre qui se crée pour la descente, en passant de la première configuration à la deuxième, est résumé dans la figure ci-dessous.

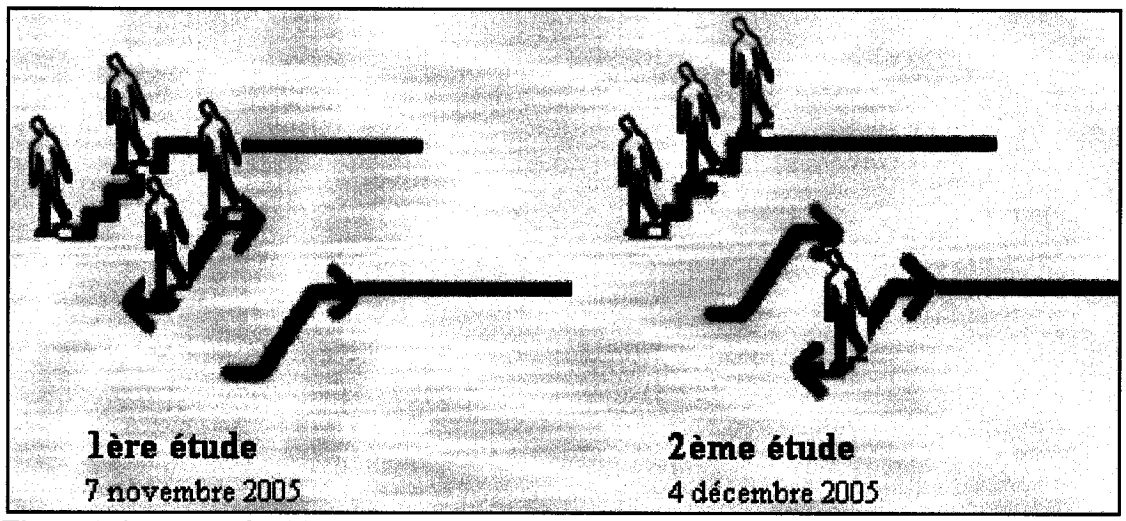

Figure 5.6: Nouvel équilibre qui se crée, pour la descente, lorsque l'escalier mécanique en panne est à gauche au lieu d'être au milieu (Piéton : Fruin, 1971)

En bref, la montée des escaliers étant une activité plus exigeante en terme d'effort physique, une plus grande proportion de gens choisissent l'escalier mécanique pour l'accomplir. La position des escaliers a aussi une influence sur le choix fait par le piéton : un escalier fixe qui minimise la trajectoire du piéton augmente la probabilité que le voyageur choisisse cette infrastructure. D'autres études devraient être envisagées pour observer le choix fait par les usagers à différents moments de la journée.

5.4.2 Comportement à l'approche des escaliers

En général, les piétons décelèrent à l'approche des escaliers mécaniques pour s'ajuster à la vitesse de marche de l'escalier et pour choisir une marche horizontale de façon sécuritaire. Il y a création de files à l'approche des escaliers et la file sur le côté droit est généralement plus longue puisque la majorité des usagers restent immobiles sur les escaliers et voyagent à la vitesse de fonctionnement de l'escalier mécanique. Les usagers évaluent aussi les conditions de circulation sur l'escalier avant de choisir de prendre l'escalier mécanique ou fixe.

5.4.3 Comportement sur l'escalier mécanique

L'usager peut se contenter de voyager à la vitesse de l'escalier mécanique, ou être actif pour économiser du temps et/ou faire de l'exercice. Toutefois, le comportement d'un piéton varie s'il voyage seul ou en groupe. Si la personne avec qui l'usager voyage préfère ne pas marcher sur les escaliers, alors l'usager adoptera probablement ce même comportement.

Marcher sur les escaliers mécaniques est déconseillé par la STM pour des raisons de sécurité. Cependant, ce ne sont pas tous les usagers qui respectent cette consigne. La STM a placé un pictogramme à côté de l'escalier mécanique afin de sensibiliser les gens sur le bon comportement à adopter pour sa propre sécurité et celle des autres lors de son utilisation. En bref, le pictogramme informe l'usager qu'il faut tenir la main courante, surveiller les enfants et se tenir éloigné des côtés. De plus, l'escalier est réservé aux personnes. Donc, pas de poussettes ni d'objets encombrants.

Plusieurs causes peuvent expliquer pourquoi certains usagers restent immobiles sur les escaliers mécaniques : l'effort physique de monter/descendre l'escalier, le fait que l'usager doit être concentré puisqu'il marche sur une infrastructure qui fonctionne à une

certaine vitesse, etc. Selon la théorie de l'utilité, si le temps économisé est supérieur à l'énergie économisée, le piéton se déplace ou décide de ne pas se déplacer. Par exemple, un usager qui est pressé et qui veut s'assurer de ne pas arriver en retard au travail sera probablement plus enclin à être actif sur les escaliers mécaniques que passif.

Dans des conditions de faible densité, l'usager peut monter/descendre l'escalier s'il le désire, mais lorsqu'il y a plusieurs usagers, on observe la formation de deux files sur les escaliers quand il y a deux personnes qui s'immobilisent sur une même marche.

Les escaliers mécaniques ont une hauteur de marche de 20 cm comparativement à 16 cm pour les escaliers fixes. Ceci peut expliquer pourquoi la plupart des individus choisissent l'escalier fixe lorsque l'escalier mécanique est en panne, car, comme le souligne le paragraphe suivant, l'énergie nécessaire pour monter/descendre des escaliers augmente avec la hauteur de la marche.

« Riser heights affect the amount of energy and degree of hip and knee joint motion required for stair ascent and descent. Excessive joint rotation caused by high step risers is a problem for the elderly and disabled, but also causes missteps for others. Fatigue from using stairs is a problem for those with heart and lung disabilities, or strength limitations. Studies of human energy expenditure, the probability of missteps, and stair accidents show that the preferred range of riser heights is between 5 and 7 in. (127-178 mm). » (Fruin et al. 1995)

Bref, les escaliers mécaniques ont été conçus pour transporter des voyageurs immobiles et non pour être utilisés comme des escaliers conventionnels ([37]).

[37] http://www.looksmartcities.com/p/articles/mi_m0NTQ/is_2005_June_13/ai_n13822378

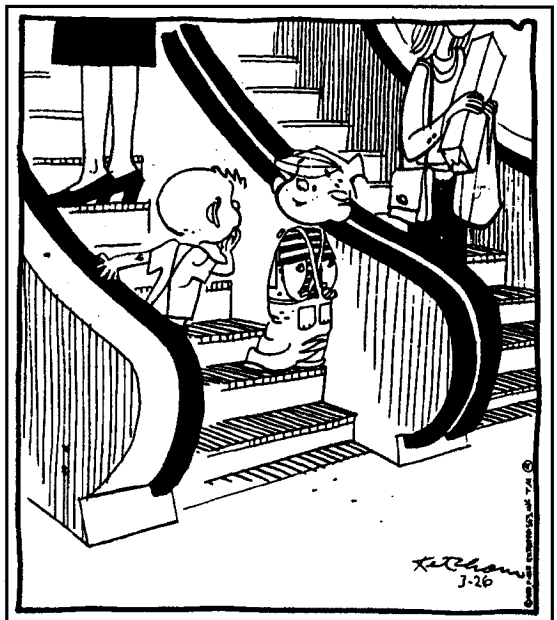

Figure 5.7: Illustration de passagers conformes sur les escaliers mécaniques (Baldon, 1989)

Les dimensions physiques des escaliers mécaniques du métro de Montréal sont décrites dans les figures 5.8 et 5.9. La largeur des escaliers mécaniques de Montréal est suffisante pour un homme et une femme de taille normale. Contrairement au métro de Londres où les voyageurs se tiennent à droite sur l'escalier mécanique pour laisser le libre passage; seuls quelques individus à Montréal respectent cette règle de conduite.

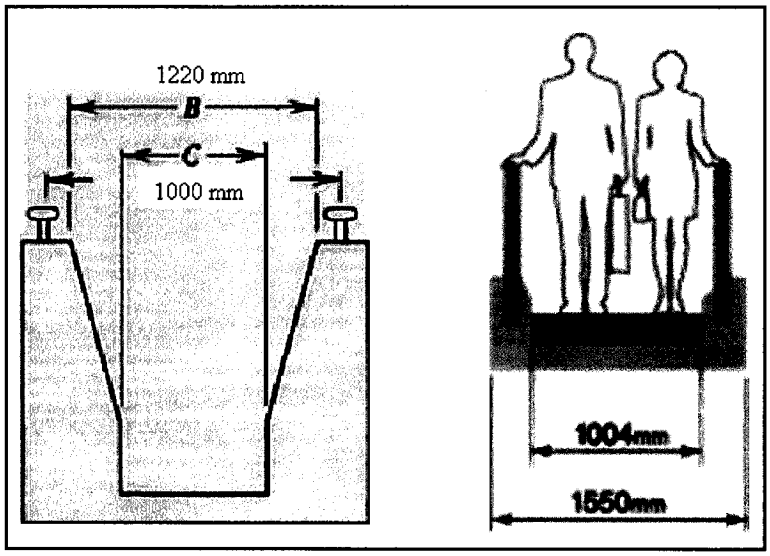

Figure 5.8: Coupe transversale des escaliers mécaniques du métro (Strakosch, 1983, [38])

Chaque marche a une largeur de 100 cm et une profondeur de 40 cm. Par mesure de sécurité, les piétons ne placent pas leurs pieds jusqu'au fond de la marche. Donc, la profondeur effective de la marche est de 34 cm. Ceci est illustré sur la figure 5.11.

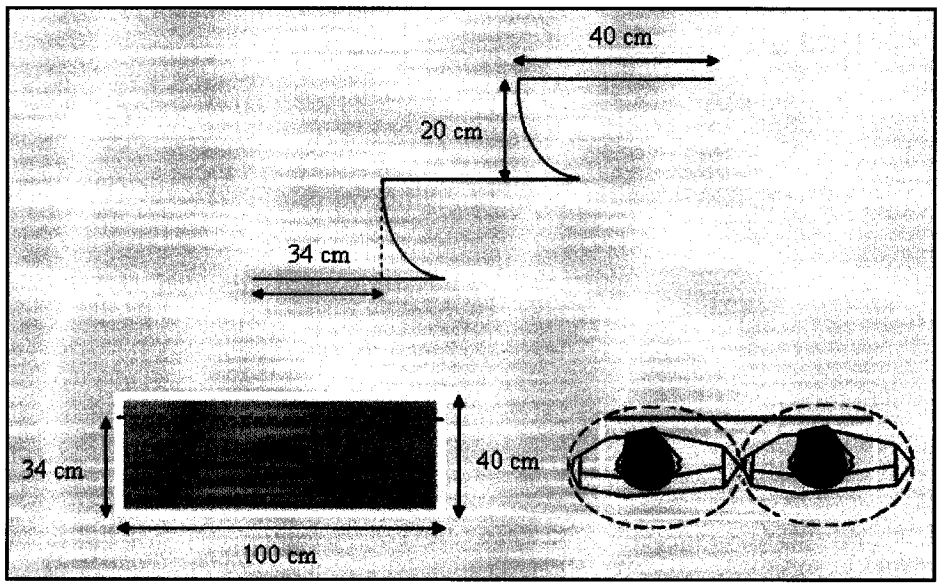

Figure 5.9: Dimensions des marches d'un escalier mécanique (Vue de profil et vue en plan, inspirée et image tirée de [39])

[38] http://www.hitachi.co.jp/Prod/elv/en/products/escalator/mx/c_prod_es_mx_models.html
[39] http://www.elevator-world.com/magazine/archive01/9612-003.htm

Cette valeur est inférieure à la profondeur de l'ellipse corporelle (46 cm). Ceci peut expliquer pourquoi la majorité des usagers laissent au moins une marche vide entre eux et le passager en avant d'eux (Fruin, 1971). En outre, la largeur de l'ellipse corporelle est de 61 cm. Comme le démontre les figures 5.8 et 5.9, les escaliers mécaniques du métro de Montréal ne sont pas suffisamment larges pour deux hommes. Donc, la largeur de l'escalier mécanique ne permet pas un dépassement sans frottement et est inconfortable pour l'usager actif quand il veut dépasser un usager passif. Ceci peut expliquer pourquoi certains piétons préfèrent rester immobiles sur l'escalier mécanique au lieu d'être actifs.

5.4.4 Vitesse de montée/descente sur les escaliers

Selon Fruin (1971), la vitesse de marche sur un escalier dépend du genre de l'individu, son âge, la hauteur de la marche et selon la direction, i.e. s'il monte ou descend l'escalier.

La technique du « person following », qui consiste à suivre un usager dans son déplacement, a été utilisée pour estimer les vitesses des usagers sur les escaliers. Les temps de parcours des piétons sur les escaliers ont été chronométrés à la station Berri-UQAM durant la période hors pointe (après 19h00) pour obtenir les vitesses suivantes.

Tableau 5.5: Vitesse des usagers sur les escaliers dans les deux directions

Type d'escalier	Vitesse (m/s)
Escalier fixe (montée)	0,7
Escalier fixe (descente)	1,0
Escalier mécanique descendant (usager actif)	1,3
Escalier mécanique descendant (usager passif)	0,5
Escalier mécanique ascendant (usager actif)	1,2
Escalier mécanique ascendant (usager passif)	0,5

En quelques mots, la vitesse d'un usager sur les escaliers varie s'il est mobile ou non et selon la direction, i.e. s'il monte ou descend l'escalier. Il est intéressant de savoir que l'usager qui emprunte l'escalier fixe est plus rapide que l'usager passif sur l'escalier mécanique.

Notons que ces vitesses sont sur le plan incliné pour des conditions d'écoulement libre et que seulement trois temps ont été chronométrés pour avoir une idée de l'ordre de grandeur de la vitesse sur ces liens. D'autres études devraient être envisagées pour avoir une meilleure précision de la vitesse des usagers et pour s'assurer que tous les escaliers mécaniques du réseau roulent à une vitesse de 0,5 m/s.

5.5 Comportement sur le quai

Dans l'article de Flamm (2004), une figure d'une ancienne campagne publicitaire de la RATP illustre les divers comportements observés sur un quai durant l'attente de la rame de métro (voyageurs qui lisent, s'embrassent, s'accordent un moment de repos). Donc, l'usager peut utiliser le temps d'attente à des fins productives.

5.5.1 Position des usagers durant l'attente de la rame

Selon l'étude de Wiggenraad (2001) sur les temps d'arrêt des trains aux gares néerlandaises, il y a une concentration d'usagers autour des accès au quai, mais à l'arrivée du train, les usagers se distribuent plus uniformément sur le quai avant d'embarquer dans la rame.

Figure 5.10: Distribution des usagers sur le quai durant le temps d'attente ([40])

5.5.2 Position des usagers sur le quai à l'arrivée de la rame

Figure 5.11: Distribution des usagers sur le quai à l'arrivée de la rame ([41])

[40] http://www.flickr.com/photos/jaxphotography/15371397/in/pool-24675567@N00/, photo prise par Christine Jackowski, utilisée avec permission

À l'arrivée de la rame, les usagers s'approchent de la ligne pointillée en orange pour se préparer à embarquer. Le confort est un critère important pour certains usagers puisqu'ils observent le taux de remplissage des voitures, et marchent ou courent sur le quai pour rentrer dans une voiture avec des places assises, ou qui est tout simplement moins achalandée. Certains usagers préfèrent même attendre la prochaine rame lorsque le métro est trop bondé. Donc, le confort est un facteur qui explique pourquoi les usagers se distribuent sur le quai à l'arrivée de la rame.

5.5.3 Temps d'arrêt en station

Le temps d'arrêt de la rame aux stations (dwell time) correspond au temps que le train passe à la station avec ses portes ouvertes. Le temps d'arrêt est composé d'un temps fixe pour l'ouverture et la fermeture des portes et d'un temps d'utilisation pour la montée et la descente des voyageurs (Lam et al., 1999):

$$Temps_d'arrêt = Temps_fixe + Temps_d'utilisation$$

Donc, le temps d'arrêt est proportionnel au nombre de montants/descendants multiplié par le temps de service par passager. Il augmente en période de pointe à cause de l'achalandage accru et aussi dû au fait que certains individus entravent la libre circulation des voyageurs : lorsqu'ils sont en face des portes ou embarquent dans la rame avant de laisser tous les usagers débarquer. Lam et al. (1999) ont étudié la relation entre le temps d'arrêt en station et le nombre de personnes sur le quai pour deux stations du réseau LRT (Light Rail Transit) de Hong Kong. Pour la station la moins achalandée, ils ont trouvé que le temps de service par passager était le même pour la montée et la descente. Quant à l'autre station, le temps d'arrêt augmentait plus significativement en fonction du nombre de personnes voulant descendre de la rame.

[41] http://www.flickr.com/photos/amiko/38433835/in/pool-24675567@N00/, utilisée avec permission

Figure 5.12: Distribution des usagers sur le quai ([42])

Certains métros (Singapour, Hong Kong), ont une signalisation horizontale sur le quai qui indique aux usagers l'endroit où ils doivent se placer pour minimiser le temps d'arrêt de la rame en station. Cette solution a été implantée à New York et a permis de réduire le temps d'arrêt en station des trains de six secondes ([43]).

Un autre comportement ayant un impact non négligeable sur le temps d'arrêt est le fait que certains usagers retiennent les portes pour permettre à un ou plusieurs usagers d'embarquer dans la rame, ou pour décoincer leurs affaires. D'ailleurs, 55% des interruptions de service de 5 minutes et plus sont dues au comportement des voyageurs : méfaits, personnes blessés ou malades (STM, 2004b).

[42] http://www.flickr.com/photos/amiko/39035824/in/pool-24675567@N00/, utilisée avec permission
[43] http://www.trolleycar.org/observations/geissenheimer/geissenheimer010513.htm

5.6 Conclusion

Ce chapitre visait surtout à expliquer le comportement des voyageurs dans le métro et à évaluer la vitesse des usagers sur différents liens (terrain plat, escalier fixe et mécanique).

Le comportement des usagers dépend de plusieurs facteurs : la physiologie du piéton, son motif de déplacement, la valeur de son temps, etc. S'il est pressé, à la dernière minute ou en retard, il marchera probablement plus rapidement et sera actif sur les escaliers. Mais si le voyageur part en avance, il ressentira moins d'anxiété durant son déplacement et la probabilité qu'il soit actif sur les escaliers mécaniques sera plus faible.

Le fait que l'effort physique nécessaire à monter/descendre des escaliers mécaniques est plus important comparativement aux escaliers fixes à cause de la hauteur de la marche plus élevée, que les escaliers mécaniques du métro de Montréal ne sont pas suffisamment larges et que certains voyageurs respectent le code de sécurité de la STM sont, d'après moi, les causes principales qui permettent d'expliquer le comportement passif des usagers sur les escaliers mécaniques.

Chapitre 6 : Résultats et Analyse

Dans ce chapitre, les points suivants sont abordés :

- Analyse d'un itinéraire typique
- Analyse d'un échantillon de l'enquête Origine-Destination 2003
- Estimation du temps économisé aux voyageurs

6.1 Analyse d'un itinéraire typique

L'itinéraire analysé est celui illustré sur la figure ci-dessous, de la rive sud jusqu'à l'École Polytechnique de Montréal.

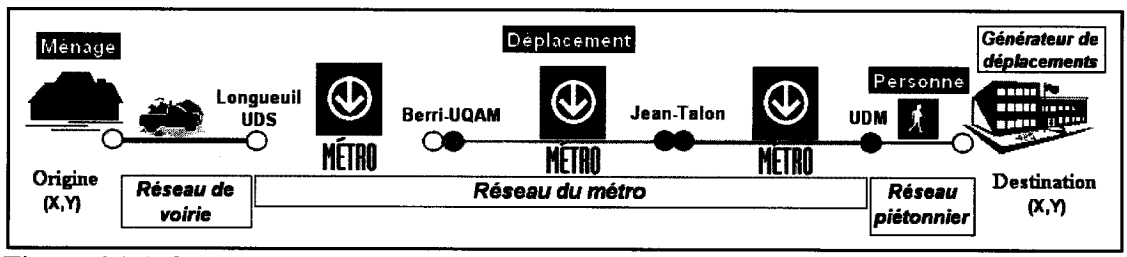

Figure 6.1: Déplacement totalement désagrégé de la rive-sud de Montréal jusqu'à UdeM

Les informations détaillées de cet itinéraire, pour la partie du déplacement effectué sur le réseau du métro, telles que la station d'origine, de destination, les stations de correspondance, le chemin choisi, les lignes de métro empruntées, le temps de voyage sur chaque ligne et l'heure de départ et d'arrivée du voyageur à chaque station sont illustrées sur la figure 6.2. Ces informations proviennent de l'itinéraire optimal suggéré par Tous Azimuts. L'usager accède à la station de métro Longueuil-Université de Sherbrooke à 8h30. La rame de métro quitte la station à 8h32 et le voyageur débarque à

Berri-UQAM à 8h36. Il emprunte deux autres lignes de métro, en passant par Jean-Talon, jusqu'à la station Université-de-Montréal, où il arrive à 9h03.

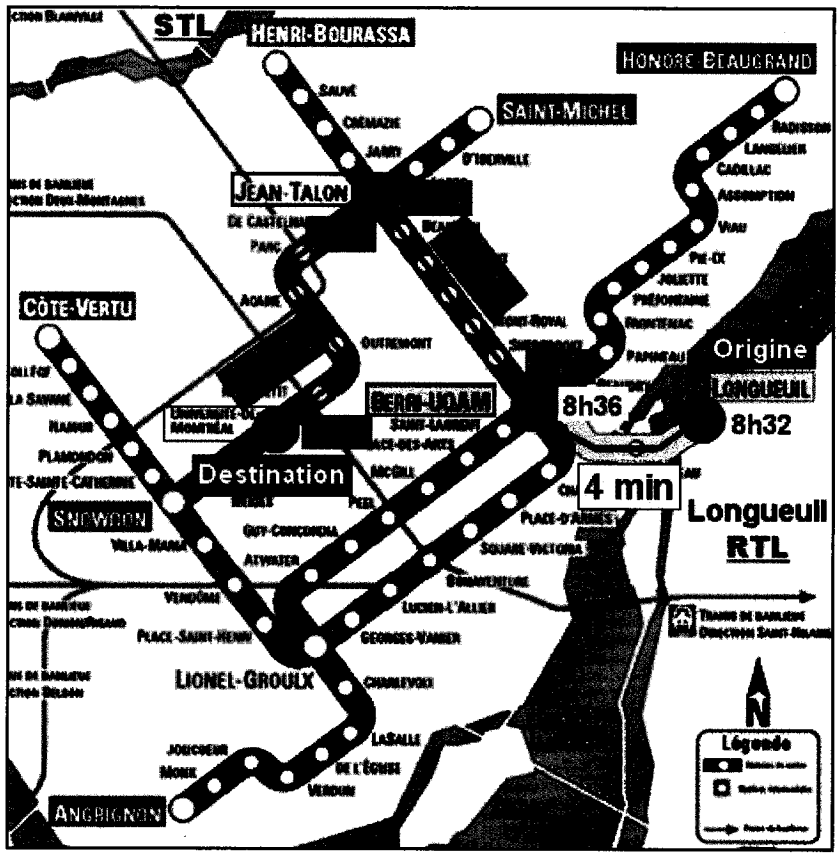

Figure 6.2: Description détaillée de l'itinéraire sur le réseau du métro

Pour le déplacement analysé, les temps et dépenses énergétiques sont estimés seulement pour la partie du déplacement effectué sur le réseau du métro. L'emphase sera mise sur les stations de correspondance et de destination puisque ce sont les parties du déplacement où l'usager peut avoir de la difficulté à s'orienter et faire des erreurs.

En outre, pour mettre en évidence la différence entre les individus qui sont actifs sur les escaliers et ceux qui ne le sont pas, trois types d'usagers sont définis :

1. **Usager actif :** cet usager emprunte toujours l'escalier fixe au détriment de l'escalier mécanique lorsque ce choix est offert. Il marche à une vitesse de 1,33 m/s sur un terrain plat. Sa vitesse sur les escaliers fixes est de 1,0 m/s pour la descente et de 0,7 m/s pour la montée.

2. **Usager semi-actif :** cet usager choisit de prendre l'escalier mécanique au lieu de l'escalier fixe lorsque ce choix est offert et il se déplace sur l'escalier. Il marche à une vitesse de 1,33 m/s sur un terrain plat, de 1,3 m/s sur l'escalier mécanique descendant et de 1,2 m/s sur l'escalier mécanique ascendant. Sur l'escalier fixe, il a une vitesse de 1,0 m/s pour la descente et de 0,7 m/s pour la montée.

3. **Usager passif :** cet usager reste immobile sur les escaliers mécaniques. Il marche à une vitesse de 1,33 m/s sur un terrain plat, descend et monte l'escalier mécanique à une vitesse de 0,5 m/s. Sur l'escalier fixe, il a une vitesse de 1,0 m/s pour la descente et de 0,7 m/s pour la montée.

La figure 6.3 illustre les trajectoires à distance minimale à partir du quai de la ligne jaune jusqu'aux autres quais dans la station Berri-UQAM (algorithme de Dijkstra). La trajectoire en noir est celle choisie par le voyageur pour effectuer la correspondance le plus rapidement possible.

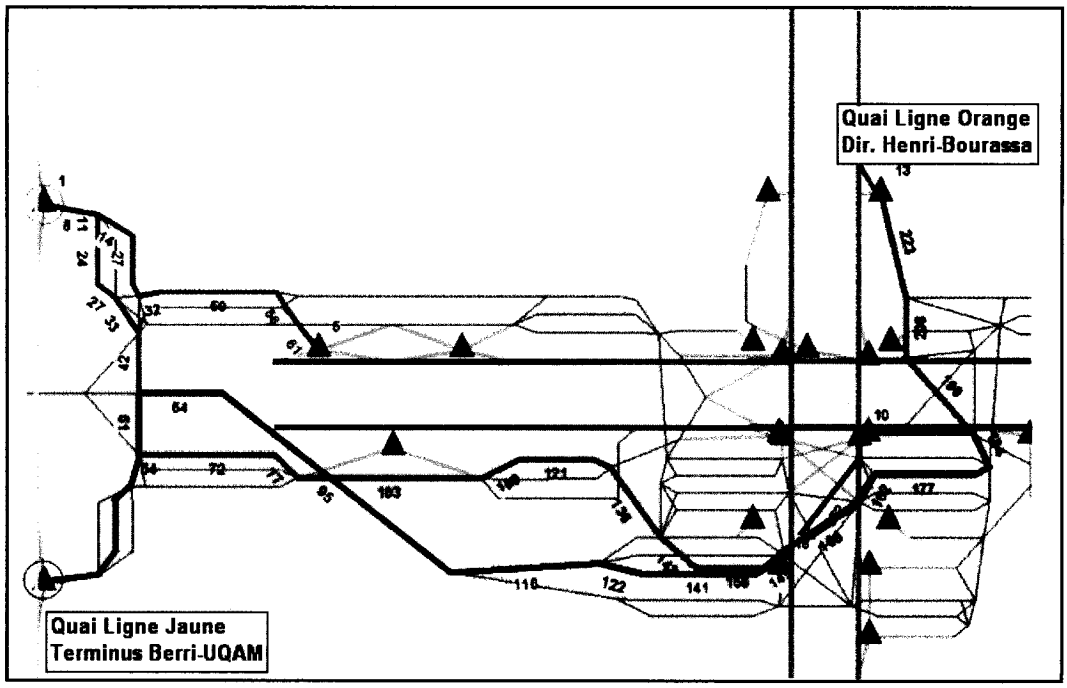

Figure 6.3: Visualisation de cheminements de correspondance dans la station Berri-UQAM

6.1.1 Correspondance 1 : Berri-UQAM

La figure 6.4 illustre la variation du temps de correspondance à Berri-UQAM en fonction de la voiture de débarquement et du type d'usager.

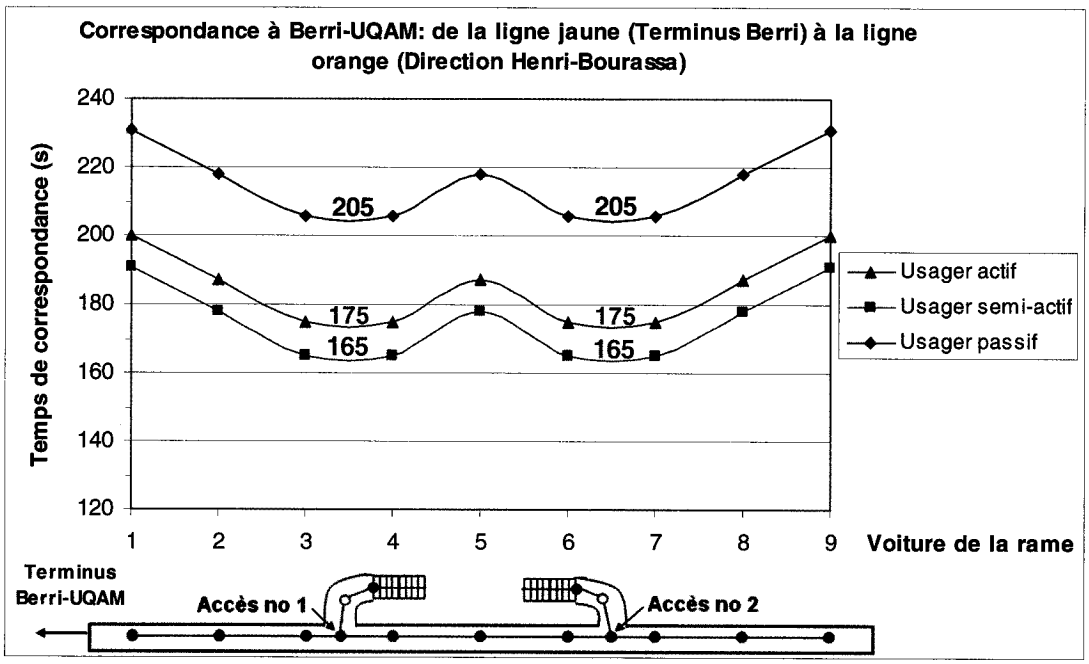

Figure 6.4: Temps de correspondance à la station Berri-UQAM selon la voiture de débarquement et le comportement de l'usager sur le mobilier transitoire

Si l'usager débarque de la voiture optimale, i.e. celle qui arrive en face de l'accès, il minimise son temps de correspondance et par le fait même sa dépense énergétique. Étant donné qu'il y a deux accès au niveau du quai de la ligne jaune à Berri, il y a plus qu'une voiture optimale. Les courbes sont symétriques à cause de la position des accès.

La Figure 6.5 illustre la dépense énergétique cumulée en fonction du temps pour un usager qui débarque à une position optimale sur le quai et qui accède à l'autre quai le plus rapidement possible. Parmi les trois types de voyageurs analysés, l'usager semi-actif, qui marche à une vitesse moyenne, a le temps de correspondance le moins long, environ 2 min 45 s, et il brûle un peu moins de Calories que l'usager actif. Bref, les usagers actifs et semi-actifs ont un temps de correspondance moins long, mais ils doivent fournir plus d'énergie que les usagers passifs.

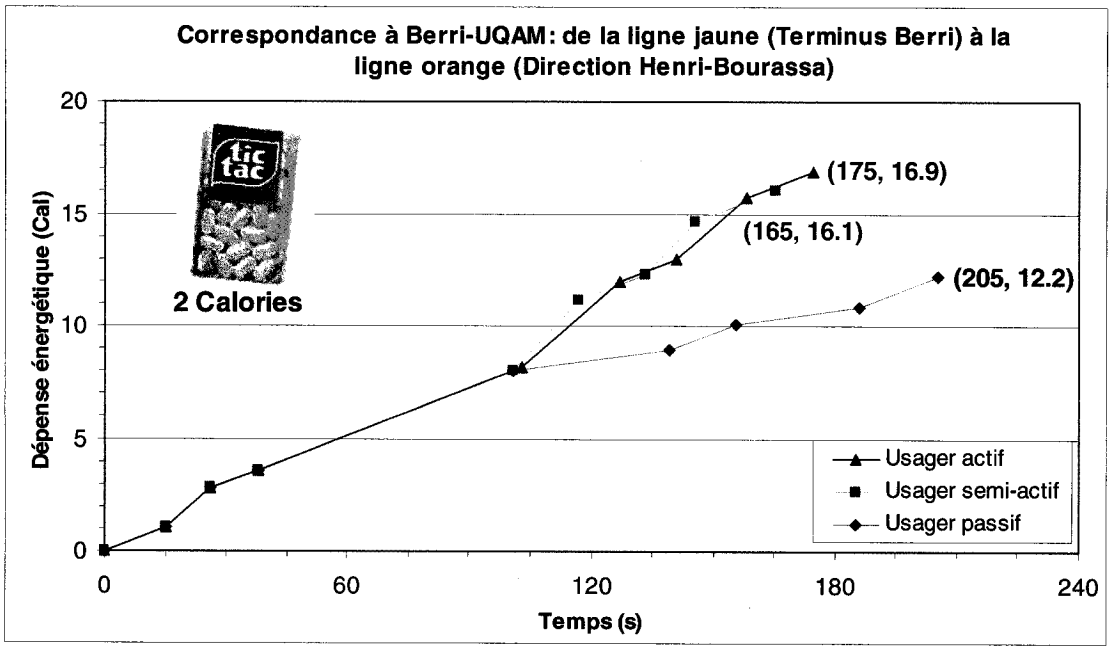

Figure 6.5: Profil énergético-temporel d'un usager qui débarque à une position optimale sur le quai pour la correspondance à Berri-UQAM (montée) selon le type d'usager

Les temps de correspondance estimés sont dans le même ordre de grandeur que ceux mesurés à l'intérieur des stations. En effet, pour ce même transfert de ligne à Berri-UQAM, un usager passif marchant à une vitesse moyenne a effectué cette correspondance en 195 s comparativement à 205 s. Donc, les temps trouvés sont du côté conservateur.

6.1.2 Correspondance 2 : Jean-Talon

Le graphique qui suit illustre la dépense énergétique et le temps de correspondance à Jean-Talon selon le type d'usager dans le cas où il débarque de la voiture optimale de la rame.

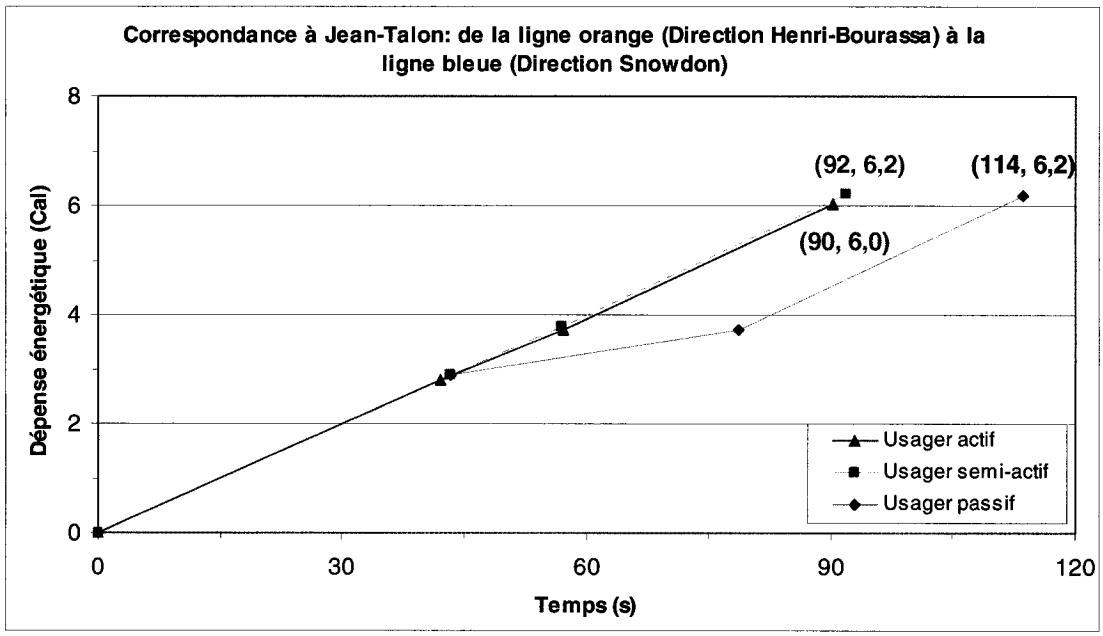

Figure 6.6: Profil énergético-temporel d'un usager qui débarque à une position optimale sur le quai pour la correspondance à Jean-Talon (descente) selon le type d'usager

Les 3 types d'usagers brûlent pratiquement le même nombre de Calories pour la correspondance à Jean-Talon. Les usagers actifs et semi-actifs ont presque le même temps de correspondance (90 s), qui est moins long que celui de l'usager passif d'approximativement 25 s. Donc, à un coût énergétique égal, les usagers actifs et semi-actifs se déplacent plus rapidement que les usagers passifs.

La figure 6.7 illustre comment le temps pour transférer de la ligne orange à la ligne bleue à Jean-Talon varie en fonction de la voiture de débarquement et de l'accès choisi.

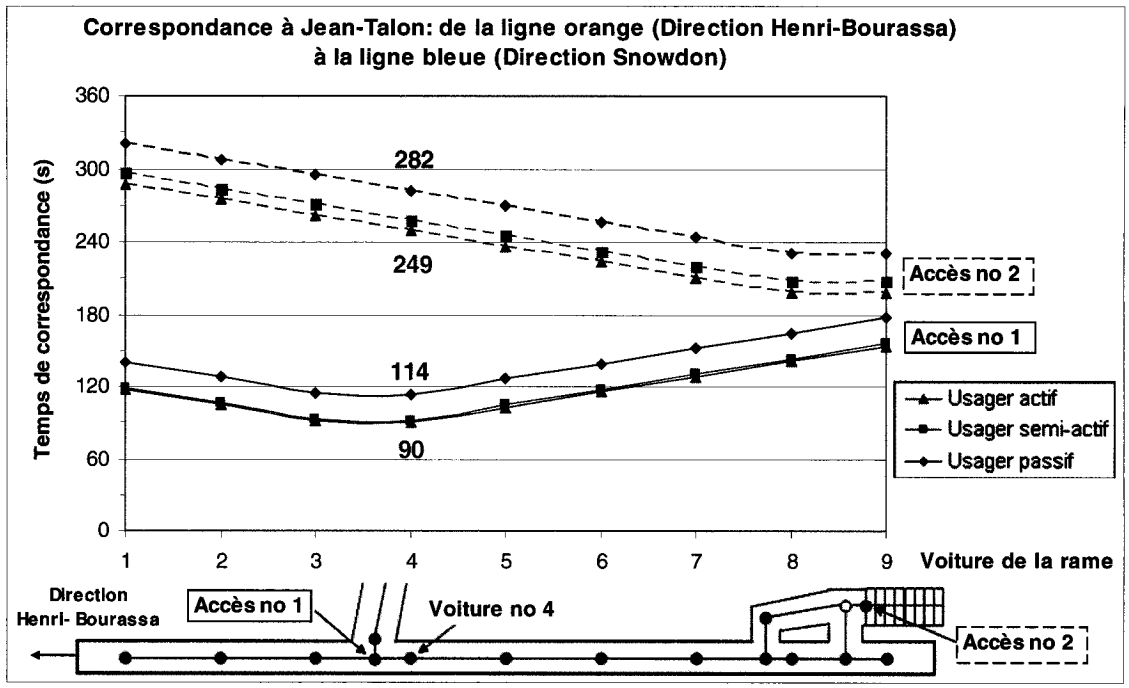

Figure 6.7: Temps de correspondance à Jean-Talon en fonction de la voiture de débarquement, du type d'usager et de l'accès choisi

La voiture 4 de la rame minimise le temps de correspondance. En comparant le choix de la meilleure voiture avec le cas extrême, i.e. celle qui est la plus éloignée de l'accès 1 (neuvième voiture), l'usager qui débarque à l'endroit optimal économise environ 1 minute (bénéfice de 65 s).

Comme l'indique la figure 6.7, il y a deux accès sur le quai de la ligne orange direction Henri-Bourassa. Toutefois, il n'y a pas de panneau de signalisation, sur fond bleu, qui guide l'usager vers le meilleur accès. Donc, certains voyageurs qui ne sont pas familiers avec le réseau pourraient se tromper et choisir l'accès no 2 pour transférer de la ligne orange à bleue. Les individus qui choisissent l'accès no 2 ont un temps de correspondance plus long puisqu'ils doivent monter jusqu'au niveau de la mezzanine et descendre les escaliers fixes vers le corridor menant aux quais de la ligne bleue. Par exemple, un usager passif qui débarque de la 4ème voiture et qui emprunte l'accès no 2 a

un temps de correspondance environ 2 min 45 s plus long qu'un individu qui descend du même point, mais qui choisit l'accès no 1.

6.1.3 Résumé du déplacement

Les composantes du temps de déplacement ainsi que la dépense énergétique sont résumées dans le tableau ci-dessous pour un usager qui choisit la voiture optimale (*Homo economicus*) et un voyageur qui accède au quai le plus rapidement possible, sans se soucier du temps qu'il peut économiser en se positionnant au meilleur endroit sur le quai (*Homo non economicus*).

La dépense énergétique et les temps d'accès et de sortie à Longueuil-Université-de-Sherbrooke et Université-de-Montréal ont été estimés à l'aide des plans des stations et en comptant le nombre de marches à l'intérieur de ces stations.

Tableau 6.1: Temps de déplacement désagrégé et dépense énergétique selon le type d'usager et la voiture choisie de la station Longueuil à Université-de-Montréal

Temps de déplacement désagrégé (min)	Usager actif		Usager semi-actif		Usager passif	
	economicus	non economicus	economicus	non economicus	economicus	non economicus
Temps d'accès Longueuil-UDS (s)	*47*	*47*	*47*	*47*	*47*	*47*
Temps de correspondance Berri (s)	*224*	*175*	*198*	*165*	*238*	*205*
Temps de correspondance J-T (s)	*90*	*148*	*92*	*130*	*114*	*152*
Temps de sortie UDM (s)	*63*	*63*	*63*	*63*	*63*	*63*
Temps total de marche (min)	7.1	7.2	6.7	6.8	7.7	7.8
Temps de voyage (min)	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
Temps d'attente (min)	0.8	5.6	1.2	6.1	0.1	5.1
Temps de déplacement (min)	27.8	32.8	27.8	32.8	27.8	32.8
Dépense énergétique (Cal)	36	37	34	35	30	31

Homo economicus choisit la trajectoire qui minimise la distance de marche entre l'accès sur le quai où il débarque et le meilleur positionnement sur l'autre quai. C'est pourquoi *Homo economicus* a un temps de correspondance plus long à Berri-UQAM et une dépense énergétique moindre que *Homo non economicus*.

Comme le tableau 6.1 l'illustre, l'usager qui optimise le choix de la voiture à Berri-UQAM minimise son temps de correspondance à Jean-Talon. Par conséquent, *Homo economicus* aura un temps de déplacement 5 minutes moins long. De surcroît, pour un même temps de déplacement, l'usager actif brûle 6 Calories de plus que l'usager passif. Outre le déplacement analysé dans cette section, il existe deux autres chemins pour rejoindre la station UdeM (voir figure 6.8). En effet, à partir de Berri-UQAM, l'usager peut emprunter la ligne orange, direction Côte-Vertu, et changer de ligne à Snowdon, ou prendre la ligne verte jusqu'à Lionel-Groulx, transférer pour prendre la ligne orange jusqu'à Snowdon et ensuite prendre la ligne bleue jusqu'à la station UdeM. Chacun de ces chemins a ses propres caractéristiques (temps de voyage, temps d'attente, temps de correspondance, nombre de correspondances, etc.) qui sont résumés dans le tableau 6.2. Les temps de marche et de correspondance proviennent des réseaux filamentaires codifiés, et le temps de voyage du calculateur de trajets Tous Azimuts. Quant au temps d'attente, déterminé à partir de la fréquence de service affichée sur le site web de la STM, pour un déplacement qui débute à 8h30 à partir du métro Longueuil-UdeS, il sera égal à la moitié de l'intervalle de service.

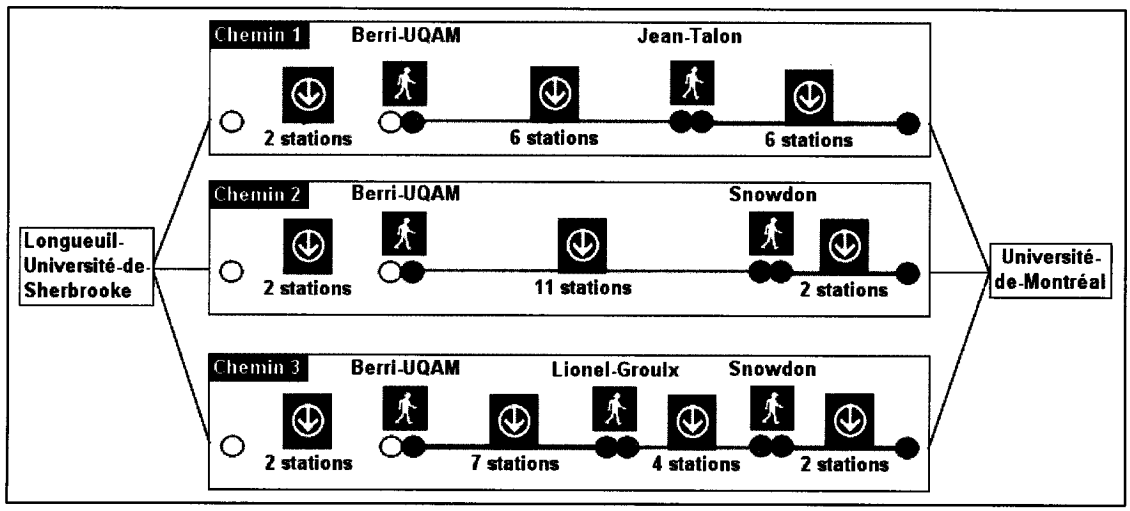

Figure 6.8: L'ensemble des alternatives pour se déplacer de Longueuil-UdeS à UdeM

Tableau 6.2: Attributs de chaque alternative (cas d'usager semi-actif)

Variable	Chemin 1	Chemin 2	Chemin 3
Temps de marche (accès)	2	2	2
Temps de voyage	20	20	20
Temps d'attente	6.5	7.5	7
Temps de correspondance	4.25	2.5	2
Nombre de correspondances	2	2	3
Nombre de stations	14	15	15

Le chemin passant par Jean-Talon a le temps de correspondance le plus long mais, en contrepartie, le temps d'attente est inférieur aux deux autres chemins. En outre, c'est l'itinéraire qui a le moins d'arrêts (une station de moins que les deux autres).

Selon l'étude citée par Bovy (1990) sur la simulation du comportement des voyageurs du métro de Tokyo, les facteurs qui ont la plus grande utilité dans le choix d'itinéraire sont : le nombre de correspondances requises, les composantes du temps de déplacement et le niveau de service.

6.2 Analyse d'un échantillon de l'enquête O-D 2003

L'analyse porte sur 145 déplacements effectués durant l'automne 2003 entre la station Longueuil-UdeS et le campus de l'Université-de-Montréal. Après pondération par le facteur d'expansion déplacements de l'automne 2003, cet échantillon équivaut à 3216 observations (1578 pour l'aller et 1638 pour le retour). Les trois stations de métro qui desservent le campus sont: Côte-des-Neiges, Université-de-Montréal et Édouard-Montpetit. 71 des déplacements sont de la rive sud de Montréal jusqu'au campus de l'UdeM (30 hommes et 41 femmes), et 74 déplacements dans le sens inverse (36 hommes et 38 femmes). Donc, l'échantillon analysé est différent selon la destination. L'objectif visé est de caractériser cette clientèle et leur comportement.

6.2.1 Distribution temporelle des déplacements

Comme l'illustre la figure 6.9, la pointe de la demande à destination du campus de l'UdeM survient durant le matin, car environ 75% des déplacements ont lieu entre 6h et 10h. Les gens se déplacent surtout pour le motif études. Par exemple, 86% des déplacements entre 7h00 et 8h00 le matin sont pour le motif études et 30% de tous les déplacements débutent durant cette période.

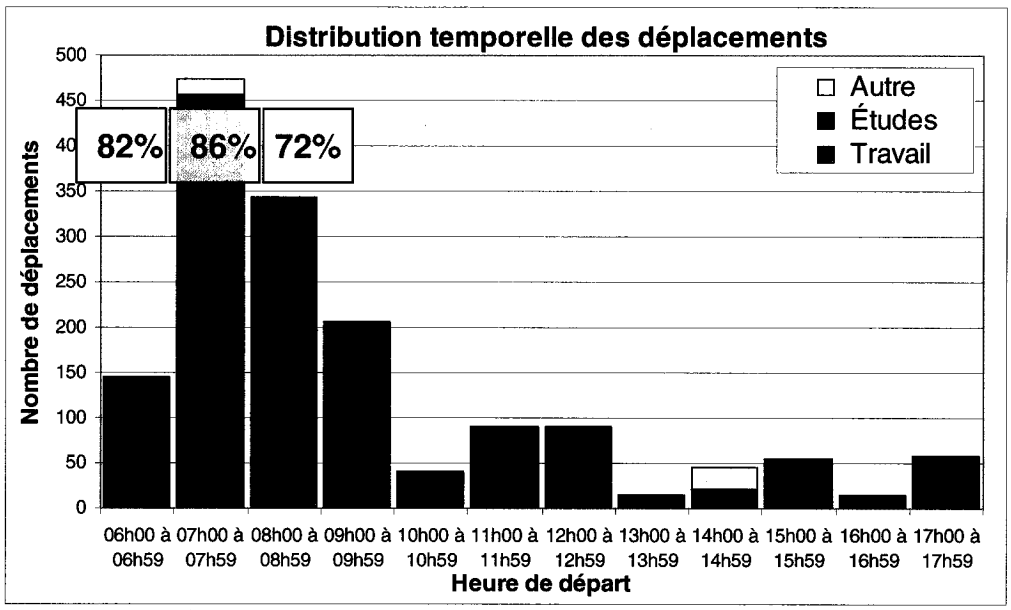

Figure 6.9: Distribution temporelle des déplacements selon le motif

La plupart des déplacements à destination de Longueuil-UdeS ont lieu entre 15h et 19h. Il y a aussi une autre pointe en fin de soirée, entre 21h00 et 23h00, mais beaucoup moins importante que la première. Le motif principal est le retour au domicile.

6.2.2 Caractérisation et comportement des voyageurs

Selon les résultats de l'enquête Origine-Destination 2003, environ 60% des voyageurs se destinant au campus de l'UdeM passent par Jean-Talon. Comme l'illustre la figure

6.10, la proportion de voyageurs qui choisissent le chemin 1 (par Jean-Talon) varie selon l'heure de départ. À titre d'exemple, 61% des itinéraires qui débutent entre 7h00 et 7h59 passent par Jean-Talon. Pour le déplacement inverse, i.e. de UdeM à Longueuil-UdeS, 57% des voyageurs décident de passer par Jean-Talon. Aucun voyageur n'a choisi le chemin 3 décrit dans la figure 6.8. Donc, l'utilité d'un chemin diminue lorsque le nombre de correspondances augmente.

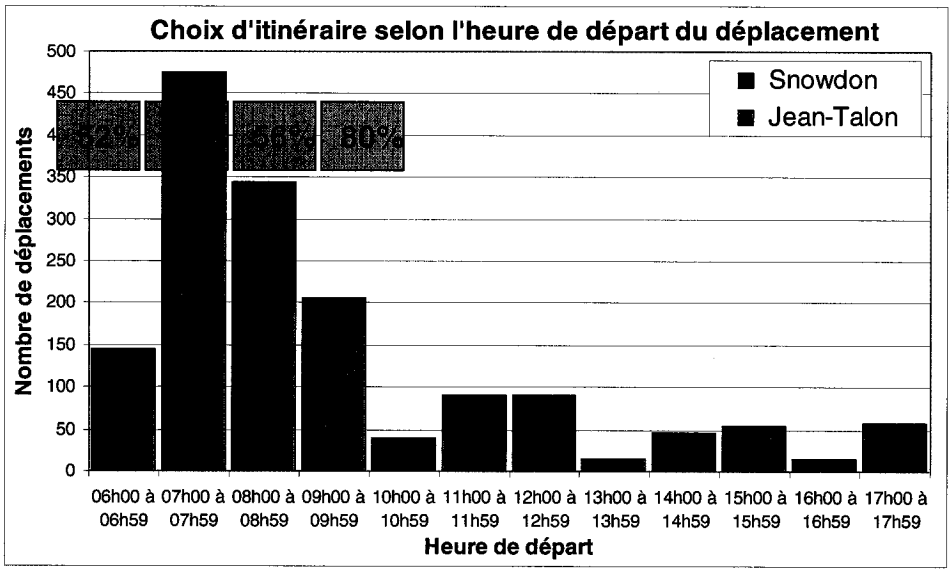

Figure : 6.10 Choix d'itinéraire fait par les voyageurs qui se destinent au campus de l'UdeM

60% des individus enquêtés qui se déplacent de la rive-sud jusqu'au campus de l'UdeM sont des femmes. La figure 6.11 illustre que ce sont les femmes de 20 à 24 ans et les hommes entre 15 et 24 ans qui se déplacent le plus, et ce pour le motif études. Pour le motif travail, ce sont des personnes de 35 à 64 ans qui se déplacent en métro. En outre, il s'agit principalement de femmes de 35 à 44 ans et d'hommes de 45 à 54 ans.

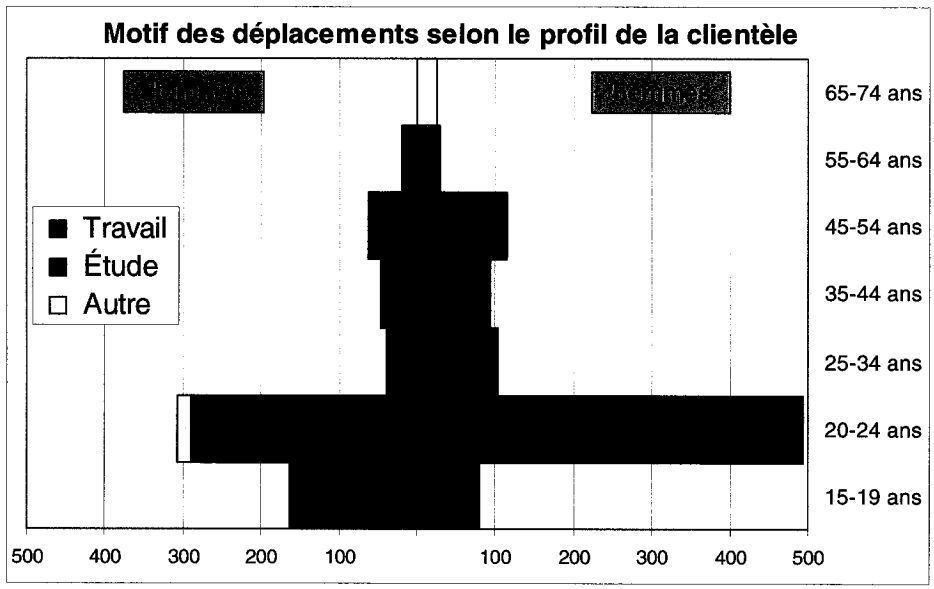

Figure 6.11: Nombre de déplacements par motif selon le profil de la clientèle

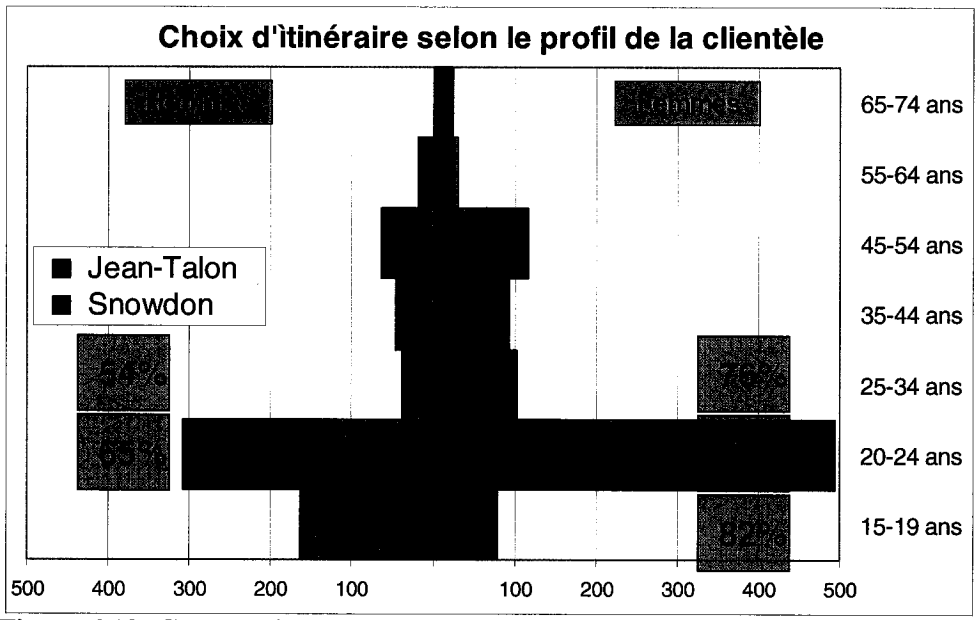

Figure 6.12: Comparaison du choix d'itinéraire selon le profil de la clientèle

Il est intéressant de savoir qu'environ la moitié des femmes de 20 à 24 ans passent par Jean-Talon et que 2 hommes sur 3 du même groupe d'âge empruntent le même chemin. Tous les hommes entre 15 et 19 ans ont sélectionné l'itinéraire par Jean-Talon. En somme, 54% des femmes et 70% des hommes choisissent le chemin qui passe par Jean-

Talon (voir tableau 6.4). Ceci nous amène à nous questionner sur les causes qui peuvent expliquer cette différence.

6.2.3 Itinéraire choisi par la clientèle (résultats de l'enquête O-D 2003)

Les tableaux 6.3 et 6.4 résument les choix faits par la clientèle qui se destine au campus de l'UdeM. Précisons qu'environ deux tiers des déplacements tirés de l'enquête ont comme destination la station Université-de-Montréal. Donc, le nombre d'observations à destination de Côte-des-Neiges et Édouard-Montpetit peut ne pas être significatif pour tirer des conclusions.

Environ 7 usagers sur 10 qui se destinent à la station UdeM empruntent l'itinéraire qui passe par Jean-Talon et les hommes le choisissent en plus grande proportion que les femmes (64% des femmes et 75% des hommes).

Tableau 6.3: Choix d'itinéraire de la clientèle selon la station de débarquement

Clientèle	Correspondance	Station de débarquement		
		C.D.N	U.D.M	E.M.
Femmes	Jean-Talon	15.3%	64.4%	75.8%
	Snowdon	84.7%	35.6%	24.2%
Hommes	Jean-Talon	21.0%	74.5%	100.0%
	Snowdon	79.0%	25.5%	0.0%
F. + H.	Jean-Talon	16.7%	69.3%	81.7%
	Snowdon	83.3%	30.7%	18.3%

Tableau 6.4: Choix d'itinéraire de la clientèle qui se destine au campus de l'UdeM

Clientèle	Correspondance	Campus U.D.M.
Femmes	Jean-Talon	54.1%
	Snowdon	45.9%
Hommes	Jean-Talon	69.9%
	Snowdon	30.1%
F. + H.	Jean-Talon	60.5%
	Snowdon	39.5%

Tableau 6.5: Temps de déplacement en minutes selon les circonstances de l'itinéraire et la station de débarquement

Heure de départ	Correspondance	Station de débarquement		
		C.D.N	U.D.M	E.M.
Pointe AM	Jean-Talon	34	33	31
	Snowdon	31	32	34
Hors-Pointe	Jean-Talon	39	38	36
	Snowdon	35	36	38
Pointe PM	Jean-Talon	34	33	31
	Snowdon	31	32	34

Quant au tableau 6.5, il affiche les temps de déplacement selon l'itinéraire choisi en fonction de l'heure de départ. On observe qu'il n'y a pratiquement pas de différence entre les chemins 1 et 2 pour la station de destination UdeM. Une autre observation intéressante est le fait qu'il y a certains voyageurs qui ne choisissent pas le chemin optimal pour se rendre à Côte-des-Neiges et Édouard-Montpetit.

Les tableaux ci-dessous résument les choix faits par la clientèle qui se destine à la station Longueuil-UdeS. La majorité des voyageurs passent encore par Jean-Talon, mais cette proportion est inférieure à celle analysée précédemment.

Tableau 6.6: Choix d'itinéraire fait par la clientèle selon la station d'embarquement

Clientèle	Correspondance	Station d'embarquement		
		C.D.N	U.D.M	E.M.
Femmes	Jean-Talon	18,2%	56,5%	63,7%
	Snowdon	81,8%	43,5%	36,3%
Hommes	Jean-Talon	45,7%	65,1%	100,0%
	Snowdon	54,3%	34,9%	0,0%
F. + H.	Jean-Talon	27,6%	61,0%	78,9%
	Snowdon	72,4%	39,0%	21,1%

Tableau 6.7: Choix d'itinéraire agrégé de la clientèle qui se destine à Longueuil-UdeS

Clientèle	Correspondance	Campus U.D.M.
Femmes	Jean-Talon	47,9%
	Snowdon	52,1%
Hommes	Jean-Talon	66,1%
	Snowdon	33,9%
F. + H.	Jean-Talon	56,5%
	Snowdon	43,5%

6.2.4 Explication du choix d'itinéraire

Pourquoi la plupart des voyageurs passent par Jean-Talon? Et pourquoi certains usagers ne choisissent pas le chemin qui prend le moins de temps? Cette section tente de répondre à ces questions. Les stations de correspondance et le niveau de service des lignes de ces deux alternatives seront analysés.

6.2.4.1 Analyse des correspondances

Correspondance 1 : Berri-UQAM

La correspondance à Berri-UQAM pour le chemin 2, i.e. entre la ligne jaune (Terminus Berri-UQAM) et la ligne orange (Direction Côte-Vertu), prend moins de temps que celle du chemin 1 si le voyageur ne choisit pas le chemin indiqué par la signalisation de la STM. En effet, la distance de marche est de 130 m et le temps de correspondance 85 s, comparativement à 210 m et au moins 130 s pour le chemin 1 (voir tableau 6.8). La figure 6.13 illustre une vue en plan des cheminements respectifs pour les deux chemins retenus.

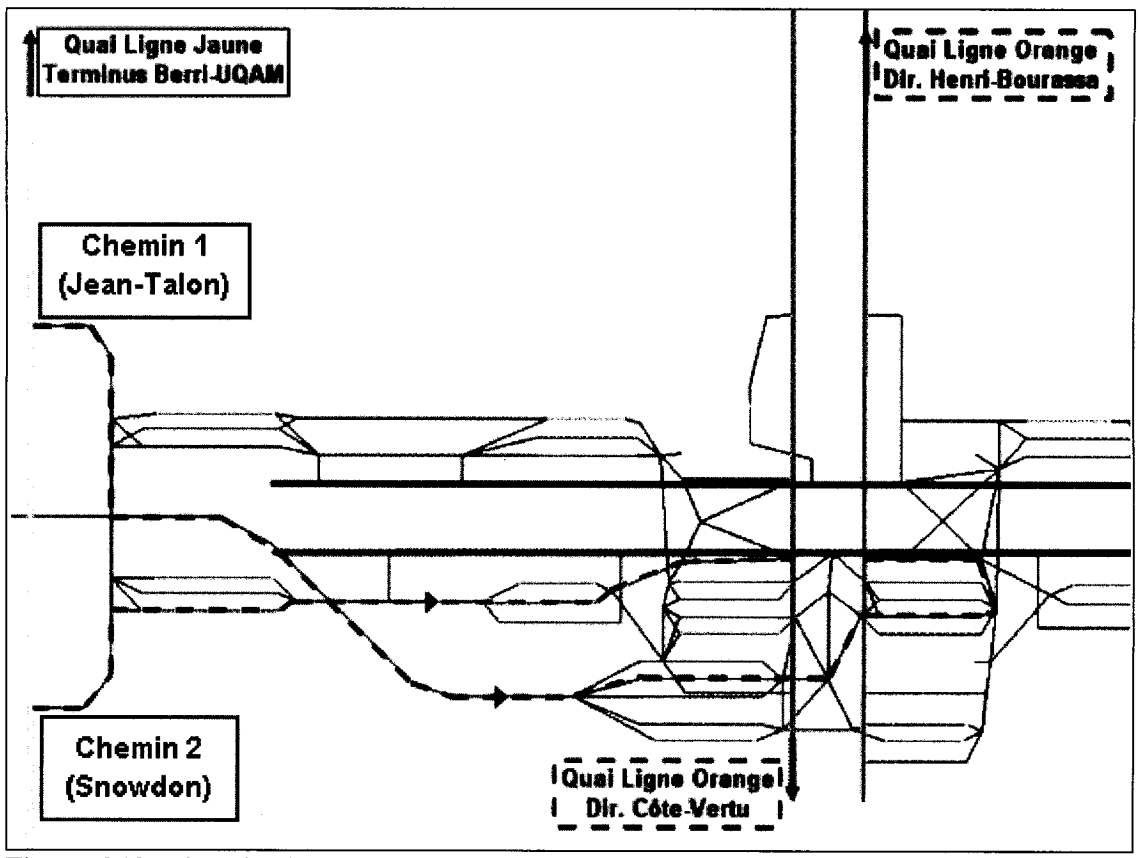

Figure 6.13: Visualisation des trajectoires de correspondance à Berri-UQAM

Daamen (2004) cite qu'en général, la vitesse de marche des femmes est 10% inférieure à celle des hommes. C'est pourquoi nous avons supposé que la vitesse des femmes sur un terrain plat et sur les escaliers est 10% inférieure.

À notre connaissance, il n'y a pas de revue de littérature sur les vitesses de marche lorsque des hommes voyagent avec des femmes. Supposons que lorsqu'un homme marche avec une femme, il décélère un peu et la femme marche un peu plus rapidement. Bref, on prend la vitesse moyenne des deux voyageurs.

Le tableau ci-dessous affiche les temps de correspondance selon le profil de la clientèle et sa vitesse de marche. Rappelons que la vitesse lente de 1,0 m/s sur un terrain plat

reflète les personnes à mobilité réduite, la vitesse moyenne de 1,33 m/s les adultes qui marchent d'un pas normal et la vitesse rapide de 1,67 m/s pour les usagers pressés.

Tableau 6.8: Temps de correspondance (s) à Berri-UQAM en fonction du choix d'itinéraire, du genre de l'individu, de la vitesse de marche et du comportement sur les escaliers

Type d'usager	Vitesse de marche	Chemin 1 (J-T)		Chemin 2 (Snowdon)	
		HOMME	FEMME	HOMME	FEMME
Usager actif	Lente	232	259	170	190
	Moyenne	175	194	128	142
	Rapide	139	155	102	114
Usager semi-actif	Lente	220	245	141	157
	Moyenne	165	183	106	118
	Rapide	132	147	85	94
Usager passif	Lente	250	271	173	184
	Moyenne	205	220	148	156
	Rapide	178	190	132	139

Comme l'indique le tableau ci-dessus, la correspondance à Berri-UQAM prend moins de temps si l'usager choisit de passer par Snowdon. Pour une femme qui marche à une vitesse moyenne, la correspondance du chemin 2 est à peu près une minute moins longue que celle de l'autre chemin. Précisons que les temps de correspondance pour le chemin 2 sont pour des voyageurs qui ne suivent pas le chemin suggéré par la STM.

Correspondance 2 : Jean-Talon et Snowdon

La figure 6.14 illustre une vue en plan de la trajectoire à distance minimale pour transférer de la ligne orange (Direction Henri-Bourassa) à la ligne bleue (Direction Snowdon) à Jean-Talon. Le piéton doit descendre un niveau pour réaliser cette correspondance. La distance totale de marche entre les deux accès est de 120 m et l'escalier fixe a 58 marches et 2 paliers.

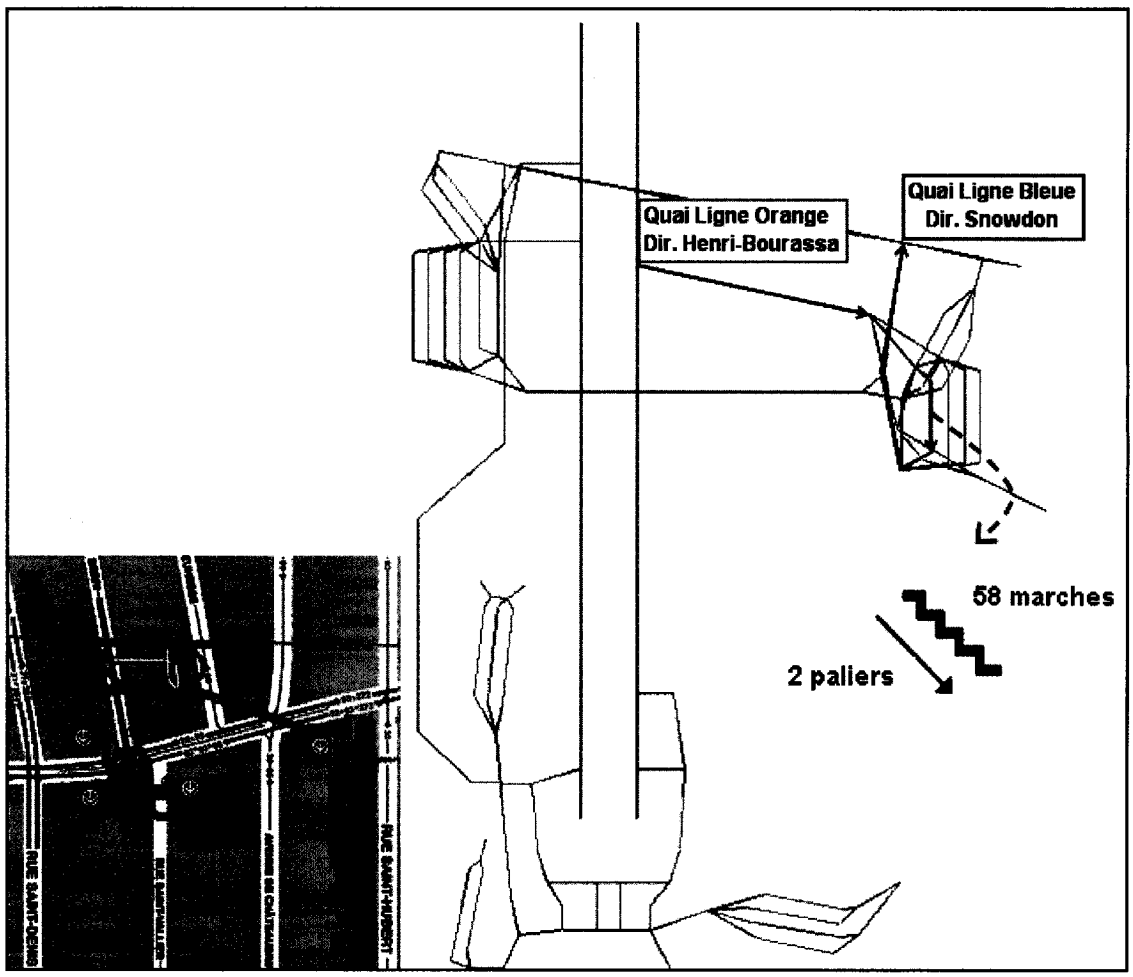

Figure 6.14: Visualisation de la trajectoire de correspondance à Jean-Talon (inspiré de Boivin, 1989)

Les deux figures suivantes illustrent une vue en plan et isométrique de la trajectoire de correspondance optimale à Snowdon. La différence d'élévation entre les deux niveaux à Snowdon est exagérée sur la figure 6.16 afin de mieux visualiser la correspondance en 3D.

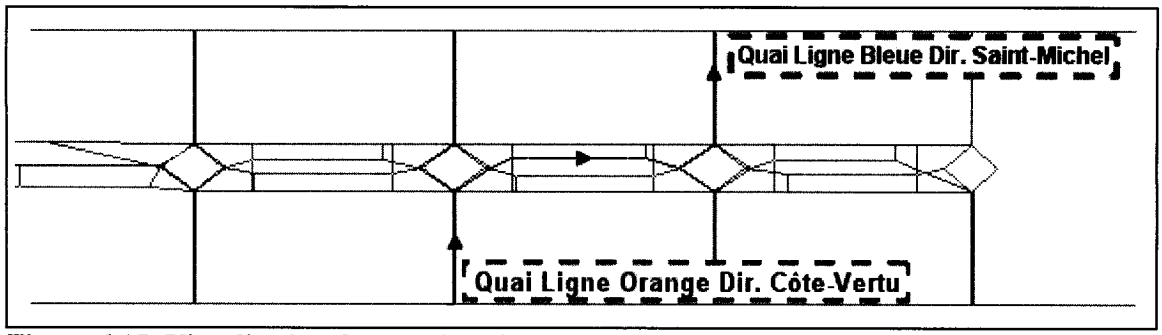

Figure 6.15: Visualisation de la trajectoire de correspondance à Snowdon (vue en plan)

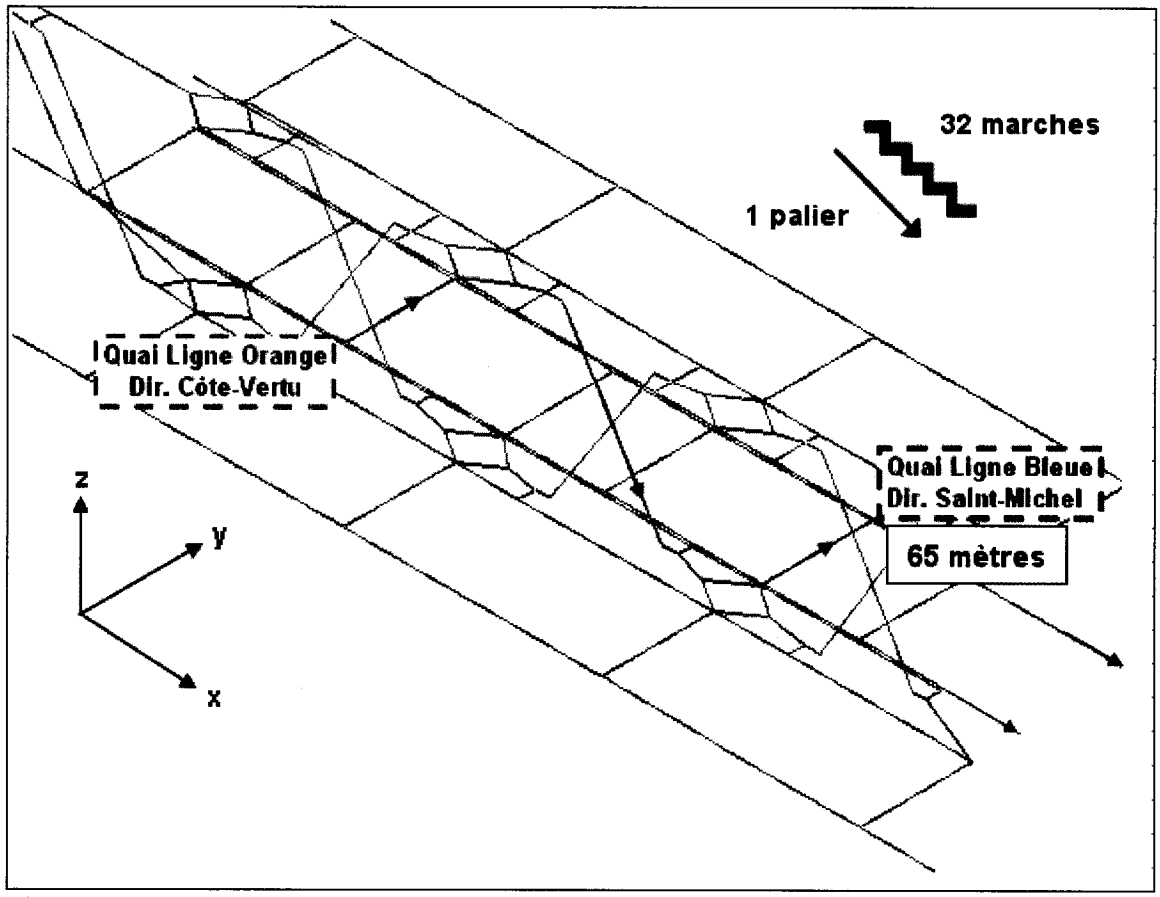

Figure 6.16: Visualisation de la trajectoire de correspondance à Snowdon (inspiré de Boivin, 1989)

Pour la correspondance à Snowdon, la distance de marche est de l'ordre de 65 m. De plus, la différence d'élévation est moindre qu'à Jean-Talon, car l'escalier a 32 marches et 1 palier. Donc, comme l'indique le tableau 6.9, les piétons qui passent par Jean-Talon ont un temps de correspondance plus long que ceux qui passent par Snowdon.

Tableau 6.9: Temps de correspondance (s) en fonction du choix d'itinéraire, du genre de l'individu, de la vitesse de marche et du comportement sur les escaliers

Type d'usager	Vitesse de marche	Chemin 1 (J-T)		Chemin 2 (Snowdon)	
		HOMME	FEMME	HOMME	FEMME
Usager actif	Lente	120	133	69	76
	Moyenne	90	100	52	57
	Rapide	72	80	41	46
Usager semi-actif	Lente	122	136	64	71
	Moyenne	92	102	48	53
	Rapide	73	81	38	43
Usager passif	Lente	139	151	78	83
	Moyenne	114	122	66	70
	Rapide	98	105	58	61

6.2.4.2 Analyse du niveau de service des lignes de métro

Durant la période de pointe du matin, le rapport charge/capacité du côté Est de la ligne orange est plus élevé que celui du côté ouest (Chapleau, 2004). Donc, il est plus probable de trouver un siège libre si le voyageur emprunte la ligne orange vers Côte-Vertu pour se rendre à la station UdeM. En outre, avec l'ouverture du métro à Laval, la probabilité de trouver un siège libre sera encore plus faible sur la ligne orange, entre les stations Jean-Talon et Berri-UQAM.

Selon les résultats de l'étude de Pursula et Weurlander (1999), certains individus préfèrent prendre un chemin qui est 15 minutes plus long s'ils peuvent s'asseoir durant le déplacement. Donc, certains voyageurs veulent s'asseoir afin de se réapproprier du temps de déplacement (lire, écrire, se reposer, etc.). Ceci change la perception du temps par ces voyageurs, car ils font quelque chose d'utile durant leur voyage.

Depuis le 27 mars 2006, le niveau de service sur la ligne bleue a été amélioré. En effet, pour répondre à l'augmentation de l'achalandage sur cette ligne, la rame est constituée de 6 voitures du lundi au vendredi, sauf en période estivale (Journal le Métro, 13

décembre 2005). Avant, ce service était offert seulement durant les périodes de pointe. Donc, durant l'heure du midi et après la fin de la période de pointe, la rame était souvent bondée et ceci avait un impact sur le confort des voyageurs.

6.2.4.3 Conclusion

Il est possible que la plupart des voyageurs choisissent de passer par Jean-Talon puisque c'est l'itinéraire avec le nombre minimum de stations. En outre, c'est le chemin optimal suggéré par Tous Azimuts. Rappelons qu'aucun voyageur n'a choisi le chemin qui exige une correspondance de plus que les deux autres. Selon les temps estimés avec les réseaux codifiés, il n'y a pratiquement pas de différence de temps entre les chemins passant par Jean-Talon et Snowdon. Donc, l'ajout d'un nouveau critère de calcul comme la probabilité de trouver une place assise peut créer un nouvel équilibre sur le réseau.

Le temps de correspondance en passant par Jean-Talon est plus long que l'autre alternative. Il y a une nette différence entre le choix d'itinéraire fait par la clientèle, i.e. que la proportion de femmes qui choisit le chemin 1 est inférieure à celle des hommes, ce qui nous donne à penser que les femmes pourraient avoir une perception différente du temps de correspondance.

La probabilité de trouver un siège libre est plus élevée en passant par Snowdon. Il se peut que les femmes choisissent cette alternative plus souvent que les hommes afin de se réapproprier du temps de déplacement.

Tous les voyageurs enquêtés qui ont fait ce déplacement ont choisi le même chemin pour le retour. Parce qu'il connaît le chemin, choisir le même peut sécuriser le passager.

Même si l'échantillon était différent entre l'aller et le retour, un peu moins de gens préfèrent emprunter l'itinéraire par Jean-Talon pour le retour comparativement à l'aller. Pour le déplacement retour, la correspondance à Snowdon exige que l'usager descend un niveau pour transférer de ligne. En contrepartie, le voyageur qui décide de passer par Jean-Talon doit franchir deux niveaux en montant pour réaliser la correspondance. Donc, il est possible que les voyageurs tiennent compte de la dépense énergétique non seulement pour le choix d'itinéraire à l'intérieur d'une station, mais aussi dans le choix de chemin sur le réseau du métro.

6.3 Estimation du temps qu'on peut faire économiser aux usagers

On cherche à estimer le temps total qu'on peut économiser aux usagers si chaque voyageur optimise le choix de la voiture afin de minimiser son temps de déplacement.

Il y a eu 217 200 000 déplacements sur le réseau du métro en 2004 ([44]). « Chaque usager du métro effectue en moyenne 2 déplacements par jour et le temps moyen passé dans le métro par déplacement est de 25 minutes » (Tremblay, 2001).

La plupart des voyageurs qui utilisent le métro régulièrement prennent l'habitude de se placer au meilleur endroit sur le quai pour débarquer en face des escaliers qui mènent vers la sortie la plus proche de leur destination. En supposant que deux tiers des voyageurs optimisent le choix de la voiture et que les autres clients économiseraient 45 secondes par déplacement, on obtient les économies de temps suivants au niveau collectif :

[44] http://www.stm.info/info/comm-05/co051118.htm

217 200 000 dépl. * 33% usagers non economicus = 72 400 000 dépl.
72 400 000 dépl. * 45 s/dépl. = 905 000 heures

En supposant que le temps moyen passé dans le métro par déplacement en 2005 est de 25 minutes, et que l'achalandage n'a pas changé depuis 2004, les voyageurs ont passé 90 500 000 heures dans le métro l'année dernière (217 200 000 dépl. * 25 min./dépl.). Donc, si tous les usagers se placent au meilleur endroit sur le quai, ils passent 1% moins de temps dans le métro.

Au niveau individuel, supposons qu'un usager économise toujours 45 secondes par déplacement. S'il fait ce déplacement 10 fois par semaine durant une année complète (disons 50 semaines), il gagnera environ 6 heures par année.

Chapitre 7 : Conclusion

7.1 Rappel des contributions

Ce projet modélise les déplacements piétonniers dans le métro de Montréal. L'accent a été mis sur les quatre stations de correspondance du réseau.

La codification du réseau filamentaire a permis d'estimer les temps de marche (accès, sortie et correspondance) et la dépense calorique des voyageurs dans le métro. Selon cette étude, la dépense énergétique aurait une influence sur le comportement des piétons. En outre, les résultats de l'étude démontrent qu'un individu peut minimiser son temps de déplacement en se positionnant au meilleur endroit sur le quai durant l'attente de la rame et en étant actif sur les escaliers mécaniques.

Dans la réalité, il est difficile d'analyser le comportement des voyageurs, car le choix d'itinéraire est très personnel. Toutefois, l'analyse des données de l'enquête Origine-Destination de 2003 a identifié des facteurs qui sont susceptibles d'influencer le choix d'itinéraire fait par un voyageur sur le réseau du métro (chemin le plus rapide, composantes du temps de déplacement, nombre de correspondances, confort, etc.).

7.2 Pistes de recherche futures

Des simulations à l'aide des données de l'enquête Origine-Destination détermineront s'il est préférable de faire du « user optimizing » ou du « system optimizing ». Ceci permettra de visualiser le nouvel équilibre qui se crée sur le réseau si tous les usagers choisissent le chemin optimal, d'estimer le temps total perdu par les usagers, le niveau

de confort dans chaque voiture de la rame (rapport charge/capacité) et d'observer les conditions de circulation à l'intérieur de la station (formation de bouchons près des accès sur le quai).

Il serait également intéressant de calibrer un modèle de choix d'itinéraire sur le réseau du métro à l'aide des données des enquêtes Origine-Destination et des attributs de chaque itinéraire. En plus, l'horaire planifié du service peut être optimisé en fonction des temps de correspondance réels pour minimiser le temps d'attente des usagers.

De nos jours, plusieurs recherches s'intéressent à la modélisation des déplacements dans un environnement souterrain. Donc, le développement d'un système d'information à l'usager qui guiderait le voyageur dans le métro serait utile, car les voyageurs ressentiront moins d'anxiété durant leur déplacement. Cette application pourrait indiquer à l'usager quelle sortie prendre pour minimiser la distance de marche, le meilleur chemin pour transférer d'une ligne à une autre et les caractéristiques de chaque chemin telles que le nombre de marches et de paliers des escaliers et la distance de marche totale. Les clients pourront donc choisir le chemin qui répond le plus à leurs préférences.

Ce travail de recherche est une suite logique de travaux antérieurs au sein du groupe MADITUC portant sur les déplacements piétonniers. Le fait de visualiser le plan d'une station de métro peut aider le piéton à se déplacer à l'intérieur de son environnement de transport, améliorer la fluidité de la circulation et augmenter possiblement l'achalandage. Toutefois, ce type d'information serait difficile à rendre publique avec la préoccupation du terrorisme qui prévaut de nos jours.

Références

AINSWORTH, B. E., (2002). The Compendium of Physical Activities Tracking Guide, Prevention Research Center, Norman J. Arnold School of Public Health, University of South Carolina. [page consultée le 23 nov 2005]
http://prevention.sph.sc.edu/tools/compendium.htm

ANDERSEN, R. E. et al, (1998). Can inexpensive signs encourage the use of stairs? Results from a community intervention, Annals of Internal Medicine, Volume 129, Issue 5, pages 363-369. [page consultée le 11 mars 2006]
http://www.annals.org/cgi/content/full/129/5/363

BALDON, C., MELCHIOR, I. (1989). Steps and stairways, New York, Rizzoli, p.258

BOIVIN, D.J. (1989). Montréal souterrain: Étude du réseau piétonnier protégé du centre-ville, Centre de Recherches en aménagement et en développement, Université Laval, 220 pages.

BOVY, P. H. L., STERN, E., (1990). Route choice: Wayfinding in Transport Networks, Kluwer Academic Publishers

BUREAU DE TRANSPORT MÉTROPOLITAIN DE LA COMMUNAUTÉ URBAINE DE MONTRÉAL (1983). Pamphlet de la station Berri-UQAM, ISBN 2-920295-17-9.

BUREAU DE TRANSPORT MÉTROPOLITAIN DE LA COMMUNAUTÉ URBAINE DE MONTRÉAL (1983). Le métro de Montréal, ISBN 2920295195, 164 pages.

BUECHEL, D., GILLIERON, P.-Y. (2004). Navigation pédestre à l'intérieur des bâtiments, Géomatique Suisse, Novembre 2004, p.664-668.
http://topo.epfl.ch/publications/navigation_pedestre_batiment.pdf

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, volume II, pages 937-948.

CHAPLEAU, R. (1994a). Les pieds, les pauvres et le métro, Routes et Transport, Montréal, volume XXIV, no. 1, p. 35-46.

CHAPLEAU, R. (1994b). Notions, Concepts, Littérature sur la Planification des Systèmes de Transport en Commun et l'Approche Madituc, École Polytechnique, Génie des Transports, 384 pages.

CHAPLEAU, R. (1997). Les pannes de métro et ses clients-victimes : un essai de mesure avec les données d'enquêtes origine-destination, 32e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Trois-Rivières, Tome 1, pages 426-441.

CHAPLEAU, R. (2000). Planification des Transports, Notes de cours, Presses Internationales Polytechnique.

CHAPLEAU, R., MORENCY, C. (2002). Pour une confusion interrompue à propos des déplacements urbains, 37e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Québec, 18 pages.

CHAPLEAU, R., PICHÉ, D., CHAPLEAU, M.-A. (2003). Les stations de métro en réalité virtuelle: une autre technologie d'information pour l'usager du transport en

commun, 38e Congrès Annuel de l'Association québécoise du transport et des routes, Sherbrooke.
http://www.ovi.umontreal.ca/documents/ovi_rchapleau.pdf

CHAPLEAU, R., MORENCY, C. (2004). Obésité et autres vanités urbaines : incidences de la spatio-démographie sur la mobilité, 39e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Québec, CD-ROM, 22 pages.

CHAPLEAU, R. (2004). Visual-is-action du transport urbain, 39e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Québec, 21 pages.
http://www.aqtr.qc.ca/documents/Congres/Conferences2004/pdfs/chap_rob1.pdf

CHEUNG, C.Y., LAM, W. H. K. (1998), Pedestrian route choices between escalator and stairway in MTR stations. Journal of transportation engineering, ASCE, vol. 124, pages 277-285.
http://scitation.aip.org/getpdf/servlet/GetPDFServlet?filetype=pdf&id=JTPEDI000124000003000277000001&idtype=cvips&prog=normal

COMITÉ SCIENTIFIQUE DE KINO-QUÉBEC (2005a). Les cibles d'action 2005-2008 du programme Kino-Québec, Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport, Gouvernement du Québec, 44 p.
http://www.kino-quebec.qc.ca/publications/PlanActionKino.pdf

COMITÉ SCIENTIFIQUE DE KINO-QUÉBEC (2005b). Aménageons nos milieux de vie pour nous donner le goût de bouger pour une meilleure qualité de vie, Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport, Gouvernement du Québec, 29 p.
http://www.kino-quebec.qc.ca/publications/Broch_Amenageons.pdf

DAAMEN, W. (2004). Modelling passenger flows in public transport facilities. PhD Thesis. Delft University Press, 377 pages.
http://www.pedestrians.tudelft.nl/publications/thesis.pdf

DAAMEN, W., BOVY, P. H. L., HOOGENDOORN, S. P., & VAN DE REIJT, A. (2005). Passenger Route Choice concerning Level Changes in Railway Stations. Transportation Research Board Annual Meeting 2005, p. 1-18
http://www.pedestrians.tudelft.nl/publications/TRB05d%20rc.pdf

FLAMM, M. (2004). La signification des temps de déplacement. Une caractérisation qualititative. Recherche Transport Sécurité, no 85, pages 241-259.

FLANDROIS, R., MONOD, H. (1995). Physiologie du sport, Abrégé Masson, 120 p.

FONTAINE, S., DENIS, M. (1999). The Production of Route Instructions in Underground and Urban Environments. Lecture Notes in Computer Science, Volume 1661, Springer Berlin / Heidelberg, pages 83-94.

FRUIN, J. (1971). Pedestrian Planning and Design, Metropolitan Association of Urban Designers and Environmental Planners, New York, 206 pages.

FRUIN, J., GUHA, D.K., MARSHALL, R.F. (1985). Pedestrian Falling Accidents in Transit Terminals, Port Authority of New York and New Jersey, U.S. Department of Transportation, 108 pages.
http://transit-safety.volpe.dot.gov/publications/safety/pedestrian/html/dot-tsc-umta-84-36.htm

HYMAN, J.A. (2003). Computer Based People Tracking for Motivating Behavior in Public Spaces. Master of Engineering in Electrical Engineering and Computer Science, Massachussets Institute of Technology, 125 pages.

HOOGENDOORN, S. P., DAAMEN, W. (2005). Pedestrian Behavior at Bottlenecks, Transportation Science, Volume 39, No.2, p. 147-159

INMAN, V.T., RALSTON, H.J., TODD, F., (1981). Human Walking, Williams and Wilkins, 154 pages.

KANAFANI, A. (1983). Transportation Demand Analysis, McGraw-Hill, 316 pages.

KWAN, M.-P., LEE, J. (2005). Emergency response after 9/11: The potential of Real-Time 3D GIS for Quick Emergency Response in Micro-Spatial Environments, Computers, Environment and Urban Systems, vol. 29, no. 2, pages 93 –113.

LAND TRANSPORT NEW ZEALAND, (2004), Pedestrian characteristics and preferences, Pedestrian network planning and facilities design guide, Government of New Zealand.
http://www.ltsa.govt.nz/consultation/ped-network-plan/chapter3.html

LAM, S. H., XIE, F. (2002). Transit Path-Choice Models That Use Revealed Preference and Stated Preference Data. Transportation Research Record, Washington, no. 1799, p.58-65.

LAM, W. H. K., CHEUNG, C.-Y. (2000). Pedestrian speed-flow relationships for walking facilities in Hong Kong. Journal of Transportation Engineering, Vol. 126 no.4, p. 343-349

LAM, W. H. K., CHEUNG, C.-Y., LAM, C.F. (1999), A study of crowding effects at the Hong Kong light rail transit stations. Transportation research, Part A 33, pages 401-415.

LEE, J. (2001). 3D Data Model for Representing Topological Relations of Urban Features, Proceedings of the 21st Annual ESRI International User Conference, San Diego, CA

LEE, J. (2004). 3D GIS for Geo-Coding Human Activity in Micro-Scale Urban Environments, M. Egenhofer, C. Freksa and H. Miller, eds., Geographical Information Science: Springer's Lecture Notes in Computer Science, New York: Springer p.162-178.

LEE, J., LAM, W. H. K., WONG, S. C., (2001). Pedestrian Simulation Model for Hong Kong Underground Stations. 2001 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference Proceedings, p 554-558.

LI, J. P., (2000). Train station passenger flow study, Proceedings of 2000 Winter Simulation Conference.
http://www.informs-sim.org/wsc00papers/157.PDF

MCDONOUGH, K., (2002). La réalité virtuelle appliquée aux systèmes d'information de transport urbain collectif. Mémoire M.Sc.A., École Polytechnique, Génie civil, Section Transports, 142 pages.

MORNEAU, C., DUBOIS, M., (1992). Montréal en métro, Éditions Ulysse, 287 pages.

MORRALL, J.F., RATNAYAKA, L.L., SENEVIRATNE, P.N., (1991). Comparison of Central Business District Pedestrian Characteristics in Canada and Sri-Lanka, Transportation Research Record 1294, pages 57-61.

ORTUZAR, J., WILLUMSEN, L. (1994). Modeling Transport, John Wiley, New York, 1994, 438 pages.

PICHÉ, Daniel, CHAPLEAU, Robert (2005). Mobilité dans le réseau piétonnier de la ville intérieure de Montréal : toile filante?, 40e congrès de l'Association québécoise du transport et des routes, Laval.
http://www.aqtr.qc.ca/documents/Congres/Conferences2005/40Congres/pdfs/Piche_Daniel.pdf

PICHÉ, Daniel, (2005). Problématique de la modélisation des déplacements piétonniers dans la ville intérieure de Montréal, Mémoire de maîtrise sous la direction du Pr. R. Chapleau, Département des génies civil, géologique et des mines, École Polytechnique de Montréal.

PURSLULA, M., WEURLANDER, M., (1999). Modeling Level of Service Factors in Public Transportation Route Choice. Transportation Research Record, Washington, no. 1669, p.30-37

STM (2004a). Plan stratégique de développement du transport en commun 2004-2013, Service de la Planification et du développement, 38 pages.

STM (2004b). Investir dans notre avenir, Rapport annuel 2004, 64 pages.

STRAKOSCH, G.R. (1983). Vertical Transportation: Elevators and Escalators, Second Edition, New York, Wiley, 205 p.

TREMBLAY, P., OUIMET, M., (2001). Trajets urbains et risque de victimisation : les sites de transit et le cas du métro de Montréal. Revue Criminologie. Vol. 34, no.1, p. 157-176.

TSENG-CHYAN, D.Y., LAI, P.C., (2004). Route Guiding with Vertical Consideration for Visitors on Foot. Proceedings XXth ISPRS Congress, Commission II. Working Group II/6, Istanbul, Turkey, p. 12-23.

WALTHERT, N. (1985). La marche, source de santé marchez mieux, marchez plus, pour retrouver santé, équilibre, dynamisme et énergie. Saint-Jean-de-Braye, France, 140 p.

WARDMAN, M. (2001). Public Transport Values of Time. Institute for Transport Studies Working Paper, no. 564, 49 pages.

WIGAN, M. (1995). Treatment of Walking as a Mode of Transportation. Transportation Research Record 1487, p. 7-13.

WIGGENRAAD, P.B.L. (2001). Alighting and Boarding Times of Passengers at Dutch Railway Stations. Report, TRAIL Research School. http://www.pedestrians.tudelft.nl/publications/TRAIL01.pdf