POLYPUBLIE

Modélisation des impacts de la congestion routière sur l'élaboration des tournées de services à domicile

Marie-Hélène Leroux

Document en libre accès dans PolyPublie
Open Access document in PolyPublie

Date	2005
Type	Mémoire ou thèse / Dissertation or Thesis Mémoire de maîtrise/Master's thesis
URL de PolyPublie PolyPublie URL	https://publications.polymtl.ca/7641/
Conditions d'utilisation Terms of use	© Tous droits réservés / All rights reserved
Référence Citation	Leroux, M.-H. (2005). Modélisation des impacts de la congestion routière sur l'élaboration des tournées de services à domicile [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal]. PolyPublie. https://publications.polymtl.ca/7641/

Détails de la thèse
Thesis details

Directeurs de recherche Advisors	Martin Trépanier
Programme Program	Non spécifié

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

MODÉLISATION DES IMPACTS DE LA CONGESTION ROUTIÈRE SUR L'ÉLABORATION DES TOURNÉES DE SERVICES À DOMICILE

MARIE-HÉLÈNE LEROUX
DÉPARTEMENT DE MATHÉMATIQUES ET DE GÉNIE INDUSTRIEL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE INDUSTRIEL)
AOÛT 2005

© Marie-Hélène Leroux, 2005.

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: 978-0-494-16809-7
Our file Notre référence
ISBN: 978-0-494-16809-7

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 :

MODÉLISATION DES IMPACTS DE LA CONGESTION ROUTIÈRE SUR L'ÉLABORATION DES TOURNÉES DE SERVICES À DOMICILE

présenté par : LEROUX Marie-Hélène
en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées
a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

M. BAPTISTE Pierre, Doctorat, président
M. TRÉPANIER Martin, ing., Ph.D., membre et directeur de recherche
M. BLAIS Marko, M.Sc.A., membre

À la mémoire de Sophie D. Lapierre

REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier le Fond Québécois de la Recherche sur la Nature et les Technologies et le ministère des Transport du Québec qui ont financé cette recherche. J'aimerais également remercier le CLSC Côte-des-Neiges et son personnel pour nous avoir accueillis.

Je tiens à remercier mon directeur de recherche, M. Martin Trépanier, qui a su me conseiller au cours des deux dernières années.

J'aimerais également remercier ma famille et mes amis qui m'ont soutenu tout au long de cette aventure.

RÉSUMÉ

Depuis la formulation du problème de voyageur de commerce dans les années 1930, l'étude des déplacements effectués par les travailleurs itinérants a fasciné la communauté mathématique. Des modèles de plus en plus sophistiqués ont été développés afin de résoudre des problèmes complexes. Parmi ces modèles, on retrouve le *Time Dependent Traveling Salesman Problem* (TDTPS) qui tient compte des effets de la congestion routière. Avec les années, le TDTSP a été perfectionné. Les fonctions discrètes de temps de déplacement ont fait place à des fonctions continues.

Le développement et la mise en place d'un algorithme de TDTSP est une tâche lourde et complexe. Avant de se lancer dans l'aventure, une entreprise veut connaître ses bénéfices exacts. Le but cette étude est d'analyser le comportement du TDTSP en situation réelle en le comparant à d'autres algorithmes de transport, comme le problème du voyageur de commerce (TSP). Le contexte retenu est la prestation de soins à domicile par le personnel infirmier. Plus précisément, nous étudierons le cas du département de maintien à domicile (MAD) du CLSC Côte-des-Neiges.

Avant de débuter l'étude comparative, il faut analyser l'organisation des services au CLSC afin de développer des modèles de simulation appropriés. Pour y parvenir, nous avons développé un système d'information permettant de recueillir des données relatives aux déplacements quotidiens. Plusieurs caractéristiques propres au contexte du MAD ont ainsi été soulevées. Le découpage territorial est la caractéristique la plus intéressante car il offre une simplicité de gestion. Chaque infirmière possède son propre bassin de patients

et le problème de tournée de véhicules vécu par les autorités organisatrices de MAD est ainsi transformé en plusieurs petits problèmes de TSP.

On fait donc face à un contexte bien délimité dans lequel il sera aisé d'étudier le TDTSP. Cependant, un aspect de ce contexte distingue notre étude des études précédentes : le caractère imprédictible du temps de service. En effet, pour une infirmière, il est difficile de prévoir combien de temps durera une visite chez un patient. On retrouve certainement la même problématique dans d'autres catégories de travailleurs itinérants. Pourtant, dans la littérature sur le TDTSP, nous ne sommes conscients d'aucune étude ayant porté sur ce caractère imprévisible. Or, nous supposons que lorsqu'on tient compte des effets du trafic, et des heures de la journée, une variation dans la durée des visites pourrait avoir un effet sur l'optimalité de la route choisie. Par conséquent, notre modélisation incorpore ce caractère imprévisible.

Les résultats obtenus suite à des simulations démontrent que le caractère imprévisible du temps de service a effectivement une influence significative. Dès qu'on introduit de la variabilité, les résultats obtenus à l'aide du TDTSP se dégradent de 0,82% alors que ceux obtenus par un algorithme de voyageur de commerce (TSP) ne se dégradent de 0,48%. Le TDTSP offre toujours, en moyenne, des résultats supérieurs au TSP mais l'écart entre les deux algorithmes s'amenuise. Dans une situation idéale, l'avantage du TDTSP par rapport au TSP est de 1,67% alors qu'il n'est plus que de 1,33% lorsqu'on introduit de la variabilité.

On montre ainsi que le caractère imprévisible du temps de service ne devrait pas être négligé dans les formulations du TDTSP car il a une influence significative. Des études futures pourraient bonifier notre modèle en incluant également des variations sur la durée de déplacement.

ABSTRACT

Since its formulation in the 1930s, the traveling Salesman problem (TSP) has been widely studied by mathematicians. Sophisticated models have been developed since then to solve complex problems. The Time Dependent Traveling Salesman Problem (TDTSP) is one of these models. This formulation is similar to the TSP, but takes traffic congestion into account. With years, the TDTPS has evolved and discrete travel time functions have been replaced with continuous functions.

Developing and implementing a TDTSP algorithm is a long and complex task. Before proceeding, a firm might want to be aware of the TDTSP's exact benefits. The goal of this study is to analyse the TDTSP in a real life situation. We will compare it with other well known algorithms such as the Traveling Salesman Problem (TSP). We've selected home health care services as a field of study. More precisely, we will study homecare services provided by the nurses of CLSC Côte-des-Neiges.

To develop appropriate simulation models, we need to analyse the way services are organised. That's why we developed an information system collecting geographical data. We uncovered many characteristics related to the context of homecare services at the CLSC. The most interesting characteristic is certainly the districting approach used. As each nurse has her own pool of patients, the classical vehicle routing problem found in home health care services organisations is transformed in many simple TSPs.

Home care services at CLSC Côte-des-Neiges is therefore a well delimited context. This will facilitate the application of TDTSP. However, our study stands

out of previous studies due to the unpredictable behaviour of service time. When we look at the CLSC data, we notice that for a nurse, it's extremely hard to predict the duration of an appointment. Other categories of workers probably experience the same problematic. However, we are aware of no study in the TDTSP literature who took that unpredictable behaviour into account. We theorize that if we include road congestion, and hours of the day, in our model, a variation in the time of service could have an important effect on the selected route optimality. That's why that unpredictable behaviour has been incorporated into our model.

The simulation results we obtained show that the unpredictable behaviour of service time has a significant influence. As soon as we have to deal with variability in the service time, the results obtained with the TDTSP undergo a 0.82% deterioration while the results obtained with the TSP only undergo a 0.48% deterioration. The TDTSP still offer, in average, better results than the TSP, but the gap between the two is lessened. In an ideal situation, the TDTSP has a 1.67% advantage over the TSP, but when we introduce variability, the advantage is reduced to 1.33%.

To conclude, in the study at hand, we showed that the unpredictable behaviour of service time shouldn't be neglected in TDTSP formulations due to its significant influence. Further studies improving our model by inducing variations on travel times as well could provide a valuable filed of study.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE ..... **iv**

REMERCIEMENTS ..... **v**

RÉSUMÉ ..... **vi**

ABSTRACT ..... **viii**

TABLE DES MATIÈRES ..... **x**

LISTE DES TABLEAUX ..... **xiii**

LISTE DES FIGURES ..... **xiv**

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS ..... **xvii**

LISTE DES ANNEXES ..... **xviii**

INTRODUCTION **1**

CHAPITRE 1 - CONTEXTE ET MÉTHODOLOGIE **4**

1.1 Contexte actuel 4

1.1.1 Le CLSC Côte-des-Neiges et son équipe de MAD 5

1.1.2 Le territoire du CLSC Côte-des-Neiges 6

1.1.3 L'approche par quartier 7

1.1.3 Les déplacements quotidiens 9

1.1.4 Bilan 12

1.2 Méthodologie 13

CHAPITRE 2 – REVUE DE LA LITTÉRATURE 16
2.1 Les problèmes de tournées sur les nœuds 16
2.1.1 Le plus court chemin 17
2.1.2 Les problèmes de voyageur de commerce 25
2.1.3 Les problèmes de tournée de véhicules 29
2.1.4 Le Time Dependent Traveling Salesman Problem 31
2.2 Les systèmes d'information en santé 35
2.2.1 Caractéristiques des SI en santé 36
2.2.2 Historique des SI en santé au Québec 37
2.2.3 Les SI auprès des infirmières 39
2.2.4 Les SI dans les services de MAD 41
2.3 Le maintien à domicile au Québec 42
2.3.1 Les origines du programme 44
2.3.2 L'évolution de la situation 45
2.3.3 Lacunes et problématiques 47

CHAPITRE 3 – MONTAGE D'UN SI EXPÉRIMENTAL 49
3.1 Analyse des utilisateurs et du contexte d'utilisation 50
3.1.1 Prise de rendez-vous 52
3.1.2 Les visites à domicile 53
3.1.3 Appel à l'équipe de surplus et aux agences privées 53
3.1.4 Mise à jour du dossier et suivi 54
3.1.5 Statistiques 54
3.1.6 Autres activités 55
3.2 SI développé 55
3.2.1 Modèle relationnel de données 56
3.2.2 Interface 58

CHAPITRE 4 – MODÉLISATION 65
4.1 Modélisation du problème 65
4.2 Mesures et comparaison 69
4.2.1 Algorithmes retenus 69
4.2.2 Mesures 73
4.2.3 Facteurs pouvant influencer les résultats 76
4.3 Modélisation de la solution 76
4.3.1 Modélisation du contexte 77
4.3.2 Simulation de base 81
4.3.3 Simulations additionnelles 85
4.3.4 Outil Excel 88
4.4 Résultats attendus 90

CHAPITRE 5 – EXPÉRIMENTATIONS ET RÉSULTATS 91
5.1 Simulation de base 91
5.1.1 Présentation des résultats 91
5.1.2 Analyse détaillée des résultats 94
5.2 Simulations additionnelles 99
5.2.1 Congestion routière 99
5.2.2 Distance 101
5.2.3 Durée des visites 103
5.2.4 Imprévisibilité du temps de service 105
5.2.5 Fonction continue de trafic 107

CONCLUSION 109

RÉFÉRENCES 114

ANNEXES 121

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1 Utilisation des technologies de l'information en santé 39
Tableau 4.1 Choix d'algorithmes permettant de résoudre le problème 71
Tableau 5.1 Résultats de la simulation de base 92
Tableau 5.2 Performances relative des divers algorithmes 93
Tableau 5.3 Distribution des résultats de chaque algorithme 95
Tableau 5.4 Performance d'un algorithme par rapport à ses rivaux 96
Tableau 5.5 Résultats obtenus avec une fonction quasi-continue de trafic 107
Tableau C.1 Résultats lorsque les valeurs de trafic a et b valent 1,1 et 1,2 162
Tableau C.2 Résultats lorsque les valeurs de trafic a et b valent 1,2 et 1,4 163
Tableau C.3 Résultats lorsque les valeurs de trafic a et b valent 1,4 et 1,8 163
Tableau C.4 Résultats lorsque les valeurs de trafic a et b valent 1,5 et 2,0 164
Tableau C.5 Résultats lorsque les distances sont divisées par deux 164
Tableau C.6 Résultats lorsque les distances sont multipliées par deux 165
Tableau C.7 Résultats lorsque les durées sont bonifiées de 15 minutes 165
Tableau C.8 Résultats lorsque les durées sont bonifiées de 30 minutes 166
Tableau C.9 Résultats lorsqu'il n'y a aucune variabilité..... 166
Tableau C.10 Résultats lorsqu'il y a une variation de 10%..... 167
Tableau C.11 Résultats lorsqu'il y a une variation de 20%..... 167
Tableau C.12 Résultats lorsqu'il y a une variation de 30%..... 168
Tableau C.13 Résultats lorsqu'il y a une variation de 40%..... 168
Tableau C.14 Résultats détaillés de la simulation à 6 matrices de distances.. 169

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 Territoire du CLSC Côte-des-Neiges 6
Figure 1.2 Découpage territorial 7
Figure 1.3 Tournées effectuées par les infirmières 10
Figure 1.4 Déplacements d'une infirmière 11
Figure 2.1 Classification des problèmes de plus court chemin 18
Figure 2.2 Algorithme de Dijkstra 19
Figure 2.3 Illustration de l'algorithme de Dijkstra 20
Figure 2.4 Exemple d'application de l'algorithme de Dijkstra 21
Figure 2.5 Modification apportée à l'algorithme de Dijkstra 21
Figure 2.6 Algorithme de Floyd 23
Figure 2.7 Application de l'algorithme de Floyd 23
Figure 2.8 Résultats obtenus suite à l'application de l'algorithme de Floyd 24
Figure 2.9 Algorithme de Dantzig 25
Figure 2.10 Formulation du TSP énnoncée par Christofides 27
Figure 2.11 Formulation du problème de tournée de véhicules 30
Figure 2.12 Estimation du temps de déplacement 33
Figure 2.13 Formulation du TDTSP énoncée par Fox, Gavish et Graves 34
Figure 3.1 Interaction entre les principales activités de MAD 51
Figure 3.2 Modèle relationnel de données 57
Figure 3.3 Interface du système d'information 59
Figure 3.4 Dossier patient 62
Figure 4.1 Effet des durées réelles sur la route choisie 68
Figure 4.2 Distribution des durées des visites du mois de mars 2003 68
Figure 4.3 Mesures prises pour juger de la qualité d'un algorithme 74
Figure 4.4 Procédure suggérée lors des simulations 75
Figure 4.5 Quartier à l'étude 78

Figure 4.6 Fonction de trafic utilisée pour la simulation de base 79
Figure 4.7 Fonction de trafic utilisée pour la simulation additionnelle 88
Figure 4.8 Outil Excel 89
Figure 5.1 Performance du Cas 1 par rapport au Cas 3 95
Figure 5.2 Tournées obtenues à l'aide du Cas 1 et du Cas 3 97
Figure 5.3 Plus proche voisin : influence du trafic 100
Figure 5.4 TSP ET TDTSP : influence du trafic 100
Figure 5.5 Plus proche voisin : influence de la distance 102
Figure 5.6 TSP ET TDTSP : influence de la distance 102
Figure 5.7 Plus proche voisin : Influence du temps de service 103
Figure 5.8 TSP ET TDTSP : influence du temps de service 104
Figure 5.9 Plus proche voisin : caractère imprédictible du temps de service .. 105
Figure 5.10 TSP et TDTSP : caractère imprédictible du temps de service 106
Figure A.1 Interaction entre les éléments de la prise de rendez-vous 122
Figure A.2 Interaction entre les éléments de la prestation de soins 122
Figure A.3 Interaction entre les éléments d'un appel à l'équipe de surplus 123
Figure A.4 Interaction entre les éléments de suivi 124
Figure A.5 Interaction entre les éléments de la tenue de statistiques 125
Figure B.1 Déclaration des variables globales 128
Figure B.2 Assignation de valeurs aux intrants 129
Figure B.3 Détermination de la durée réelle des visites 131
Figure B.4 Résolution du Cas 1 133
Figure B.5 Résolution du Cas 2 135
Figure B.6 Résolution du Cas 3 137
Figure B.7 Résolution du Cas 4 141
Figure B.8 Résolution du Cas 5 144
Figure B.9 Calcul de la solution réelle 146
Figure B.10 Procédure automatisée 150
Figure B.11 Initialisation 151

Figure B.12 Affichage des résultats initiaux 153
Figure B.13 Affichage de la solution réelle 154
Figure B.14 Affichage de la solution optimale 155
Figure C.1 Distribution des résultats obtenus à l'aide du Cas 1 156
Figure C.2 Distribution des résultats obtenus à l'aide du Cas 2 157
Figure C.3 Distribution des résultats obtenus à l'aide du Cas 3 157
Figure C.4 Distribution des résultats obtenus à l'aide du Cas 4 158
Figure C.5 Distribution des résultats obtenus à l'aide du Cas 5 158
Figure C.6 Distribution des résultats obtenus à l'aide du Cas 6 159
Figure C.7 Performance du Cas 1 par rapport au Cas 5 160
Figure C.8 Performance du Cas 3 par rapport au Cas 5 160
Figure C.9 Performance du Cas 2 par rapport au Cas 4 161
Figure C.10 Performance du Cas 2 par rapport au Cas 6 161
Figure C.11 Performance du Cas 4 par rapport au Cas 6 162

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

ADRLSSS :	Agence de Développement de Réseaux Locaux de Services de Santé et de Services Sociaux
CHSLD :	Centre Hospitalier de Soins Longue Durée
CLSC :	Centre Local de Services Communautaires
CTMSP :	Classification par Type en Milieu de Soins et services Prolongés
DFD :	Diagramme de Flux de Données
FIFO :	First In, First Out
MAD :	Maintien À Domicile
MRD:	Modèle Relationnel de Données
MSSS :	Ministère de la Santé et des Services Sociaux
PLAISIR :	PLAnification Informatisée des Soins Infirmiers Requis
PRN :	Projet de Recherche en Nursing
SI :	Système d'Information
SIFO :	Système d'Information Financière et Opérationnelle
SIMAD :	Services Intensifs de Maintien À Domicile
SOFI :	Système informatisé de données Opérationnelles et FInancières
TDTSP :	Time Dependent Travelling Salesman Problem
TSP :	Travelling Salesman Problem
VBA:	Visual Basic pour Applications

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A : DIAGRAMME DE FLUX DE DONNÉES 121

ANNEXE B : SIMULATIONS 126

ANNEXE C : RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES 156

INTRODUCTION

Plusieurs travailleurs utilisent leur voiture non seulement pour se rendre au travail, mais également pour effectuer leur travail. Ces travailleurs itinérants peuvent être classés en deux catégories : (1) ceux effectuant des livraisons, (2) ceux s'occupant de services à domicile tels : les agents immobiliers, les électriciens, les plombiers, les agents d'assurances, les techniciens en téléphonie, etc. Malgré ces différences, ils ont sensiblement le même objectif : visiter le plus grand nombre de clients au cours d'une journée tout en minimisant le temps de déplacement.

Dans un contexte où les problématiques de transport et leurs effets sur la qualité de vie des citoyens sont de plus en plus mis de l'avant, il est intéressant d'étudier le cas de ces travailleurs itinérants. On remarque évidemment, bien que ces travailleurs soient de plus en plus nombreux, qu'ils ne réalisent qu'une faible portion de l'ensemble des déplacements quotidiens d'une région donnée. Leur impact sur la congestion routière est minime. Cependant, pour ces travailleurs, cette congestion routière est un enjeu de taille puisqu'elle vient limiter leur productivité en les retardant constamment. Trouver une méthode d'optimisation de tournée de véhicules permettant de contourner les effets du trafic devient donc une priorité pour ces travailleurs.

Le but premier de ce mémoire est de tester, dans un environnement soumis aux effets du trafic, l'impact de différents modes d'organisation des tournées sur les déplacements quotidiens d'une catégorie de travailleurs itinérants. En se basant sur des données réelles, il sera possible de vérifier l'effet de divers facteurs et de connaître les limites et les avantages de chaque grand mode d'organisation de tournée de véhicules. Comme les algorithmes de type « *Time Dependent*

Traveling Salesman Problem (TDTSP) » sont de plus en plus populaires auprès de la communauté mathématique, nous nous y attarderons particulièrement.

Dans le cadre de ce mémoire, nous avons donc choisi d'analyser un cas bien précis : les infirmières de maintien à domicile (MAD) du CLSC Côte-des-Neiges. Le MAD est un service à domicile permettant aux personnes à mobilité réduite de recevoir des soins de santé. Les déplacements quotidiens effectués par les infirmières du service de MAD du CLSC Côte-des-Neiges constituent un terrain d'étude pertinent puisque : (1) il s'agit d'un cas bien délimité et par conséquent il sera possible d'acquérir une connaissance précise de la situation (2) le quartier Côte-des-Neiges est particulièrement intéressant dans le cadre de ce mémoire puisqu'il est si congestionné qu'il est pratiquement impossible de circuler sur certaines artères en heure de pointe. Cependant, comme les déplacements effectués par ces infirmières ne constituent qu'une faible portion de leur journée de travail, un gain en temps de transport ne leur permettrait pas d'augmenter leur productivité. Par conséquent nous ne désirons pas implanter les résultats de notre étude comparative au CLSC Côte-des-Neiges. Ces résultats seront plutôt utiles, en extrapolant, à des travailleurs itinérants passant une grande partie de leur journée sur la route.

Suite aux rencontres préliminaires avec les responsables du service de MAD au CLSC Côte-des-Neiges, il est apparu que l'atteinte de notre objectif passait par la création d'un système d'information (SI). Pour l'instant, le service du MAD du CLSC n'est pas informatisé et les données sur les déplacements effectués par le personnel sont fragmentaires. Le SI développé viendra combler ce manque en permettant de recueillir les données relatives aux déplacements du personnel infirmier. Il faut de plus mentionner que la création de ce SI, qui passera nécessairement par une légère réorganisation des méthodes de travail actuel, découle d'une demande précise du CLSC Côte-des-Neiges.

Les cinq chapitres de ce mémoire sont le reflet des étapes nécessaires à l'atteinte de notre objectif. On retrouve trois grandes phases, soit : (1) l'étude de la situation actuelle, (2) la création d'un SI et (3) l'étude comparative de différents mode d'organisation des déplacements. Les deux premiers chapitres sont consacrés à la première phase de l'étude. Le premier chapitre décrit la situation actuelle au CLSC Côte-des-Neiges d'un point de vue transport ainsi que les détails de la méthodologie utilisée, tout en précisant les objectifs du mémoire. Le deuxième chapitre présente la revue de la littérature. Une connaissance globale de la situation étant acquise, il est possible de passer à la deuxième phase. Le troisième chapitre s'attarde donc au SI développé.

Finalement, les deux derniers chapitres sont consacrés à la dernière phase de l'étude. Le quatrième chapitre décrit en détails les algorithmes retenus et la modélisation de la situation, alors que le cinquième chapitre présente les résultats obtenus suite aux tests effectués ainsi que l'analyse les accompagnant.

CHAPITRE 1 - CONTEXTE ET MÉTHODOLOGIE

Ce mémoire s'inscrit dans la suite de plusieurs travaux qui ont été réalisés au service de MAD du CLSC Côte-des-Neiges. Il est particulièrement important de mentionner les travaux de Blais (2001) qui ont portés sur le découpage territorial entre intervenants dont le but était d'équilibrer la charge de travail tout en effectuant un découpage favorisant l'usage du transport en commun. Ces travaux ont grandement influencé la réalité quotidienne du MAD au CLSC Côte-des-Neiges.

Le but premier de ce chapitre est de décrire les grandes lignes de cette réalité quotidienne afin de connaître le type de tournées effectuées, la façon dont elles sont élaborées et les facteurs entrant en ligne de compte. C'est avec une image précise du contexte au service de MAD du CLSC Côte-des-Neiges en tête qu'il sera possible de réaliser ultérieurement une analyse pertinente. Les scénarios retenus, les algorithmes retenus seront ainsi plus appropriés. Ainsi, en seconde partie de chapitre, il sera possible de présenter la méthodologie qui sera employée.

1.1 Contexte actuel

Afin de bien cerner les principales caractéristiques des visites à domicile au CLSC Côte-des-Neiges, il est important d'aborder quatre grandes réalités : (1) le CLSC Côte-des-Neiges et son équipe de MAD, (2) le territoire du CLSC Côte-des-Neiges, (3) l'approche par quartier et (4) les déplacement quotidiens. Cette section abordera ces sujets tour à tour.

1.1.1 Le CLSC Côte-des-Neiges et son équipe de MAD

Le CLSC Côte-des-Neiges est un CLSC de l'île de Montréal. Outre les soins de MAD, le CLSC Côte-des-Neiges offre notamment : des services et des soins cliniques, des services de santé mentale, des services de réadaptation et de réinsertion, des services aux familles, des services aux revendicateurs du statut de réfugié, une maison de naissance, un programme de santé au travail, des activités d'enseignement. Environ 500 employés (médecins, infirmières, physiothérapeutes, ergothérapeutes, diététistes, personnel cadre, etc.) œuvrent dans cet établissement.

L'équipe de maintien à domicile du CLSC Côte-des-Neiges est composée de plus de 175 intervenants. Elle comprend des infirmières, des travailleurs sociaux, des ergothérapeutes, des physiothérapeutes, des diététistes, des auxiliaires familiales et sociales, des médecins, un travailleur communautaire et une organisatrice communautaire. Leur mission est d'effectuer des visites à domicile afin de prodiguer des soins aux personnes à mobilité réduite.

Ces personnes ont pu, en 2002-2003, effectuer 147 111 interventions auprès de 6122 usagers, ce qui représente en moyenne, sur les 365 jours ouvrables, 403 interventions par jour. Ce nombre est inférieur à celui de 2001-2002 où 149 546 interventions avaient été effectuées auprès de 6446 usagers, soit une moyenne de 409 interventions par jour. Pour leur part, les 26 infirmières de l'équipe de MAD ont réalisé en 2002-2003, 34 481 des 147 111 interventions. Il s'agit également d'une baisse si on compare ce chiffre aux 36 003 de 2001-2002. (CLSC Côte-des-Neiges 2004) Cette baisse est observée dans un contexte où la demande est pourtant de plus en plus forte.

Dans le cadre de ce mémoire, seule la réalité des 26 infirmières de MAD sera étudiée. Nous avons du faire ce choix afin de mieux cerner le problème puisque les modes de travail différaient de catégorie de travailleur de MAD en catégorie. Les sections qui suivent traiteront donc uniquement du cas des infirmières.

1.1.2 Le territoire du CLSC Côte-des-Neiges

Situé en plein cœur de Montréal, le CLSC Côte-des-Neiges s'adresse à la population située dans les quartiers Côte-des-Neiges, Outremont et Ville Mont-Royal. Notons que la plupart de ces secteurs sont bien desservis par le réseau routier ainsi que par le transport en commun, puisqu'on y dénombre 10 stations de métro ainsi que plusieurs lignes d'autobus d'importance. Cependant, la présence de deux lignées de chemin de fer isole quelque peu le quartier Ville Mont-Royal.

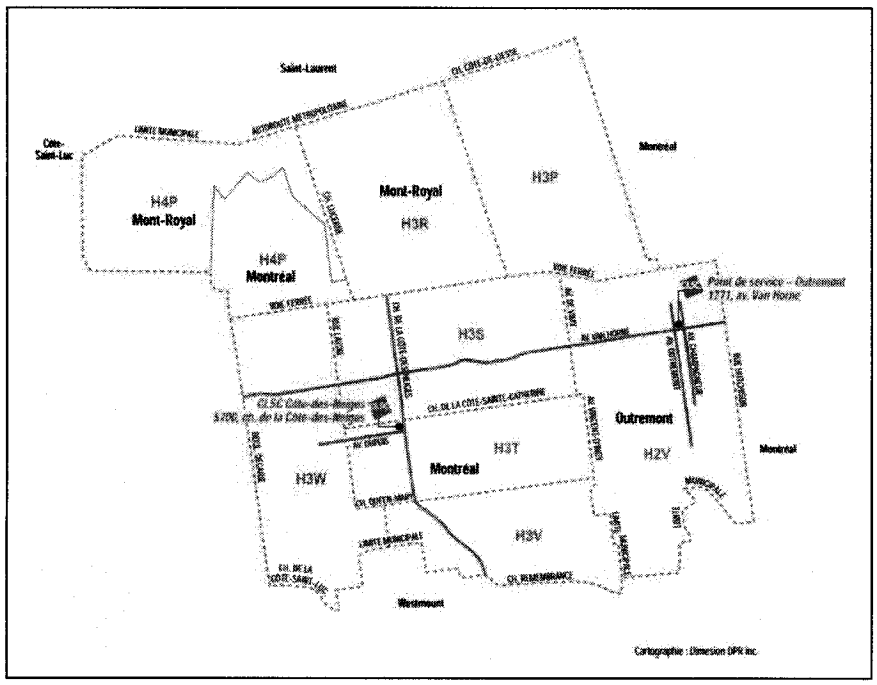


Figure 1.1 Territoire du CLSC Côte-des-Neiges

Ce territoire comptait lors du recensement de 2001, 130 980 habitants dont 15% de personnes âgées de plus de 65 ans, ce qui est comparable au taux observé dans la région montréalaise. Ces personnes proviennent de divers milieux culturels et ethniques. 50% de la population du territoire est née à l'extérieur du continent nord-américain et seulement 48,5% de la population parle le français à la maison, comparativement à 64,0% sur l'Île de Montréal. La clientèle est nettement plus scolarisée que la moyenne de l'île de Montréal (41,1% détiennent un diplôme universitaire contre 23,1%) mais également plus pauvre. (CLSC Côte-des-Neiges 2004)

1.1.3 L'approche par quartier

Pour répondre à la demande, le personnel de MAD a été divisé en 6 équipes multidisciplinaires. Chaque équipe est responsable d'une partie bien délimitée du territoire du CLSC. À ces équipes s'ajoute une équipe de surplus dont le rôle est d'absorber les pointes de demandes sur l'ensemble du territoire et d'ainsi minimiser les effets des fluctuations ponctuelles de demandes de soins.

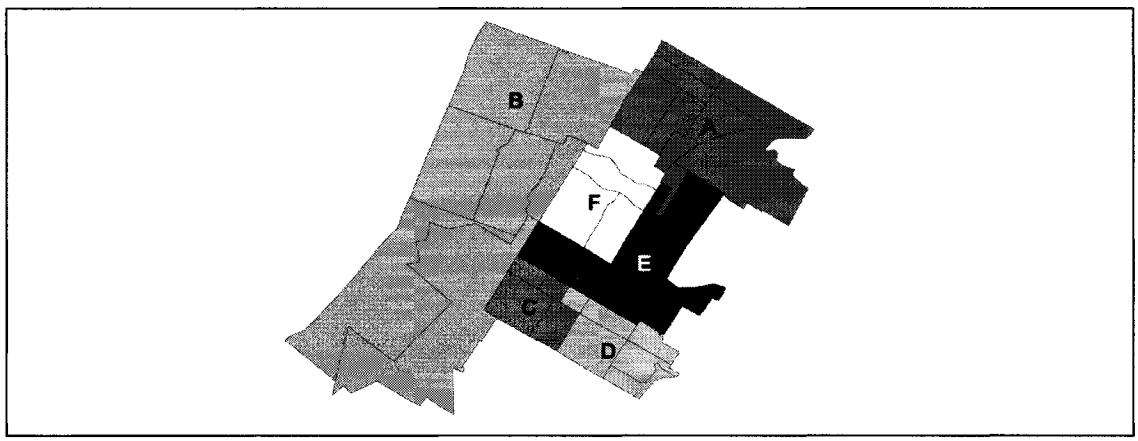


Figure 1.2 Découpage territorial

Le choix de cette approche par quartier est ainsi expliqué :

> *« Chaque équipe multidisciplinaire est assignée à un des six quartiers découpés dans le vaste territoire du CLSC Côte-des-Neiges. Le fait de permettre à chaque intervenant de travailler auprès de la même clientèle et en collaboration avec les mêmes organismes et agences du quartier favorise la qualité et la continuité des interventions. Ce principe est un des fondements de l'intervention par quartier. Il va sans dire que ce découpage offre aussi l'avantage de réduire le temps de déplacement entre les visites à domicile » (CLSC Côte-des-Neiges 2004, p. 37)*

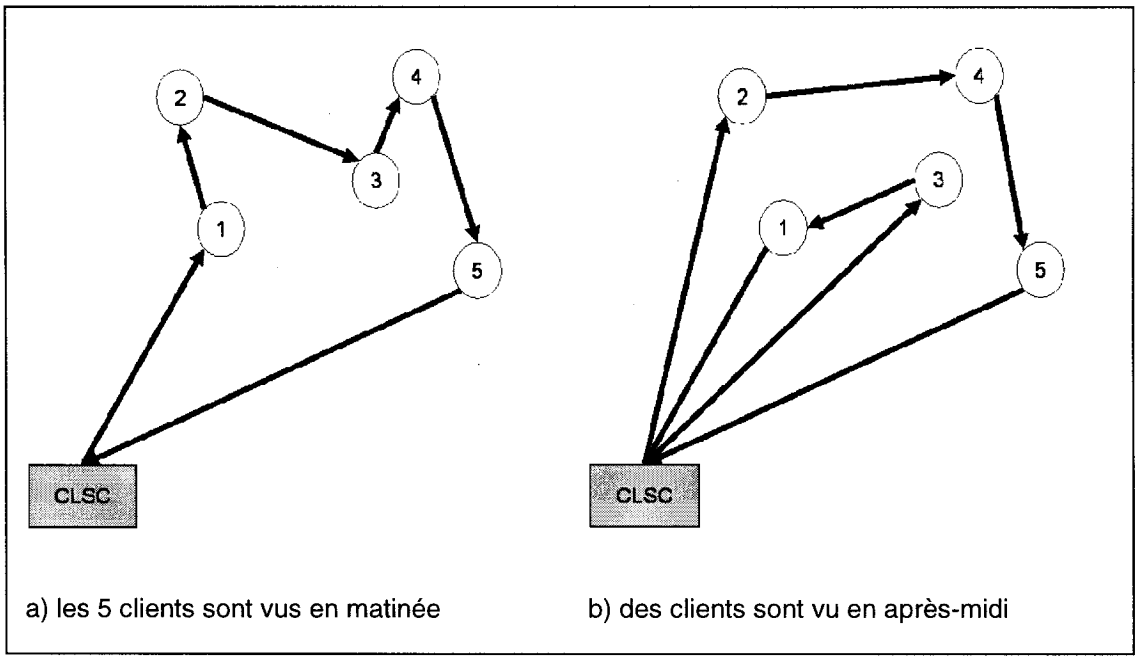
Chaque équipe (composée d'un certain nombre d'infirmières, de travailleurs sociaux, de physiothérapeutes, etc.) est donc assignée à un territoire donné et est chapeautée par une personne responsable de la coordination des services. Il faut, en outre, souligner que chaque secteur est par la suite subdivisé en sous-secteurs et que chaque professionnel s'occupe d'un nombre défini de sous-secteurs. C'est donc dire que chaque patient est assigné à une seule infirmière, un seul travailleur social, une seule diététiste, etc.

Lorsque la densité de population est élevée, le territoire d'une infirmière est relativement petit et peut, dans sa plus simple expression, se limiter à une seule tour d'habitation. Dans ce cas, très peu de déplacements sont à prévoir. Cependant, dans les secteurs où la densité de population est moins élevée, le territoire d'une infirmière prend de l'ampleur et les déplacements sont plus nombreux. Sur le territoire du CLSC Côte-des-Neiges, on retrouve les deux situations. Quelques infirmières sont assignées une seule tour d'habitation, mais la plupart sont responsables d'un secteur incluant plusieurs pâtés de maisons. On réalise rapidement que si l'approche du CLSC Côte-des-Neiges est appliquée en milieu rural, les distances prennent beaucoup d'importance. Cependant, en milieu rural, l'effet du trafic se fait moins sentir.

Tel que mentionné plus haut, cette approche permet d'assurer la continuité des soins et limite, en quelque sorte, les déplacements. Cependant il devient difficile de réagir aux fluctuations de la demande. C'est ainsi que certains jours, une infirmière est débordée et doit faire appel à l'équipe de surplus alors que le lendemain, son carnet de rendez-vous est pratiquement vide.

1.1.3 Les déplacements quotidiens

Lors d'un jour ouvrable, une infirmière visitera généralement quatre ou cinq patients situés sur le territoire qui lui a été attribué. Il est très rare qu'une infirmière visite plus de cinq patients par jour en raison du temps limité, les visites étant habituellement effectuées le matin alors que l'après-midi est entièrement consacré à du travail de bureau. C'est donc dire qu'une infirmière quittant le bureau le matin résoudra mentalement un problème de voyageur de commerce afin d'effectuer une tournée de relativement petite taille. Puis, elle reviendra au bureau vers l'heure du dîner. Dans certains cas, en raison des exigences des clients, une ou deux de ces visites pourront plutôt être prévues en après-midi.



a) les 5 clients sont vus en matinée

b) des clients sont vu en après-midi

Figure 1.3 Tournées effectuées par les infirmières

L'étude d'une semaine de travail de trois infirmières a démontré que dans certains secteurs, les distances sont trop faibles pour avoir à déplacer la voiture entre deux rendez-vous. C'est notamment le cas dans les secteurs où la densité de personnes en perte d'autonomie est relativement élevée. Dans ces cas, la voiture est typiquement utilisée pour atteindre le sous-secteur et elle est garée à un point permettant de visiter quelques patients. Puis, elle est déplacée afin de visiter un second groupe de patients et ainsi de suite, jusqu'à ce que l'ensemble des patients aient été vus. Finalement, la voiture est utilisée pour le retour au CLSC.

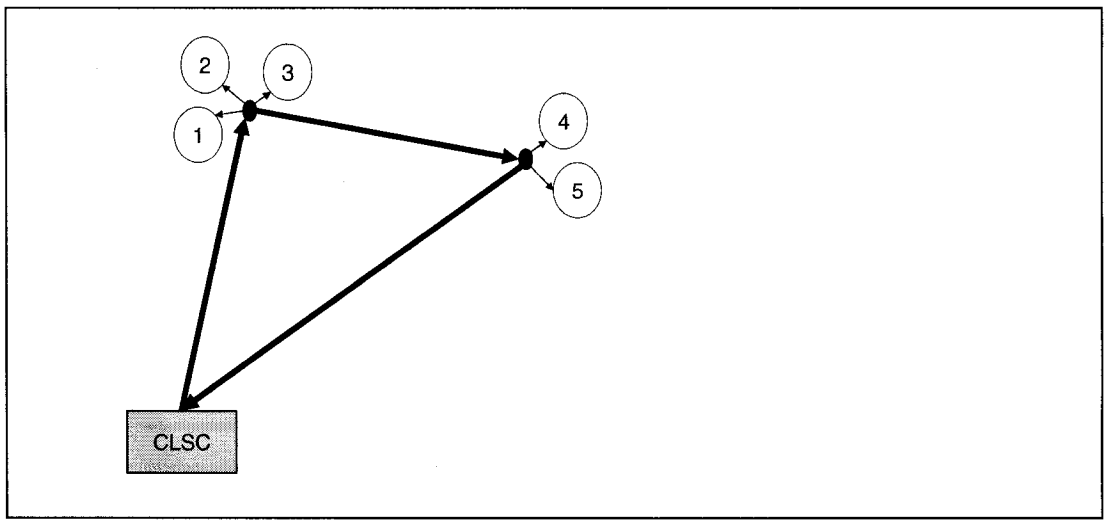


Figure 1.4 Déplacements d'une infirmière

Nous avons jusqu'ici abordé la notion de déplacement. Mais outre le temps à consacrer au déplacement, il faut considérer le temps passé auprès du patient. Ce temps est considérable et difficilement prévisible. Cependant, suite à des entrevues, on constate que le temps nécessaire à la recherche d'une place de stationnement est négligeable puisque les infirmières possèdent des vignettes de stationnement leur permettant de garer leur véhicule à n'importe quel endroit sur le territoire du CLSC.

Il importe de souligner qu'il est parfois impératif de visiter un client à la première heure si celui-ci doit être à jeun lors de l'examen. Ainsi, les tournées retenues ne pourront pas toujours respecter l'optimum. De plus, notons que certaines infirmières, ayant déjà en main dossiers et matériel médical, se rendent directement chez leur premier client en quittant leur domicile. Le point de départ de la tournée n'est donc pas nécessairement le CLSC.

1.1.4 Bilan

Le découpage territorial utilisé par le département de MAD du CLSC Côte-des-Neiges offre de nombreux avantages dont quelques-uns ont déjà été mentionnés. Notons premièrement que cette solution offre la simplicité de gestion puisque tout est décentralisé et que chaque infirmière peut facilement gérer son propre carnet de rendez-vous. Deuxièmement, cette décentralisation entraîne la responsabilisation de l'infirmière qui dès lors comprend les enjeux de son travail. Troisièmement, mentionnons que cette approche permet en quelque sorte de minimiser les déplacements puisque les infirmières oeuvrent dans un seul sous-secteur et n'ont pas à couvrir l'ensemble du territoire. Finalement, il est important de dire que la continuité des soins est assurée car chaque patient est toujours vu par la même infirmière, à l'exception des jours où il y a une pointe de demandes et où quelques rendez-vous sont confiés à l'équipe de surplus. Pour le CLSC Côte-des-Neiges, la continuité des soins est de loin l'élément le plus important car il permet d'effectuer de manière appropriée le suivi auprès du patient et de lui offrir des soins de qualité.

En analysant la situation d'un point de vue transport, on note que, bien que le découpage territorial permette de minimiser les déplacements du personnel, une approche plus centralisée, où l'assignation des patients serait modifiée de jour en jour selon les besoins, offrirait de meilleurs résultats. Quelques minutes seraient économisées, ici et là, et ce type de gestion permettrait probablement de réduire le personnel du service de MAD et d'engendrer des économies. Cependant, cela se ferait au détriment de la continuité des soins puisque les infirmières devraient sans cesse se familiariser avec de nouveaux patients. Aussi, cela entraînerait la déresponsabilisation de l'infirmière et complexifierait la gestion. En modifiant l'approche, tout gain en temps de transport serait

contrebalancé par une perte de temps administrative. En fait, il y aurait probablement beaucoup plus à perdre qu'à gagner.

Par conséquent, le but de la présente étude n'est pas de modifier l'approche utilisée par le CLSC Côte-des-Neiges. Il s'agit plutôt de comparer l'efficacité relative de plusieurs modes de confection d'horaires dans le contexte actuel du CLSC. Cependant, comme nous l'avons mentionné en introduction, le cas du CLSC Côte-des-Neiges est particulier. En raison du découpage territorial, les infirmières parcourent de faibles distances. Avoir recours à des algorithmes sophistiqués de transport ne leur serait probablement pas bénéfique. Nous ne désirons donc pas implanter les résultats de notre étude comparative. Ces résultats pourront plutôt être transposés à d'autres types de travailleurs itinérants couvrant un territoire plus important.

1.2 Méthodologie

Afin de réaliser l'étude comparative mentionnée, plusieurs étapes sont nécessaires. Le but de cette section est de les présenter brièvement, tout en expliquant leur utilité respective, afin d'avoir une vue d'ensemble du mémoire et de bien comprendre la portée de chaque élément.

En fait, deux étapes ont déjà été abordées, soit : l'analyse du fonctionnement général du département de MAD du CLSC Côte-des-Neiges ainsi que l'examen sommaire des déplacements/horaires actuels. Les résultats, obtenus suite à des entrevues avec le personnel et à l'analyse de données fournies par le CLSC, ont été présentés à la section 1.1. Les conclusions tirées de ces premiers contacts avec le CLSC sont cruciales puisqu'elles apportent une compréhension des

enjeux présents dans le service de MAD et permettent par conséquent de mieux définir la problématique à l'étude.

L'étape suivante, soit la revue de la littérature, est directement liée aux enjeux soulevés par l'étude préliminaire. Ceci nous permettra d'approfondir nos connaissances dans les domaines pertinents et d'avoir en main tous les outils pour résoudre le problème à l'étude. Trois grands domaines devant être approfondis ont clairement été identifiés : (1) les algorithmes permettant de résoudre les problèmes de tournées, (2) les systèmes d'information en santé et (3) l'historique et l'état actuel des services de MAD dans les CLSC du Québec.

Une fois toutes ces notions maîtrisées, il est possible de développer le SI demandé par le CLSC. Ce SI doit non seulement répondre aux exigences du CLSC, mais doit également être conçu de manière à faciliter la prise de données relatives aux déplacements effectués par le personnel. Dans cette optique, l'examen minutieux de toutes les tâches administratives liées au MAD doit être entrepris afin de comprendre en profondeur le fonctionnement du département et d'en saisir la raison d'être. Cette étude sera complémentaire à celle déjà présentée à la section 1.1. Il sera dès lors possible de modéliser la situation grâce à un diagramme de flux de données et de proposer des solutions aux lacunes rencontrées. Une fois ces solutions approuvées par le CLSC, le modèle relationnel de données sera élaboré et l'interface sera conçue. Ceci mènera à l'implantation du prototype développé dans le département de MAD du CLSC.

Dès lors, nous aurons en main toutes les données nécessaires à la résolution du problème à l'étude : l'analyse comparative de divers modes d'organisation des déplacements dans le contexte du CLSC. Les algorithmes de transport appropriés seront sélectionnés. Les déplacements, le trafic et les visites

pourront être modélisées. Une méthodologie précise décrivant les simulations à effectuer et les mesures à prendre sera élaborée. Tout ceci nous permettra de recueillir diverses données sur les algorithmes retenus. Ces données seront examinées sous différentes facettes afin de montrer les avantages et les inconvénients de chacun. Les résultats obtenus seront extrapolés afin d'être applicables à divers groupes de travailleurs itinérants.

CHAPITRE 2 – REVUE DE LA LITTÉRATURE

Ce second chapitre permet d'explorer l'état des connaissances dans trois domaines cruciaux, soit : les problèmes de tournées sur les nœuds, les systèmes d'information dans le domaine de la santé ainsi que le maintien à domicile au Québec. Ceci permettra d'acquérir une connaissance du domaine et des enjeux présents. Conséquemment, le développement du système d'information ainsi que la modélisation mathématique du problème s'en trouveront facilités.

2.1 Les problèmes de tournées sur les nœuds

Il existe deux catégories de problèmes de tournées de véhicules : les tournées sur les arcs et les tournées sur les nœuds. Les tournées sur les arcs correspondent au cas où toutes les rues d'une ville, ou d'un quartier, doivent être visitées en minimisant la distance totale parcourue. Il s'agit d'un type de problème relativement courant puisqu'on le rencontre tant dans les problématiques de déneigement que de distribution de courrier ou de collecte des ordures. Pour leur part, les tournées sur les nœuds correspondent au cas où certains points précis d'une ville doivent être visités en minimisant la distance totale parcourue. C'est notamment le cas lors de livraisons de colis ou lorsqu'un représentant doit visiter un certain nombre de clients. Ce type de problème est bien documenté dans la littérature.

Le cas des infirmières des services de MAD peut être considéré comme étant un problème de tournées sur les nœuds. En effet, elles doivent visiter un certain nombre de clients (nœuds), un jour donné. Lorsque l'infirmière possède ses

propres patients et qu'elle agit seule comme c'est le cas au CLSC Côte-des-Neiges, on parlera d'un problème de voyageur de commerce. Cependant, si plusieurs infirmières se partagent un groupe de patients, on parlera plutôt d'un problème de tournée de véhicules. En effet, il faudra alors refaire l'assignation des patients aux infirmières à chaque jour et ce dans un double but : minimiser le nombre total d'infirmières requises et minimiser la distance totale parcourue. Il s'agit d'un cas plus complexe.

On comprend rapidement que résoudre un problème de voyageur de commerce, ou résoudre un problème de tournée de véhicules, signifie résoudre un problème de plus court chemin puisqu'il est nécessaire de connaître la distance minimale entre chaque paire de points à visiter. Dans le but d'offrir une vue d'ensemble des problèmes de tournées sur les nœuds, cette section abordera tour à tour: les problèmes de plus court chemin, les problèmes de voyageur de commerce et les problèmes de tournée de véhicules. Puis un cas particulier, le *Time Dependent Traveling Salesman Problem*, sera abordé afin de montrer quel peut être l'effet du trafic sur les problèmes de tournées sur les nœuds.

2.1.1 Le plus court chemin

Nous avons déjà mentionné que pour résoudre un problème de tournée sur les nœuds, il faut premièrement connaître le plus court chemin entre chaque paire de nœuds. Les problèmes de plus court chemin ne servent cependant pas seulement à la résolution des problèmes de tournées sur les nœuds. Il s'agit d'un sous-problème fondamental de la recherche opérationnelle et c'est pourquoi il est aujourd'hui aussi bien connu. (Johnson 1977)

Evans et Minieka (1992) ont étudié les différents types de problèmes de plus court chemin. Ils ont établit la classification que voici:

I. Ordinary path lengths
   A. Unconstrained
      1. Shortest path
         a. Shortest path between two specific nodes
         b. Shortest path from one node to all others
         c. Shortest path between all nodes
      2. *k*-shortest paths
   B. Constrained
      1. Shortest path that includes specified nodes
      2. Shortest path that includes a specified number of arcs
II. Generalized path lengths
   A. Turn penalties
   B. Length as a function of the path
   C. Algebraic related problems

Figure 2.1 Classification des problèmes de plus court chemin

Nous nous intéressons ici aux cas mis en relief, soit: le plus court chemin entre deux nœuds, le plus court chemin d'un nœud à tous les autres et le plus court chemin entre toutes les paires de nœuds.

2.1.1.1 Plus court chemin entre deux nœuds

Le problème du plus court chemin entre deux nœuds consiste, tel que son nom l'indique, à déterminer la distance minimale séparant deux nœuds précis. L'algorithme de Dijkstra est généralement utilisé pour sa résolution. (Dikjstra 1959) Cet algorithme se défini comme suit (Evans et Minieka 1992):

Pour déterminer le chemin le plus court entre les nœuds s et t:

Étape 1

- Tous les nœuds sont non marqués, sauf le nœud de départ
- La plus courte distance entre le nœud source et chaque nœud est initialisée: $d(x) = \infty$
- $y = s$
- $d(s) = 0$

Étape 2

- Pour chaque nœud non marqué lié directement à un nœud marqué, définir $d(x) = \min\{ d(x), d(y) + a(y,x)\}$
- Inclure à la liste des nœuds marqués le nœud x dont la distance à la source, d(x), est la plus petite à la liste des nœuds marqués.
- $y = x$

Étape 3

- Tant que le nœud final, t, n'a pas été atteint, répéter l'étape 2.

Figure 2.2 Algorithme de Dijkstra

La Figure 2.3 illustre l'exemple que les auteurs présentent. On désire trouver le plus court chemin entre les nœuds *s* et *t* d'un réseau donné (image de gauche). On décide d'appliquer l'algorithme et pour l'instant, le seul nœud marqué est le nœud *s*. Le nœud dont la distance à la source (*s*) est la plus petite est le nœud 3 et il est donc inclus dans la liste des nœuds marqués. Comme le nœud *t* n'a toujours pas été atteint, l'algorithme se poursuit. Le nœud non marqué, lié directement à un des nœuds marqués, offrant la plus petite distance est maintenant le nœud 1 et il est donc inclus dans la liste des nœuds marqués. L'algorithme se poursuit et après plusieurs itérations, le nœud *t* sera finalement atteint, mettant fin à l'algorithme (figure de droite). Les arcs inclus dans la

solution finale montrent l'évolution de l'algorithme. Ils nous indiquent le chemin à suivre pour aller de *s* à *t*. Ce chemin a ici été mis en gras.

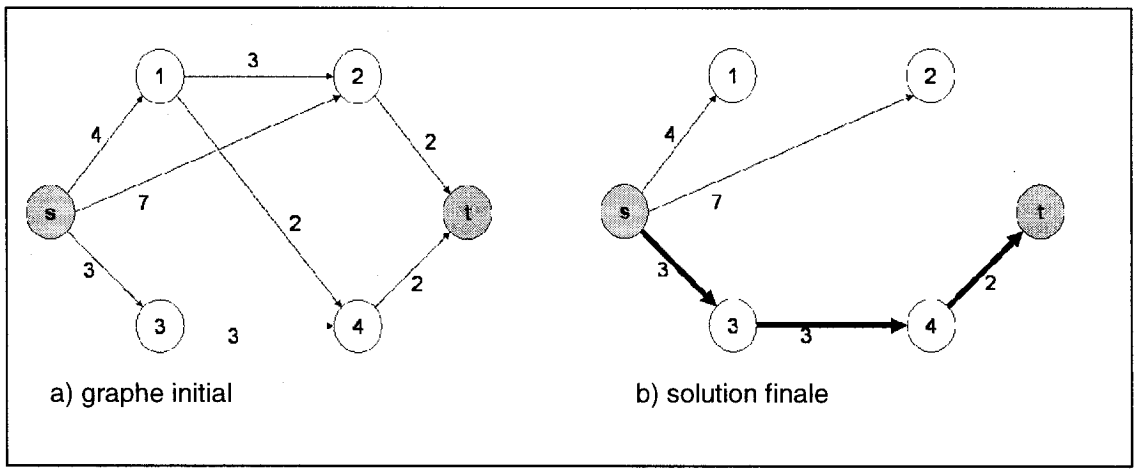


Figure 2.3 Illustration de l'algorithme de Dijkstra

Cet algorithme permet donc de trouver un chemin de longueur minimale liant deux nœuds donnés. On a pu voir à l'aide de l'exemple présenté, qu'avant d'y parvenir, plusieurs itérations peuvent être nécessaires.

2.1.1.2 Plus court chemin à partir d'un nœud

À la section précédente, nous avons vu comment déterminer le plus court chemin entre deux nœuds. Cependant, il est parfois avantageux de déterminer la distance minimale séparant un nœud de chacun des autres nœuds du réseau. C'est ce qu'on appelle un problème de *plus court chemin à partir d'un nœud*. Pour y parvenir, il serait possible d'appliquer l'algorithme de Dijkstra pour chaque paire de nœuds concernée. Ainsi pour un réseau comptant 6 nœuds, l'algorithme serait appliqué cinq fois. On se rend rapidement compte que bien que ce procédé permette de parvenir au résultat désiré, cette démarche est lourde et redondante. En effet, si on examine l'exemple de la Figure 2.3, on réalise qu'en déterminant le plus court chemin liant les nœuds *s* et *t* à la section

précédente, nous avons par le fait même déterminé l'ensemble des plus courts chemins à partir du nœud *s*. Tous les nœuds ayant été explorés, il serait inutile de répéter l'algorithme. Cependant, tous les nœuds ne sont pas nécessairement toujours visités. Voyons par exemple ce qui se serait produit si nous avions voulu déterminer le plus court chemin entre les nœuds *s* et *4*.

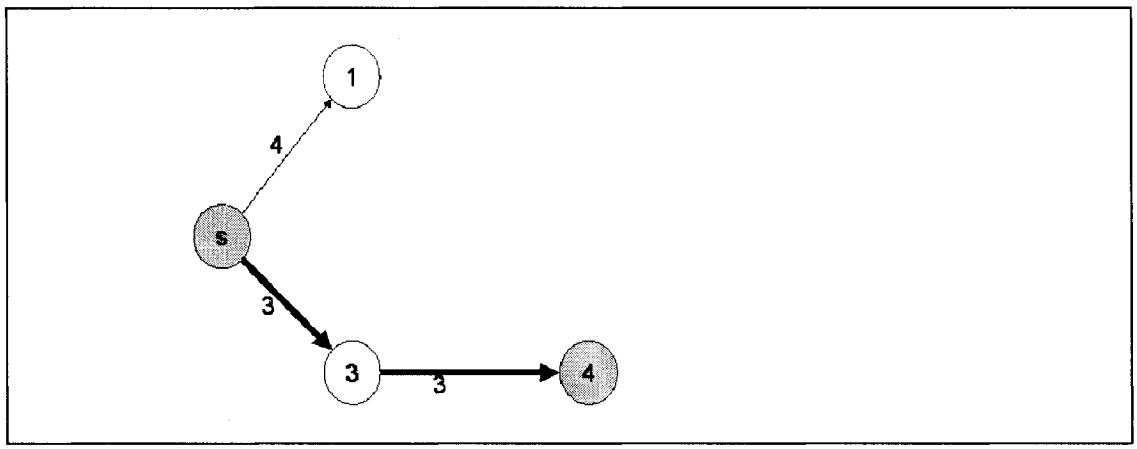


Figure 2.4 Exemple d'application de l'algorithme de Dijkstra

Seulement quatre des six nœuds auraient été visités puisque le nœud 4 arrive très tôt dans l'algorithme. On comprend alors que pour que l'algorithme donne les distances minimales séparant un nœud de chacun des autres nœuds du réseau, il suffit de modifier légèrement l'algorithme de Dijkstra afin qu'il se poursuive jusqu'à ce que tous les nœuds aient été visités. La troisième étape de l'algorithme, est alors remplacée par la suivante (Evans et Minieka 1992) :

Étape 3

- Tant que tous les nœuds n'ont pas été atteints, répéter l'étape 2.

Figure 2.5 Modification apportée à l'algorithme de Dijkstra

Tous les nœuds seront donc visités dans cet algorithme et la résolution de ce problème amènera la génération d'un arbre des plus courts chemins, tel que celui généré à l'exemple de la section précédente.

Cependant, l'algorithme de Dijkstra n'est pas toujours applicable. Dans certains cas particuliers, d'autres algorithmes ont été développés, par exemple l'algorithme de Ford pour les graphes comportant des arcs de longueur négative. Ils ne seront pas abordés ici puisqu'ils ne sont pas essentiels à la résolution du problème actuel.

2.1.1.3 Plus court chemin entre toutes les paires de nœuds

Encore une fois, notons que pour déterminer la distance entre toutes les paires de nœuds d'un graphe donné, il serait possible de répéter l'algorithme de Dijkstra un certain nombre de fois, en changeant de nœud servant de source (*s*), jusqu'à ce que toutes les possibilités aient été couvertes. Cependant, cette façon de faire ne serait pas très efficace puisqu'il existe des algorithmes beaucoup plus performants. Un des algorithmes les plus fréquemment utilisés pour ce cas est l'algorithme de Floyd. Le voici tel que présenté par Evans et Minieka (1992) :

Étape 1

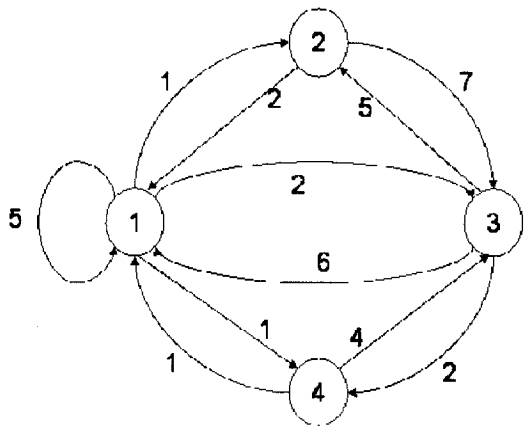
- Les nœuds du graphe sont numérotés de 1 à m.
- Déterminer la matrice des distances D0,
  - D_{ij} = longueur de l'arc le plus court reliant directement i et j.
  - $D_{ij}=\infty$, s'il n'existe pas d'arc reliant directement i et j,.
  - $D_{ij} = 0$, pour tout i = j.

Étape 2

- Pour $k = 1,2,\ldots,m$, déterminer successivement:
  - $D_{ijk} = \min\{d_{ik}^{k-1} + d_{kj}^{k-1}, d_{ij}^{k-1}\}$
  - Garder la trace du chemin suivi pour trouver la distance minimale de i à j.

Figure 2.6 Algorithme de Floyd

Voici l'exemple que les auteurs utilisent pour illustrer leurs propos, soit le graphe présenté à la Figure 2.7 et la matrice initiale des distances (D0) associée.



a) graphe

$$D^0 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 7 & \infty \\ 6 & 5 & 0 & 2 \\ 1 & \infty & 4 & 0 \end{bmatrix}$$

b) matrice initiale des distances

Figure 2.7 Application de l'algorithme de Floyd

Par la suite, on teste l'optimalité des distances initiales en vérifiant, pour chaque paire de nœuds, si transiter par un nœud intermédiaire serait plus rapide que d'emprunter le chemin direct. Par exemple, on se rend compte que, pour aller du nœud 2 au nœud trois, il est beaucoup plus rapide de passer par le nœud 1. Au terme de plusieurs itérations, on obtient la matrice de résultats suivante, accompagnée d'une matrice conservant la trace des déplacements :

$$D^4 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 2 & 1 \\ 2 & 0 & 4 & 3 \\ 3 & 4 & 0 & 2 \\ 1 & 2 & 3 & 0 \end{bmatrix}$$

a) matrice des résultats

$$\begin{bmatrix} & (1,2) & (1,3) & (1.4) \\ (2,1) & & (2,1),(1,3) & (2,1),(1,4) \\ (3,4),(4,1) & (3,4),(4,1),(1,2) & & (3,4) \\ (4,1) & (4,1),(1,2) & (4,1),(1,3) & \end{bmatrix}$$

b) déplacements requis

Figure 2.8 Résultats obtenus suite à l'application de l'algorithme de Floyd

L'application de cet algorithme nous donne le plus court chemin pour toute paire de nœuds. Pour des problèmes de petite taille, cet algorithme est très efficace. Cependant, il faut remarquer qu'au fur et à mesure que la taille du problème augmente, le nombre de possibilités à vérifier augmente également et par conséquent, l'algorithme devient de plus en plus lourd. C'est pourquoi l'algorithme de Dantzig, qui constitue une variante de l'algorithme de Floyd, a été développé Le voici, tel que présenté par Evans et Minieka (1992) :

Étape 1:

- Les nœuds du graphe sont numérotés de 1 à m.
- Déterminer la matrice des distances D0,
  - D_{ij} = longueur de l'arc le plus court reliant directement i et j.
  - $D_{ij}=\infty$, s'il n'existe pas d'arc reliant directement i et j,.
  - $D_{ij} = 0$, pour tout i = j.

Étape 2:

- Pour $k = 1,2,\ldots,m$, déterminer successivement:
  - $D_{kj}^{k} = \min \{d_{ki}^{0} + d_{ij}^{k-1}\}$ (j = 1,2,..., k-1)
  - $D_{ik}^{k} = \min\{d_{ij}^{k-1} + d_{jk}^{0}\}$ (i=1,2,..., k-1)
  - $D_{ij}^{k} = \min\{d_{ik}^{k} + d_{kj}^{k}, d_{ij}^{k-1}\}$ (i,j = 1,2,..., k-1)
  - $D_{ii}^{k}=0$ pour tout i=j
  - Garder la trace du chemin correspondant

Figure 2.9 Algorithme de Dantzig

Les deux algorithmes ont les mêmes matrices de départ et d'arrivée. La principale différence est qu'alors qu'avec l'algorithme de Floyd un nombre important de calculs était requis à chaque itération, ici les premières itérations se font beaucoup plus rapidement puisqu'elles ne portent que sur un nombre restreint de vecteurs. La taille des matrices calculée est donc moindre et le temps de résolution est réduit.

2.1.2 Les problèmes de voyageur de commerce

Un commis voyageur doit visiter un certain nombre de villes afin d'effectuer des livraisons. Il connaît très bien la distance entre chaque ville mais se questionne sur l'ordre dans lequel il devrait les visiter s'il désire minimiser la distance totale qu'il parcourra au cours de sa journée. Cette problématique bien réelle a été

étudiée par les mathématiciens pour la première fois dans les années 1930. (Hoffman et Wolfe 1985)

Rapidement, ce problème a suscité l'intérêt de la communauté mathématique. Il est connu sous le nom de problème de voyageur de commerce (*Traveling Salesman Problem*), bien qu'il ne se limite plus strictement au cas des commis voyageurs, mais s'applique à plusieurs cas qui n'ont plus nécessairement de liens avec le domaine d'application initial : optimisation des séquences d'opérations, problèmes d'assignation, etc. Cette section présente dans un premier temps, les méthodes exactes de résolution de ce problème et dans un deuxième temps, les principales heuristiques disponibles.

2.1.2.1 Méthodes exactes de résolution

Christofides s'est particulièrement intéressé aux problèmes de voyageur de commerce et aux différentes techniques de résolution. Il en présente généralement la formulation mathématique suivante (Christofides 1979) :

Soit: $x_{ij} = 1$ si arc (i,j) fait partie du tour optimal

$x_{ij} = 0$ sinon

$$\min \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij}$$

s.c.

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ij} = 1 \quad \forall j \in N$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1 \quad \forall i \in N$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N$$

$$\sum_{i \in S_t} \sum_{j \in S_t} x_{ij} \leq |S_t| - 1 \quad \forall S_t \subset N$$

où c_{ij} : le coût (généralement en durée) de l'arc ij

S : un sous-ensemble de nœuds de N.

Figure 2.10 Formulation du TSP énnoncée par Christofides

On désire donc minimiser la distance parcourue, tout en s'assurant qu'il existe bel et bien un arc entrant et un arc sortant par nœud devant être visité. De plus, la dernière contrainte s'assure que les segments x_{ij} retenus forment un, et un seul, cycle.

Ce programme linéaire constitue la formulation de base des problèmes de voyageur de commerce. Au fil des années, des formulations de plus en plus complexes ont été étudiées : contraintes de temps, de priorité, etc. Nous ne les aborderons pas ici dans le détail, mais notons que le cas où le temps de

déplacement est influencé par le trafic nous intéresse particulièrement et sera abordé à la section 1.3.4.

Malheureusement, la résolution des problèmes de voyageur de commerce n'est pas toujours simple puisqu'il s'agit d'un problème NP-complet. Dès que le nombre de nœuds devant être visités augmente, leur complexité devient exponentielle. Trouver la solution exacte d'un problème de grande taille constitue un défi. C'est pourquoi des heuristiques sont souvent employées.

2.1.2.2 Heuristiques

Des heuristiques relativement sophistiquées existent pour la résolution des problèmes de voyageur de commerce : recuit simulé, algorithme génétiques, recherche taboue, etc. Ces heuristiques permettent des gains importants mais leur mise en place est souvent lourde. D'autres heuristiques, beaucoup plus simples, mais quand même efficaces, existent. Comme ces dernières heuristiques conviennent parfaitement à des problèmes de la taille de ceux qui nous intéressent, à titre d'exemple, nous en présentons deux parmi les plus populaires.

L'algorithme du plus proche voisin est un algorithme très simple consistant à partir d'un nœud aléatoire et d'ajouter graduellement au cycle, parmi les nœuds n'ayant pas encore été visités, le plus proche voisin du dernier nœud en liste. L'algorithme se termine lorsque tous les nœuds ont été visités. Par la suite, les deux extrémités de la chaîne sont simplement liées. Évidemment, cet algorithme ne permet pas nécessairement d'obtenir la solution optimale, mais il permet de s'en approcher suffisamment pour que ses résultats soient appréciables. (Christofides 1979)

L'algorithme de l'insertion la plus près est plus complexe que le précédent, mais demeure relativement simple d'emploi. Un cycle de départ formé d'un sous-ensemble de nœuds est d'abord retenu. Puis graduellement, des nœuds sont ajoutés en déterminant quel nœud est le plus proche voisin du cycle déjà existant et en l'insérant dans le cycle à la position la moins coûteuse. Encore une fois, cet algorithme ne fournit pas nécessairement la solution optimale. (Christofides 1979)

Il est possible de rendre les solutions précédemment obtenues *n*-optimales en suivant l'algorithme de Lin. Pour se faire, il suffit de retirer *n* arcs du cycle et de les reconnecter en tentant d'améliorer la solution précédente. Lorsque toutes les combinaisons ont été testées et qu'il n'existe plus d'améliorations possibles, le graphe est dit *n*-optimal. (Christofides 1979)

2.1.3 Les problèmes de tournée de véhicules

Les entreprises intéressées par des problèmes de tournée sur les nœuds désirent optimiser les routes d'une flotte de véhicules devant visiter plusieurs localisations. On ne parle donc plus d'une personne devant visiter un nombre restreint de clients, mais bien d'un ensemble de personnes devant se répartir un important groupe de clients. En ce sens, les problèmes de voyageur de commerce représentent un cas particulier des problèmes de tournée de véhicules où la flotte est constituée d'un véhicule unique. Voici la formulation classique des problèmes de tournée de véhicules, telle que présentée par Christofides (1985) :

Soit: $x_{ijk} = 1$ si le véhicule k visite le client j après le client i

$x_{ij} = 0$ sinon

Soit : $y_{ik} = 1$ si le client i est visité par le véhicule k

$Y_{ik} = 0$ sinon

$$\min \sum_{i,j} c_{ij} \sum_{k} x_{ijk}$$

s.c.

$$\sum_{k} y_{ik} = \begin{cases} 1 & i = 2,...,n \\ m & i = 1 \end{cases}$$

$$\sum_{i} q_i y_{ik} \leq Q_k \quad k = 1,...,m$$

$$\sum_{j} x_{ijk} = \sum_{j} x_{ijk} = y_{ik} \quad i = 1,...,n \quad k = 1,...,m$$

$$\sum_{i,j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \text{ pour } \forall\ S \subseteq \{2,...n\},\ k = 1,...,m$$

$$y_{ik} \in \{0,1\},\ i = 1,...,n,\ k = 1,...,m$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\},\ i,j = 1,...,n,\ k = 1,...,m$$

où c_{ij} : le coût (généralement en durée) de l'arc ij

qi : quantité commandée par le client

Qk : capacité du véhicule

S : un sous-ensemble de nœuds de N.

Figure 2.11 Formulation du problème de tournée de véhicules

On désire donc minimiser la distance parcourue par l'ensemble de la flotte de véhicules en s'assurant que chaque client est visité, que la capacité de chaque véhicule est respectée et qu'un véhicule entrant dans un nœud, sort de ce nœud. La dernière contrainte fait en sorte que les sous-tours sont éliminés.

Il s'agit de la formulation de base, qu'on peut résoudre par programmation linéaire. Des cas plus complexes tenant compte de contraintes temporelles (fenêtres de temps) ou autres existent également et peuvent être résolus de façon similaire. Cependant, puisque le problème de tournée de véhicules ne fait pas directement partie du problème à l'étude, il ne sera pas développé davantage.

2.1.4 Le Time Dependent Traveling Salesman Problem

Dans un réseau routier, il est très rare que le temps de déplacement entre deux points demeure constant à travers le temps. En effet, en raison du trafic, il est fort probable qu'à certaines heures de la journée, certains secteurs soient congestionnés et qu'une route, qui était à l'origine optimale, ne le soit plus.

Dans la littérature, les effets du trafic ont été étudiés principalement pour quatre types de problèmes : les problèmes du plus court chemin, les problèmes relatifs au choix d'une route entre deux points, les problèmes de voyageur de commerce et les problèmes de tournée de véhicules. Nous nous intéresserons ici uniquement au cas des problèmes de voyageur de commerce. Notons que lorsque la congestion est prise en compte, ce type de problème est appelé dans la littérature le *Time Dependent Traveling Salesman Problem* (TDTSP).

Il existe quatre types de modèle pour les problèmes de TDTSP soit : les modèles basés sur des estimations simples du temps de déplacement, les modèles basés sur des valeurs discrètes de temps de déplacement, les modèles basés sur des fonctions continues de temps de déplacement et les modèles basés sur des formulation markoviennes du temps de déplacement

(Ichoua, Gendreau et Potvin 2000). Les trois premières catégories seront ici abordées.

2.1.4.1 Modèles basés sur des estimations du temps de déplacement.

Certains modèles peuvent très facilement être mis en place. C'est le cas du modèle proposé par Brown, Ellis, Graves en Ronen (1987). On y détermine d'abord la route sans tenir compte de la congestion routière. Dans un second temps, le personnel en charge modifie manuellement les séquences afin de tenir compte du trafic et de certains autres facteurs. Évidemment, l'opérateur humain peut déceler certains types de lacunes (par exemple : emprunter, en heure de pointe, un viaduc généralement congestionné), mais il ne peut tenir compte de toutes les possibilités. Certaines équipes ont donc tenté de mettre en place des modèles tout aussi simples, mais pouvant être automatisés.

Rousseau et Roy (1988) ainsi que Shen, Potevin, Rousseau et Roy (1995) ont utilisé la même formule afin d'estimer le temps de déplacement. La voici, tel que décrit selon Rousseau et Roy en 1988 :

$$\text{Temps de déplacement} = \frac{d \bullet v(d) \bullet \text{Facteur météo} \bullet \text{Congestion}}{\text{Rapidité (p)}}$$

Où

d	: distance entre les deux clients;
v(d)	: la vitesse à utiliser;
Facteur météo	: une valeur entre 1,0 et 5,0;
Rapidité (p)	: la rapidité du chauffeur p, une valeur entre 1,0 et 2,0;
Congestion	: le facteur congestion, une valeur entre 1,0 et 2,0.

Figure 2.12 Estimation du temps de déplacement

Évidemment, cette formule est une approximation de la réalité. Les temps de déplacement sont modifiés de la même manière pour tous les tronçons routiers. Ce n'est évidemment pas le cas en situation réelle, puisque certaines artères sont généralement plus affectées que d'autres par la circulation.

2.1.4.2 Modèles basés sur des valeurs discrètes du temps de déplacement

Les modèles de TDTSP basés sur des valeurs discrètes de temps de déplacement ont été plus largement étudiés. Il existe donc un certain nombre de formulations différentes. Notons, en particulier, celles de Picard et Queyranne (1978) et de Fox, Gavish et Graves (1980). Cette dernière est particulièrement présente dans la littérature, nous la montrons ici à titre d'exemple:

$$\min \sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}\sum_{t=1}^{n} C_{ijt} X_{ijt}$$

s.c.

$$\sum_{j=1}^{n}\sum_{t=1}^{n} X_{ijt} = 1 \quad \text{i} = 1,2,...,\text{n}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{t=1}^{n} X_{ijt} = 1 \quad \text{j} = 1,2,...,\text{n}$$

$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} X_{ijt} = 1 \quad \text{t} = 1,2,...,\text{n}$$

$$\sum\sum tX_{ijt} - \sum\sum tXjit = 1 \quad \text{i} = 2,3,...,\text{n}$$

$$X_{ijt} = 0,1 \quad \forall i, j, t$$

où c_{ijt} : le coût (généralement en durée) de l'arc ij à la période t

t : période de temps

Figure 2.13 Formulation du TDTSP énoncée par Fox, Gavish et Graves

La formulation classique du problème du voyageur de commerce a été modifiée afin de tenir compte des heures de la journée. Il existe désormais plusieurs matrices de temps modélisant le trafic, d'où l'apparition des indices *t*. Comme ce type de formulation repose sur l'emploi de valeurs discrètes du temps de déplacement, il existe des sauts importants dans la fonction de trafic. C'est ainsi qu'un déplacement qui, de 11h00 à 12h00, prend 5 minutes peut durer 10 minutes à partir de 12h00. C'est donc dire que les règles de FIFO (premier arrivé, premier servi) ne sont pas toujours respectées puisque la variable X_{ijt} représente le temps de déplacement, tel que calculé au moment du départ (Ichoua, Gendreau et Potvin 2000). Finalement, notons que la dernière contrainte de la formulation s'assure qu'un véhicule quitte un nœud donné après son arrivée, tout en éliminant les sous-cycles.

2.1.4.3 Modèles basés sur des fonctions continues du temps de déplacement

Des fonctions continues représentant les temps de déplacement permettent de respecter les règles de FIFO. Mentionnons, à titre d'exemple, les travaux de De Palma, Hansen et Labbé (1990) ainsi que les travaux de Haghani et Jung (2005). Par contre, ces fonctions sont souvent complexes et demandent un grand effort de modélisation. Ainsi, selon Ichoua, Gendreau et Potvin (2000):

> *"Continuous and arbitrary travel time functions seem to be more appropriate to model real-world conditions. Unfortunately, models based on such functions are confronted with the following limitations: (i) a lot of simplifying assumptions are often made to make the model more tractable [...]; (ii) the functions used are not necessarily related to what is observed in the real world [...]; (iii) in the case of the path choice problem, using continuous time-dependent distributions to represent travel time or waiting time functions results in complicated integrations that are difficult to solve analytically."*

Par conséquent, bien qu'elles soient très prometteuses, ces modélisations ne seront pas étudiées davantage.

2.2 Les systèmes d'information en santé

Plusieurs systèmes d'information sont en opération dans les établissements de santé au Québec. Ils ont graduellement été développés et implantés au cours des dernières années. Il existe donc déjà un certain savoir-faire dans ce domaine.

Cette section offre un aperçu de la situation en abordant tour à tour : les caractéristiques des SI en santé, l'historique des SI en santé au Québec, les SI auprès des infirmières, les SI dans les services de MAD.

2.2.1 Caractéristiques des SI en santé

Dans un contexte où les différents points de services sont de plus en plus éloignés, où plusieurs spécialistes sont amenés à voir le même patient et où il faut faire l'adéquation entre les différents soins donnés, les systèmes d'information en santé sont plus importants que jamais. L'information doit être consolidée afin d'offrir des services appropriés. (Paré 1996)

Selon La Branche (1997, p. 13), les systèmes d'information prenant en charge la gestion des opérations courantes apportent entre autres les avantages suivants : « *... les SI servent à coordonner les soins (plan de soins et suivi), à prévenir les erreurs et oublis et à conserver les informations de base sur les patients, les employées, le budget.* »

Certains chercheurs ont défini trois catégories de systèmes d'information en santé. (1) Les systèmes médico-cliniques servant aux diagnostics, aux tests et examens, aux plans de soins, à l'administration des traitements et à leur suivi. (2) Les systèmes médico-hospitaliers servant à la gestion des traitements des patients, incluant la facturation. (3) Les systèmes budgétaires servant à la gestion des ressources et de la clientèle. (Ogilvie 1992)

Cependant, il existe d'autres façons de décrire la réalité. Certains chercheurs découpent l'information en trois niveaux et y associent des types de systèmes d'information : opérationnels, tactiques et stratégiques. Un système

d'information de niveau opérationnel ne fait que reproduire les systèmes manuels qui existaient avant son implantation mais en automatisant certaines opérations répétitives. Un système d'information de niveau tactique traite l'information afin de pouvoir prendre des décisions éclairées. Les systèmes d'information de niveau stratégique voient à ce que les objectifs à long terme de l'établissement soient respectés. Tout système d'information devrait pouvoir prendre en charge le niveau opérationnel mais également fournir les informations pour les niveaux supérieurs. (Sicotte, Tilquin et Valois 1991)

2.2.2 Historique des SI en santé au Québec

L'informatisation du système de santé québécois a été amorcée dans les années soixante-dix. Plusieurs systèmes ont été développés, malgré les compressions budgétaires, afin de répondre aux besoins de gestion. (La Branche 1997)

C'est ainsi qu'en 1990, le Québec comptait déjà de nombreux systèmes d'information dans le domaine de la santé. La province s'est, en fait, rapidement démarquée dans le domaine des SI en gestion financière avec des systèmes tels que SIFO (système d'information financière et opérationnelle). Un logiciel similaire, SOFI (système informatisé de données opérationnelles et financières), a été développé pour les besoins propres aux hôpitaux. La province se démarque également dans l'organisation du travail infirmier avec des systèmes tels PRN, PLAISIR et CTMSP. Bien que moins répandus, certains systèmes cliniques comprenant l'index-patients ont aussi vu le jour. Cependant, le dossier médical des patients restait encore à informatiser. (Sicotte, Tilquin et Valois 1991)

À partir des années 1990, les avantages des systèmes déjà en place sont apparus clairement. Le rythme du développement des SI s'est alors accéléré, laissant envisager un essor serait fulgurant dans les années futures.

> *« Il existe actuellement une effervescence entretenue par la variété et l'importance des expériences pilotes en cours qui tranche avec la période précédente [...] il est clair que la longue période de contraintes financières qui a débuté au milieu des années 70 a eu, principalement dans sa phase initiale, l'effet d'un frein important dans le développement des systèmes d'information. D'où le retard que les gestionnaires semblent maintenant vouloir combler rapidement. » (Sicotte, Tilquin et Valois 1991, p.2)*

Cependant, cette effervescence aura été de bien courte durée puisqu'en 2002, le constat suivant était dressé :

> *« Au lieu d'observer un accroissement de ces comportements dans les établissements de santé depuis les six dernières années, cette période a plutôt été marquée par les compressions budgétaires importantes dans la fonction publique »* (Trudel et Paré 2002, p. 4)

C'est ainsi qu'aujourd'hui, une province comme l'Ontario devance largement le Québec dans presque toutes les dimensions des systèmes d'information, sauf les fonctions financières. (Paré et Sicotte 2001) D'ailleurs, dans une étude datant de 2000, une enquête a été menée à l'hôpital Juif de Montréal afin de déterminer le degré de pénétration des technologies de l'information dans différents domaines. Voici les résultats obtenus par Paré et Sicotte (2000, p. 9) :

Tableau 2.1 Utilisation des technologies de l'information en santé

	Soins du patient	Support clinique	Contrôle du matériel	Activités administratives	Globale
Sophistication fonctionnelle	Modérée	Modérée	Élevée	Élevée	Élevée à modérée
Sophistication technologique	Faible	Faible	-	Modérée	Faible
Intégration	Très faible	Très faible	-	Faible	Très faible

Plusieurs domaines pourraient donc encore bénéficier du développement de systèmes d'information et ces derniers auraient le mérite d'être mieux intégrés. De plus, une problématique subsiste. Au Québec, on compte 18 Agences de développement de réseaux locaux de services de santé et de services sociaux (ADRLSSSS) chapeautant de nombreux établissements de santé. Bien que les agences de développement supervisent leur secteur, les établissements de santé sont relativement indépendants quant au choix des SI qu'ils utilisent. Dans la plupart des cas, il n'y a pas de lignes directrices communes et, par conséquent, les systèmes développés sont incompatibles entre eux. (La Branche 1997)

2.2.3 Les SI auprès des infirmières

Les systèmes d'information mentionnés à la section précédente s'adressaient à l'ensemble du réseau de la santé québécois. Cependant, certains ont été développés spécifiquement pour répondre aux besoins des infirmières.

Dans leur travail, les infirmières sont appelées à manipuler beaucoup de données et d'informations. Déjà en 1966, des études démontraient que de 30% à 40% de leur temps de travail était consacré à analyser de l'information.

(American Nurses Association 2001) Depuis lors, en raison de l'enrichissement de leur travail, il est probable que cette proportion soit encore plus importante. C'est ainsi qu'une nouvelle branche de connaissances a été développée : le Nursing Informatics. En voici une définition.

> *Nursing informatics is a speciality that integrates nursing science, computer science, and information science to manage and communicate data, information, and knowledge in nursing practice. Nursing informatics facilitates the integration of data, information, and knowledge to support patients, nurses, and other providers in their decision-making in all roles and settings. This support is accomplished through the use of information structures, information processes, and information technology.* (American Nurses Association 2001, p. 17)

Ces systèmes d'information sont conçus dans le but d'alléger la charge de travail des infirmières et de faciliter la gestion des opérations. Ceci est possible grâce à l'introduction de modules tels : la modification et la consultation en ligne des dossiers médicaux, l'aide à la prise de décisions, la confection d'horaires de personnel, la gestion du personnel. (Ball, Douglas, O'Desky, Albright 1991)

Malgré tous ces avantages, des lacunes sont encore observées dans les systèmes d'information utilisés par le personnel infirmier. Parmi ces lacunes notons : (1) le manque de soutient lors de la prise de décision, (2) le manque d'intégration entre les systèmes, le manque d'uniformisation dans la terminologie employée, (3) le manque de structure de l'information présentée, (4) les interfaces inadéquates, (5) les fonctions trop avancées pour le degré de connaissance des infirmières, (6) l'accès impossible aux données archivées et (7) le manque de terminaux. (Zielstorff, Hudgings, Grobe 1993)

2.2.4 Les SI dans les services de MAD

Aux États-Unis, une grande importance est accordée aux besoins de communication du personnel de services de MAD. Téléphones portables, accès Internet, adresse de courriel et ordinateurs portables leurs sont fournis. Parallèlement, des logiciels ont été développés pour assurer certaines fonctions de base spécifiques à la réalité américaine. (Ball, Hannah, Newbold 2000)

La réalité québécoise observée en 2003-2004 est toute autre. Le travail des infirmières dans les services de MAD des CLSC du Québec est peu informatisé. Les dossiers de leurs patients, leurs horaires, leurs feuilles de statistiques, etc., sont majoritairement sur format papier. La recherche sur le MAD, met davantage l'accent sur la prestation des services et sur leurs bienfaits pour la clientèle que sur l'optimisation du travail de bureau. (Fréchet et Bonneau 1999)

Le développement de SI pour le MAD, au Québec, a déjà fait l'objet d'une étude en 1988. La compilation manuelle des statistiques étant fastidieuse et les informations de gestion étant pratiquement impossibles à obtenir, il avait été suggéré d'implanter un système d'information qui aurait permis : d'accueillir le bénéficiaire, d'enregistrer le bénéficiaire, de gérer le dossier physique, de gérer les interventions, de produire les statistiques sur la clientèle et de gérer les nomenclatures. Les bénéfices pour les départements de MAD auraient été énormes : planification court terme, contrôle budgétaire, facturation, gestion des ressources humaines, évaluation du programme, gestion de la demande et suivi de dossiers. (Dubé 1988)

Cependant, cette proposition théorique, n'a jamais vu le jour. Il faut attendre l'année 2004 pour qu'une première firme informatique propose un tel logiciel.

Cet outil lancé récemment au Québec n'a pas été publicisé. Par conséquent, au moment d'écrire ces lignes, peu d'informations circulent à ce sujet.

2.3 Le maintien à domicile au Québec

Les programmes de MAD offrent des soins à domicile aux personnes en perte d'autonomie. La clientèle est majoritairement formée de personnes de soixante-cinq ans et plus, mais en fait, la population desservie est beaucoup plus large, tel qu'indiqué dans par le Ministère de la Santé et des Services Sociaux (MSSS) :

> *« Toute personne, peu importe son âge, qui présente une ou des incapacités temporaires ou permanentes dont la cause peut être physique, sociale ou psychique, et qui doit recevoir à son domicile une partie ou l'ensemble des services requis. » (MSSS 1994, p.4)*

Selon l'Association des CLSC et des CHSLD DU Québec (ACCQ 2000), il existe principalement trois types de soins offerts : préventifs, curatifs (suite à une hospitalisation) ou alternatifs à l'hébergement en Centre Hospitalier de Soins Longue Durée (CHSLD).

Au Québec, ces services sont présentement offerts par les Centres Locaux de Services Communautaires (CLSC). Le MSSS a défini précisément leur rôle dans ce domaine en 1994.

> *« Les CLSC sont les responsables des services à domicile de première ligne, ce qui signifie qu'ils assument, au niveau local, un rôle de premier plan pour offrir à la population de leur territoire des services de santé et des services sociaux courant. C'est ainsi que les CLSC fournissent directement au domicile des personnes les services appropriés. » (MSSS 1994, p.9)*

Ces services font appel à divers types d'intervenants oeuvrant dans les CLSC: travailleurs sociaux, infirmières, ergothérapeutes, physiothérapeutes, etc.

Il existe un fort intérêt pour les services de MAD. En effet, en 2001, le MSSS réitérait son intention de prioriser les services de MAD.

> *« Une des voies d'action prioritaires retenues par la Politique de la santé et du bien-être touchait la réorganisation des services sociosanitaires et proposait un réaménagement qui met à contribution l'ensemble des ressources pour assurer le maintien de l'intégration des aînés à leur communauté et pour leur permettre de demeurer le plus longtemps possible dans leur milieu habituel de vie. De plus, les personnes âgées l'expriment clairement, elles préfèrent demeurer chez elles. Il importe de s'assurer que ce choix pourra se faire sans pour autant sacrifier la possibilité de recevoir les services appropriés lorsque ces personnes sont aux prises avec des incapacités. Répondre à cette demande exige une révision des choix d'organisation de services et une allocation de ressources en conséquence. » (MSSS 2001, p.21)*

À l'instar du gouvernement québécois, le gouvernement canadien mettait l'accent sur les services de MAD dans sa commission d'enquête sur l'avenir des soins de santé au Canada. (Romanow 2002).

Parallèlement, de nombreux projets de recherche portant sur les personnes âgées ont été effectués au Québec, au cours des dernières années. En fait, de 1980 à 1998, 704 projets de recherche sur les personnes âgées ont été effectués. De ce nombre, 235 (33,4%) ont porté sur les services offerts et 103 (14,6%) ont porté sur leurs conditions de vie. Ces deux thèmes soulignent l'importance du MAD dans la vie des personnes âgées. (Fréchet et Bonneau 1999)

De toute part, il existe donc un intérêt marqué pour le MAD. Dans cette section, nous expliquerons pourquoi c'est le cas. Nous aborderons tour à tour : (1) les

origines du programme, (2) son évolution ainsi que (3) les lacunes et problématiques observées.

2.3.1 Les origines du programme

Les CLSC ont été formés, dans les années soixante-dix, dans le but de rapprocher les services de santé de la vie de quartier. De 1981 à 1984, les CLSC déjà existants ont commencé à noter un changement important de leur clientèle, celle-ci étant de plus en plus composée de gens âgés et de malades en phase terminale. (Roy 1986a)

C'est ainsi que les CLSC n'ayant pas de programme de MAD ont développé ces services afin de répondre aux besoins de ces catégories d'utilisateurs. Il a été rapidement constaté que dans les secteurs où des services de MAD étaient offerts, il y avait moins de demandes d'hébergement. Or, à l'époque, les centres d'hébergement étaient occupés à 98% de leur capacité et un client du MAD coûtait 1,70$ par jour à l'État, soit 19 fois moins qu'un patient en centre d'hébergement. Les avantages du MAD étaient donc énormes. (Roy 1986a)

En 1986, le programme québécois de Services Intensifs de Maintien à Domicile (SIMAD) a été lancé. Ce programme se basait sur une évaluation faite en 1982 selon laquelle 46% des clients des centres d'hébergement et 14% des gens hospitalisés ne nécessitaient pas des soins continus. Son but était de désengorger les urgences, les lits courte durée et les centres d'hébergement, en misant davantage sur les services offerts au domicile du patient, donc en mettant de l'avant les services de MAD. (Joubert 1991)

Le projet SIMAD a été implanté, avec succès, dans cinq régions du Québec. Les patients prenant part au projet ont connu moins d'épisodes d'hospitalisation et ces derniers ont été de plus courte durée que ceux des patients n'y ayant pas pris part. De plus, SIMAD a permis de retarder le recours à l'hébergement en centre dans de nombreux cas. (Joubert 1991)

Fort de cette expérience, et remarquant qu'en 1994, 32% des patients étaient toujours orientés vers les services d'hébergement alors qu'ils nécessitaient moins d'une heure et demi de soins par jour, le gouvernement du Québec a amorcé, vers le milieu des années 90, le virage ambulatoire. Le projet était ambitieux puisqu'il visait à réduire les dépenses en santé de 10% sans pour autant diminuer la qualité des soins offerts. Le MAD a alors semblé être la bonne stratégie à adopter. On visait, par ce moyen, la réduction de 20% du nombre de lits courte durée, la réduction de 20% des durées de séjours dans ces mêmes lits, l'augmentation des soins à domicile et la diminution des placements en hébergement. Bref, l'approche traditionnelle changeait puisqu'on cherchait désormais à faire de la prévention. (Fédération des CLSC du Québec 1995 a et b).

Ce projet donnait plus de responsabilités aux CLSC en les chargeant d'organiser les services de MAD et de les rendre le plus efficaces possible. C'est ce vaste projet qui a jeté les bases des services de maintien à domicile tels qu'on les connaît maintenant.

2.3.2 L'évolution de la situation

En 1982, les programmes de MAD de divers CLSC ont été étudiés. Il a été observé que 83% de ces CSLC, soit 22 établissements, offraient déjà, à

l'époque, de tels services. De plus, le MAD y constituait déjà 34,6% des interventions individuelles et sa clientèle était la deuxième en importance avec 18,1% des usagers, juste après les services courants de santé (37,0%). (Bélanger 1982)

En 1986, une deuxième étude approfondie a été lancée auprès de 106 CLSC et, bien que la situation ait très peu changé en quatre années, cette étude a permis de soulever une problématique inquiétante : le vieillissement de la population. Les prévisions démographiques québécoises laissaient entendre que de 1981 à 2001, la population totale du Québec allait connaître une hausse de 9,7% alors que la population des 65 ans et plus allait croître de 60,6%. De plus, la population de 75 ans, représentant les cas les plus lourds, allait connaître au cours de cette même période une hausse de 102,3%. Il fallait donc s'attendre à une demande accrue de services de MAD dans les années à venir. (Roy 1986a)

En 1991, conscient du problème, le MSSS a lancé une vaste étude sur la question. Les prévisions démographiques actualisées laissaient effectivement entrevoir une hausse de la population âgée, clientèle de prédilection de MAD. En effet, alors qu'en 1991 les gens de 65 ans et ceux de 75 ans et plus constituaient respectivement 10,9% et 4,2% de la population du Québec, on prévoyait qu'en 2011, ces proportions allaient passer à 15,3% et 6,7%. (MSSS 1994)

Les CLSC savaient fort bien que les personnes âgées nécessitent plus de soins et constituent les cas plus lourds mais, en 1991 le MSSS a permis de chiffrer cette situation. En effet, alors que chez les gens âgés de 15 à 64 ans on observait 1,5% d'incapacités graves, cette proportion passait à 9,8% chez les 65 ans et plus. Ces résultats, combinés aux prévisions démographiques,

démontraient l'urgence d'augmenter les ressources allouées aux services de MAD au Québec. (MSSS 1994)

Alors qu'en 1979-1980, le MSSS consacrait 44,4 millions de dollars pour le MAD, en 1993-1994, cette somme était de 239 millions de dollars, soit des dépenses de 33,65$ par capita. Cette hausse paraissait appréciable à première vue mais à la même époque, l'Ontario consacrait 66,48$ par capita pour les services de MAD, soit près du double. (MSSS 1994)

Suite au virage ambulatoire, de 1995-1996 à 1996-1997, les dépenses en MAD ont crû de façon beaucoup plus marquée au Québec qu'en Ontario, soit une hausse de 12,2% contre une hausse de 5,2%. Cependant, au cours de cette même période, toujours suite au virage ambulatoire, la clientèle du Québec augmentait beaucoup plus rapidement que celle de l'Ontario, soit une hausse de 30% contre une hausse de 14%. Mais globalement, le Québec avait rattrapé une partie de l'écart observé en 1993-1994. (Boucher et Côté 2000)

2.3.3 Lacunes et problématiques

Les hausses continuelles de clientèle et le sous financement chronique des services de MAD dans les CLSC du Québec ont créé un manque de ressources financières et humaines. Pour pallier à ce problème, deux solutions sont généralement envisagées : (1) établir des systèmes de MAD très sélectifs ou (2) offrir très peu d'heures de service par usager. Or, la première option, n'offre pas de solution réelle car la santé des patients déjà inscrits se détériorant peu à peu, les cas suivis deviennent plus lourds et le nombre d'heures de service augmente sans qu'il y ait une hausse du nombre d'usagers. La deuxième option peut mettre la santé des patients à risque. (ACCQ 2000) Ce manque de

ressources financières pousse les CLSC à employer des auxiliaires au salaire moins élevé ou à avoir recours à des agences privées. (Roy 1986b)

En fait, suite au virage ambulatoire, la fréquence des recours aux agences privées d'infirmière a considérablement augmenté. C'est une forme d'économie pour les CSCL du Québec. Cependant, bien que monnaie courante, cette pratique fait l'objet de plusieurs remises en question dans le milieu de la santé puisque par cette manière de faire, la qualité des soins et services, la transmission de l'information, la responsabilité, le contrôle des soins et services et la santé et sécurité au travail du personnel sont mis en jeu. (David, Cloutier et La Tour 2003)

Une meilleure planification des services est par conséquent cruciale. C'est ainsi que l'Association des CLSC et des CHSLD du Québec concluait ainsi son rapport sur les services à domiciles, en 2000.

> *« Les limites inhérentes aux systèmes d'information sur les clientèles, les interventions et l'allocation des ressources empêchent la planification et l'évaluation adéquates des services à domicile pour les clientèles de longue durée ainsi que la clientèle courte durée [...] Tout milite en faveur d'un système d'information adéquat, couvrant le continuum de soin ainsi que l'instauration d'un programme d'évaluation du potentiel économique et social des services à domicile. »*

Or en 2005, les systèmes d'information dans les services de MAD des CLSC du Québec ne sont toujours pas monnaie courante.

CHAPITRE 3 – MONTAGE D'UN SI EXPÉRIMENTAL

Le département de MAD du CLSC Côte-des-Neiges est peu informatisé. Seuls les rapports statistiques généraux transmis à l'Agence de développement de réseaux locaux de services de santé et de services sociaux (ADRLSSSS) sont saisis de façon informatique. Actuellement, l'infirmière rédige à la main toutes les informations relatives à son horaire de travail et aux patients dont elle est responsable. N'ayant pas à les partager avec ses collègues de travail, elle les conserve avec elle. Il existe donc un fractionnement de l'information, résultat du découpage territorial. Cette situation cause de nombreux problèmes logistiques au CLSC.

Pour notre étude, le SI n'est qu'un outil permettant de visualiser les horaires de travail et les déplacements des infirmières, recueillant ainsi les données nécessaires au volet transport. Mais pour les dirigeants du CLSC, il représente beaucoup plus. Son développement et son implantation font partie des priorités du CLSC Côte-des-Neiges. Pour le service de MAD du CLSC, ce prototype est l'occasion idéale de revoir ses méthodes afin de mieux s'organiser. Le système d'information proposé devra donc tenir compte de la réalité actuelle, du fonctionnement et des limitations afin de développer un prototype approprié, répondant aux besoins. Pour y parvenir, nous suggérons de suivre les grandes lignes des principes de conception basée sur les utilisateurs tels que définis par Gould, Boies et Ukelson (1997), Mahew (1999) ainsi que l'Organisation Internationale de Normalisation (1999). Ce chapitre reflète cette démarche.

3.1 Analyse des utilisateurs et du contexte d'utilisation

Les 36 infirmières du service de MAD du CLSC Côte-des-Neiges sont les futures utilisatrices du SI expérimental. Ces infirmières possèdent un diplôme collégial ou un diplôme universitaire n'incluant pas nécessairement une formation informatique. Toutes les infirmières ne sont donc pas nécessairement à l'aise avec l'informatique, voire même avec les principes de base. Cette réalité influencera l'ensemble du développement du prototype. Il faudra leur présenter un système qu'elles comprendront d'emblée. Pour y parvenir, il faudra s'appuyer sur des éléments bien connus et bien assimilés au sein de leur travail. Il faudra également respecter la logique du mode de travail actuel. Tout ceci passe nécessairement par une analyse approfondie des tâches quotidiennes effectuées par le personnel de MAD du CLSC Côte-des-Neiges.

Le travail d'une infirmière de MAD au CLSC Côte-des-Neiges comprend deux volets : (1) les visites à domicile et (2) le travail de bureau. Le travail de bureau permet principalement : (1) de prendre les rendez-vous, (2) de préparer les visites, (3) d'assigner certains rendez-vous à l'équipe de surplus ou à des agences privées, (4) de compiler les notes prises à la résidence du patient et d'effectuer le suivi et (5) de tenir à jour les statistiques devant être fournies à l'agence de développement. Ce travail permet l'organisation du deuxième volet : les visites à domicile. L'interaction entre ces différentes activités est décrite par le diagramme de flux de données présenté à la Figure 3.1.

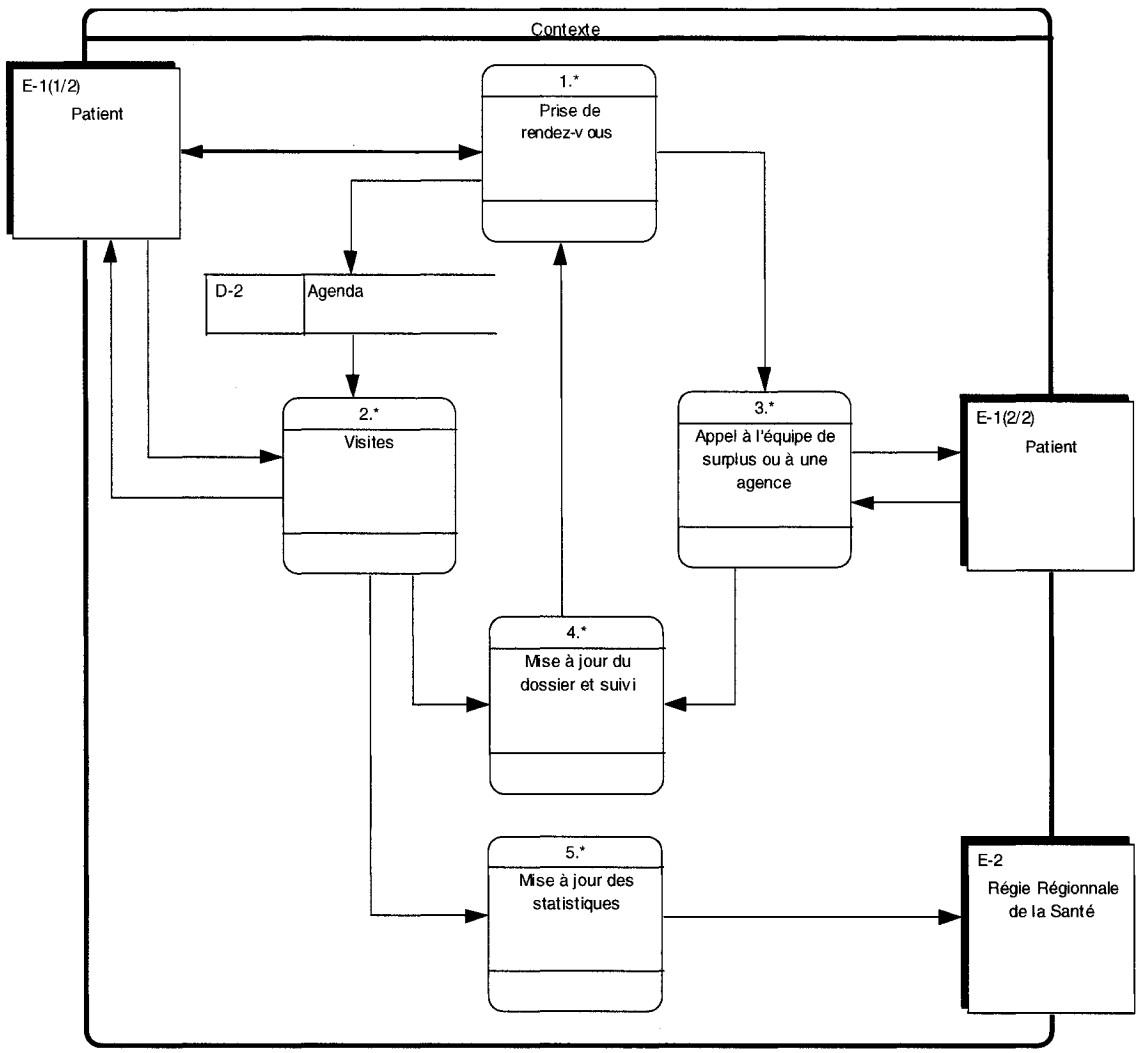


Figure 3.1 Interaction entre les principales activités de MAD

Chaque processus présenté dans ce diagramme a été détaillé à l'aide de digrammes additionnels. Ils sont présentés à l'Annexe A, nous nous contenterons ici d'en décrire les grandes lignes en retenant les éléments les plus pertinents.

3.1.1 Prise de rendez-vous

Il existe deux types de rendez-vous : les rendez-vous routiniers et les rendez-vous imprévus. Les demandes imprévues (prises sanguines, sortie d'hôpital, patient atteint d'un malaise soudain, patient redemandant les services d'une infirmière après une période d'arrêt, nouveau patient) représentent la moitié des éléments inscrits à l'agenda d'une infirmière. Les autres rendez-vous sont des éléments routiniers, répétés de semaine en semaine. Par exemple, une infirmière doit faire une injection hebdomadaire à un patient et cet événement est inscrit à l'avance, pour toutes les semaines à venir, dans son carnet de rendez-vous.

Les infirmières organisent leur horaire de façon à optimiser la répartition des rendez-vous routiniers au cours de la semaine. C'est ainsi qu'elles effectueront des groupements soit par localisation géographique ou soit par type de soins à prodiguer. En effectuant des groupements par localisation géographique, l'infirmière minimisera ses déplacements en déterminant, par exemple, qu'à chaque lundi elle visitera un groupe de patients habitant dans le même immeuble alors que le mardi elle visitera un groupe de patients habitant dans un second immeuble. En effectuant des groupements par type de soins à prodiguer, l'infirmière minimisera le matériel à transporter puisqu'elle n'aura besoin de certains instruments de travail qu'une seule fois au cours de la semaine.

L'infirmière recevra, par la suite, les demandes de rendez-vous imprévus et les ajoutera au schéma pré-établi de la façon qui lui semblera la plus appropriée. Chaque infirmière est responsable de son horaire : personne n'est attitré à la

confection de l'ensemble des horaires comme c'est le cas dans plusieurs CLSC du Québec. Ceci est possible grâce au découpage territorial.

3.1.2 Les visites à domicile

Dès que l'infirmière connaît ses rendez-vous, elle pourra préparera sa tournée de visites. Pour cela, elle mettra de côté les dossiers des patients à visiter le lendemain (CARDEX) et elle rassemblera le matériel requis. Elle déterminera alors l'ordre de sa tournée selon les modalités et caractéristiques abordées lors du premier chapitre. L'acte médical en tant que tel ne faisant pas l'objet de ce mémoire, il ne sera pas abordé.

3.1.3 Appel à l'équipe de surplus et aux agences privées

Il a déjà été mentionné que le principal désavantage du découpage territorial réside dans son incapacité à s'adapter aux fluctuations de la demande. Si une infirmière reçoit plusieurs demandes imprévues pour le même jour, est incapable de satisfaire les besoins de son sous-secteur. Elle doit alors, soit faire appel à l'équipe de surplus, soit faire appel au personnel des agences privées venant en aide au CLSC en cas de besoin.

Avant de confier le rendez-vous à l'équipe de surplus ou à une agence privée, l'infirmière doit recueillir les documents nécessaires. Elle doit faire une photocopie du CARDEX puis l'agrafer à une seconde feuille où elle indiquera le jour, l'heure et la raison du rendez-vous. Le CARDEX est un document rempli à la main. Il arrive parfois que l'écriture soit illisible. Si c'est le cas, l'infirmière doit alors retranscrire l'information du CARDEX avant de le remettre aux responsables des services.

3.1.4 Mise à jour du dossier et suivi

Une fois la visite complétée, l'infirmière doit mettre à jour le CARDEX s'il y a lieu. Ce CARDEX consiste en une feuille cartonnée comportant diverses zones prédéfinies telles : l'adresse du patient, la liste des médicaments du patient, le type de soins à prodiguer au patient, etc. Les informations périmées sont effacées pour faire place à de nouvelles informations. Cette mise à jour s'effectue au CLSC car pour éviter qu'il ne soit perdu, le CARDEX ne peut en aucun cas sortir du CLSC. Lors de leurs déplacements, les infirmières amènent des photocopies.

3.1.5 Statistiques

Une fois par année, le CLSC est tenu de faire parvenir à l'agence de développement, un bilan complet des actes médicaux accomplis par le personnel du service de MAD. C'est dans ce but qu'une infirmière dresse régulièrement la liste des visites accomplies. Pour ce faire, elle inscrit à la main, sur un formulaire : la date du rendez-vous, la durée du rendez-vous, le numéro de dossier du patient ainsi que tous les codes associés à l'état médical du patient. Les feuilles remplies par l'infirmière sont par la suite acheminées à l'archiviste qui saisira les données sur ordinateur et les transmettra éventuellement à l'agence de développement. Il faut noter que ces feuilles de statistiques constituent actuellement la seule source de données que possède le CLSC Côte-des-Neiges sur son service de MAD.

3.1.6 Autres activités

Les sections précédentes ont permis de décrire la dynamique existant entre les principales activités accomplies par les infirmières du service de MAD du CLSC Côte-des-Neiges. Il ne s'agit évidemment pas d'une description exhaustive de leur travail puisque d'autres activités viennent s'y greffer : suivi téléphonique auprès des patients, formulaires à remplir plusieurs jours à l'avance afin d'obtenir l'équipement nécessaire à une visite, réunions départementales, etc. Ces activités ne feront pas l'objet de l'étude en cours puisqu'elles ne sont pas essentielles au développement d'un SI et qu'elles sont exclues de la demande formulée par le CLSC.

3.2 SI développé

L'analyse précédente a permis de définir les différents volets du travail d'une infirmière de MAD au CLSC Côte-des-Neiges. Le SI développé doit être en mesure de soutenir ces différentes activités tout en bonifiant les méthodes de travail actuelles. Plusieurs axes d'améliorations ont été définis : (1) pouvoir archiver les données afin de conserver un historique des patients, (2) tenir automatiquement les statistiques à jour, (3) éliminer le besoin de retranscrire à la main le CARDEX des patients, (4) assurer une meilleure circulation de l'information entre les divers intervenants et (5) permettre de retracer aisément les dossiers d'une infirmière en cas d'absence.

Si on traçait le DFD correspondant à la nouvelle situation, on retrouverait, à peu de chose près, tous les éléments présentés à l'Annexe A. La différence majeure serait l'informatisation du CARDEX et des agendas. Ceci centraliserait l'information qui deviendrait accessible à tous les employés du département de

MAD tout en conservant l'autonomie de chaque intervenant. Ainsi, on éliminerait le besoin de remplir des formulaires pour l'équipe de surplus, le besoin de photocopier ou de retranscrire le CARDEX ainsi que le besoin de faire appel au responsable informatique pour retranscrire les statistiques.

En fait, le SI développé est, selon les définitions données à la section 2.2.1, essentiellement un système médico-clinique axé sur le patient et l'organisation du temps de travail. Tous les aspects financiers sont laissés de côté. Le SI prendra donc en charge le niveau opérationnel, mais recueillera également des informations de niveau tactique et stratégique en permettant entre autres de connaître en tout temps la charge de travail de chaque infirmière et d'apporter les correctifs nécessaires.

3.2.1 Modèle relationnel de données

Pour parvenir au résultat désiré, il faut d'abord définir le type d'information qui circulera dans le SI. Après examen de la situation au CLSC, on remarque qu'il existe principalement deux types de données : (1) les informations relatives à la condition du patient et (2) les informations relatives à l'horaire de travail. Il faut préciser que les statistiques devant être transmises à l'agence de développement font simultanément partie des deux catégories puisqu'elles contiennent à la fois des données sur l'état du patient ainsi que des données sur l'intervenant, la date et la durée de la visite.

Afin de pouvoir être exploitées, toutes ces données doivent être structurées en respectant les règles de normalisation de données. Un modèle relationnel de données (MRD) a donc été élaboré.

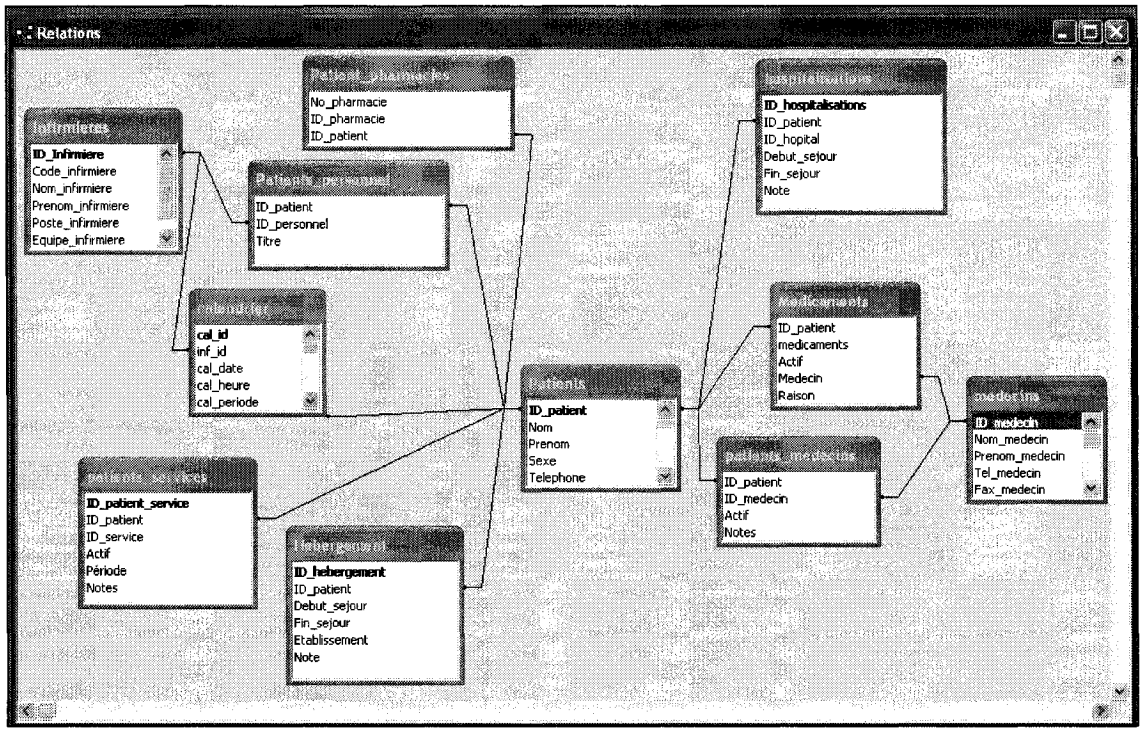


Figure 3.2 Modèle relationnel de données

La Figure 3.2 présente une version épurée du MRD. Pour faciliter la compréhension, seulement les principales tables y figurent mais il faut noter qu'en réalité, elles sont accompagnées de plusieurs autres tables permettant une saisie rapide des données : liste des pharmacies du quartier Côte-des-Neiges, liste des médecins, liste des codes utilisés par l'agence de développement, liste des services offerts par le CLSC Côte-des-Neiges, etc.

Les informations relatives à la condition du patient sont stockées dans un ensemble de tables recréant le CARDEX actuel : « *Patients* », « *Medicaments* », « *patients_services* » « *Patient_pharmacies* », « *patients_medecins* » et « *patient_personnel* ». C'est ainsi que la table « *Patients* » stocke les principales informations alors que les autres tables mentionnées apportent des précisions supplémentaires : liste des pharmacies que fréquente le patient, liste des médecins que le patient consulte, liste des services offerts par le CLSC au

patient, liste des intervenants du CLSC qui œuvrent auprès du patient et liste des médicaments qu'utilise le patient.

Les informations relatives à l'horaire de travail sont stockées dans les tables : « *Calendrier* » et « *Infirmières* ». En plus de contenir le nom du patient visité, l'identité de l'infirmière chargée du rendez-vous et la date de rendez-vous, la table « *Calendrier* » permet de conserver les statistiques qui seront transmises ultérieurement à l'agence de développement. Parmi les statistiques stockées, notons : la durée du rendez-vous, les codes associés aux actes médicaux accomplis, les codes associés à la condition médicale du patient, etc.

Cependant, ce modèle relationnel de données ne reprend pas seulement les informations circulant actuellement au CLSC. Il va un peu plus loin en permettant de stocker les données relatives à des hospitalisations ou à des hébergements temporaires à l'aide des tables «*Hébergement* » et « *hospitalisation* ». De plus, le modèle relationnel de données est conçu de manière à conserver l'historique du patient en matière de médicaments, de médecins consultés, d'hébergement et d'hospitalisation, soit les principaux domaines retenus par le CLSC Côte-des-Neiges.

3.2.2 Interface

Évidemment, ce modèle relationnel de données serait incomplet sans une interface permettant au personnel d'interagir avec le système. Il existe deux types d'accès : (1) l'accès en tant que responsable de MAD et (2) l'accès en tant qu'infirmière de MAD. L'accès en tant que responsable de MAD permet de consulter la liste des rendez-vous confiés à l'équipe de surplus ou à des agences privées afin de les répartir, de consulter l'agenda d'une infirmière

absente et de visualiser les statistiques de gestion. Nous ne nous attarderons pas sur ce type d'accès, mais allons plutôt examiner l'accès en tant qu'infirmière de MAD.

Tel que mentionné plus haut, l'interface développée doit être simple d'utilisation afin d'être adaptée aux connaissances informatiques parfois limitées des infirmières. Par conséquent, l'interface doit être centrée autour d'éléments familiers. Voilà pourquoi l'infirmière accède à son agenda personnel dès qu'elle entre son code d'entrée.

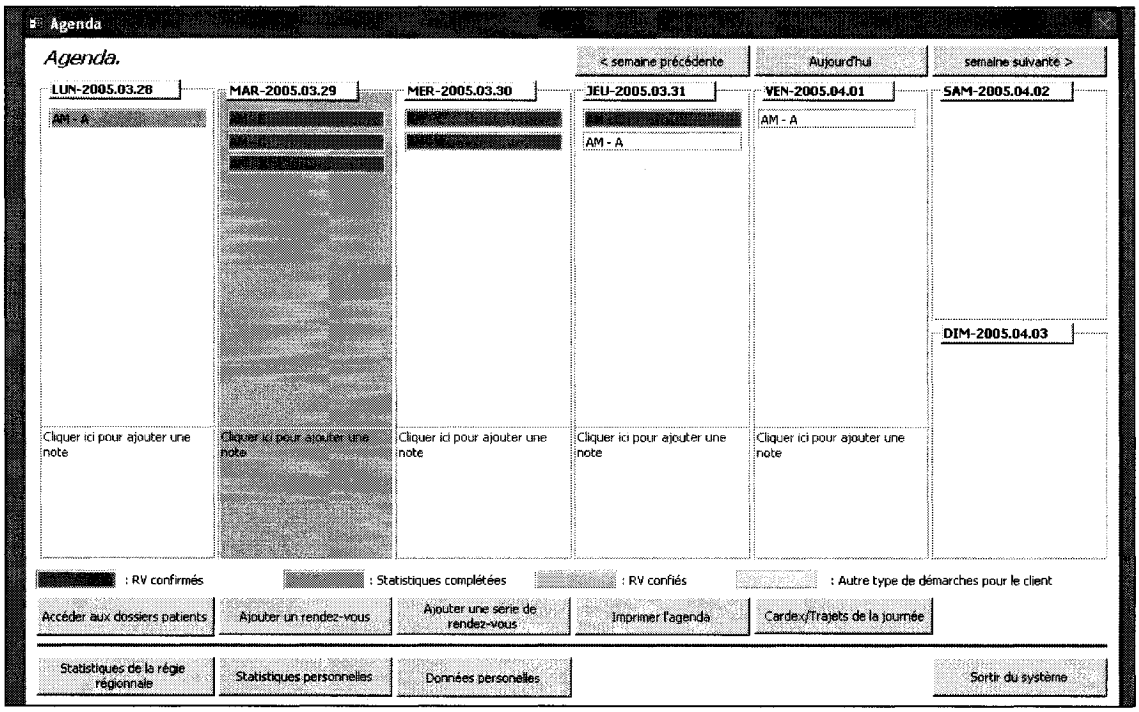


Figure 3.3 Interface du système d'information

L'interface du SI s'articule autour de cet agenda. L'agenda sert donc de tableau de bord permettant à l'utilisateur : (1) de visualiser l'ensemble de ses rendez-vous, (2) d'ajouter ou de supprimer des rendez-vous, (3) d'attribuer des rendez-vous à d'autres intervenants, (4) de faire le suivi des rendez-vous, (5) d'accéder

aux dossiers des patients afin de les mettre à jour ou de créer un nouveau dossier patient, (6) d'imprimer la liste des rendez-vous de la journée, accompagnée du CARDEX des patients à visiter, (7) de générer les statistiques pour l'agence de développement et (8) de visualiser et modifier des données personnelles. Nous allons brièvement examiner tour à tour l'ensemble de ces actions.

3.2.2.1 Visualisation des rendez-vous

Tel qu'illustré à la Figure 3.3, l'interface permet de voir l'ensemble des activités d'une semaine. L'information est disposée à la manière d'un agenda conventionnel et ressemble, en fait, à l'agenda actuellement utilisé par les infirmières. La liste des rendez-vous d'une journée donnée apparaît dans l'espace réservé à cette fin. Chaque étiquette de rendez-vous contient l'information de base concernant le rendez-vous, soit : la plage horaire (AM, PM, soir, rendez-vous téléphonique) ainsi que le nom du patient. En double-cliquant sur l'étiquette de rendez-vous, de l'information supplémentaire est disponible : adresse du patient, CARDEX, etc.

3.2.2.2 Ajout de rendez-vous

Il est possible de gérer les rendez-vous à partir de l'agenda. On peut : supprimer des rendez-vous, déplacer des rendez-vous et ajouter des rendez-vous. Lors de l'ajout d'un rendez-vous, seules les informations de base sont demandées : identité du patient, date du rendez-vous et période concernée (AM, PM, soir ou rendez-vous téléphonique). Il est également possible d'ajouter une série de rendez-vous en spécifiant une plage de dates plutôt qu'un jour unique afin de limiter le nombre d'opérations nécessaires dans le cas où un client est vu fréquemment.

3.2.2.3 Attribution de rendez-vous à d'autres intervenants

Lorsqu'une infirmière ne peut effectuer une visite, elle peut confier ce rendez-vous à d'autres intervenants. Elle sélectionne alors l'étiquette du rendez-vous et dans une section réservée à cet effet, elle peut soit transférer le rendez-vous à l'équipe de surplus, à une agence privée ou, suite à une entente verbale avec un autre intervenant, directement spécifier le nom de la personne qui prendra en charge le rendez-vous. Les rendez-vous confiés apparaissent toujours à l'agenda de l'infirmière mais sous une couleur différente, les distinguant des rendez-vous réguliers, afin qu'elle puisse évaluer la charge réelle de travail de son sous-secteur. Par contre, les rendez-vous confiés n'apparaissent pas dans les feuilles de statistiques de l'infirmière.

3.2.2.4 Suivi

Un code de couleurs a été adopté pour les étiquettes de rendez-vous figurant à l'agenda d'une infirmière. Ce code de couleur permet de distinguer : les rendez-vous confiés, les rendez-vous téléphoniques, les rendez-vous non confirmés auprès du patient, les rendez-vous confirmés auprès du patient et les rendez-vous complétés. Ainsi, l'infirmière peut facilement connaître, en un coup d'œil, les actions qu'elle doit effectuer. Ceci facilite énormément les opérations de suivi et il est aisé, en cochant une simple case, de modifier le statut d'un rendez-vous.

3.2.2.5 Gestion des dossiers patients

Il existe plusieurs façons rapides d'accéder au dossier d'un patient puisqu'il s'agit d'une source importante d'informations. Les informations qu'on retrouve sur ce formulaire sont celles du CARDEX papier circulant présentement dans le CLSC. Les informations sont présentées par onglets (général, profil du patient, rendez-vous, médecins, services, dysfonctions, médicaments, statut) correspondants aux différentes zones qu'on retrouve sur le CARDEX actuel. Un aperçu est offert à la Figure 3.4.

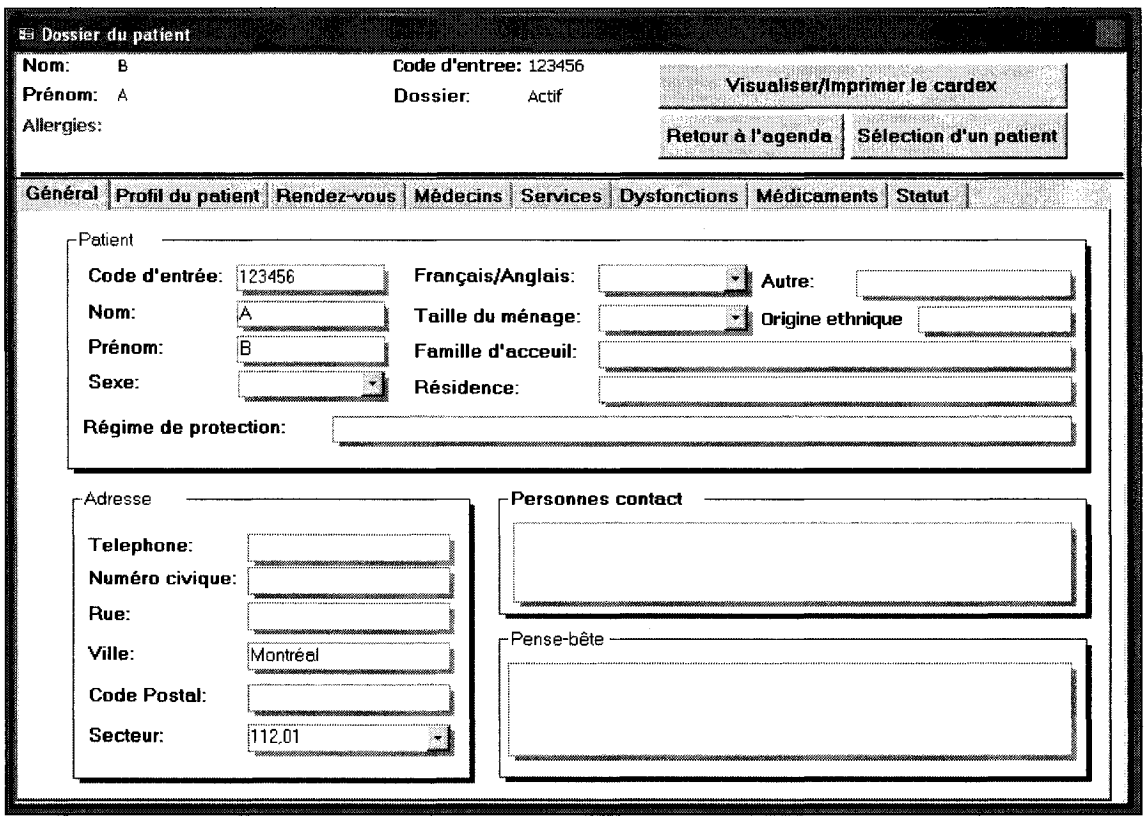


Figure 3.4 Dossier patient

Pour faciliter le travail de l'infirmière lors de l'entrée de données, des listes de choix et des masques de saisie ont été introduits dans les cas où l'information

est répétitive ou de format standard. Dans les cas où l'information était antérieurement conservée de manière plutôt informelle, on utilise un simple champ texte à l'intérieur duquel l'infirmière est libre d'écrire l'information de la manière qu'elle désire afin de ne pas imposer inutilement un degré de formalisme élevé.

Les informations relatives au patient sont entrées par l'infirmière et lorsqu'une information devient périmée, elle est, règle générale, simplement remplacée sauf dans les cas déjà spécifiés à la section 3.2.1 où l'information antérieure est conservée afin de bâtir un historique du patient.

3.2.2.6 Cardex

Pour le CLSC Côte-des-Neiges, il était essentiel qu'une fois imprimé, le CARDEX soit constitué d'une seule page similaire au CARDEX papier actuel. Les champs présents dans le dossier informatique ont donc été repris et disposés de façon à respecter cette exigence. Le CARDEX développé ressemble donc grandement au CARDEX actuel, bien qu'en raison de contraintes informatiques et de contraintes d'espace, certaines modifications ont été apportées. C'est cette version imprimée que l'infirmière amènera avec elle lors de ses déplacements et qui sera remise, en cas de besoin, à l'équipe de surplus ou aux agences privées.

3.2.2.7 Statistiques pour l'agence de développement

La tenue et mise à jour des statistiques pour l'agence de développement sont grandement simplifiées avec l'introduction du système d'information. La liste des visites effectuées par les divers intervenants est déjà connue par le système et des mécanismes facilitent l'entrée des codes relatifs à la condition du patient et

aux actes médicaux accomplis. En effet, comme ces codes varient très peu à travers le temps puisque la condition du patient reste relativement stable, il est possible de les recycler de rendez-vous en rendez-vous. Les derniers codes utilisés pour le patient s'inscrivent donc par défaut lors de l'ajout d'un rendez-vous, sauvant un temps précieux à l'infirmière. Lorsqu'un rendez-vous est complété, il suffit désormais à l'infirmière d'inscrire la durée du rendez-vous et de modifier les codes si besoin est. Si l'infirmière modifie l'un de ces codes, le changement se perpétuera aux rendez-vous futurs du patient.

3.2.2.8 Données personnelles

Certaines fonctions, non essentielles au fonctionnement du système mais souhaitées par les intervenants du CLSC, ont été ajoutées. Ces fonctions ont des fins plus personnelles telles : la mise à jour des données de l'usager (poste téléphonique, équipe de travail, mot de passe), la création de rapports statistiques permettant de visualiser la charge de travail associée au sous-secteur ainsi que la possibilité d'ajouter des éléments autres que des rendez-vous à l'agenda (réunions, anniversaires, pense-bête, etc.). Tout en faisant en sorte que l'infirmière se sente en contrôle de la situation, ces fonctions lui permettent de profiter des avantages des données exploitées par le système d'information et d'encourager son utilisation en éliminant le besoin d'avoir recours à un agenda traditionnel pour usage personnel.

CHAPITRE 4 – MODÉLISATION

Suite à l'analyse de la situation actuelle, à l'étude de la littérature ainsi qu'au développement du système d'information, nous avons en main toutes les données nécessaires pour notre étude comparative visant à tester l'efficacité relative de divers algorithmes de transport, dont le TDTSP. Il est possible de modéliser la situation d'un point de vu transport afin de vérifier l'effet de différents modes d'élaboration de tournées sur le temps réel de parcours. Ce chapitre permet : (1) de modéliser le problème, (2) de déterminer les éléments à mesurer ainsi que les moyens qui permettront d'analyser les résultats recueillis et (3) de détailler de façon précise les algorithmes retenus.

4.1 Modélisation du problème

Établir une route pour une infirmière de MAD équivaut généralement à résoudre un problème de tournée de véhicules. Toutes les demandes de services sont centralisées et l'assignation des clients aux divers intervenants est effectuée en même temps que les tournées sont confectionnées. Ceci permet de minimiser la distance totale parcourue par l'ensemble du personnel. La confection de telles tournées est souvent automatisée mais dans bien des cas, l'absence complète d'outils informatiques force l'autorité organisatrice de soins à domicile à confier cette tâche à un employé qui fera la répartition à la main. Le résultat obtenu est alors imprécis en raison du manque de connaissances du répartiteur. Certains ont tenté de pallier à ce problème en définissant un ensemble de directives et de méthodes à suivre afin de développer de bons horaires de travail (Woerner et Feldsein, 1988)

Au CLSC Côte-des-Neiges, la planification des tournées est cependant faite de façon différente à cause du découpage territorial existant depuis plusieurs années et redéfini par Blais (2001). En raison de ce découpage, l'assignation des clients est faite de façon permanente et ainsi, chaque infirmière peut simplement organiser sa tournée avec la liste de demande qu'elle reçoit directement. Par conséquent, au CLSC Côte-des-Neiges, la confection des horaires n'est pas un problème de tournée de véhicules. Il s'agit plutôt de plusieurs problèmes de voyageur de commerce (TSP) de taille relativement restreinte. Si on désire ajouter les effets du trafic à cette confection d'horaire, il est possible de transformer le problème de TSP en TDTSP.

Le but premier de la plupart des travaux effectués sur le TDTSP au cours des dernières années a été de développer des méthodes de résolution plus sophistiquées, s'éloignant peu à peu des modèles basés sur des valeurs discrètes de temps de déplacement au profit de modèles basés sur des fonctions de temps continues. Maintenant, on retrouve ainsi des modèles réalistes, contenant de plus en plus de contraintes.

Ce qui distingue la présente étude de ces études précédentes est l'introduction du caractère imprévisible du temps de service chez le client. En effet, bien que certaines études dont celle de Potvin, Xu et Benyahia (2003) contournent le problème en bâtissant partiellement les tournées en temps réel, nous ne sommes conscients d'aucune étude prenant directement en compte le caractère souvent imprévisible de la durée de service chez le client. Les formulations bien connues proposées par Fox, Gavish et Graves (1980) ainsi que celle de Picard et Queyranne (1978) ignorent tout simplement le temps passé chez le client. Malgré la sophistication de leur algorithme génétique de résolution et du souci apporté aux fenêtres de temps de livraison, Haghani et Jung (2004) négligent le temps passé chez le client en supposant que l'heure de départ correspond à

l'heure d'arrivée. Dans un contexte similaire, De Palma, Hansen et Labbé (1990) ont fait la même hypothèse. Malandraki et Daskin (1992) ont bel et bien introduit une variable établissant un temps de service pour chaque client, mais ne tiennent pas compte du caractère imprédictible de ce temps de service.

En étudiant la situation au CLSC Côte-des-Neiges, on remarque que la durée du temps de service ne peut être négligée. Le temps de service est important, en moyenne 30 minutes par patient, constituant ainsi la plus grande portion du travail des infirmières de maintien à domicile. Sachant qu'il influence directement l'heure à laquelle l'infirmière empruntera sa voiture et que la congestion routière dépend justement des heures de la journée, toute modélisation de la situation requiert d'inclure ce temps de service.

On peut imaginer qu'il est difficile pour une infirmière de prédire le temps exact qu'elle passera chez un patient, surtout dans le cas des patients occasionnels. Le temps réel de service diffère donc du temps prévu. Or, dans un contexte où le trafic dépend directement de l'heure de la journée, on peut facilement concevoir qu'une variation dans le temps de service peut avoir un impact important sur l'optimalité de la route choisie. Des temps de service plus longs ou plus courts que prévus pourraient signifier que le travailleur devra emprunter un lien routier à une heure où l'effet du trafic se fait lourdement sentir sur ce tronçon, affectant ainsi la planification initiale basée sur les heures de la journée. Une route semblant à l'origine optimale, pourrait ne plus l'être.

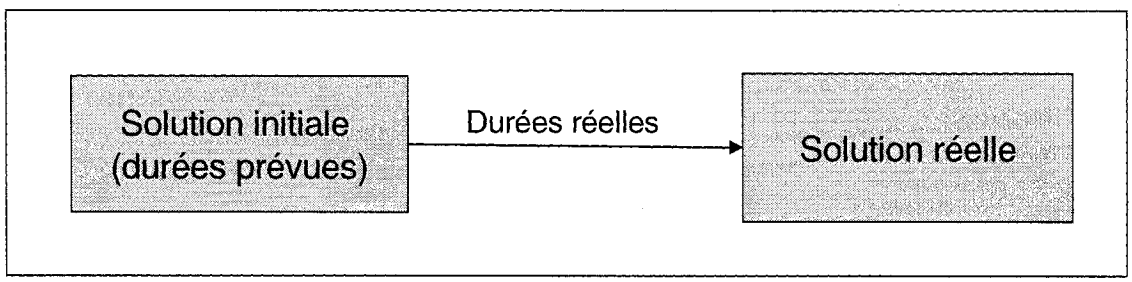


Figure 4.1 Effet des durées réelles sur la route choisie

Afin de bien saisir cette problématique, la distribution des durées de l'ensemble des visites effectuées au mois de mars 2003 est présentée à la Figure 4.2. Les visites de durée supérieure à deux heures (soit 0,55% des visites), ont été exclues de ce graphique car après consultation du personnel du CLSC, il est apparu qu'il s'agissait de données irréalistes résultant probablement d'erreurs dans la saisie des données.

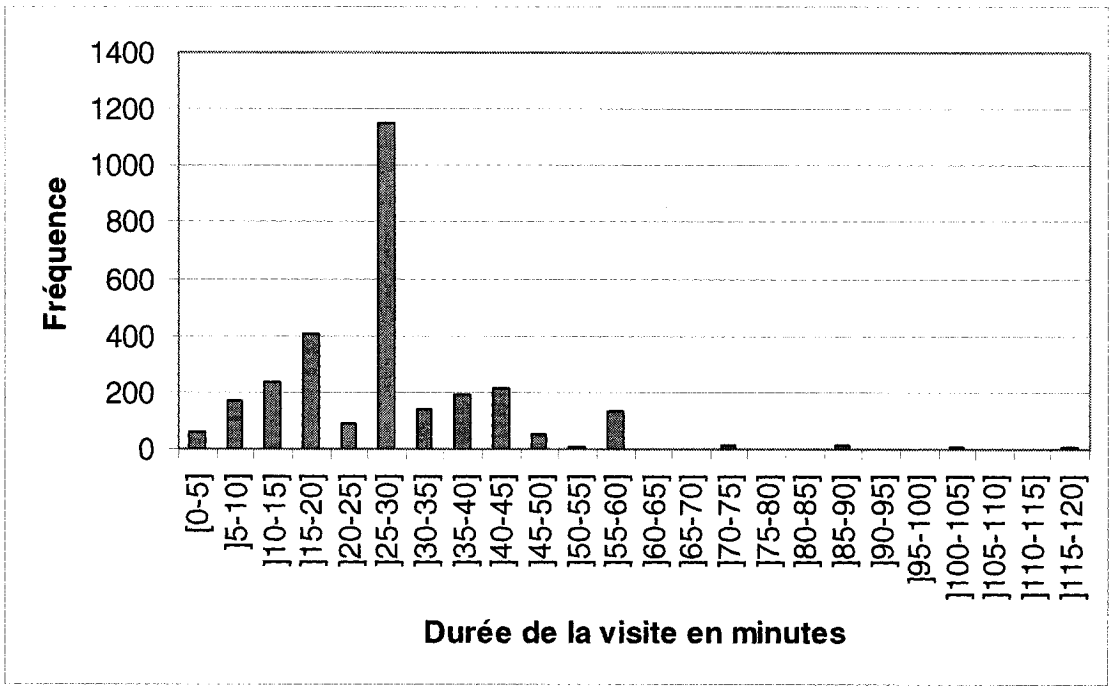


Figure 4.2 Distribution des durées des visites du mois de mars 2003

Bien que dans la réalité, les temps de visite forment probablement une fonction continue, leur représentation est discrétisée car les infirmières ont tendance à arrondir les durées réelles. Elles arrondissent généralement au 5 minutes, mais certaines préfèrent arrondir aux 15 minutes. Néanmoins, cette distribution nous montre bien qu'il existe une grande diversité dans les durées de rendez-vous faisant en sorte qu'il est difficile de prévoir le temps passé auprès des patients occasionnels. Le cas des patients réguliers est cependant plus simple, l'infirmière connaissant à l'avance les actes médicaux devant être accomplis. Mais il existe tout de même une légère variation sur ces durées.

La modélisation de la situation au CLSC Côte-des-Neiges passe donc nécessairement par un modèle tenant compte du caractère imprédictible des temps de service auprès du patient.

4.2 Mesures et comparaison

Afin de réaliser notre étude comparative, il est essentiel de sélectionner les algorithmes qui seront étudiés et de choisir une méthode qui nous permettra de tirer des conclusions rigoureuses et objectives. C'est le but de cette section qui abordera tour à tour : (1) le choix des algorithmes de transport, (2) les mesures et les comparaisons et (3) les facteurs pouvant potentiellement influencer les résultats ainsi que les moyens qui seront mis en œuvre afin de contourner ce problème.

4.2.1 Algorithmes retenus

Nous avons mentionné, à plusieurs reprises, notre volonté d'étudier le TDTSP dans le contexte du CLSC Côte-des-Neiges où, contrairement aux contextes

habituellement retenus, le temps de service ne peut être négligé en raison de son importance et de sa grande variabilité. Cependant, pour effectuer une étude éclairée, il faut comparer l'efficacité du TDTSP à celle d'autres algorithmes de transport afin de cerner les avantages et les inconvénients de cette technique.

Le choix d'algorithmes appropriés passe : (1) par leur applicabilité dans le contexte du MAD au CLSC Côte-des-Neiges et (2) par la possibilité de comparer objectivement les résultats obtenus. Nous suggérons une approche réaliste, basée sur l'analyse des diverses possibilités de confection d'horaire au CLSC. En suivant cette technique, on remarque que trois paramètres peuvent influencer le choix d'une méthode de confection d'horaire, soit : (1) le fait de tenir compte, ou non, du trafic, (2) le fait de déterminer sa route avant de partir, ou de la bâtir au fur et à mesure que la matinée avance et (3) le fait d'avoir une vision globale (TSP) ou plus restreinte (plus proche voisin) du trajet à effectuer. La combinaison de ces trois paramètres offre huit manières de faire comparables entre elles. Elles sont présentées dans le tableau suivant et les algorithmes qui en découlent sont détaillés plus bas.

Tableau 4.1 Choix d'algorithmes permettant de résoudre le problème

		L'infirmière détermine sa route à l'aide du plus proche voisin	**L'infirmière a une vision plus globale du trajet qu'elle effectuera**
L'infirmière détermine sa route avant de partir	**L'infirmière ne tient pas compte du trafic**	*Cas 1 – Plus proche voisin, utilisation de la matrice des distances*	*Cas 2 – TSP*
	L'infirmière tient compte du trafic	*Cas 3 – Plus proche voisin, utilisation des matrices de temps*	*Cas 4 – TDTSP*
L'infirmière détermine sa route en temps réel	**L'infirmière ne tient pas compte du trafic**		
	L'infirmière tient compte du trafic	*Cas 5 – Plus proche voisin. L'infirmière attend que la visite i soit terminée avant de déterminer qui sera le patient i+1.*	*Cas 6 – TDTSP. À la fin de chaque visite, un nouveau TDTSP est calculé avec les patients restants.*

Plusieurs algorithmes présentés découlent directement du plus proche voisin. Trois versions de l'algorithme existent :

- *Cas 1* : l'infirmière ne tient pas compte du trafic et détermine sa route avant de partir à l'aide de l'algorithme du plus proche voisin en utilisant uniquement une matrice des distances;

- *Cas 3* : l'infirmière tient compte du trafic et détermine sa route avant de partir à l'aide de l'algorithme du plus proche voisin en utilisant les différentes matrices de temps au lieu de la matrice des distances;

- *Cas 5* : l'infirmière adopte l'algorithme du plus proche voisin, mais attend de voir l'heure exacte à laquelle le rendez-vous *i* se terminera avant de

déterminer quel sera le patient *i + 1* afin que son choix soit mieux adapté à l'état du trafic.

Selon les combinaisons des trois paramètres influençant le choix d'un algorithme de transport, une quatrième option aurait été possible : l'infirmière détermine sa route en temps réel, tout comme dans le *Cas 5*, mais ne tient pas compte du trafic. Cependant, nous ne retenons pas cette combinaison car il ne s'agit pas d'une option réaliste et que les résultats obtenus seraient identiques à ceux du *Cas 1*.

Les autres algorithmes présentés dans le tableau découlent du problème de voyageur de commerce. Trois versions de l'algorithme existent :

- *Cas 2* : l'infirmière ne tient pas compte du trafic et détermine sa route avant de partir à l'aide du TSP en utilisant uniquement une matrice des distances;

- *Cas 4* : l'infirmière tient compte du trafic et détermine sa route, avant de partir, à l'aide du TDTSP en utilisant les différentes matrices de temps au lieu de la matrice des distances;

- *Cas 6* : l'infirmière adopte l'algorithme du TDTSP. Elle calcule un TDTSP avant de partir mais réajuste le tir en cours de route, en recalculant un TDTSP avec les patients restants à chaque fois qu'elle termine une visite. Cela lui permet de réagir dans les cas où un rendez-vous a duré plus ou moins longtemps que prévu, affectant l'optimalité de la solution initiale.

Selon les combinaisons des trois paramètres influençant le choix d'un algorithme de transport, une quatrième option aurait été possible : l'infirmière

détermine sa route en temps réel, tout comme dans le *Cas 6*, mais ne tient pas compte du trafic. Cependant, nous ne retenons pas cette combinaison car il ne s'agit pas d'une option réaliste et que les résultats obtenus seraient identiques à ceux du *Cas 2*.

4.2.2 Mesures

Une fois les algorithmes retenus, il est possible de déterminer les mesures qui seront prises afin de juger de leur performance relative. Nous avons vu, à la section 4.1, que le caractère imprévisible des temps de service au CLSC Côte-des-Neiges pouvait entraîner une dégradation ou une amélioration de la solution initialement prévue, les durées réelles venant modifier la donne. Cependant, mesurer l'écart existant entre la solution initiale et la solution réelle ne constitue pas la clé puisque cet écart risque d'être sensiblement le même, peu importe l'algorithme retenu. De plus les solutions initiales et réelles ne permettent pas de juger de la qualité d'un algorithme de façon absolu puisque nous n'avons aucune idée de ce qu'aurait été la solution optimale.

La démarche retenue pour cette étude reprend le concept mentionné plus haut en calculant la solution initiale à l'aide des durées prévues puis en testant cette solution en conditions réelles à l'aide des durées réelles. Mais cette démarche va plus loin en calculant par la suite une solution optimale basée sur les durées réelles, comme si de retour au CLSC et ayant toutes les données du problème en main, l'infirmière vérifiait ce qu'elle aurait dû faire. La solution réelle sera toujours de qualité inférieure à la solution optimale ainsi calculée et l'écart entre les deux témoignera de la puissance de l'algorithme retenu. Plus l'écart est grand, moins l'algorithme est efficace puisqu'il ne permet pas d'obtenir des résultats s'approchant de l'optimal. À l'opposé, plus l'écart est petit, plus

l'algorithme est efficace, permettant d'obtenir des solutions s'approchant de l'optimal. La figure qui suit résume la situation.

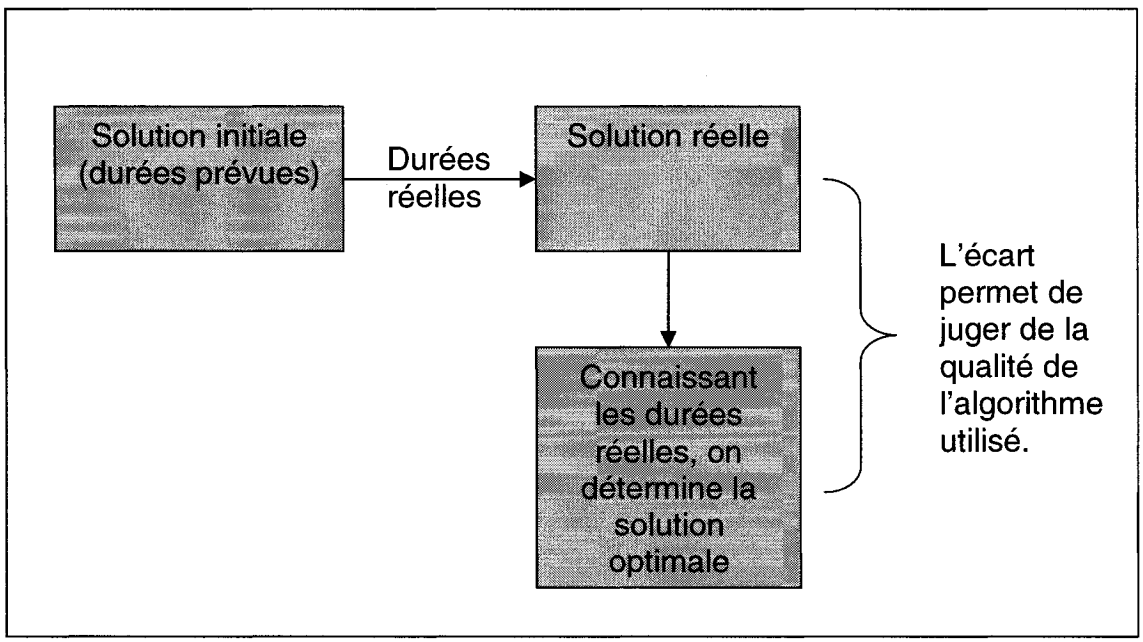


Figure 4.3 Mesures prises pour juger de la qualité d'un algorithme

Pour obtenir des résultats significatifs, on ne peut pas prendre cette mesure qu'une seule fois. En effet, l'écart entre la situation réelle et l'optimal dépend de la génération des durées réelles. Ainsi, il est important, pour un même groupe de clients, de générer plusieurs fois des durées réelles jusqu'à ce que l'écart moyen se stabilise. De même, comme les résultats dépendent du groupe de clients retenu, il sera important de répéter cette procédure pour plusieurs groupes de clients jusqu'à ce que les moyennes globales se stabilisent. La figure qui suit résume la procédure suggérée.

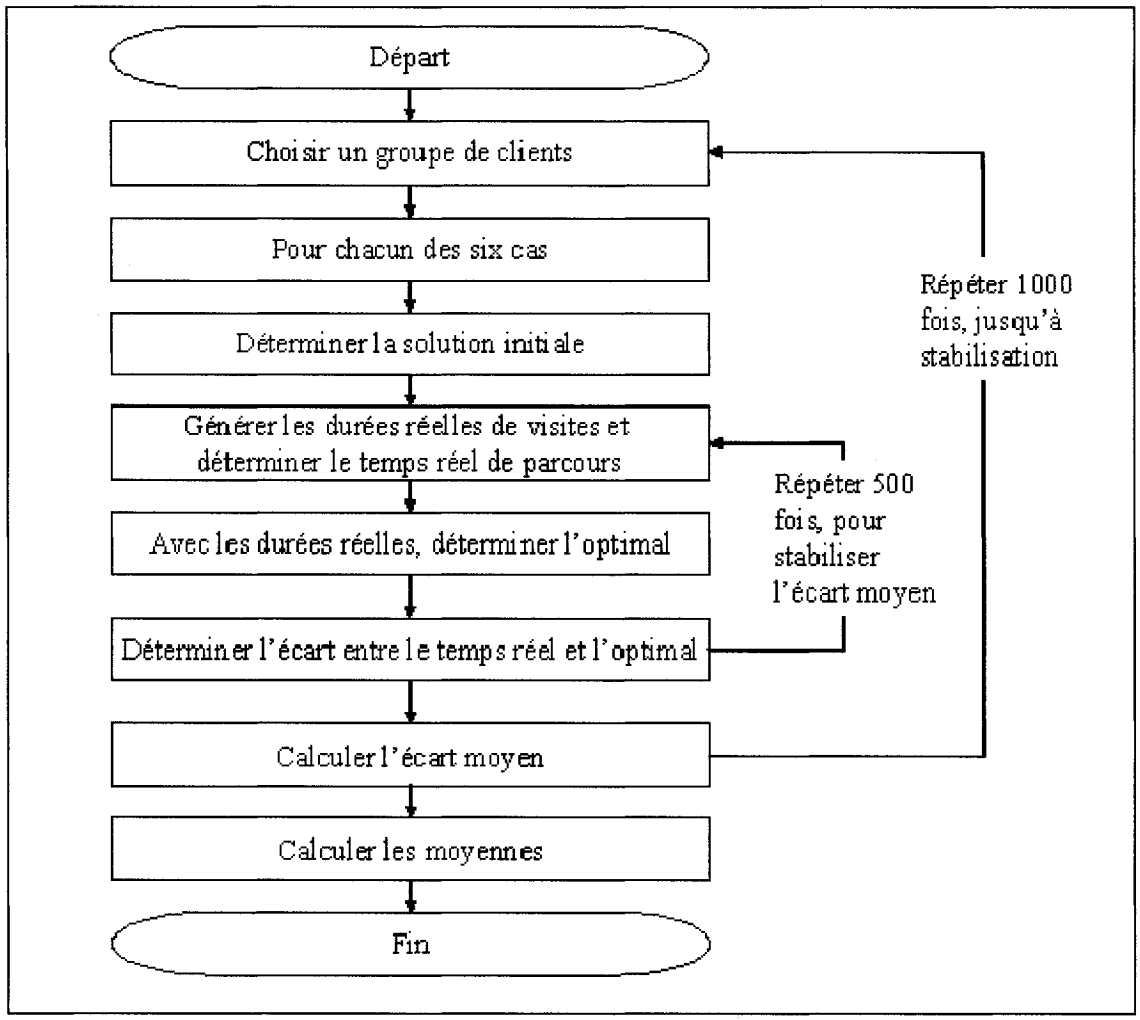


Figure 4.4 Procédure suggérée lors des simulations

Cette procédure suppose le choix aléatoire de 1000 groupes de clients. Pour chaque groupe, les six algorithmes seront étudiés tour à tour en : (1) déterminant la solution initiale, (2) générant les durées réelles et déterminant la solution réelle, (3) comparant la solution réelle à la solution optimale et (4) répétant les étapes (2) et (3) 500 fois jusqu'à stabilisation des résultats. Au bout du compte, il sera possible d'établir des moyennes à partir des 1000 ensembles de clients retenus et les résultats ainsi tirés seront significatifs.

4.2.3 Facteurs pouvant influencer les résultats

L'étude ici présentée est basée sur le contexte du MAD au CLSC Côte-des-Neiges. Il faut réaliser que certaines caractéristiques propres à ce contexte risquent d'avoir une influence sur les résultats obtenus. Ces résultats deviendront dès lors difficilement transposables à d'autres catégories de travailleurs itinérants. En fait, il existe trois paramètres pouvant influencer les résultats : (1) l'intensité du trafic, (2) l'importance des distances et (3) l'importance du temps de service ainsi que l'ampleur de son caractère imprévisible.

Par conséquent, il est essentiel de développer une technique permettant de pallier cette lacune. En fait, il est proposé, en plus de la simulation de base correspondant au contexte du CLSC, de réaliser diverses simulations qui viendront chacune modifier l'un de ces paramètres. Les résultats de ces simulations pourront être comparés à ceux de la simulation de base afin de comprendre l'influence respective de chaque paramètre.

4.3 Modélisation de la solution

Nous avons maintenant en main tous les éléments nécessaires à la modélisation proprement dite. Cette modélisation s'effectue en trois temps : (1) analyse minutieuse des éléments du contexte devant être intégrés aux simulations, (2) programmation de la simulation de base et (3) programmation des simulations additionnelles altérant la simulation de base. Tout ceci nous permet d'effectuer des simulations qui généreront les résultats nécessaires à notre étude comparative. Les trois étapes mentionnées correspondent aux trois

premières sections ici présentées. La quatrième s'attarde à l'outil Excel développé.

4.3.1 Modélisation du contexte

Rappelons le contexte du MAD au CLSC Côte-des-Neiges : (1) tournées de taille limitée à 5 patients, (2) temps de service important chez le patient, (3) caractère imprévisible du temps de service, (4) congestion routière et (5) possibilité de modifier la tournée en cours de route car aucune heure précise n'est donnée au patient.

Nous avons vu, au chapitre 1, que certains éléments sont appelés à varier d'une journée à l'autre ou d'une infirmière à l'autre. Par souci de simplification et afin d'analyser objectivement les résultats, nous allons fixer ces paramètres. Ainsi, un nombre de cinq visites par jour est retenu puisque les cas où le nombre de patients est inférieur présentent peu d'intérêt mathématique. Pour les mêmes raisons, nous ignorerons les cas où la moitié des patients sont vus en matinée et l'autre moitié en après-midi. Dans notre modèle, tous les patients seront vus en matinée. Également, nous supposerons que le point de départ de la tournée est toujours le CLSC. Finalement, nous éliminons les quelques cas où des patients à jeun doivent être vus en priorité puisque nous voulons mesurer la performance des algorithmes lorsqu'ils sont libres de toute influence externe. Bref, la modélisation développée ne se veut pas une réplique exacte de la situation au CLSC Côte-des-Neiges, mais s'en inspire afin d'étudier différents algorithmes en situation quasi réelle.

4.3.1.1 Quartier à l'étude

Nous avons vu au chapitre 1 que le sous-secteur d'une infirmière est souvent de très petite taille. Comme les distances entre deux patients sont faibles, il arrive fréquemment que l'infirmière n'ait pas à utiliser sa voiture entre deux visites. L'étude des déplacements de ces sous-secteurs a donc peu d'attrait mathématique. D'autres sous-secteurs sont plus étendus et les déplacements y sont plus importants. Cependant, comme la densité de population y est plus faible, le trafic est moins présent et cette réalité rend, encore une fois, l'étude des déplacements peu intéressante d'un point de vue mathématique. Donc, bien que la situation relativement complexe du CLSC Côte-des-Neiges constitue un champ d'étude intéressant, il serait peu pertinent d'analyser les tournées ayant réellement été faites par les infirmières du MAD. Par conséquent, nous devrons travailler avec un sous-secteur fictif qui respectera les principales règles du jeu du CLSC Côte-des-Neiges, mais où les distances et le trafic seraient appréciables.

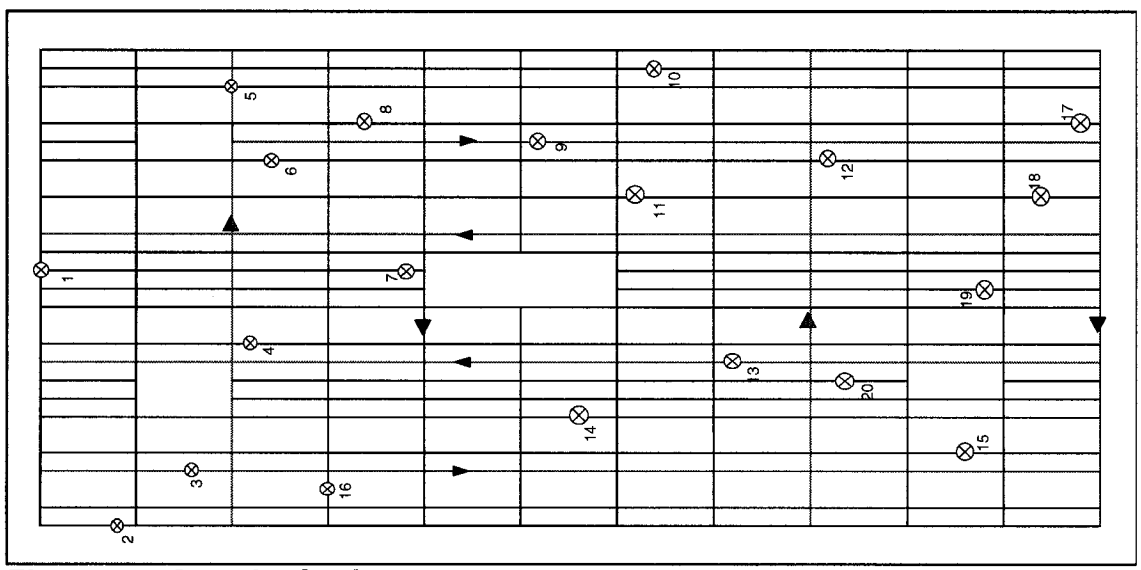


Figure 4.5 Quartier à l'étude

Le plan de ce quartier est présenté à la Figure 4.5. Un CLSC (numéro 1) ainsi que dix-neuf clients (numérotés de 2 à 20) y ont été disposés aléatoirement. La matrice des plus courts chemins entre chaque paire de points a été calculée. Puisque ce quartier comporte bon nombre de sens uniques et de parcs, la matrice des distances n'est pas symétrique.

4.3.1.2 Trafic

Le modèle retenu utilise trois matrices des distances ainsi que cinq intervalles distincts simulant le trafic sur une matinée de travail. On suppose que toutes les infirmières partent du CLSC à 8h00, ou au temps 0, au moment où les effets du trafic se font le plus sentir. La congestion routière s'estompe graduellement pour faire place à une période plus fluide, avant de reprendre de plus belle vers l'heure du dîner. La figure suivante présente ce modèle.

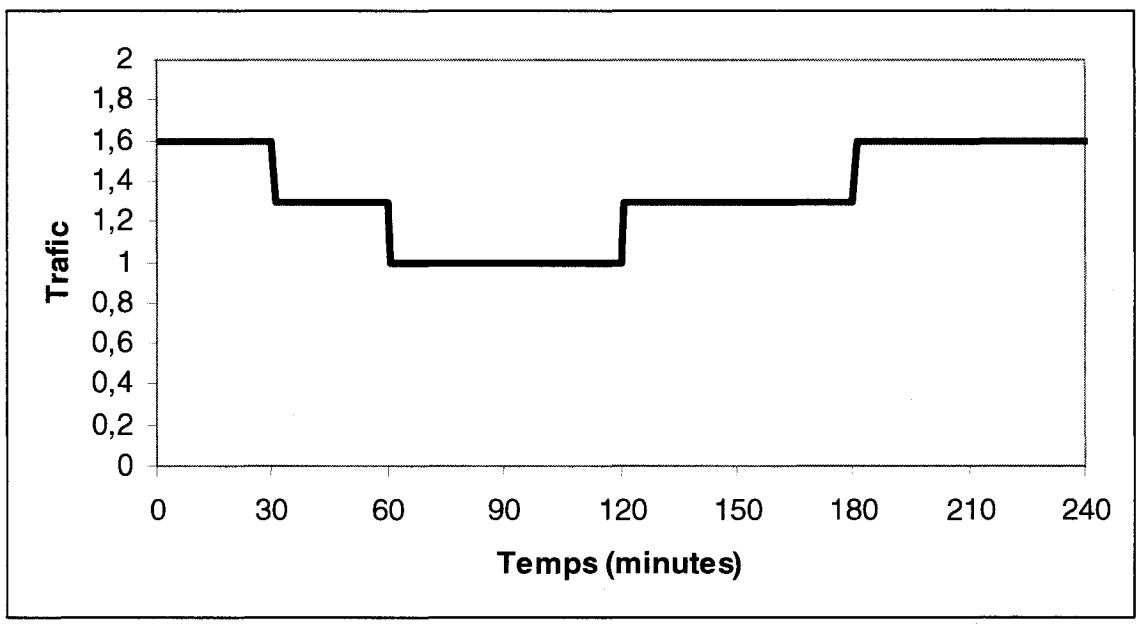


Figure 4.6 Fonction de trafic utilisée pour la simulation de base

Une matrice de base sans trafic est utilisée dans l'intervalle 60-120 minutes. Les deux autres matrices sont utilisées afin de simuler un accroissement ou une diminution graduelle du trafic. Les éléments de ces matrices proviennent directement d'une transformation de la matrice de base. Ainsi chaque élément devient $t_{ij}^1 = t_{ij}^0(1 + random()*1,3)$ ou $t_{ij}^2 = t_{ij}^0(1 + random()*1,6)$, t_{ij}^0 représentant l'élément correspondant de la matrice de base. L'utilisation de *random()* fait en sorte que le trafic n'est pas distribué uniformément dans le quartier.

Il s'agit d'un modèle de trafic basé sur des valeurs discrètes de temps de déplacement. C'est un modèle relativement simple d'emploi mais qui a le désavantage de contenir des sauts importants dans la fonction de trafic. Malgré ce fait, nous avons choisi d'aller de l'avant avec ce modèle car nous désirons tester simplement et rapidement les algorithmes. Afin de valider nos résultats, nous suggérons de comparer nos résultats à ceux obtenus lors d'une simulation additionnelle qui utilisera six matrices de temps et dix intervalles, s'approchant ainsi d'une fonction continue de trafic.

4.3.1.3 Durée des visites

Nous avons vu au chapitre 3 que près de 50% des rendez-vous sont routiniers alors que les autres sont imprévus. Les rendez-vous routiniers sont des événements revenant régulièrement dans l'agenda de l'infirmière tandis que les rendez-vous imprévus sont liés à des patients que l'infirmière n'a pas l'habitude de visiter. Par conséquent, la durée des rendez-vous routiniers est beaucoup plus facile à estimer que celle des rendez-vous occasionnels.

Dans notre modèle, chaque client a été classé dans une des ces catégories : routiniers ou occasionnels. À chaque client routinier, une durée prévue de visite a été attribuée. Pour ces clients, la durée réelle correspond à la durée prévue à

laquelle on ajoute une faible variation. La durée réelle peut donc être exprimée ainsi : $d_{réelle} = d_{prévue} \pm \Delta_d$, Δ_d pouvant représenter jusqu'à 20% de la durée prévue. Le cas des clients occasionnels est plus délicat. La durée prévue est fixée à trente minutes, une durée correspondant à la moyenne ainsi qu'à la médiane des durées de visites au CLSC Côte-des-Neiges. La durée réelle est par la suite générée aléatoirement à l'aide d'une distribution suivant celle des durées de visites au CLSC.

4.3.2 Simulation de base

Le contexte, la méthodologie ainsi que les algorithmes à l'étude ayant été définis, il est possible de passer à l'étape de la programmation. Le langage VBA de la plate forme Microsoft Excel a été utilisé afin de bâtir les simulations qui produiront les données essentielles à notre étude comparative. Cette section décrit les grandes lignes du code généré pour la simulation de base. Pour plus de détails, le code est présenté à l'Annexe B.

4.3.2.1 Intrants et extrants

Plusieurs variables globales seront utilisées lors des simulations. En plus d'un certain nombre de variables temporaires dont quelques variables permettent de calculer les moyennes obtenues, il existe des variables permettant de stocker les intrants et les extrants du problème. Les intrants font référence à tout ce qui est connu au départ, soit : la liste des clients à visiter, les trois matrices de distances utilisées, le type de client (occasionnel ou régulier) ainsi que la durée prévue de visite chez le client. Les extrants font, pour leur part, référence aux résultats qui seront produits lors des simulations, soit : les durées réelles de

visites ainsi que toutes les données sur la situation prévue, la situation réelle et l'optimal.

La plupart des intrants sont contenus dans les feuilles Excel et sont simplement lus et mémorisés par le code, à l'exception de la liste des clients à visiter qui est générée automatiquement. Du côté des extrants, les données relatives aux déplacements sont générées suite à l'application d'un des six algorithmes à l'étude, alors que les durées réelles sont générées de la manière décrite à la section 4.3.1.3.

4.3.2.2 Cas 1

Le premier cas à l'étude consiste en un algorithme de plus court chemin calculé sans tenir compte du trafic. Dans un premier temps, on fixe le CLSC comme point de départ. Par la suite, on ajoute graduellement des patients à la tournée. Pour y parvenir, à chaque addition, on teste tour à tour chacun des patients en vérifiant la distance qui le sépare de l'arrêt précédent. On retient le patient présentant le meilleur avantage en terme de distance brute, s'il n'a pas déjà été inclus dans la tournée. Une fois l'ordre des patients déterminé, on ajoute au parcours le retour au CLSC.

4.3.2.3 Cas 2

Le *Cas 2* consiste en un problème de voyageur de commerce calculé sans tenir compte du trafic. Généralement des heuristiques sont utilisées pour résoudre ce problème NP-complet mais ici, puisque nous n'avons que 6 points par tournée, nous sommes en mesure de calculer une solution exacte en testant tour à tour chaque possibilité de trajet automobile. On fixe donc le point de départ au CLSC

et par la suite, on vérifie chaque combinaison. On retient la combinaison offrant le temps de déplacement, comprenant le retour au CLSC, le plus court.

4.3.2.4 Cas 3

Le *Cas 3* consiste en un algorithme de plus proche voisin calculé en tenant compte du trafic. L'algorithme utilisé pour la résolution est semblable à celui du *Cas 1*, mais on utilise trois matrices des distances au lieu d'une seule. Par conséquent, à chaque fois qu'on désire ajouter un client à la tournée, au lieu de simplement déterminer, à l'aide de la matrice des distances brutes, quel est le plus proche voisin, on doit d'abord vérifier l'heure à laquelle on prévoit finir la visite précédente afin de déterminer quelle matrice utiliser. L'ajout du temps de parcours associé au retour au CLSC doit subir la même modification.

4.3.2.5 Cas 4

Le *Cas 4* consiste en un algorithme de TDTSP. Des heuristiques sont généralement utilisées pour résoudre ce type de problème, mais comme la tournée ne comporte que six points, nous testerons tour à tour chaque possibilité, comme pour le *Cas 2*. L'algorithme est similaire à celui utilisé dans le *Cas 2*, mais afin de tenir compte des différentes matrices de temps, on lui a fait subir une transformation. À chaque fois qu'on teste une possibilité de trajet automobile, on ne doit pas seulement tenir compte de la distance pure, mais vérifier à qu'elle heure devrait s'effectuer chaque portion du trajet afin de choisir la matrice de temps appropriée. La détermination de l'heure se fait évidemment à partir du temps de service prévu.

4.3.2.6 Cas 5

Le *Cas 5* consiste en un algorithme de plus proche voisin, mais calculé en temps réel en tenant compte du trafic. L'algorithme est similaire à celui présenté au *Cas 3*, mais on travaille avec les durées réelles des visites au lieu des durées prévues, comme si on bâtissait la tournée au fur et à mesure que la matinée avance.

4.3.2.7 Cas 6

Le *Cas 6* consiste en un TDTSP calculé en temps réel. En fait, un TDTSP est d'abord calculé à l'aide de l'algorithme présenté à la section 4.3.2.5, puis à chaque fois qu'une visite se termine, un nouvel algorithme de TDTSP est calculé. L'ordre des clients qui n'ont pas encore été visités peut alors être modifié afin de réajuster le tir.

L'algorithme utilisé afin de réorganiser l'ordre des visites est très similaire à celui présenté à la section 4.3.2.5, mais on travaille alors avec les durées réelles des visites déjà effectuées au lieu de leurs durées prévues. On comprend bien que plus on avance dans la tournée, moins celle-ci peut être modifiée et plus on fait appel à des durées réelles au détriment des durées prévues.

4.3.2.8 Solution réelle

Le *Cas 5* et le *Cas 6* offrent directement la solution réelle puisqu'on travaille en temps réel. Cependant, quatre des six algorithmes présentés plus haut nous donnent une solution initiale pouvant changer en situation réelle. Il s'agit du *Cas 1*, du *Cas 2*, du *Cas 3* et du *Cas 4*. Pour ces quatre algorithmes, on doit calculer le temps de parcours réel utilisant les durées réelles de visites, donc en utilisant

les matrices correspondant aux heures auxquelles les déplacements se sont réellement effectués.

4.3.2.9 Solution optimale

L'algorithme utilisé pour trouver la solution optimale est très similaire à notre algorithme de TDTSP présenté à la section 4.3.2.5 puisqu'on doit résoudre un problème de voyageur de commerce tout en tenant compte du trafic. Encore une fois, toutes les possibilités sont étudiées tour à tour afin de sélectionner la meilleure option. Le fait que les durées réelles soient utilisées au lieu des durées prévues constitue la seule différence.

4.3.3 Simulations additionnelles

Tel que mentionné à la section 4.2.3, un certain nombre de paramètres propres au contexte du MAD au CLSC Côte-des-Neiges peuvent influencer les résultats, les rendant difficilement applicables dans d'autres contextes. Afin de contourner ce problème, des simulations additionnelles ont été développées afin de vérifier l'influence de chaque paramètre. Cette section en présente les grandes lignes et s'attarde également à la simulation additionnelle mentionnée à la section 4.3.1.2 qui permettra de comparer nos résultats à ceux obtenus dans un contexte où on s'approche d'une fonction continue de trafic. Le code VBA développé n'est pas présenté en annexe puisqu'il ne s'agit que de faibles variantes des codes déjà présentés jusqu'ici.

4.3.3.1 Congestion routière

En vue d'analyser les effets du niveau de congestion routière, quatre simulations s'ajouteront à la simulation de base. Ces simulations permettront de comparer les résultats obtenus dans une situation où il y a peu de congestion routière à ceux obtenus dans une situation où la congestion routière joue un rôle prépondérant. Dans la simulation de base, le trafic est défini par les équations $t_{ij}^1 = t_{ij}^0(1 + random()*a)$ ou $t_{ij}^2 = t_{ij}^0(1 + random()*b)$, a et b valant respectivement 1.3 et 1.6. Dans les simulations additionnelles, les valeurs a et b seront donc appelées à changer, prenant tour à tour les valeurs : (1) 1.1 et 1.2, (2) 1.2 et 1.4, (3) 1.4 et 1.8 et (4) 1.5 et 2.0.

4.3.3.2 Distances

En vue d'analyser les effets des distances, deux simulations s'ajouteront à la simulation de base. Ces simulations permettront de comparer les résultats obtenus dans une situation où les distances sont faibles à ceux obtenus dans une situation où les distances sont importantes. À l'exception du fait que toutes les distances aient été divisées par deux, la simulation comportant de faibles distances est identique à la simulation de base. La simulation comportant de grandes distances est également identique à la simulation de base, mais toutes les distances ont cette fois été multipliées par deux.

4.3.3.3 Durée des visites

Pour analyser les effets de la durée des visites, deux simulations s'ajouteront à la simulation de base. Ces simulations permettront de comparer les résultats obtenus dans des situations où le temps de visite prend de plus en plus d'importance par rapport aux déplacements. Pour obtenir les deux simulations

souhaitées, 15 minutes seront simplement ajoutées à toutes les durées de visites, puis 30 minutes.

4.3.3.4 Imprévisibilité du temps de service

Afin d'analyser les effets du caractère imprévisible du temps de service, cinq simulations additionnelles seront construites. Ces simulations permettront de comparer les résultats obtenus dans des situations où il y a peu d'imprévisibilités sur le temps de service à des situations où il y a beaucoup d'imprévisibilité sur le temps de service. Pour y parvenir, il faut nécessairement simplifier la génération des durées réelles afin de faciliter la comparaison entre les différents modèles qui seront développés. Ainsi, on supposera qu'il n'y a que des clients réguliers. Dans la simulation de base, les durées réelles des visites effectuées auprès de clients réguliers sont générées ainsi : $d_{réelle} = d_{prévue} \pm \Delta_d$ où Δ_d vaut 20%. Dans les simulations additionnelles, cette variable prendra tour à tour les valeurs : (1) 0%, (2) 10%, (3) 20%, (4) 30% et (5) 40%.

4.3.3.5 Fonction continue de trafic

Afin de s'approcher d'une fonction continue de trafic, le modèle présenté à la section 4.3.1.2 peut être modifié de manière à inclure six matrices de temps au lieu des trois matrices originellement prévues. Voici un aperçu de cette modification.

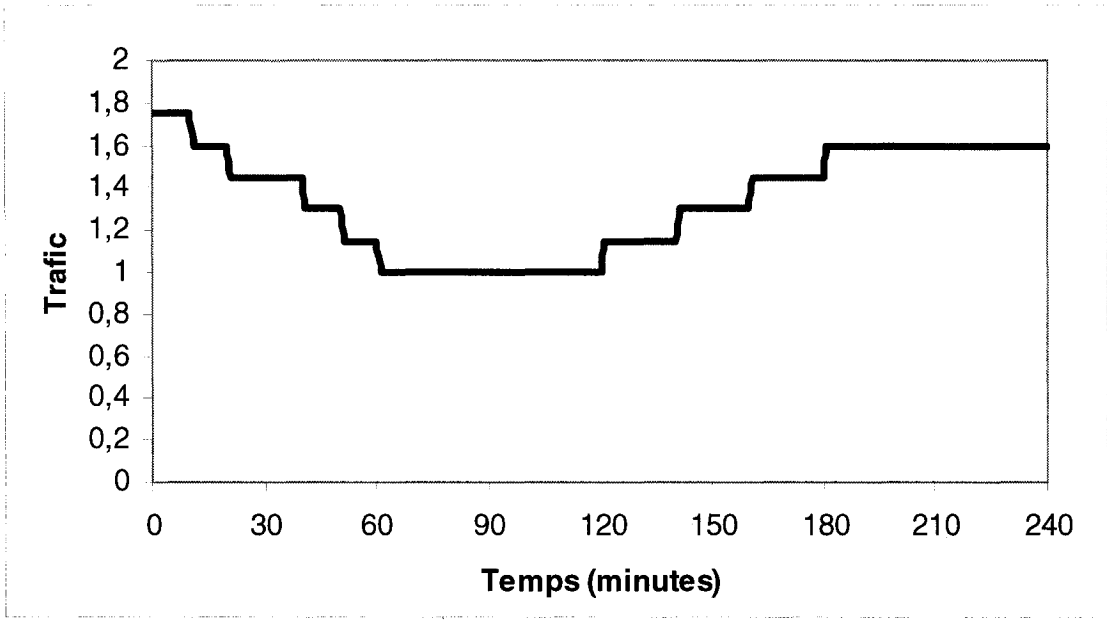


Figure 4.7 Fonction de trafic utilisée pour la simulation additionnelle

Il ne s'agit toujours pas d'un modèle continu de trafic, mais les résultats obtenus à l'aide de la simulation de base pourront être comparés à ceux obtenus à l'aide de ce modèle et donneront une bonne indication de ce qui se passe lorsqu'on s'approche d'un modèle continu.

4.3.4 Outil Excel

Tel qu'il a déjà été mentionné, toutes les fonctions présentées ont été programmées à l'aide du VBA sur plate-forme Microsoft Excel. En plus de constituer l'interface de l'application, l'outil Excel assure la liaison entre les procédures développées en faisant en sorte qu'elles s'enchaînent de manière à reproduire la procédure générale définie à la Figure 4.4 de la section 4.2.2. Ainsi, on choisit aléatoirement 1000 groupes de cinq clients, puis pour chaque groupe de clients, on applique 500 fois chacun des six algorithmes à l'étude. Finalement, les moyennes sont calculées et les résultats sont inscrits sur des

feuilles Excel où ils pourront par la suite être récupérés pour analyse. Ce code général est présenté à l'Annexe B.

L'outil Excel va plus loin en offrant la possibilité d'analyser les résultats obtenus suite à l'application d'un seul des six algorithmes. Il est donc possible de visualiser le trajet retenu par l'infirmière ainsi que le trajet optimal dans le but de les comparer et de comprendre l'écart existant entre les deux. La figure suivante présente cette partie de l'interface.

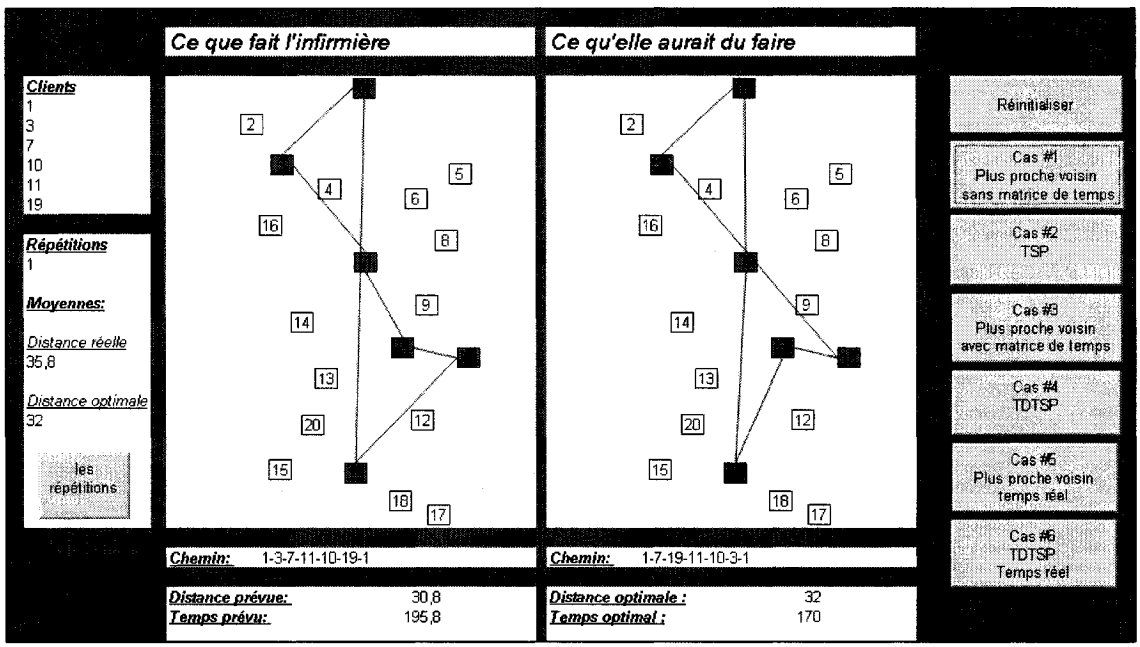


Figure 4.8 Outil Excel

On remarque qu'il est possible de sélectionner, dans le coin supérieur gauche de l'écran, un groupe de clients puis de choisir, à droite de l'écran, un des six algorithmes. Les trajets correspondant sont alors clairement illustrés au centre de l'écran, accompagnés des données sur les temps de parcours.

4.4 Résultats attendus

Il est possible, avant même de lancer la première simulation, de poser des hypothèses sur les résultats attendus. Pour la simulation de base, il est raisonnable de penser que les trois algorithmes de type TSP seront plus efficaces que les trois algorithmes de type « plus proche voisin ». Il est également probable que les algorithmes tenant compte du trafic seront supérieurs à ceux ne tenant pas compte du trafic et que le passage en temps réel améliorera davantage les résultats.

Plusieurs hypothèses peuvent également être posées concernant les simulations additionnelles venant modifier certains paramètres du contexte. Nous pouvons penser que les résultats se dégraderont de manière proportionnelle à l'augmentation de la congestion routière. L'augmentation de l'incertitude sur les durées de visites devrait également dégrader les résultats. Cependant, l'effet de la modification des distances, de la modification des durées des visites et de l'utilisation d'une fonction quasi-continue de trafic reste incertain.

Le chapitre suivant présente l'ensemble des résultats qui pourront être confrontés à nos hypothèses.

CHAPITRE 5 – EXPÉRIMENTATIONS ET RÉSULTATS

Une fois le problème bien défini, il est possible de passer à la partie expérimentale de l'étude : les simulations mentionnées au chapitre précédent ont donc été effectuées. Le but de ce dernier chapitre est de présenter et d'analyser les résultats obtenus suite à ces expérimentations. Ce chapitre est divisé en deux parties. La première partie présente et analyse en détails les résultats de la simulation de base alors que la deuxième partie présente et analyse les résultats obtenus suite aux simulations additionnelles.

5.1 Simulation de base

La simulation de base a été effectuée selon les modalités décrites au chapitre 4 et les résultats ont été recueillis afin de les analyser. Cette section est divisée en deux parties. La première partie présente les résultats bruts alors que la deuxième partie offre une analyse détaillée de certains éléments.

5.1.1 Présentation des résultats

Pour la simulation de base, lorsqu'on observe les moyennes obtenues, nos trois hypothèses semblent se confirmer. (1) Les algorithmes de type voyageur de commerce sont supérieurs aux algorithmes de type plus proche voisin. (2) Les résultats obtenus, en tenant compte du trafic, sont supérieurs à ceux obtenus lorsqu'on ne tient pas compte du trafic. (3) Les résultats s'améliorent également lorsqu'on passe en temps réel par rapport à une situation où on détermine la route avant de partir.

Tableau 5.1 Résultats de la simulation de base

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	32,6102	30,0843	32,2579	29,6968	32,2555	29,6670
Temps optimal (min)	29,5690	29,5678	29,5689	29,5689	29,5695	29,5696
Différence (min)	3,0412	0,5165	2,6889	0,1280	2,6861	0,0974
Différence (%)	10,29%	1,75%	9,09%	0,43%	9,08%	0,33%

Le Tableau 5.1 présente l'ensemble des moyennes obtenues au cours des simulations. On remarque une différence très marquée entre les algorithmes de type voyageur de commerce (*Cas 2*, *Cas 4* et *Cas 6*) et les algorithmes de type plus proche voisin (*Cas 1*, *Cas 3* et *Cas 5*). L'écart est de l'ordre d'environ 8%. La différence est moins marquée lorsqu'on passe d'un état où on ne tient pas compte du trafic à un état où on tient compte du trafic, l'écart étant d'environ 1%. Finalement, la différence est encore plus minime lorsqu'on passe d'un état où on détermine la route avant de partir à un état où on détermine la route en temps réel. En effet, en passant du *Cas 4* au *Cas 6*, on gagne à peine 0,1%. En passant du *Cas 3* au *Cas 5*, on gagne un faible 0,01%.

Ces écarts relativement faibles nous indiquent que bien que les moyennes confirment nos trois hypothèses, lorsqu'on étudie le cas par cas la situation pourrait être différente. Pour certains groupes de clients, un algorithme serait supérieur à un autre, mais pour d'autres groupes de clients, on trouverait la situation inverse. Voici un tableau présentant les résultats obtenus lorsqu'on analyse les 1000 groupes de clients choisis au hasard lors des simulations.

Tableau 5.2 Performances relative des divers algorithmes

Meilleur que	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5	Cas 6
Cas 1	-	135	402	65	413	43
Cas 2	765	-	748	203	765	166
Cas 3	473	144	-	68	451	50
Cas 4	828	488	814	-	841	233
Cas 5	466	140	419	56	-	39
Cas 6	849	522	830	395	855	-

Ce tableau nous montre le nombre de fois où un algorithme est supérieur à ses algorithmes rivaux. Par exemple, on voit que sur les 1000 groupes de clients, le *Cas 1* a été 135 fois supérieur au *Cas 2*. Ce tableau vient, en quelque sorte, renforcer notre première hypothèse concernant la supériorité des algorithmes de type voyageur de commerce sur les algorithmes de type plus proche voisin. En même temps, il vient confirmer nos doutes sur nos deux hypothèses suivantes. En effet, lorsque l'on compare les algorithmes de plus proche voisin entre eux ou lorsqu'on compare les algorithmes de voyageur de commerce entre eux, les résultats sont très mitigés.

Prenons l'exemple du *Cas 4* et du *Cas 6*. Nous avons vu précédemment que si nous ne considérons que les moyennes, le *Cas 6* est supérieur de 0,1% au *Cas 4* et que le *Cas 6* est même le meilleur algorithme du lot. Pourtant, en examinant attentivement les données du Tableau 5.2, on voit que dans 395 cas, le TDTSP réajusté en temps réel est supérieur au TDTSP régulier tandis qu'on observe la situation inverse dans 233 cas. Les cas où les deux algorithmes donnent les mêmes résultats ne sont pas inscrits au tableau, ce qui explique que nous n'arrivons pas à un total de 1000 cas. Ceci nous montre bien que nous ne pouvons être absolument certains du fait que les résultats obtenus en temps réel seront supérieurs à ceux obtenus en déterminant la route avant de partir.

De la même manière, en étudiant l'exemple du *Cas 2* et du *Cas 4*, on voit bien que le fait de tenir compte du trafic ne nous garantit pas des résultats supérieurs à tout coup. Dans 488 cas le TDTSP est supérieur au TSP tandis qu'on observe la situation inverse dans 203 cas.

La section suivante analysera l'ensemble des données plus en profondeur afin de bien comprendre pourquoi nous obtenons des résultats mitigés.

5.1.2 Analyse détaillée des résultats

Les résultats de la simulation de base seront étudiés sous trois angles différents afin d'approfondir notre analyse : (1) pour chaque algorithme, nous ferons l'étude de la distribution des résultats, (2) pour chaque paire d'algorithmes, nous étudierons la distribution des écarts afin de comprendre les résultats du Tableau 5.2 et (3) nous tenterons de comprendre pourquoi un algorithme est supérieur à d'autres dans certains cas, mais inférieur dans d'autres cas.

Nous avons donné au Tableau 5.1, les moyennes obtenues auprès des 1000 groupes de clients. Cependant, ce ne sont que des moyennes et on peut imaginer qu'il existe d'importantes variations sur la performance de chaque algorithme d'un groupe de clients à un autre groupe de clients. En fait, on remarque que les écarts type sont très élevés, suggérant une grande disparité dans les résultats obtenus auprès des divers groupes de clients. De plus, en observant les médianes, on remarque qu'elles sont systématiquement plus faibles que les moyennes, suggérant que de mauvaises performances auprès d'un petit groupe de clients viennent affecter les résultats globaux. Le tableau qui suit présente les chiffres permettant cette analyse et l'Annexe C nous montre la distribution exacte des résultats obtenus pour chaque algorithme.

Tableau 5.3 Distribution des résultats de chaque algorithme

	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4	Cas 5	Cas 6
Moyenne (% d'écart à l'optimal)	10,285	1,747	9,094	0,433	9,084	0,329
Médiane (% d'écart à l'optimal)	9,254	0,421	7,998	0,082	7,819	0,063
Écart type (% d'écart à l'optimal)	8,863	2,559	8,149	0,725	8,056	0,567

Le Tableau 5.2 présentait le nombre de cas où un algorithme était supérieur à un autre. Cependant, est-il supérieur par un tout petit écart ou par un écart plus important? Nous avons pris le temps d'analyser les données auprès des paires d'algorithmes où les résultats étaient particulièrement mitigés afin de bien comprendre cet état de fait. La figure suivante présente les résultats obtenus lors de la comparaison du *Cas 1* et du *Cas 3*.

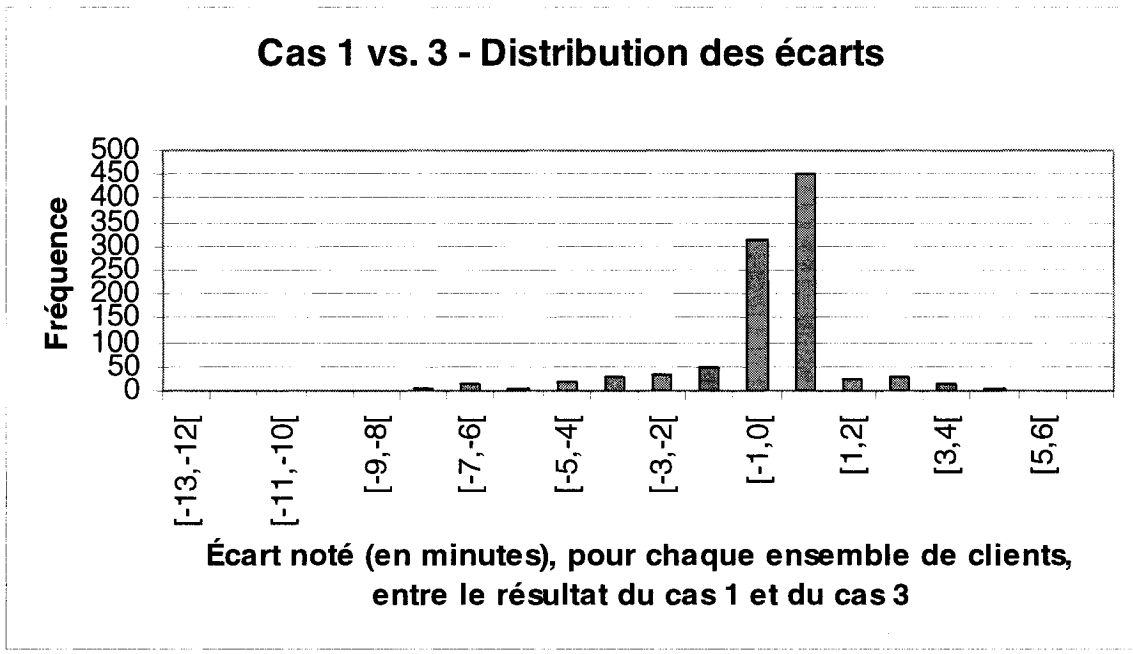


Figure 5.1 Performance du Cas 1 par rapport au Cas 3

Sur cette figure, pour un même groupe de clients, l'écart représente : *Écart* = $[T_{réel} - T_{optimal}]_{cas\ 3} - [T_{réel} - T_{optimal}]_{cas\ 1}$. Un écart négatif démontre donc un avantage du *Cas 3* par rapport au *Cas 1*. On note que la plupart des écarts existant entre les deux algorithmes sont minimes. Un algorithme ne démontre pas de supériorité absolue par rapport à un autre. La même situation est observée pour chacune des autres paires d'algorithmes. En fait, lorsqu'on passe d'une situation où on tient compte du trafic à une situation où on est en temps réel (*Cas 3* vs. *Cas 5* ou *Cas 4* vs. *Cas 6*), les écarts sont encore plus faibles. Des graphiques supplémentaires, analysant d'autres paires d'algorithmes, sont présentés à l'Annexe C mais le tableau suivant résume la situation. Dans ce tableau, une moyenne négative de -0.3523 minutes confère un avantage au *Cas 3* par rapport au *Cas 1*.

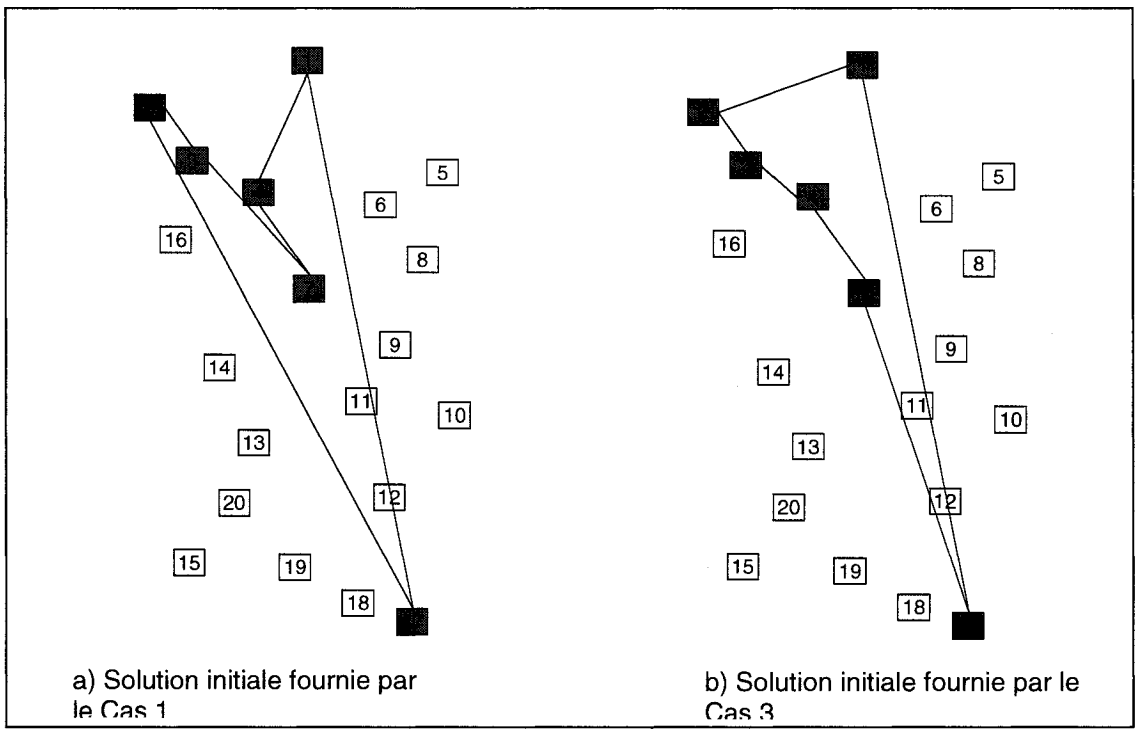
Tableau 5.4 Performance d'un algorithme par rapport à ses rivaux

	Cas 1 vs. Cas 3	Cas 1 vs. Cas 5	Cas 3 vs. Cas 5	Cas 2 vs. Cas 4	Cas 2 vs. Cas 6	Cas 4 vs. Cas 6
Moyenne (Écart à l'optimal (min))	-0,352	-0,355	-0,003	-0,389	-0,419	-0,031
Médiane (Écart à l'optimal (min))	0,000	0,000	0,000	0,000	-0,002	0,000
Écart type (Écart à l'optimal (min))	1,789	1,782	0,302	0,748	0,748	0,110

Après avoir fait cette analyse, la question qu'on peut se poser est : pourquoi un algorithme est-il supérieur à un autre dans certains cas alors qu'on observe la situation inverse dans d'autres cas? La réponse pourrait peut-être nous permettre de prédire les situations où un algorithme est préférable à un autre en nous offrant une connaissance approfondie des facteurs de succès et d'échec. Nous avons donc analysé, pour chaque paire d'algorithmes, les groupes de clients pour lesquels l'écart était important. Par exemple, afin de comparer le

Cas 1 et le *Cas 3*, on étudie les groupes de clients se trouvant aux extrémités du graphique présenté à la Figure 5.1.

Un écart important s'explique par le fait que les deux algorithmes ne fournissent pas la même solution initiale. La solution initiale offerte par un des deux algorithmes s'approche de la solution optimale alors que celle offerte par l'autre algorithme s'en éloigne. La figure suivante permet de mieux comprendre la situation en présentant un cas où la solution initiale fournie par le *Cas 3* est supérieure à celle fournie par le *Cas 1*.



a) Solution initiale fournie par le Cas 1

b) Solution initiale fournie par le Cas 3

Figure 5.2 Tournées obtenues à l'aide du Cas 1 et du Cas 3

En analysant toutes ces données, il est facile de comprendre pourquoi, dans certains cas, un algorithme est supérieur à un autre, mais il est pratiquement impossible de le prédire. Aucun indice ne se cache dans la forme de la tournée ou dans des éléments et des schémas qui seraient facilement reconnaissables.

En fait, la supériorité d'un algorithme par rapport à un autre relève davantage du hasard que d'autre chose.

Du côté de nos trois algorithmes de plus proche voisin, une solution initiale peut sembler préférable à une autre, mais en raison d'un temps de service réel divergeant du temps de service prévu, les données du jeu changent totalement, inversant la situation. Du côté de nos trois algorithmes de voyageur de commerce, la réponse est plus complexe, mais relève tout autant du hasard. On observe plusieurs situations où deux algorithmes offrent deux solutions similaires (la durée prévue de parcours est la même mais l'ordre dans lequel les clients sont visités diffère) mais où l'une est beaucoup plus sensible aux variations que l'autre. Ainsi, un temps de service diffère de ce qui était prévu et par conséquent une des deux solutions se dégrade alors que l'autre reste identique.

Il est particulièrement intéressant d'analyser les différences existant entre le *Cas 4* et le *Cas 6*. Le cas six est normalement supérieur au *Cas 4* puisqu'il permet de corriger la situation en cours de route si le temps de service réel affecte l'optimalité de la solution. C'est d'ailleurs ce qui arrive dans plusieurs cas. Mais dans d'autres cas, on observe l'inverse. Décelant un possible dégradation des résultats, le *Cas 6* modifie l'ordre de la tournée, mais finalement d'autres variations des temps de service viennent annuler les effets positifs de ce facteur de correction, le rendant inutile.

Bien qu'en moyenne le *Cas 6* demeure supérieur aux autres cas étudiés, tout ceci démontre qu'il est difficile de trancher en faveur d'un algorithme. Dans plusieurs études, il est plus facile de déterminer quel algorithme est préférable, mais ici, avec l'introduction du caractère imprévisible du temps de service, la réponse est moins nette.

5.2 Simulations additionnelles

À la section précédente, nous avons analysé en détails les résultats obtenus suite à la simulation de base. Pour cette simulation, des paramètres avaient été fixés en fonction du contexte du MAD au CLSC Côte-des-Neiges. Pour que nos résultats soient facilement applicables à d'autres contextes, nous pouvons jouer sur ces paramètres et vérifier leur influence. Nous avions défini à la section 4.3.3 certaines simulations additionnelles qui permettent justement de tester cette influence. Nous allons maintenant présenter les résultats obtenus lors de ces simulations.

5.2.1 Congestion routière

En observant les moyennes obtenues lors des simulations mesurant l'effet de la congestion routière, on remarque une tendance : plus il y a de trafic, plus les résultats s'éloignent de l'optimal. Cette constatation vient confirmer notre hypothèse. Les deux figures qui suivent présentent les résultats de la simulation de base et des quatre simulations additionnelles. Pour plus de détails sur ces simulations additionnelles, il est possible de se référer à la section 4.3.3.1.

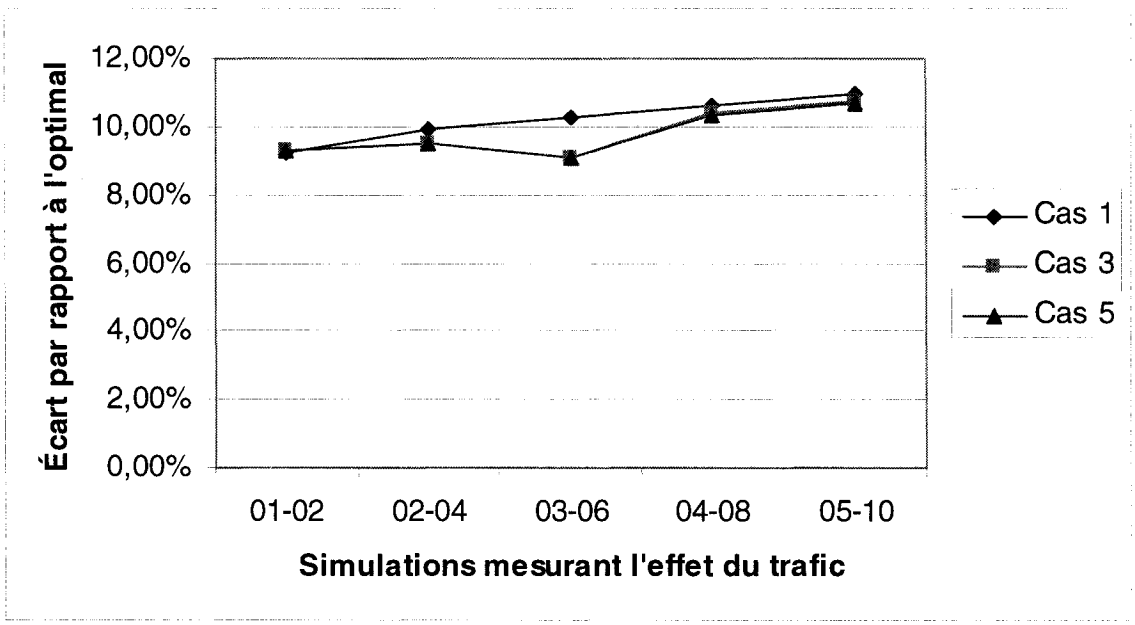


Figure 5.3 Plus proche voisin : influence du trafic

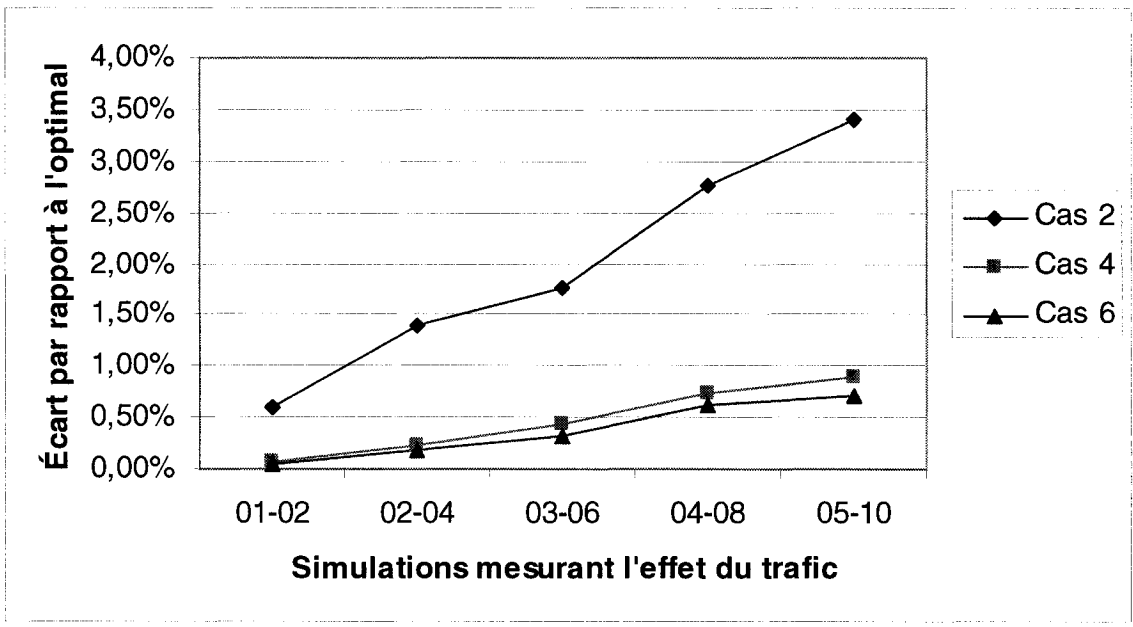


Figure 5.4 TSP ET TDTSP : influence du trafic

Dans le cas des algorithmes de type plus proche voisin, on remarque bel et bien une lente dégradation des résultats. En passant de la situation où il y avait le

moins de trafic à la situation où il y avait le plus de trafic, ces trois algorithmes se sont dégradés en moyenne de 1,55% On remarque la même tendance dans le cas des algorithmes de type voyageur de commerce. Ils se sont dégradés en moyenne de 1,43%.

Une distinction s'impose cependant : le TSP se dégrade beaucoup plus rapidement que les deux algorithmes de type TDTSP. Le *Cas 2* s'est dégradé de 2,81% alors que les deux algorithmes de TDTSP se sont dégradés de seulement 0,735%. C'est donc dire que le TDTSP résiste beaucoup mieux aux effets du trafic que le TSP. La constatation va encore plus loin : le TDTSP résiste beaucoup mieux que les algorithmes de plus proche voisin même quand ceux-ci tiennent compte du trafic. Tout ceci confère un avantage indéniable aux algorithmes de TDTSP lorsque la congestion routière est omniprésente. Par contre, en situation où il y a peu de congestion, même si le TDTSP offre des résultats supérieurs aux autres algorithmes, l'avantage est moins marqué.

5.2.2 Distance

En observant les moyennes obtenues lors des simulations mesurant l'effet de la distance sur les résultats, on ne peut pas réellement tirer de conclusion. Il n'existe pas de tendance significative : les résultats restent relativement stables. Les deux figures suivantes présentent les résultats de la simulation de base et des deux simulations additionnelles. Pour plus de détails sur ces simulations additionnelles, on peut se référer à la section 4.3.3.2.

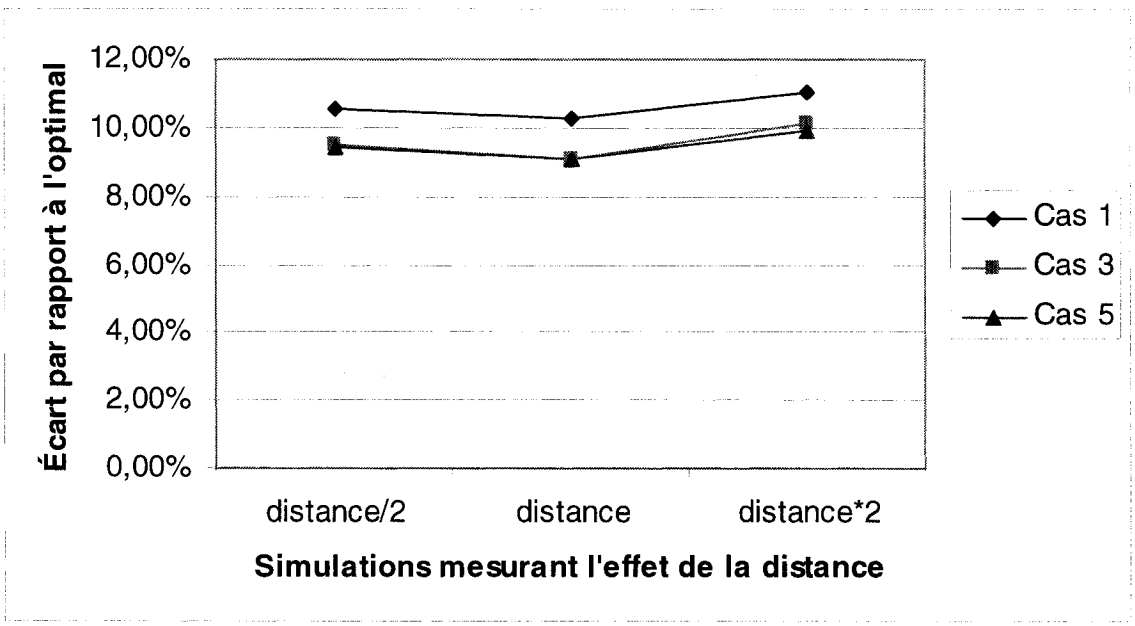


Figure 5.5 Plus proche voisin : influence de la distance

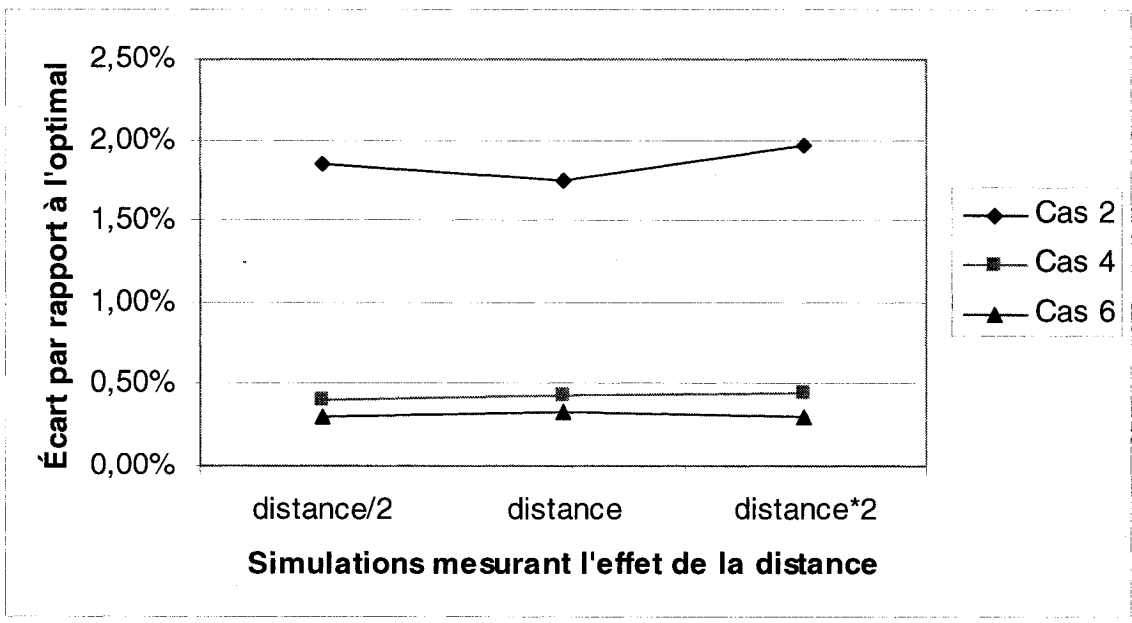


Figure 5.6 TSP ET TDTSP : influence de la distance

En observant ces deux figures, on remarque pourtant une faible tendance : plus les distances sont grandes, plus les algorithmes semblent se détériorer. Mais à

0,54% pour les algorithmes de plus proche voisin, à 0,12% pour le TSP et à 0,02% pour les algorithmes de TDTSP, il est difficile d'affirmer hors de tout doute que cette tendance est directement liée à l'augmentation des distances dans notre modèle et non pas aux effets du hasard.

5.2.3 Durée des visites

On peut difficilement tirer des conclusions en observant les moyennes obtenues lors des simulations mesurant l'effet de la durée des visites sur les résultats. Les tendances observées sont faibles et une série de résultats contradictoires vient semer des doutes. Les deux figures suivantes présentent les résultats de la simulation de base et des deux simulations additionnelles. Pour plus de détails sur ces simulations additionnelles, on peut se référer à la section 4.3.3.3.

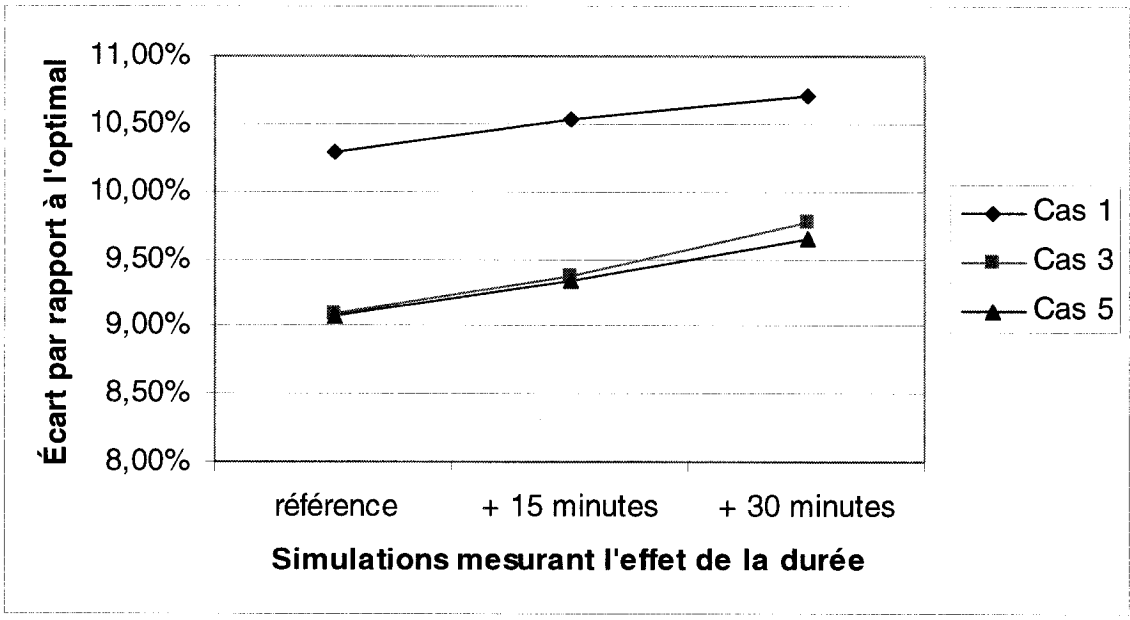


Figure 5.7 Plus proche voisin : Influence du temps de service

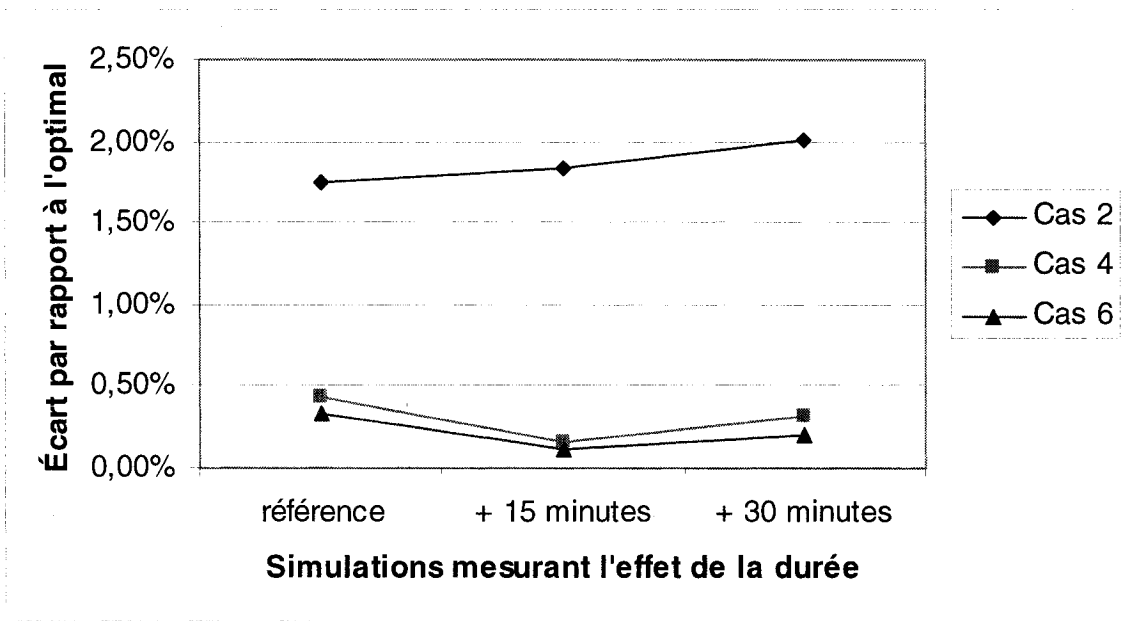


Figure 5.8 TSP ET TDTSP : influence du temps de service

En fait, on observe une tendance à la hausse pour les algorithmes de type plus proche voisin et le TSP, mais une tendance à la baisse pour les algorithmes de type TDTSP. Les algorithmes de type plus proche voisins se dégradent de 0,55%, le TSP se dégrade de 0,26% alors que les algorithmes de TDTSP améliorent leur sort de 0,12%. Le TDTSP résisterait-il mieux à une augmentation du temps de service? Avec des tendances aussi faibles, il est difficile de tirer des conclusions définitives.

Il faut cependant noter qu'un facteur externe pourrait avoir une certaine incidence sur nos résultats. En augmentant la durée des visites, on joue également sur le caractère imprévisible du temps de service. Une variation de 20% sur un rendez-vous de 30 minutes se traduit par un écart possible de 6 minutes, alors qu'il se traduit en un écart de 12 minutes sur un rendez-vous de 60 minutes. Nous allons justement analyser l'effet du caractère imprévisible du temps de service sur les résultats à la section suivante.

5.2.4 Imprévisibilité du temps de service

En observant les moyennes obtenues lors des simulations mesurant l'effet du caractère imprévisible du temps de service, on note que notre hypothèse selon laquelle l'augmentation de la variabilité détériorerait les résultats est partiellement confirmée. Dès qu'on introduit de la variabilité sur le temps de service, les résultats obtenus par le TSP et le TDTSP se dégradent de façon marquée. Cependant, une faible variabilité a exactement le même effet qu'une forte variabilité. Les deux figures suivantes présentent les résultats des cinq simulations additionnelles. Pour plus de détails sur ces simulations, on peut se référer à la section 4.3.3.4.

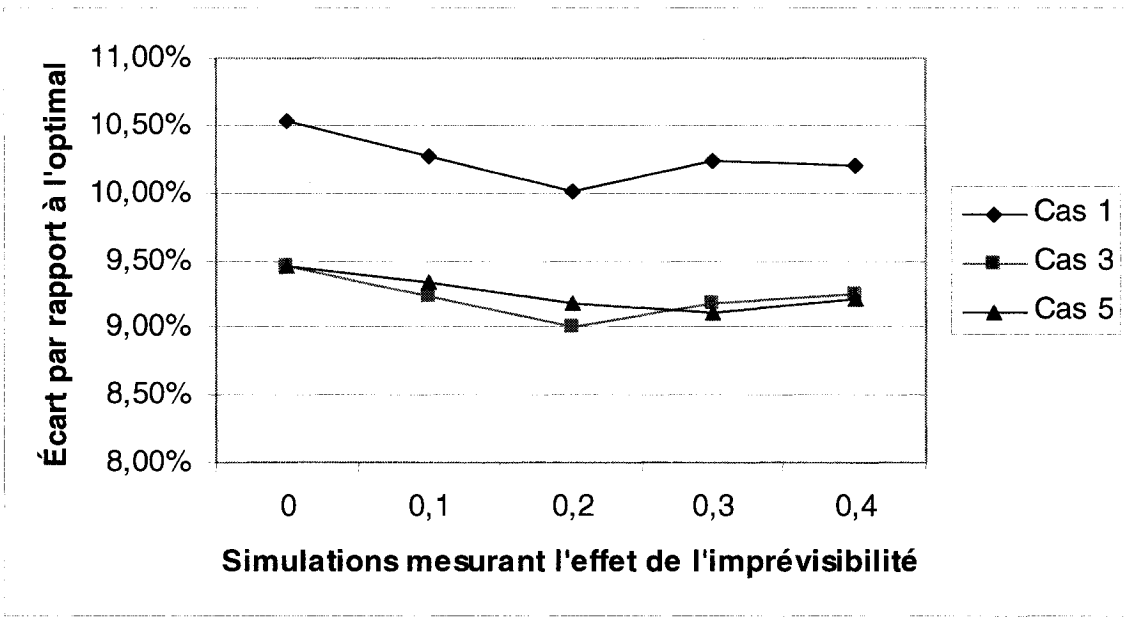


Figure 5.9 Plus proche voisin : caractère imprédictible du temps de service

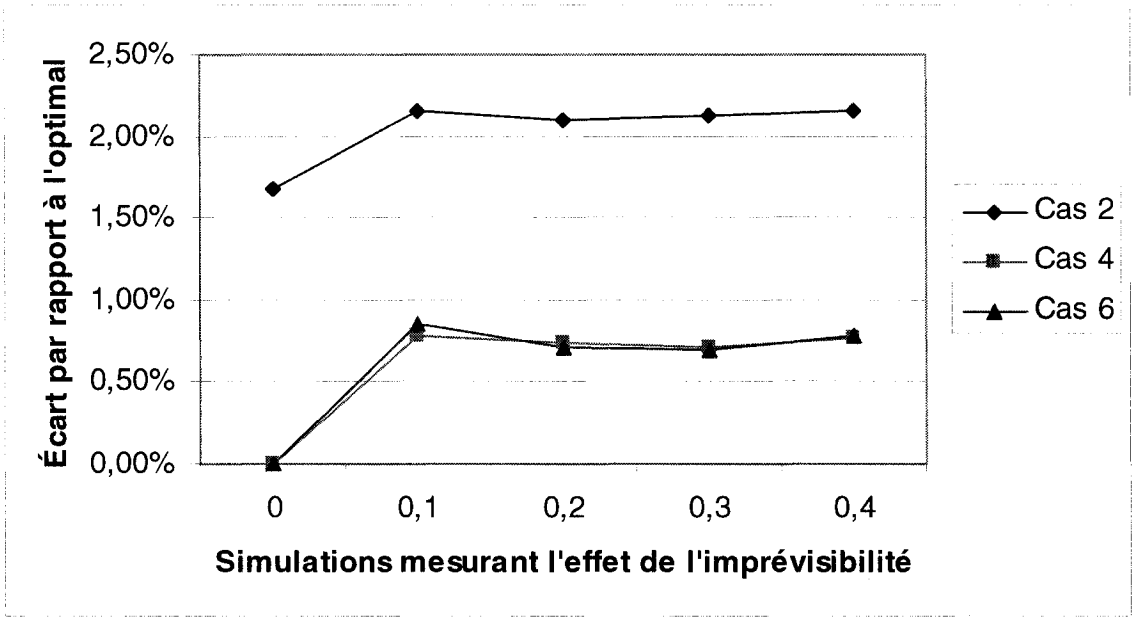


Figure 5.10 TSP et TDTSP : caractère imprédictible du temps de service

On note que dans le cas des algorithmes de type plus proche voisin, les résultats fluctuent à l'intérieur d'un intervalle de 0,50%. Cette variation semble être naturelle et non liée à l'augmentation de la variabilité. Du côté des algorithmes de type voyageur de commerce, on constate que les résultats sont relativement constants et forment un plateau. Ce plateau est situé, pour le TSP, à 0,48% du résultat obtenu lorsqu'il n'y a aucune variabilité et à 0,82% dans le cas des algorithmes de TDTSP.

Il est intéressant de constater que s'il n'y a aucune variabilité, les algorithmes de TDTSP donnent toujours la solution optimale. Mais ce n'est évidemment plus le cas lorsqu'il y a de la variabilité.

5.2.5 Fonction continue de trafic

En observant les moyennes obtenues lors de la simulation comprenant six matrices de temps et dix intervalles, on note que les tendances présentes lors de la situation de base se dessinent moins nettement. Pour plus de détails sur la fonction de trafic utilisée, on peut se référer à la section 4.3.3.5 alors que le tableau qui suit résume la situation.

Tableau 5.5 Résultats obtenus avec une fonction quasi-continue de trafic

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Écart par rapport à l'optimal avec 3 matrices de temps	10,29%	1,75%	9,09%	0,43%	9,08%	0,33%
Écart par rapport à l'optimal avec 6 matrices de temps	9,06%	0,63%	9,14%	0,31%	9,15%	0,26%
Différence	1,23%	1,12%	-0.05%	0,12%	-0,07%	0,07%

En fait quatre des six algorithmes performent légèrement mieux lorsqu'on s'approche d'une fonction continue de trafic alors que le *Cas 3* et le *Cas 5* performent moins bien. On note cependant que la différence entre les deux situations est souvent minime. Dans bien des cas, l'écart est non significatif. Seuls le *Cas 1* et le *Cas 2* performent significativement mieux lorsqu'on adopte une fonction de trafic quasi-continue.

Cette situation fait en sorte que les algorithmes tenant compte du trafic perdent du terrain par rapport aux algorithmes ne tenant pas compte du trafic. Avec trois

matrices de temps, le TDTSP a un avantage de 1,32% par rapport au TSP, mais avec 6 matrices de temps, cet avantage n'est plus que de 0,32%, comme si le fait d'avoir des sauts moins importants dans la fonction de trafic améliore les performances du TSP.

CONCLUSION

La très grande majorité des projets de recherche sur le MAD discutent de son impact sur la qualité de vie des personnes âgées. En comparaison, très peu de chercheurs se sont intéressés à la logistique entourant l'organisation des services de MAD malgré des besoins pressants. Avec le vieillissement de la population, la clientèle du MAD est en hausse constante et la pression sur le système augmente de jour en jour. Pourtant près de la moitié du temps de travail des infirmières est consacré à des activités autres que la prestation directe de soins à domicile.

Comment peut-on résoudre ce problème? Deux avenues sont possibles. Premièrement, on peut étudier le problème de l'assignation des clients et de la confection des horaires de travail afin d'alléger la gestion et le suivi. Deuxièmement, on peut analyser les tâches effectuées au bureau afin de les simplifier ou tout simplement de les éliminer. Au cours de cette étude, nous avons suivi les deux avenues.

La première contribution de ce mémoire a été le développement d'un système d'information adapté aux besoins du CLSC. Ce système, qui est déjà partiellement implanté, permet de résoudre le problème chronique du fractionnement de l'information. Les données sur les patients et sur les horaires de travail circulent beaucoup plus facilement, évitant des démarches lourdes et fastidieuses. Ceci permet d'alléger et de simplifier le travail de bureau. De plus, le SI permet de recueillir de nombreuses données stratégiques, améliorant la gestion globale au CLSC.

La deuxième contribution de ce mémoire est l'analyse comparative de divers algorithmes de transport. Plus précisément, l'élément innovateur de ce mémoire est la prise en compte du caractère imprévisible du temps de service, un paramètre négligé par les études précédentes. Or, il faut comprendre que lorsqu'on désire bâtir des routes dans un environnement soumis au trafic, une variation de quelques minutes sur le temps de service peut affecter l'optimalité. Un retard ou une avance peut faire en sorte qu'on doive emprunter un lien routier en pleine heure de pointe alors qu'on devait le faire en dehors des heures de pointe. À l'opposé, ce retard ou cette avance peut faire en sorte qu'on utilise un lien routier exempt de trafic alors qu'il devait être congestionné. Nos prévisions sont donc affectées, soit à la hausse, soit à la baisse.

Lorsqu'on fait varier le temps de service, nos résultats montrent que les temps de parcours obtenus à l'aide d'algorithmes de plus proche voisin demeurent relativement stables. Ces algorithmes ne sont pas significativement affectés. Par contre, les résultats obtenus à l'aide d'algorithmes de type voyageur de commerce ont tendance à se détériorer. De plus, les algorithmes tenant compte des effets du trafic (TDTSP) se dégradent beaucoup plus que les algorithmes n'en tenant pas compte (TSP). Dès qu'on introduit une faible variabilité, les résultats obtenus par le TSP se dégradent de 0,48% alors que ceux obtenus par le TDTSP se dégradent de 0,82%.

Le caractère imprévisible du temps de service influence donc les résultats obtenus par les algorithmes de type voyageur de commerce. Le TDTSP est particulièrement touché. Il faut noter qu'une faible variabilité a exactement le même effet qu'une forte variabilité sur les résultats. Il ne faut donc pas croire qu'une variation de quelques minutes sur le temps de service puisse être négligée. En ce sens, les études s'intéressant à la congestion routière, mais

négligeant le temps de service en le fixant à zéro, commettent une erreur méthodologique.

Malgré les bémols amenés par notre étude, la supériorité des algorithmes de type voyageur de commerce reste indéniable. De même, le TDTSP reste supérieur au TSP même si son avantage s'amenuise. Dans une situation idéale, le TDTSP a un avantage de 1,67% sur le TSP, mais lorsqu'on introduit de la variabilité sur le temps de service, cet avantage tombe à 1,33%. Notons cependant que les chiffres ici avancés représentent des moyennes obtenues sur 1000 ensembles de clients tirés au hasard. Lorsqu'on examine le cas par cas, les résultats sont plus mitigés et le TSP surpasse régulièrement le TDTSP.

Cependant, on remarque que le TDTSP résiste mieux à une augmentation de la congestion routière. Lorsqu'on augmente le trafic, les résultats du TDTSP se dégradent mais beaucoup moins rapidement que ceux du TSP. Dans notre simulation de base, l'écart entre le TSP et nos deux algorithmes de TDTSP était de 1,33%. Il passe à 2,61% dans notre simulation où les effets du trafic se font le plus sentir. Dans une situation où il y a une forte congestion routière, le choix du TDTSP s'impose, mais dans une situation où il y a peu de trafic, les deux algorithmes sont pratiquement à égalité.

Les infirmières de MAD du CLSC Côte-des-Neiges font face à une situation relativement simple : peu de clients, quartier bien délimité et peu de déplacements. Elles n'ont donc pas avantage à appliquer le TDTSP, ou le TSP, car il est plus facile de calculer la route à la main et le résultat obtenu risque souvent d'être optimal. Par contre, d'autres catégories de travailleurs devant faire de nombreuses visites et ayant de plus grands territoires à couvrir pourraient bénéficier de l'application d'un de ces algorithmes de transport.

À la lumière de nos résultats, quelle stratégie ces travailleurs itinérants devraient-ils adopter? Nous avons vu que le TDTSP offre des résultats supérieurs aux TSP, le choix de cet algorithme pourrait donc être intéressant. Nous avons étudié deux algorithmes de TDTSP : le TDTSP calculé avant de partir et le TDTSP calculé en temps réel. Le TDTSP calculé en temps réel est légèrement supérieur au TDTSP régulier. Cependant, cet avantage est si faible (0,1%) et le TDTSP calculé en temps réel est si lourd d'application qu'il ne vaut probablement pas la peine de considérer cette option. Donc, si l'état du trafic est bien documenté, il est avantageux d'utiliser le TDTSP. Sinon, on utilise le TSP. Notons cependant qu'acquérir une connaissance détaillée de la congestion routière d'un quartier peut demander beaucoup de temps et d'efforts. De plus, les prédictions obtenues seront confrontées aux aléas quotidiens.

La notion de trafic bien documenté nous amène à parler des limites de notre étude. Nous en avons défini deux : (1) l'emploi d'une fonction discrète de temps de déplacement et (2) l'hypothèse selon laquelle l'état du trafic est connu en tout temps. Nous avons mentionné la première limite à plusieurs reprises et avons analysé sont impact, mais nous n'avons pas étudié la deuxième limite. Pourtant, on peut imaginer qu'en réalité, il existe une variation sur les temps de déplacements prévus puisqu'il est pratiquement impossible de prédire à tout coup la durée d'un déplacement avec exactitude. Potvin, Xu et Benyahia (2003) ont justement développé un modèle incluant des perturbations sur les temps de déplacement prévus.

Nous savons qu'inclure de la variabilité sur les temps de service entraîne une dégradation des algorithmes de type TSP et affecte particulièrement les algorithmes de TDTSP. Nous supposons qu'ajouter de la variabilité sur le temps de déplacement pourrait avoir un impact similaire, ramenant le TDTSP au même niveau que le TSP. Deux avenues intéressantes de recherche, ajoutant du

réalisme à notre modèle seraient donc : (1) le recours à une fonction continue de trafic et (2) le fait d'inclure également la variation sur les temps de déplacement. Ceci complèterait l'étude sur les avantages réels du TDTSP.

RÉFÉRENCES

AMERICAN NURSES ASSOCIATION. (2001). *Scope and standards of nursing informatics practice*. Washington D. C. : The Association. 51p.

ASSOCIATION DES CLSC ET DES CHSLD DU QUÉBEC. (2000). *Urgences... Services à domicile*. Montréal : l'association. 28p.

BALL, M.J., DOUGLAS, J.V., O'DESKY, R.I., ALBRIGHT, J.W. (1991). *Healthcare information management systems: a practical guide*. New York : Springer-Verlag. 367p.

BALL, M.J., HANNAH, K.J., NEWBOLD, S.K., DOUGLAS, J.V. (2000). *Nursing informatics: where caring and technology meet*. New York : Springer-Verlag. 445p.

BÉLANGER, J.-P. (1982). *Le maintien à domicile dans les CLSC, cahier no. 2 : l'importance et l'organisation des programmes de maintien à domicile dans les CLSC*. Montréal : Fédération des CLSC du Québec. 36p.

BLAIS, M. (2001). *Le découpage territorial pour les services de soins de santé à domicile*. 101p. Mémoire de maîtrise en génie industriel, École Polytechnique de Montréal.

BOUCHER, C., CÔTÉ, R. (2000). *Statistiques comparatives sur les services de maintien à domicile au Québec et en Ontario de 1994-1995 à 1996-1997*. Québec : Ministère de la Santé et des Services Sociaux. 72p. 37.

BROWN, G.G., ELLIS, C.J., GRAVES, G.W., RONEN, D. (1987). « Real-Time, Wide Area Dispatch of Mobil Tank Trucks ». *Interfaces*. 17:1. 107-120.

CHRISTOFIDES, N. (1979). « The Travelling Salesman Problem ». *Combinational Optimization*. New York : John Wiley & Sons. P. 131-149.

CHRISTOFIDES, N. (1985). « Vehicle routing ». *The Traveling Salesman Problem*. Sous la direction de E. L. Lawler et de J. K. Lenstra. New York : John Wiley & Sons. P. 431-452

CLSC COTE-DES-NEIGES. (2004). *Rapport annuel d'activités 2003-2004*. Montréal : Le CLSC. 81 p.

DAVID, H., CLOUTIER, E., LA TOUR, S. (2003). *Le recours aux agences privées d'aide à domicile et de soins infirmiers par les services de soutien à domicile des CLSC*. Montréal : Institut de Recherche Robert-Sauvé en Santé et en Sécurité du Travail (IRSST). 130 p. R-346.

DE PALMA, A., HANSEN, P., LABBÉ, M. (1990). « Commuters' Paths with Penalties for Early or Late Arrival Time ». *Transportation Science*. 24:4. 276-286.

DIJKSTRA, E. (1959). « A Note on Two Problems in Connexion with Graphs ». *Numerische Mathematik*. 1. 269-271.

DUBÉ, G. (1988). *Analyse fonctionnelle du programme de maintien à domicile en vue de la création d'un système d'information*. 192p. Mémoire de maîtrise en administration des services de santé, Université de Montréal.

EVANS, J.R., MINIEKA, E. (1992). *Optimization Algorithms for Networks and Graphs*. 2e édition. New-York : Marcel Dekker. 470 p.

FÉDÉRATION DES CLSC DU QUÉBEC. (1995). *Virage ambulatoire, volet 1 : le réseau CLSC... partie prenante dans la transformation du système de santé et de services sociaux et dans le virage ambulatoire*. Montréal : la fédération. 14p.

FÉDÉRATION DES CLSC DU QUÉBEC. (1995). *Virage ambulatoire, volet 3 : services à domiciles*. Montréal : la fédération. 38p.

FOX, K.R., GAVISH, B., GRAVES, S. (1980). « An n-Constraint Formulation of the (Time-Dependent) Traveling Salesman Problem ». *Operations Research*. 28:4. 1018-1021.

FRÉCHET, G., BONNEAU, J. (1999). *Les personnes âgées dans la mire des chercheurs : profil de la recherche subventionnée au Québec de 1980 à 1998*. Québec : Ministère de la Santé et des Services Sociaux. 116p. 35.

GOULD, J.D., BOIES, S.J., UKELSON, J. (1997). « How to Design Usable Systems ». *Handbook of Human-Computer Interaction*. Sous la direction de M.G. Helander, T.K. Landauer et de P. Prabhu. 2e édition. North Holland : Elsevier Science Publishers. P. 231-254.

HAGHANI, A., JUNG, S. (2005). « A dynamic vehicle routing problem with time-dependent travel times ». *Computers & Operations Research*. 32:11. 2959-2986.

HOFFMAN, A.J., WOLFE, P. (1985). « History ». *The Traveling Salesman Problem.* Sous la direction de E. L. Lawler et de J. K. Lenstra. New York : John Wiley & Sons. P. 1-15.

ICHOUA, S., GENDREAU, M., POTVIN, J.-Y. (2000). *Vehicle Dispatching with time-dependent travel times.* Montréal: Centre de recherche sur les transports (C.R.T.). 33 p. CRT-2000-18.

JOHNSON, D.B. (1997). « Efficient Algorithms for Shortest Paths in Sparse Networks ». *Journal of the Association for Computing Machinery.* 24:1. 1-13.

JOUBERT, P. (1991). *Évaluation du programme québécois de services intensifs de maintien à domicile (SIMAD).* Sainte-Foy : Centre hospitalier de l'Université Laval. 137p.

LA BRANCHE, R. (1997). *L'évaluation de l'adéquation des technologies de l'information dans les centres hospitaliers.* 222p. Mémoire de maîtrise en sciences de la gestion, École des Hautes Études Commerciales.

MAHEW, D.J. (1999). « Introduction ». *The usability engineering lifecycle. A practitioner's handbook for user interface design.* San Franscisco: Morgan Kaufmann. P. 1-31.

MALANDRAKI, C., DASKIN, M. (1992). « Time Dependent Vehicle Routing Problems : Formulations, Properties and Heuristic Algorithms ». *Transportation Science.* 26:3. 185-200.

MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX. (1994). *Les services à domicile de première ligne : cadre de référence.* Québec : le Ministère. 21p.

MINISTÈRE DE LA SANTÉ ET DES SERVICES SOCIAUX. (2001). *Orientations ministérielles sur les services offerts aux personnes âgées en perte d'autonomie.* Québec : le Ministère.47p.

OGILVIE, M., SAWYER, E. (1992). *Managning information in Canadian health care facilities.* Ottawa : Canadian Hospital Association Press. 268p.

ORGANISATION INTERNATIONALE DE NORMALISATION. (1999). *Processus de conception centrée sur l'opérateur humain pour les systèmes interactifs.* Première édition. Genève : l'Organisation. 29 p. Norme internationale ISO 13407.

PARÉ, G. (1996). *Physicians' acceptance of clinical information systems: an empirical look at attitudes, expectations and skills.* Montréal: GReSI. 19p. 96-06.

PARÉ, G., SICOTTE, C. (2000). *Information technology sophistication in hospitals: a field study in Quebec.* Montréal: GReSI. 21p. 00-13.

PARÉ, G., SICOTTE, C. (2001). *Information technology sophistication in canadian hospitals.* Montréal : GReSI. 24p. 01-02

PICARD, C., QUEYRANNE, M. (1978). « The Time-Dependent Traveling Salesman Problem and Its Application to the Tardiness Problem in One-Machine Scheduling ». *Operations Research.* 26:1. 86-110.

POTVIN, J.-Y., XU, Y., BENYAHIA, I. (2003). *Vehicule Routing and Scheduling with dynamic travel times.* Montréal: Centre de recherche sur les transports (C.R.T). 12p. CRT-2003-31.

ROMANOW, R.J. (2002). *Guidé par nos valeurs : l'avenir des soins de santé au Canada.* Ottawa : Commission sur l'avenir des soins de Santé au Canada. 427p.

ROUSSEAU, J.-M., ROY, S. (1988). *RAO – Répartition Assistée par Ordinateur, la Description d'un prototype.* Montréal : Centre de recherche sur les transports (C.R.T.). 28 p. CRT-564.

ROY, J. (1986). *Bilan du maintien à domicile dans les CLSC, vol 1 : problématique des services.* Montréal : Fédération des CLSC du Québec. 69p.

ROY, J. (1986). *Bilan du maintien à domicile dans les CLSC, vol. 2 : problématique des ressources.* Montréal : Fédération des CLSC du Québec. 45p.

SHEN, Y., POTVIN, J.-Y., ROUSSEAU, J.-M. Rousseau, ROY, S. (1995). « A computer assistant for vehicle dispatching with learning capabilities ». *Annals of Operations Research.* 61. 189-211.

SICOTTE, C., TILQUIN, C., VALOIS, M. (1991). *La gestion de l'information dans les établissements de santé : l'expérience québécoise.* Ottawa : Presses de l'Association des hôpitaux du Canada. 39p.

TRUDEL, M.-C., PARÉ, G. (2002). *L'adoption de TI de pointe en santé : vers une meilleure compréhension du comportement d'innovateur.* Montréal : GReSI. 15p. 02-03.

WOERNER, L., FELDSTEIN, K.C. (1988). *Scheduling Home Health Care Personnel.* New York : John Wiley & Sons. 267p.

ZIELSTORFF, R.D., HUDGINGS, C.I., GROBE, S.J. (1993). *Next-generation nursing information systems: essential characteristics for professional practice.* Washington D.C.: American nurses publishing. 59p.

ANNEXE A : DIAGRAMME DE FLUX DE DONNÉES

Cette section présente le DFD développé, à l'exception du premier niveau qui a déjà été illustré à la Figure 3.1. Une description détaillée des principales actions posées par les infirmières ayant déjà été donnée à la section 3.1, le but est d'offrir simplement la possibilité de visualiser les différents diagrammes.

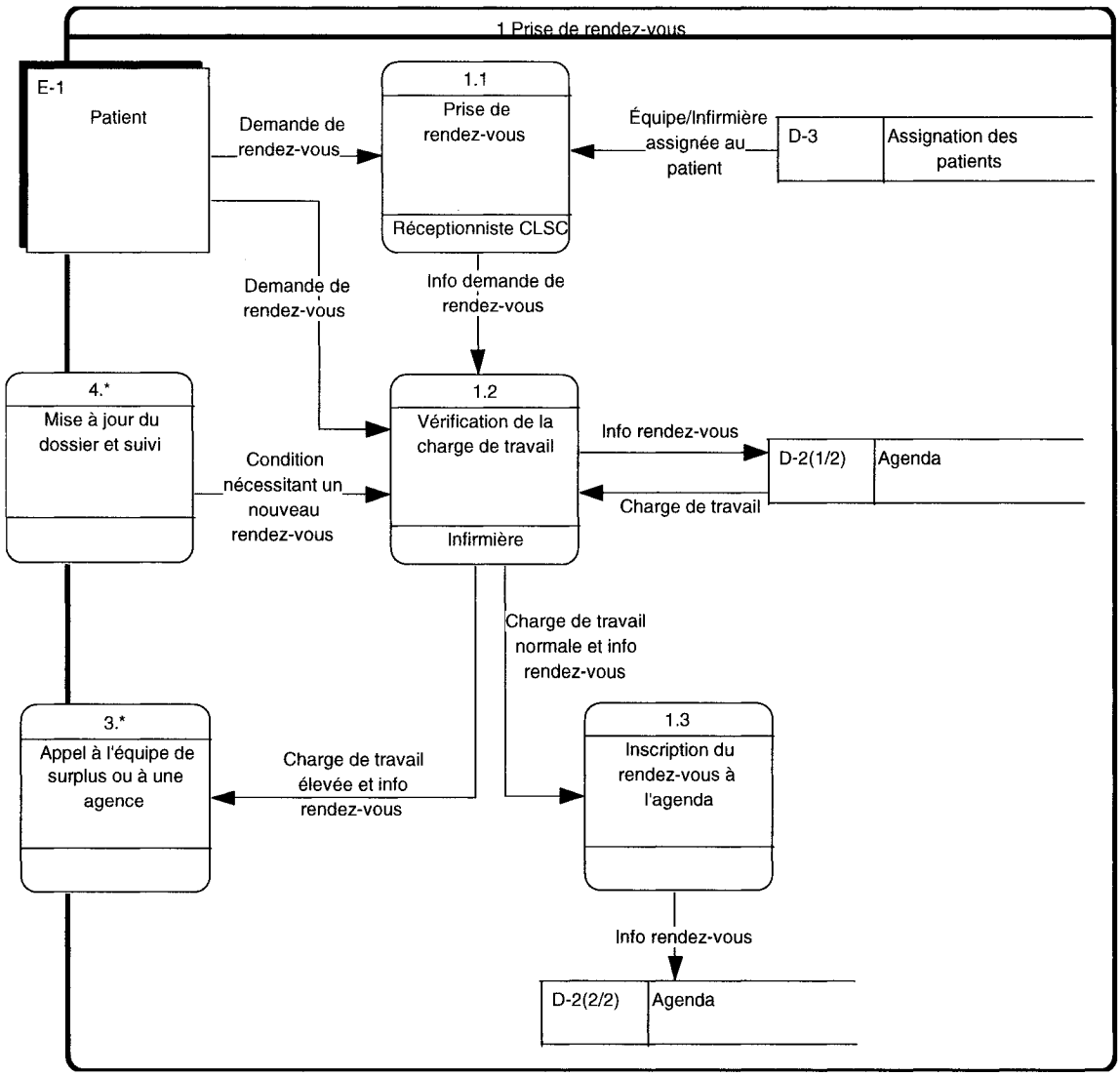


Figure A.1 Interaction entre les éléments de la prise de rendez-vous

La figure précédente montre les actions entreprises lorsqu'un patient demande un rendez-vous. Quelques patients contactent le centre d'appel du CLSC qui retransmet la demande à l'infirmière responsable mais la plupart contactent directement l'infirmière. Il faut noter que le patient n'est pas toujours la personne qui appelle pour prendre un rendez-vous car il peut arriver qu'un médecin ou une secrétaire prenne rendez-vous au nom du patient.

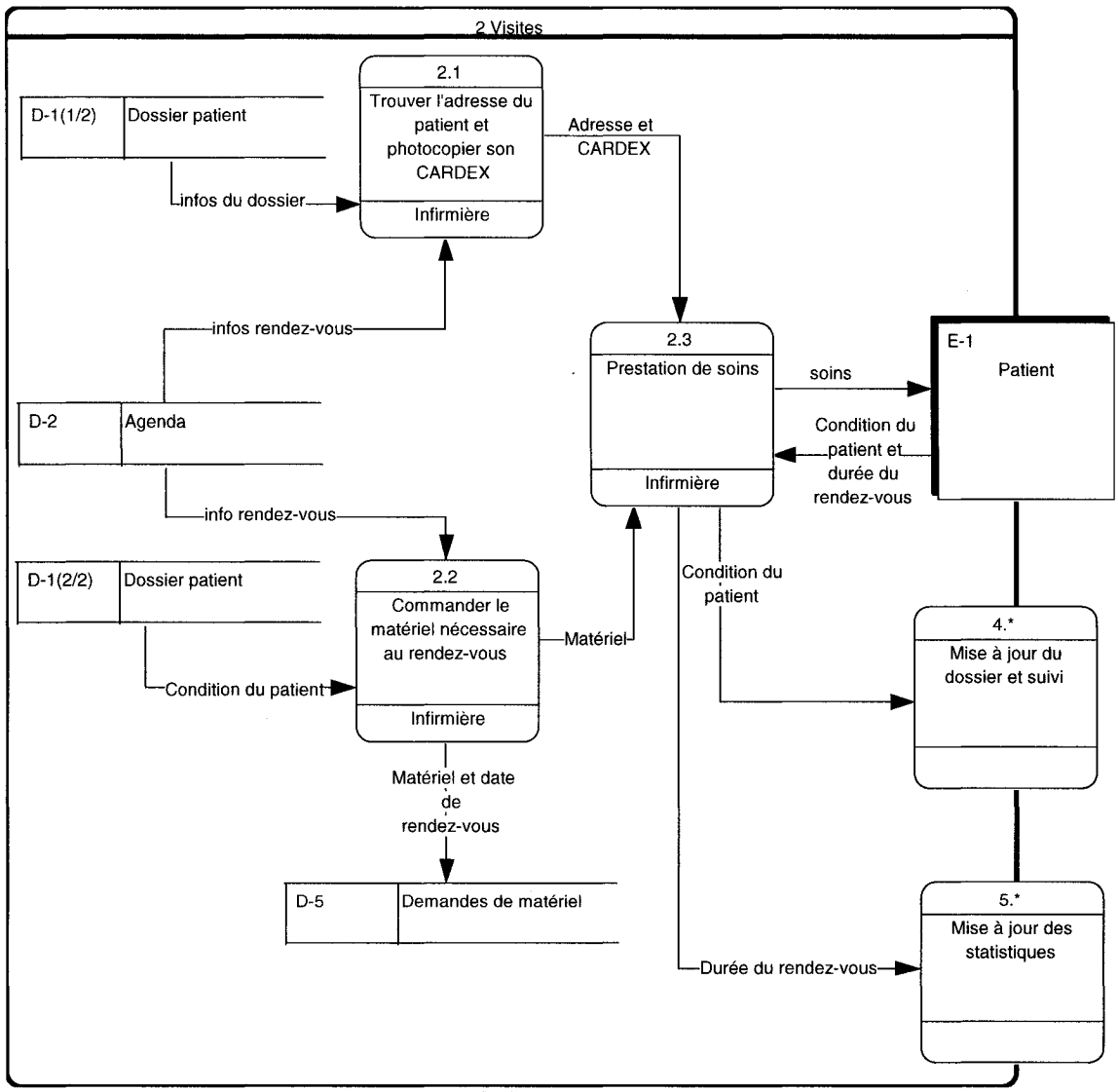


Figure A.2 Interaction entre les éléments de la prestation de soins

La figure précédente démontre les actions entreprises lorsqu'une infirmière doit effectuer une visite. On peut observer la phase de préparation mentionnée à la section 3.1.2. Tel que mentionné précédemment, l'acte médical ne fait pas partie de l'analyse.

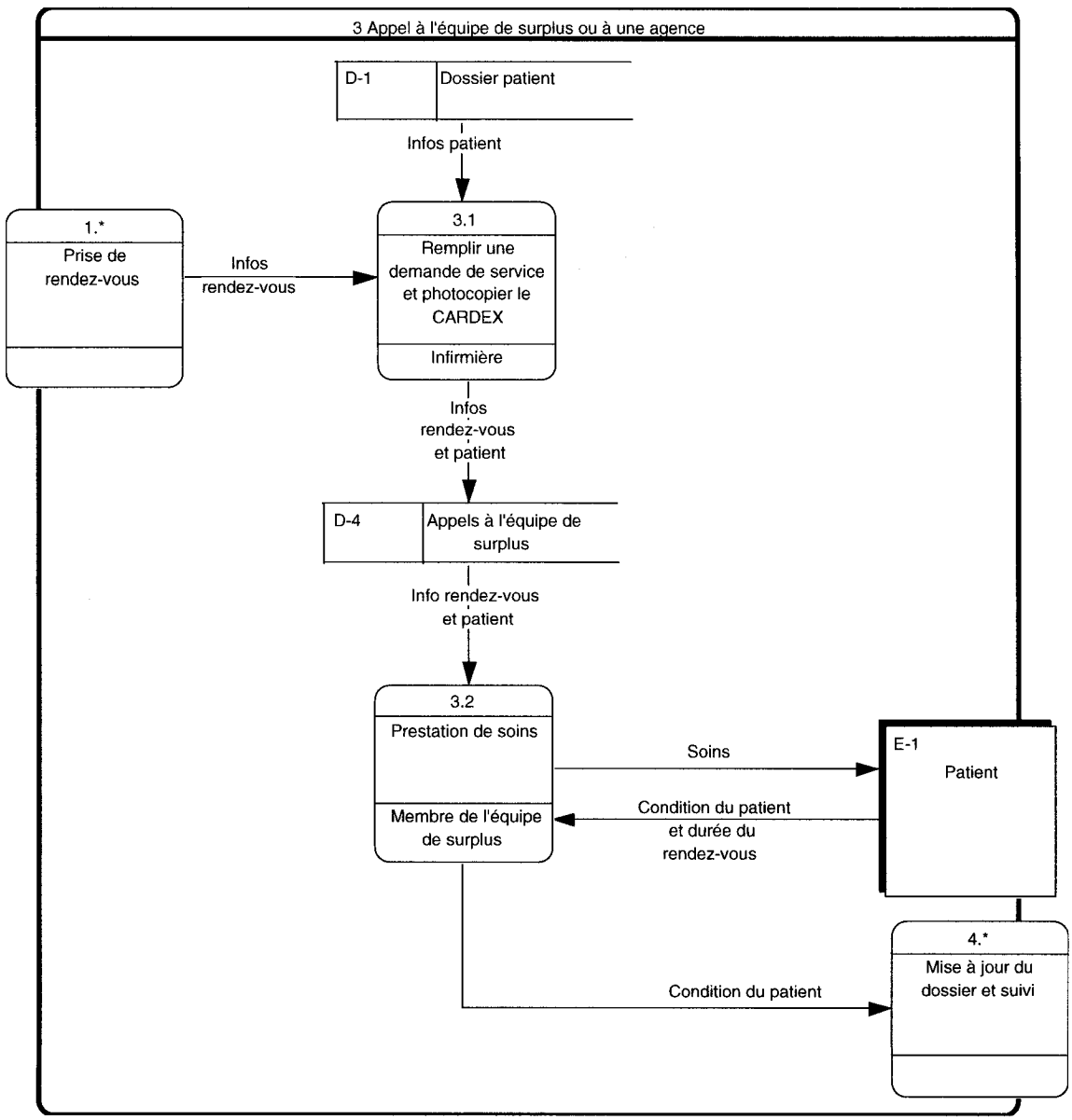


Figure A.3 Interaction entre les éléments d'un appel à l'équipe de surplus

La figure précédente démontre les actions entreprises lorsqu'une infirmière confie un rendez-vous à l'équipe de surplus ou à une agence privée. On peut observer l'ensemble des actions décrites à la section 3.1.3.

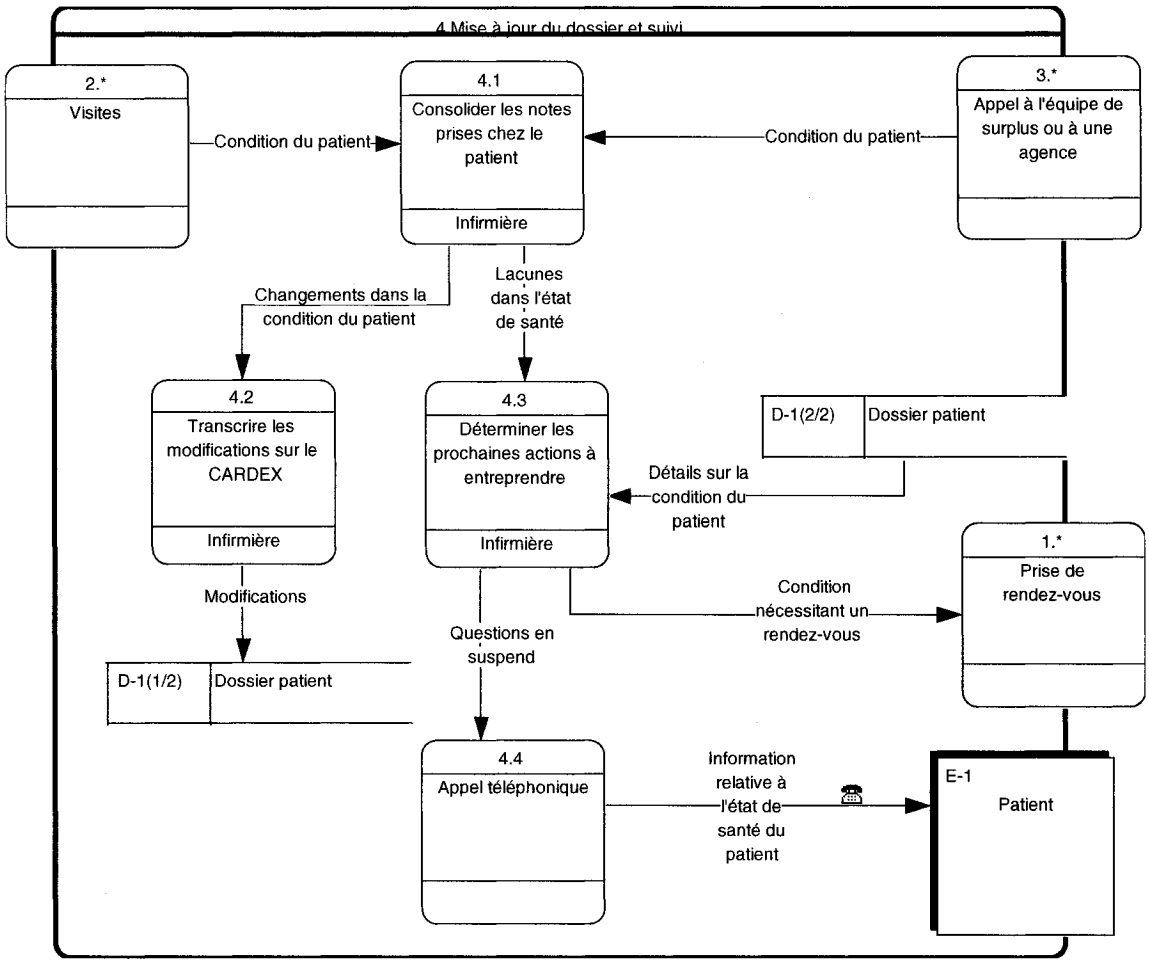


Figure A.4 Interaction entre les éléments de suivi

La figure précédente montre les actions entreprises suite à une visite à domicile. On peut observer la mise à jour du CARDEX, telle que décrite à la section 3.1.4. Une deuxième activité de suivi a cependant été ajoutée : la planification des prochaines actions à entreprendre. Ces actions peuvent prendre la forme d'un rendez-vous ou d'un appel téléphonique. Ceci peut être planifié chez le patient ou de retour au CLSC.

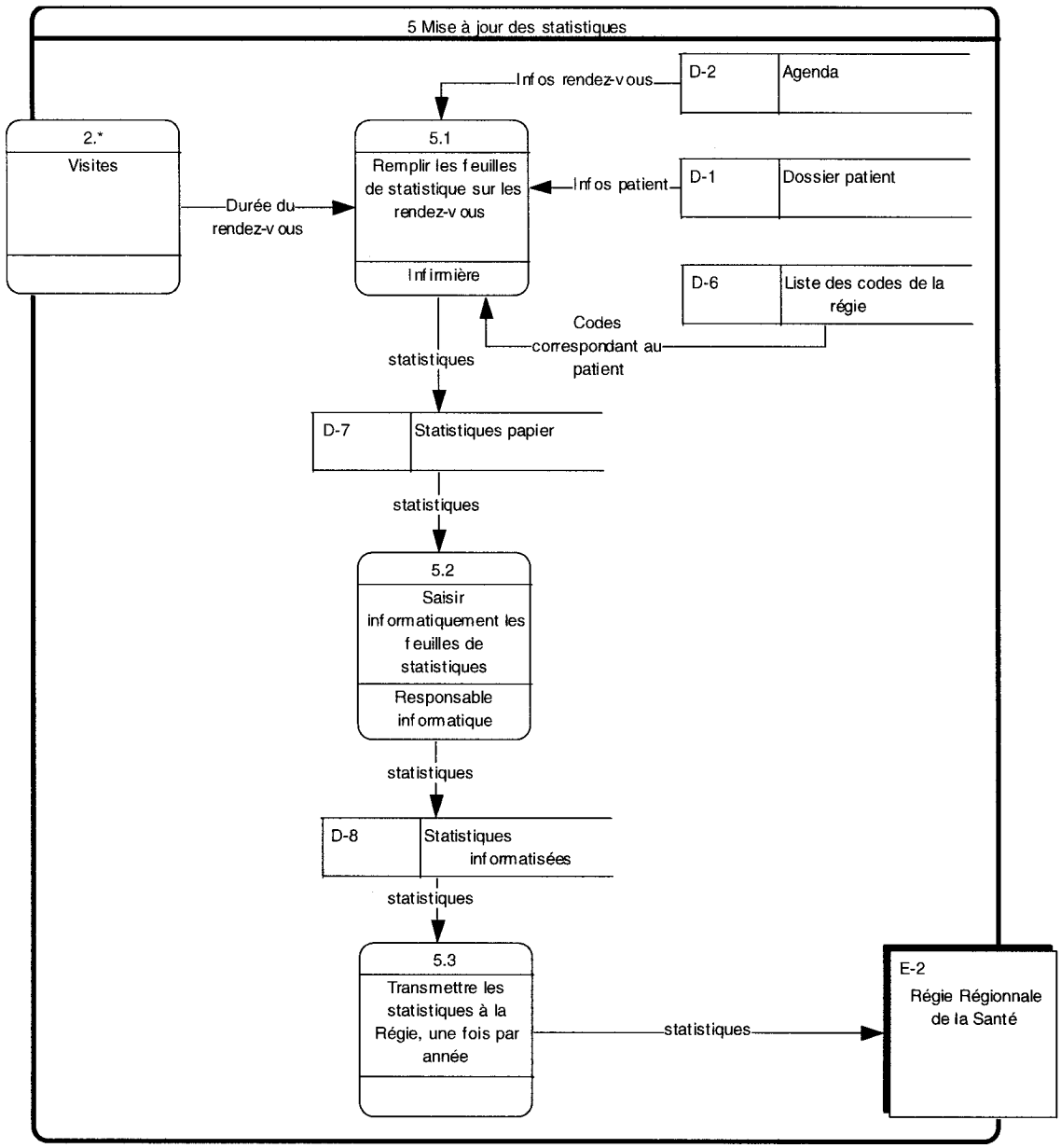


Figure A.5 Interaction entre les éléments de la tenue de statistiques

Cette dernière figure présente les actions entreprises afin d'acheminer les statistiques à l'Agence de développement, tel que décrit à la section 3.1.5.

ANNEXE B : SIMULATIONS

Cette section présente le code VBA utilisé lors des simulations effectuées sous plate-forme Microsoft Excel. Une description détaillée de ce code a déjà été offerte à la section 4.3.2. Par conséquent, le but ici est simplement d'offrir la possibilité de visualiser le code et de comprendre les interactions entre chacune des procédures présentées. Premièrement, voici la liste exhaustive des variables globales utilisées :

```
'Matrices des distances

Dim Depart1(1 To 20, 1 To 20) As Variant
Dim Depart2(1 To 20, 1 To 20) As Variant
Dim Depart3(1 To 20, 1 To 20) As Variant

'Liste des clients à visiter

Dim Liste(1 To 6) As Integer

'Matrices des distances des clients à visiter

Dim Arrivee1(1 To 6, 1 To 6) As Variant
Dim Arrivee2(1 To 6, 1 To 6) As Variant
Dim Arrivee3(1 To 6, 1 To 6) As Variant

'Variables relatives au type de client et aux durées de visites

Dim type_client(1 To 5) As Integer
Dim duree_prevue(1 To 5) As Integer
Dim determiner_duree As Single
Dim duree_reelle(1 To 5) As Integer

'Variables relatives aux distances parcourues et au temps total de travail

Dim distance1 As Variant
Dim distance2 As Variant
Dim distance As Variant
Dim Temps1 As Variant
Dim Temps2 As Variant
Dim Temps As Variant
```

```
'Calcul des moyennes à l'intérieur d'un même groupe de clients

Dim moyenne As Variant
Dim total As Variant
Dim moyenne2 As Variant
Dim total2 As Variant

'Ordre des clients visités

Dim resultat(1 To 7) As Single
Dim resultat2(1 To 7) As Single

'Variables temporaires

Dim Temporaire1, Temporaire2, Temporaire3 As Integer
Dim Temp(1 To 5) As Integer
Dim order As Integer
Dim i, j, k, m, n, a As Integer
Dim y, z As Integer
Dim b, c, d As Integer

'Variables relatives aux moyennes obtenues pour chaque cas

Dim moyenne_cas1 As Variant
Dim total_cas1 As Variant
Dim moyenne2_cas1 As Variant
Dim total2_cas1 As Variant

Dim moyenne_cas2 As Variant
Dim total_cas2 As Variant
Dim moyenne2_cas2 As Variant
Dim total2_cas2 As Variant

Dim moyenne_cas3 As Variant
Dim total_cas3 As Variant
Dim moyenne2_cas3 As Variant
Dim total2_cas3 As Variant

Dim moyenne_cas4 As Variant
Dim total_cas4 As Variant
Dim moyenne2_cas4 As Variant
Dim total2_cas4 As Variant

Dim moyenne_cas5 As Variant
Dim total_cas5 As Variant
Dim moyenne2_cas5 As Variant
Dim total2_cas5 As Variant

Dim moyenne_cas6 As Variant
Dim total_cas6 As Variant
Dim moyenne2_cas6 As Variant
Dim total2_cas6 As Variant
```

Figure B.1 Déclaration des variables globales

La seconde procédure présentée assigne des valeurs aux intrants du problème. Il faut préciser que si la procédure n'est pas automatisée, i.e. si l'usager sélectionne lui-même un groupe de clients, le code lira dans la feuille Excel la liste des clients retenus par l'usager. Si ce n'est pas le cas, la liste des clients sera choisie aléatoirement à l'intérieur d'une procédure présentée plus loin.

```
Sub definition()

'matrices de départ

For i = 1 To 20
   For j = 1 To 20
      Depart1(i, j) = Worksheets(3).Cells(i, j).Value
   Next j
Next i
For i = 1 To 20
   For j = 1 To 20
      Depart2(i, j) = Worksheets(4).Cells(i, j).Value
   Next j
Next i
For i = 1 To 20
   For j = 1 To 20
      Depart3(i, j) = Worksheets(5).Cells(i, j).Value
   Next j
Next i

'Liste de clients à visiter

If b <> 1 Then ' si la procédure n'est pas automatisée
   For i = 1 To 6
      Liste(i) = Worksheets(1).Cells(i + 4, 2).Value
   Next i
End If

'sous-matrices

For i = 1 To 6
   For j = 1 To 6
      Arrivee1(i, j) = Depart1(Liste(i), Liste(j))
      Worksheets(3).Cells(i + 22, j) = Arrivee1(i, j)
   Next j
Next i

For i = 1 To 6
   For j = 1 To 6
      Arrivee2(i, j) = Depart2(Liste(i), Liste(j))
```

```
      Worksheets(4).Cells(i + 22, j) = Arrivee2(i, j)
   Next j
Next i

For i = 1 To 6
   For j = 1 To 6
      Arrivee3(i, j) = Depart2(Liste(i), Liste(j))
      Worksheets(5).Cells(i + 22, j) = Arrivee3(i, j)
   Next j
Next i

'durées prévues

For i = 1 To 5
   For j = 1 To 20
      If Liste(i + 1) = Worksheets(2).Cells(1, j + 1) Then
         type_client(i) = Worksheets(2).Cells(2, j + 1)
         duree_prevue(i) = Worksheets(2).Cells(3, j + 1)
      End If
   Next j
Next i

resultat(7) = 1
resultat2(7) = 1

If b <> 1 Then 'si la procédure n'est pas automatisée
   z = Worksheets(1).Cells(13, 2)
End If

End Sub
```

Figure B.2 Assignation de valeurs aux intrants

La troisième procédure présentée permet de déterminer les durées réelles de visites, conformément aux modalités décrites à la section 4.3.1.3.

```
Sub definir_duree_reelle()

For i = 1 To 5
   If type_client(i) = 0 Then 'clients réguliers
      Randomize
      duree_reelle(i) = duree_prevue(i) + (duree_prevue(i) * (Rnd() - 0.5) * 0.4)
   Else 'clients occasionnels
      Randomize
      determiner_duree = Rnd()
      If determiner_duree < 0.000688 Then
         duree_reelle(i) = 1
      End If
      If dterminer_duree >= 0.000688 And determiner_duree < 0.001032 Then
```

```
    duree_reelle(i) = 3
End If
If determiner_duree >= 0.001032 And determiner_duree < 0.0206398 Then
    duree_reelle(i) = 5
End If
If determiner_duree >= 0.0206398 And determiner_duree < 0.0209838 Then
    duree_reelle(i) = 7
End If
If determiner_duree >= 0.0209838 And determiner_duree < 0.0784314 Then
    duree_reelle(i) = 10
End If
If determiner_duree >= 0.0784314 And determiner_duree < 0.1603027 Then
    duree_reelle(i) = 15
End If
If determiner_duree >= 0.1603027 And determiner_duree < 0.2992776 Then
    duree_reelle(i) = 20
End If
If determiner_duree >= 0.2992776 And determiner_duree < 0.3305814 Then
    duree_reelle(i) = 25
End If
If determiner_duree >= 0.3305814 And determiner_duree < 0.7265222 Then
    duree_reelle(i) = 30
End If
If determiner_duree >= 0.7265222 And determiner_duree < 0.7750258 Then
    duree_reelle(i) = 35
End If
If determiner_duree >= 0.7750258 And determiner_duree < 0.8417613 Then
    duree_reelle(i) = 40
End If
If determiner_duree >= 0.8417613 And determiner_duree < 0.9164087 Then
    duree_reelle(i) = 45
End If
If determiner_duree >= 0.9164087 And determiner_duree < 0.9336085 Then
    duree_reelle(i) = 50
End If
If determiner_duree >= 0.9336085 And determiner_duree < 0.9360165 Then
    duree_reelle(i) = 55
End If
If determiner_duree >= 0.9360165 And determiner_duree < 0.9807362 Then
    duree_reelle(i) = 60
End If
If determiner_duree >= 0.9807362 And determiner_duree < 0.9817681 Then
    duree_reelle(i) = 70
End If
If determiner_duree >= 0.9817681 And determiner_duree < 0.9872721 Then
    duree_reelle(i) = 75
End If
If determiner_duree >= 0.9872721 And determiner_duree < 0.9876161 Then
    duree_reelle(i) = 80
End If
If determiner_duree >= 0.9876161 And determiner_duree < 0.993808 Then
    duree_reelle(i) = 90
```

```
        End If
        If determiner_duree >= 0.993808 And determiner_duree < 0.995872 Then
           duree_reelle(i) = 105
        End If
        If determiner_duree >= 0.995872 And determiner_duree < 0.996216 Then
           duree_reelle(i) = 115
        End If
        If determiner_duree >= 0.996216 And determiner_duree < 1 Then
           duree_reelle(i) = 120
        End If
     End If
Next i

End Sub
```

Figure B.3 Détermination de la durée réelle des visites

Une fois les variables définies, il est possible de présenter le code utilisé pour chacun des six algorithmes étudiés. La figure suivante montre le code utilisé pour le *Cas 1.* Ce code utilise en premier lieu la procédure « définition » déjà présentée avant d'initialiser certaines variables. Il est alors possible de passer à l'algorithme de résolution, tel que décrit à la section 4.3.2.2. Par la suite, on procède à l'affichage des résultats initiaux (procédure *« Afficher_résultats_initiaux »* qui sera présentée plus loin), on utilise la procédure « *durées_réelles* » déjà présentée et on calcule la solution réelle (procédure *« Ajuster_en_situation_réelle »* qui sera présentée plus loin). On affiche alors les résultats réels (procédure *« Afficher_situation_réelle »* qui sera présentée plus loin), on calcule l'optimal (procédure *« Solution_optimale »* qui sera présentée plus loin) et on affiche les résultats optimaux (procédure *« Afficher _solution_optimale »* qui sera présentée plus loin).

```
Sub Cas_1()

If b <> 1 Then 'si la procedure n'est pas automatisée
   effacer_tout
End If

y = 1

definition
```

```
'Initialisation

resultat(1) = 1
resultat(2) = 0
resultat(3) = 0
resultat(4) = 0
resultat(5) = 0
resultat(6) = 0

Temps1 = 0
distance1 = 0
Temporaire1 = 0
Temporaire2 = 1000

total = 0
moyenne = 0

total2 = 0
moyenne2 = 0

'Plus court chemin initial

For j = 2 To 6
   For i = 1 To 6
      Temporaire1 = Arrivee1(resultat(j - 1), i)
      If Temporaire2 > Temporaire1 And i <> resultat(1) And i <> resultat(2) And i <>
◄resultat(3) And i <> resultat(4) And i <> resultat(5) And i <> resultat(6) Then
            Temporaire2 = Temporaire1
            Temporaire3 = i
      End If
   Next i
   resultat(j) = Temporaire3
   distance1 = distance1 + Temporaire2
   Temps1 = Temps1 + Temporaire2 + duree_prevue(j - 1)
   Temporaire1 = 0
   Temporaire2 = 1000
Next j

distance1 = distance1 + Arrivee1(Temporaire3, 1)
Temps1 = Temps1 + Arrivee1(Temporaire3, 1)

'Affichage des résultats - ne changeront pas avec les itérations

Afficher_resultat_initiaux

For a = 1 To z
   definir_duree_reelle
   Ajuster_en_situation_reelle
   total = total + distance
   moyenne = (total) / a
   Afficher_situation_reelle
```

```
    Solution_optimale
    total2 = total2 + distance
    moyenne2 = (total2) / a
    Afficher_solution_optimale
Next a

Worksheets(1).Cells(18, 2) = moyenne
Worksheets(1).Cells(21, 2) = moyenne2
Worksheets(6).Cells(6, 3) = moyenne
Worksheets(6).Cells(7, 3) = moyenne2

End Sub
```

Figure B.4 Résolution du Cas 1

La figure suivante montre le code utilisé dans le *Cas 2*. Ce code utilise la même structure que le *Cas 1* et fait appel aux mêmes procédures. Seule la partie relative à l'algorithme est différente. On peut ici visualiser cet algorithme de voyageur de commerce qui répond aux modalités décrites à la section 4.3.2.3.

```
Sub Cas_2()

If b <> 1 Then
    effacer_tout
End If

y = 2

definition

'Initialisation

resultat(1) = 1
resultat(2) = 0
resultat(3) = 0
resultat(4) = 0
resultat(5) = 0
resultat(6) = 0

Temps1 = 0
distance1 = 0
Temporaire1 = 0
Temporaire2 = 1000

total = 0
moyenne = 0
```

```
total2 = 0
moyenne2 = 0

'Algorithme exact initial

For i = 2 To 6
   For j = 2 To 6
      For k = 2 To 6
         For m = 2 To 6
            For n = 2 To 6
               If i <> j And i <> k And i <> m And i <> n And j <> k And j <> m And j <> n And k
◄<> m And k <> n And m <> n Then
                  Temporaire1 = Arrivee1(1, i) + Arrivee1(i, j) + Arrivee1(j, k) + Arrivee1(k, m) +
◄Arrivee1(m, n) + Arrivee1(n, 1)
                  If Temporaire1 < Temporaire2 Then
                     Temporaire2 = Temporaire1
                     resultat(2) = i
                     resultat(3) = j
                     resultat(4) = k
                     resultat(5) = m
                     resultat(6) = n
                  End If
               End If
            Next n
         Next m
      Next k
   Next j
Next i

distance1 = Temporaire2
Temps1 = distance + duree_prevue(1) + duree_prevue(2) + duree_prevue(3) +
◄duree_prevue(4) + duree_prevue(5)

'Affichage des résultats - ne changeront pas avec les itérations

Afficher_resultat_initiaux

'situation réelle

For a = 1 To z

   definir_duree_reelle
   Ajuster_en_situation_reelle
   total = total + distance
   moyenne = (total) / a
   Afficher_situation_reelle
   Solution_optimale
   total2 = total2 + distance
   moyenne2 = (total2) / a
   Afficher_solution_optimale
Next a
```

```
Worksheets(1).Cells(18, 2) = moyenne
Worksheets(1).Cells(21, 2) = moyenne2
Worksheets(6).Cells(6, 3) = moyenne
Worksheets(6).Cells(7, 3) = moyenne2

End Sub
```

Figure B.5 Résolution du Cas 2

La figure suivante montre le code utilisé dans le *Cas 3*. Ce code utilise encore une fois la même structure que le *Cas 1* et fait appel aux mêmes procédures. L'algorithme est relativement similaire à celui du *Cas 1* puisqu'il s'agit également d'un algorithme de plus proche voisin, mais on voit ici apparaître les différentes matrices de temps employées de la façon décrite à la section 4.3.2.4.

```
Sub Cas_3()

If b <> 1 Then
   effacer_tout
End If

y = 3

definition

'Initialisation
resultat(1) = 1
resultat(2) = 0
resultat(3) = 0
resultat(4) = 0
resultat(5) = 0
resultat(6) = 0

Temps1 = 0
distance1 = 0
Temporaire1 = 0
Temporaire2 = 1000

total = 0
moyenne = 0

total2 = 0
moyenne2 = 0

'Plus court chemin initial, avec matrices de temps

Temps = 0
```

```
Temps1 = 0

distance1 = 0
Temporaire1 = 0
Temporaire2 = 1000

For j = 2 To 6
  For i = 1 To 6
    If Temps1 < 30 Then
      Temporaire1 = Arrivee3(resultat(j - 1), i)
      If Temporaire2 > Temporaire1 And i <> resultat(1) And i <> resultat(2) And i <>
◄resultat(3) And i <> resultat(4) And i <> resultat(5) And i <> resultat(6) Then
        Temporaire2 = Temporaire1
        Temporaire3 = i
      End If
    End If
    If Temps1 >= 30 And Temps1 < 60 Then
      Temporaire1 = Arrivee2(resultat(j - 1), i)
      If Temporaire2 > Temporaire1 And i <> resultat(1) And i <> resultat(2) And i <>
◄resultat(3) And i <> resultat(4) And i <> resultat(5) And i <> resultat(6) Then
        Temporaire2 = Temporaire1
        Temporaire3 = i
      End If
    End If
    If Temps1 >= 60 And Temps1 < 120 Then
    Temporaire1 = Arrivee1(resultat(j - 1), i)
      If Temporaire2 > Temporaire1 And i <> resultat(1) And i <> resultat(2) And i <>
◄resultat(3) And i <> resultat(4) And i <> resultat(5) And i <> resultat(6) Then
        Temporaire2 = Temporaire1
        Temporaire3 = i
      End If
    End If
    If Temps1 >= 120 And Temps1 < 180 Then
    Temporaire1 = Arrivee2(resultat(j - 1), i)
      If Temporaire2 > Temporaire1 And i <> resultat(1) And i <> resultat(2) And i <>
◄resultat(3) And i <> resultat(4) And i <> resultat(5) And i <> resultat(6) Then
        Temporaire2 = Temporaire1
        Temporaire3 = i
      End If
    End If
    If Temps1 >= 180 Then
      Temporaire1 = Arrivee3(resultat(j - 1), i)
      If Temporaire2 > Temporaire1 And i <> resultat(1) And i <> resultat(2) And i <>
◄resultat(3) And i <> resultat(4) And i <> resultat(5) And i <> resultat(6) Then
        Temporaire2 = Temporaire1
        Temporaire3 = i
      End If
    End If
  Next i
  resultat(j) = Temporaire3
  distance1 = distance1 + Temporaire2
  Temps1 = Temps1 + Temporaire2 + duree_prevue(resultat(j) - 1)
```

```
    Temporaire1 = 0
    Temporaire2 = 1000
Next j

If Temps1 >= 180 Then
    distance1 = distance1 + Arrivee3(Temporaire3, 1)
    Temps1 = Temps1 + Arrivee3(Temporaire3, 1)
End If
If Temps1 >= 120 And Temps1 < 180 Then
    distance1 = distance1 + Arrivee2(Temporaire3, 1)
    Temps1 = Temps1 + Arrivee2(Temporaire3, 1)
End If
If Temps1 >= 60 And Temps1 < 120 Then
    distance1 = distance1 + Arrivee1(Temporaire3, 1)
    Temps1 = Temps1 + Arrivee1(Temporaire3, 1)
End If
If Temps1 >= 30 And Temps1 < 60 Then
    distance1 = distance1 + Arrivee2(Temporaire3, 1)
    Temps1 = Temps1 + Arrivee2(Temporaire3, 1)
End If
If Temps1 < 30 Then
    distance1 = distance1 + Arrivee3(Temporaire3, 1)
    Temps1 = Temps1 + Arrivee3(Temporaire3, 1)
End If

'Affichage des résultats - ne changeront pas avec les itérations

Afficher_resultat_initiaux

'situation réelle

For a = 1 To z
    definir_duree_reelle
    Ajuster_en_situation_reelle
    total = total + distance
    moyenne = (total) / a
    Afficher_situation_reelle
    Solution_optimale
    total2 = total2 + distance
    moyenne2 = (total2) / a
    Afficher_solution_optimale
Next a

Worksheets(1).Cells(18, 2) = moyenne
Worksheets(1).Cells(21, 2) = moyenne2
Worksheets(6).Cells(6, 3) = moyenne
Worksheets(6).Cells(7, 3) = moyenne2

End Sub
```

Figure B.6 Résolution du Cas 3

La figure suivante montre le code utilisé dans le *Cas 4*. Ce code utilise encore une fois la même structure que le *Cas 1* et fait appel aux mêmes procédures. L'algorithme est relativement similaire à celui du *Cas 2* puisqu'il s'agit également d'un algorithme de voyageur de commerce, mais on voit ici apparaître les différentes matrices de temps employées de la façon décrite à la section 4.3.2.5.

```
Sub Cas_4()

If b <> 1 Then
   effacer_tout
End If

y = 4

definition

'Initialisation

resultat(1) = 1
resultat(2) = 0
resultat(3) = 0
resultat(4) = 0
resultat(5) = 0
resultat(6) = 0

Temps1 = 0
distance1 = 0
Temporaire1 = 0
Temporaire2 = 1000

total = 0
moyenne = 0

total2 = 0
moyenne2 = 0

'TSP avec matrices de temps

For i = 2 To 6
   For j = 2 To 6
      For k = 2 To 6
         For m = 2 To 6
            For n = 2 To 6
               If i <> j And i <> k And i <> m And i <> n And j <> k And j <> m And j <> n And k
◄<> m And k <> n And m <> n Then
                  Temps2 = 0
                  distance2 = 0
```

```
Temporaire1 = Arrivee3(1, i)
distance2 = distance2 + Temporaire1
Temps2 = Temps2 + Temporaire1 + duree_prevue(i - 1)
If Temps2 < 30 Then
   Temporaire1 = Arrivee3(i, j)
End If
If Temps2 >= 30 And Temps2 < 60 Then
   Temporaire1 = Arrivee2(i, j)
End If
If Temps2 >= 60 And Temps2 < 120 Then
   Temporaire1 = Arrivee1(i, j)
End If
If Temps2 >= 120 And Temps2 < 180 Then
   Temporaire1 = Arrivee2(i, j)
End If
If Temps2 >= 180 Then
   Temporaire1 = Arrivee3(i, j)
End If
distance2 = distance2 + Temporaire1
Temps2 = Temps2 + Temporaire1 + duree_prevue(j - 1)
If Temps2 < 30 Then
   Temporaire1 = Arrivee3(j, k)
End If
If Temps2 >= 30 And Temps2 < 60 Then
   Temporaire1 = Arrivee2(j, k)
End If
If Temps2 >= 60 And Temps2 < 120 Then
   Temporaire1 = Arrivee1(j, k)
End If
If Temps2 >= 120 And Temps2 < 180 Then
   Temporaire1 = Arrivee2(j, k)
End If
If Temps2 >= 180 Then
   Temporaire1 = Arrivee3(j, k)
End If
distance2 = distance2 + Temporaire1
Temps2 = Temps2 + Temporaire1 + duree_prevue(k - 1)
If Temps2 < 30 Then
   Temporaire1 = Arrivee3(k, m)
End If
If Temps2 >= 30 And Temps2 < 60 Then
   Temporaire1 = Arrivee2(k, m)
End If
If Temps2 >= 60 And Temps2 < 120 Then
   Temporaire1 = Arrivee1(k, m)
End If
If Temps2 >= 120 And Temps2 < 180 Then
   Temporaire1 = Arrivee2(k, m)
End If
If Temps2 >= 180 Then
   Temporaire1 = Arrivee3(k, m)
End If
```

```
                distance2 = distance2 + Temporaire1
                Temps2 = Temps2 + Temporaire1 + duree_prevue(m - 1)
                If Temps2 < 30 Then
                   Temporaire1 = Arrivee3(m, n)
                End If
                If Temps2 >= 30 And Temps2 < 60 Then
                   Temporaire1 = Arrivee2(m, n)
                End If
                If Temps2 >= 60 And Temps2 < 120 Then
                   Temporaire1 = Arrivee1(m, n)
                End If
                If Temps2 >= 120 And Temps2 < 180 Then
                   Temporaire1 = Arrivee2(m, n)
                End If
                If Temps2 >= 180 Then
                   Temporaire1 = Arrivee3(m, n)
                End If
                distance2 = distance2 + Temporaire1
                Temps2 = Temps2 + Temporaire1 + duree_prevue(n - 1)
                If Temps2 < 30 Then
                   Temporaire1 = Arrivee3(n, 1)
                End If
                If Temps2 >= 30 And Temps2 < 60 Then
                   Temporaire1 = Arrivee2(n, 1)
                End If
                If Temps2 >= 60 And Temps2 < 120 Then
                   Temporaire1 = Arrivee1(n, 1)
                End If
                If Temps2 >= 120 And Temps2 < 180 Then
                   Temporaire1 = Arrivee2(n, 1)
                End If
                If Temps2 >= 180 Then
                   Temporaire1 = Arrivee3(n, 1)
                End If
                distance2 = distance2 + Temporaire1
                Temps2 = Temps2 + Temporaire1
                If distance2 < Temporaire2 Then
                   Temporaire2 = distance2
                   distance1 = distance2
                   Temps1 = Temps2
                   resultat(1) = 1
                   resultat(2) = i
                   resultat(3) = j
                   resultat(4) = k
                   resultat(5) = m
                   resultat(6) = n
                End If
             End If
          Next n
       Next m
    Next k
 Next j
```

```
Next i

'Affichage des résultats - ne changeront pas avec les itérations

Afficher_resultat_initiaux

'situation réelle

For a = 1 To z
   definir_duree_reelle
   Ajuster_en_situation_reelle
   total = total + distance
   moyenne = (total) / a
   Afficher_situation_reelle
   Solution_optimale
   total2 = total2 + distance
   moyenne2 = (total2) / a
   Afficher_solution_optimale
Next a

Worksheets(1).Cells(18, 2) = moyenne
Worksheets(1).Cells(21, 2) = moyenne2
Worksheets(6).Cells(6, 3) = moyenne
Worksheets(6).Cells(7, 3) = moyenne2

End Sub
```

Figure B.7 Résolution du Cas 4

La figure suivante montre le code utilisé dans le *Cas 5*. L'algorithme est relativement similaire à celui du *Cas 3* puisqu'il s'agit également d'un algorithme de plus proche voisin utilisant différentes matrices de temps. Cependant on fait ici appel aux durées réelles, de la façon décrite à la section 4.3.2.6, afin de travailler en temps réel. La structure du code diffère légèrement de celle du *Cas 1* puisque les résultats initiaux correspondent aux résultats réels, mais le code fait appel aux mêmes procédures.

```
Sub Cas_5()

If b <> 1 Then
   effacer_tout
End If

y = 5
```

```
definition

'Initialisation

resultat(1) = 0
resultat(2) = 0
resultat(3) = 0
resultat(4) = 0
resultat(5) = 0
resultat(6) = 0

Temps = 0
distance = 0

Temps1 = 0
distance1 = 0
Temporaire1 = 0
Temporaire2 = 1000

total = 0
moyenne = 0

total2 = 0
moyenne2 = 0

'Affichage des résultats

Afficher_resultat_initiaux

'Plus proche voisin, simultané

For a = 1 To z

definir_duree_reelle

resultat(1) = 1
resultat(2) = 0
resultat(3) = 0
resultat(4) = 0
resultat(5) = 0
resultat(6) = 0

Temps = 0
distance = 0
Temporaire1 = 0
Temporaire2 = 1000
Temporaire3 = 0

For j = 2 To 6
   For i = 1 To 6
      If Temps < 30 Then
         Temporaire1 = Arrivee3(resultat(j - 1), i)
```

```
        If Temporaire2 > Temporaire1 And i <> resultat(1) And i <> resultat(2) And i <>
◄resultat(3) And i <> resultat(4) And i <> resultat(5) And i <> resultat(6) Then
            Temporaire2 = Temporaire1
            Temporaire3 = i
        End If
    End If
    If Temps >= 30 And Temps < 60 Then
        Temporaire1 = Arrivee2(resultat(j - 1), i)
        If Temporaire2 > Temporaire1 And i <> resultat(1) And i <> resultat(2) And i <>
◄resultat(3) And i <> resultat(4) And i <> resultat(5) And i <> resultat(6) Then
            Temporaire2 = Temporaire1
            Temporaire3 = i
        End If
    End If
    If Temps >= 60 And Temps < 120 Then
        Temporaire1 = Arrivee1(resultat(j - 1), i)
        If Temporaire2 > Temporaire1 And i <> resultat(1) And i <> resultat(2) And i <>
◄resultat(3) And i <> resultat(4) And i <> resultat(5) And i <> resultat(6) Then
            Temporaire2 = Temporaire1
            Temporaire3 = i
        End If
    End If
        If Temps >= 120 And Temps < 180 Then
        Temporaire1 = Arrivee2(resultat(j - 1), i)
        If Temporaire2 > Temporaire1 And i <> resultat(1) And i <> resultat(2) And i <>
◄resultat(3) And i <> resultat(4) And i <> resultat(5) And i <> resultat(6) Then
            Temporaire2 = Temporaire1
            Temporaire3 = i
        End If
    End If
    If Temps >= 180 Then
    Temporaire1 = Arrivee3(resultat(j - 1), i)
        If Temporaire2 > Temporaire1 And i <> resultat(1) And i <> resultat(2) And i <>
◄resultat(3) And i <> resultat(4) And i <> resultat(5) And i <> resultat(6) Then
            Temporaire2 = Temporaire1
            Temporaire3 = i
        End If
    End If
  Next i
  resultat(j) = Temporaire3
  distance = distance + Temporaire2
  Temps = Temps + Temporaire2 + duree_reelle(resultat(j) - 1)
  Temporaire1 = 0
  Temporaire2 = 1000
Next j

If Temps >= 180 Then
  distance = distance + Arrivee3(Temporaire3, 1)
  Temps = Temps + Arrivee3(Temporaire3, 1)
End If
If Temps >= 120 And Temps < 180 Then
  distance = distance + Arrivee2(Temporaire3, 1)
```

```
    Temps = Temps + Arrivee2(Temporaire3, 1)
End If
If Temps >= 60 And Temps < 120 Then
    distance = distance + Arrivee1(Temporaire3, 1)
    Temps = Temps + Arrivee1(Temporaire3, 1)
End If
If Temps >= 30 And Temps < 60 Then
    distance = distance + Arrivee2(Temporaire3, 1)
    Temps = Temps + Arrivee2(Temporaire3, 1)
End If
If Temps < 30 Then
    distance = distance + Arrivee3(Temporaire3, 1)
    Temps = Temps + Arrivee3(Temporaire3, 1)
End If

'Moyennes

total = total + distance
moyenne = (total) / a

'Affichage des résultats

Afficher_situation_reelle

'réinitialisation

Temps2 = 0

distance2 = 0
Temporaire1 = 0
Temporaire2 = 1000

Solution_optimale

total2 = total2 + distance
moyenne2 = (total2) / a

Afficher_solution_optimale

Next a

Worksheets(1).Cells(18, 2) = moyenne
Worksheets(1).Cells(21, 2) = moyenne2
Worksheets(6).Cells(6, 3) = moyenne
Worksheets(6).Cells(7, 3) = moyenne2

End Sub
```

Figure B.8 Résolution du Cas 5

Exceptionnellement, le *Cas 6* n'est pas présenté puisqu'il n'apporte aucune nouvelle notion. Le *Cas 6* utilise les mêmes procédures que les 5 cas précédents et exploite l'algorithme de TDTSP du *Cas 4*. Cet algorithme est répété plusieurs fois en faisant de plus en plus appel aux durées réelles de visites au détriment des durées prévues. Il en résulte un code de plusieurs pages reprenant les éléments déjà présentés.

Voici la procédure permettant de calculer le temps de parcours réel. Ce code est utilisé par les procédures « Cas_1 », « Cas_2 », « Cas_3 », « Cas_4 », « Cas_5 » et « Cas_6 ».

```
Sub Ajuster_en_situation_reelle()

Temps = 0
distance = 0
Temporaire1 = 0

'solution initiale + délais

For i = 1 To 5
   If Temps < 30 Then
      Temporaire1 = Arrivee3(resultat(i), resultat(i + 1))
   End If
   If Temps >= 30 And Temps < 60 Then
      Temporaire1 = Arrivee2(resultat(i), resultat(i + 1))
   End If
   If Temps >= 60 And Temps < 120 Then
      Temporaire1 = Arrivee1(resultat(i), resultat(i + 1))
   End If
   If Temps >= 120 And Temps < 180 Then
      Temporaire1 = Arrivee2(resultat(i), resultat(i + 1))
   End If
   If Temps >= 180 Then
      Temporaire1 = Arrivee3(resultat(i), resultat(i + 1))
   End If
   distance = distance + Temporaire1
   Temps = Temps + Temporaire1 + duree_reelle(resultat(i + 1) - 1)
Next i

If Temps >= 180 Then
   distance = distance + Arrivee3(resultat(6), 1)
   Temps = Temps + Arrivee3(resultat(6), 1)
End If
```

```
If Temps >= 120 And Temps < 180 Then
   distance = distance + Arrivee2(resultat(6), 1)
   Temps = Temps + Arrivee2(resultat(6), 1)
End If
If Temps >= 60 And Temps < 120 Then
   distance = distance + Arrivee1(resultat(6), 1)
   Temps = Temps + Arrivee1(resultat(6), 1)
End If
If Temps >= 30 And Temps < 60 Then
   distance = distance + Arrivee2(resultat(6), 1)
   Temps = Temps + Arrivee2(resultat(6), 1)
End If
If Temps < 30 Then
   distance = distance + Arrivee3(resultat(6), 1)
   Temps = Temps + Arrivee3(resultat(6), 1)
End If


End Sub
```

Figure B.9 Calcul de la solution réelle

Exceptionnellement, la procédure « Solution_optimale » n'est pas présentée puisqu'elle n'apporte aucune nouvelle notion. Cette procédure utilise l'algorithme de TDTSP présenté au *Cas 4*, mais en se servant des durées réelles au lieu des durées prévues.

Lorsqu'on fait appel à la procédure automatisée, il faut pouvoir lier l'ensemble des procédures présentées plus haut de façon cohérente et ordonnée. C'est la raison d'être de la procédure « automatisation » montrée à la figure suivante. En plus de générer aléatoirement les 1000 ensembles de clients, ce code utilise, 500 fois pour chaque groupe de clients, les procédures « Cas_1 », « Cas_2 », « Cas_3 », « Cas_4 », « Cas_5 » et « Cas_6 ». Il calcule également les moyennes.

```
Sub automatisation()

effacer_tout

b = 1

d = Worksheets(1).Cells(48, 5).Value
z = Worksheets(1).Cells(49, 5).Value
```

```
Worksheets(1).Cells(56, 5).Value = "/  " & d

total_cas1 = 0
total2_cas1 = 0
total_cas2 = 0
total2_cas2 = 0
total_cas3 = 0
total2_cas3 = 0
total_cas4 = 0
total2_cas4 = 0
total_cas5 = 0
total2_cas5 = 0
total_cas6 = 0
total2_cas6 = 0

For c = 1 To d

   Liste(1) = 1

   For i = 2 To 6
      Liste(i) = 0
   Next i

   For i = 1 To 5
      Randomize
      Temp(i) = Int((20 - 2 + 1) * Rnd + 2)
   Next i

   If Temp(1) <> Temp(2) And Temp(1) <> Temp(3) And Temp(1) <> Temp(4) And Temp(1)
<> ◄Temp(5) And Temp(2) <> Temp(3) And Temp(2) <> Temp(4) And Temp(2) <> Temp(5)
And ◄Temp(3) <> Temp(4) And Temp(3) <> Temp(5) And Temp(4) <> Temp(5) Then

      For j = 1 To 5
         Ordre = 21
         For i = 1 To 5
            If Ordre > Temp(i) And Temp(i) <> Liste(1) And Temp(i) <> Liste(2) And Temp(i) <>
◄Liste(3) And Temp(i) <> Liste(4) And Temp(i) <> Liste(5) Then
               Ordre = Temp(i)
            End If
         Next i
         Liste(j + 1) = Ordre
      Next j

      Worksheets(1).Cells(56, 4).Value = c

      Worksheets(7).Cells(c + 9, 2).Value = c
      Worksheets(7).Cells(c + 9, 3).Value = Liste(1) & "-" & Liste(2) & "-" & Liste(3) & "-" &
◄Liste(4) & "-" & Liste(5) & "-" & Liste(6)

      Cas_1
```

```
    Worksheets(7).Cells(c + 9, 4).Value = moyenne
    Worksheets(7).Cells(c + 9, 5).Value = moyenne2
    Worksheets(7).Cells(c + 9, 6).Value = (Worksheets(7).Cells(c + 9, 4).Value -
◄Worksheets(7).Cells(c + 9, 5).Value)

    total_cas1 = total_cas1 + moyenne
    total2_cas1 = total2_cas1 + moyenne2

    Cas_2

    Worksheets(7).Cells(c + 9, 7).Value = moyenne
    Worksheets(7).Cells(c + 9, 8).Value = moyenne2
    Worksheets(7).Cells(c + 9, 9).Value = (Worksheets(7).Cells(c + 9, 7).Value -
◄Worksheets(7).Cells(c + 9, 8).Value)

    total_cas2 = total_cas2 + moyenne
    total2_cas2 = total2_cas2 + moyenne2

    Cas_3

    Worksheets(7).Cells(c + 9, 10).Value = moyenne
    Worksheets(7).Cells(c + 9, 11).Value = moyenne2
    Worksheets(7).Cells(c + 9, 12).Value = (Worksheets(7).Cells(c + 9, 10).Value -
◄Worksheets(7).Cells(c + 9, 11).Value)

    total_cas3 = total_cas3 + moyenne
    total2_cas3 = total2_cas3 + moyenne2

    Cas_4

    Worksheets(7).Cells(c + 9, 13).Value = moyenne
    Worksheets(7).Cells(c + 9, 14).Value = moyenne2
    Worksheets(7).Cells(c + 9, 15).Value = (Worksheets(7).Cells(c + 9, 13).Value -
◄Worksheets(7).Cells(c + 9, 14).Value)

    total_cas4 = total_cas4 + moyenne
    total2_cas4 = total2_cas4 + moyenne2

    Cas_5

    Worksheets(7).Cells(c + 9, 16).Value = moyenne
    Worksheets(7).Cells(c + 9, 17).Value = moyenne2
    Worksheets(7).Cells(c + 9, 18).Value = (Worksheets(7).Cells(c + 9, 16).Value -
◄Worksheets(7).Cells(c + 9, 17).Value)

    total_cas5 = total_cas5 + moyenne
    total2_cas5 = total2_cas5 + moyenne2

    Cas_6

    Worksheets(7).Cells(c + 9, 19).Value = moyenne
    Worksheets(7).Cells(c + 9, 20).Value = moyenne2
```

```
    Worksheets(7).Cells(c + 9, 21).Value = (Worksheets(7).Cells(c + 9, 19).Value -
◄Worksheets(7).Cells(c + 9, 20).Value)

    total_cas6 = total_cas6 + moyenne
    total2_cas6 = total2_cas6 + moyenne2

    If c Mod 5 = 0 Then
      ThisWorkbook.Save
    End If

  Else
    c = c - 1

  End If



Next c

moyenne_cas1 = total_cas1 / d
moyenne2_cas1 = total2_cas1 / d

Worksheets(7).Cells(5, 3).Value = moyenne_cas1
Worksheets(7).Cells(6, 3).Value = moyenne2_cas1
Worksheets(7).Cells(7, 3).Value = moyenne_cas1 - moyenne2_cas1

Worksheets(1).Cells(49, 9).Value = moyenne_cas1
Worksheets(1).Cells(49, 10).Value = moyenne2_cas1
Worksheets(1).Cells(49, 11).Value = moyenne_cas1 - moyenne2_cas1

moyenne_cas2 = total_cas2 / d
moyenne2_cas2 = total2_cas2 / d

Worksheets(7).Cells(5, 4).Value = moyenne_cas2
Worksheets(7).Cells(6, 4).Value = moyenne2_cas2
Worksheets(7).Cells(7, 4).Value = moyenne_cas2 - moyenne2_cas2

Worksheets(1).Cells(50, 9).Value = moyenne_cas2
Worksheets(1).Cells(50, 10).Value = moyenne2_cas2
Worksheets(1).Cells(50, 11).Value = moyenne_cas2 - moyenne2_cas2

moyenne_cas3 = total_cas3 / d
moyenne2_cas3 = total2_cas3 / d

Worksheets(7).Cells(5, 5).Value = moyenne_cas3
Worksheets(7).Cells(6, 5).Value = moyenne2_cas3
Worksheets(7).Cells(7, 5).Value = moyenne_cas3 - moyenne2_cas3

Worksheets(1).Cells(51, 9).Value = moyenne_cas3
Worksheets(1).Cells(51, 10).Value = moyenne2_cas3
Worksheets(1).Cells(51, 11).Value = moyenne_cas3 - moyenne2_cas3
```

```
moyenne_cas4 = total_cas4 / d
moyenne2_cas4 = total2_cas4 / d

Worksheets(7).Cells(5, 6).Value = moyenne_cas4
Worksheets(7).Cells(6, 6).Value = moyenne2_cas4
Worksheets(7).Cells(7, 6).Value = moyenne_cas4 - moyenne2_cas4

Worksheets(1).Cells(52, 9).Value = moyenne_cas4
Worksheets(1).Cells(52, 10).Value = moyenne2_cas4
Worksheets(1).Cells(52, 11).Value = moyenne_cas4 - moyenne2_cas4

moyenne_cas5 = total_cas5 / d
moyenne2_cas5 = total2_cas5 / d

Worksheets(7).Cells(5, 7).Value = moyenne_cas5
Worksheets(7).Cells(6, 7).Value = moyenne2_cas5
Worksheets(7).Cells(7, 7).Value = moyenne_cas5 - moyenne2_cas5

Worksheets(1).Cells(53, 9).Value = moyenne_cas5
Worksheets(1).Cells(53, 10).Value = moyenne2_cas5
Worksheets(1).Cells(53, 11).Value = moyenne_cas5 - moyenne2_cas5

moyenne_cas6 = total_cas6 / d
moyenne2_cas6 = total2_cas6 / d

Worksheets(7).Cells(5, 8).Value = moyenne_cas6
Worksheets(7).Cells(6, 8).Value = moyenne2_cas6
Worksheets(7).Cells(7, 8).Value = moyenne_cas6 - moyenne2_cas6

Worksheets(1).Cells(54, 9).Value = moyenne_cas6
Worksheets(1).Cells(54, 10).Value = moyenne2_cas6
Worksheets(1).Cells(54, 11).Value = moyenne_cas6 - moyenne2_cas6

Worksheets(1).Cells(58, 2).Value = Now()


b = 0

ThisWorkbook.Save

End Sub
```

Figure B.10 Procédure automatisée

La procédure suivante a été utilisée à plusieurs reprises par les codes déjà présentés mais n'a jamais été mentionnée. Il s'agit d'une procédure très simple permettant d'effacer du classeur Excel les résultats obtenus lors d'une simulation antérieure.

```
Sub effacer_tout()

Set mydocument = Worksheets(1)
With mydocument.Shapes
   For i = .Count To 1 Step -1
      With .Item(i)
         If .Connector Then .Delete
      End With
   Next
End With

For i = 1 To 20

Worksheets(1).Shapes(i + 6).Fill.ForeColor.RGB = RGB(255, 255, 255)
Worksheets(1).Shapes(i + 30).Fill.ForeColor.RGB = RGB(255, 255, 255)

Next i


Worksheets(1).Cells(28, 5).ClearContents
Worksheets(1).Cells(28, 10).ClearContents

Worksheets(1).Cells(18, 2).ClearContents
Worksheets(1).Cells(21, 2).ClearContents

Worksheets(1).Cells(30, 6).ClearContents
Worksheets(1).Cells(31, 6).ClearContents
Worksheets(1).Cells(33, 6).ClearContents
Worksheets(1).Cells(34, 6).ClearContents
Worksheets(1).Cells(30, 11).ClearContents
Worksheets(1).Cells(31, 11).ClearContents

Worksheets(1).Range("F36:L38").ClearContents

Worksheets(6).Range("B11:G1011").ClearContents
Worksheets(6).Cells(6, 3).ClearContents
Worksheets(6).Cells(7, 3).ClearContents

Worksheets(1).Range("I49:K54").ClearContents
Worksheets(1).Cells(56, 4).ClearContents
Worksheets(1).Cells(56, 5).ClearContents

Worksheets(7).Range("C5:H7").ClearContents
Worksheets(7).Range("B10:U1001").ClearContents

End Sub
```

Figure B.11 Initialisation

Les procédures d'affichage sont utilisées lorsque l'usager n'emploie pas la procédure automatisée. Ces procédures permettent d'inscrire les résultats dans le fichier Excel pour consultation ultérieure et trace les différents trajets calculés. La première procédure présentée permet l'affichage des résultats initiaux.

```
Sub Afficher_resultat_initiaux()

If b <> 1 Then 'Si la procedure n'est pas automatisée

If z = 1 Then


   Set mydocument = Worksheets(1)
   Set s = mydocument.Shapes

   Worksheets(1).Cells(30, 6).Value = distance1
   Worksheets(1).Cells(31, 6).Value = Temps1

   Worksheets(1).Cells(36, 6).Value = Liste(2)
   Worksheets(1).Cells(36, 7).Value = Liste(3)
   Worksheets(1).Cells(36, 9).Value = Liste(4)
   Worksheets(1).Cells(36, 10).Value = Liste(5)
   Worksheets(1).Cells(36, 11).Value = Liste(6)

   Worksheets(1).Cells(37, 6).Value = duree_prevue(1)
   Worksheets(1).Cells(37, 7).Value = duree_prevue(2)
   Worksheets(1).Cells(37, 9).Value = duree_prevue(3)
   Worksheets(1).Cells(37, 10).Value = duree_prevue(4)
   Worksheets(1).Cells(37, 11).Value = duree_prevue(5)

   If y < 5 Then

      Worksheets(1).Cells(28, 5).Value = Liste(resultat(1)) & "-" & Liste(resultat(2)) & "-" &
◄Liste(resultat(3)) & "-" & Liste(resultat(4)) & "-" & Liste(resultat(5)) & "-" & Liste(resultat(6)) &
◄"-" & Liste(resultat(1))

      For i = 1 To 6
         Worksheets(1).Shapes(Liste(resultat(i)) + 6).Fill.ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0)
         Set c = s.AddConnector(msoConnectorStraight, 0, 0, 0, 0)
         With c.ConnectorFormat
            .BeginConnect ConnectedShape:=mydocument.Shapes(Liste(resultat(i)) + 6),
◄ConnectionSite:=1
            .EndConnect ConnectedShape:=mydocument.Shapes(Liste(resultat(i + 1)) + 6),
◄ConnectionSite:=1
            c.RerouteConnections
         End With
      Next i
```

```
   End If
End If

End If

End Sub
```

Figure B.12 Affichage des résultats initiaux

De la même manière, la seconde procédure présentée permet l'affichage des résultats obtenus en situation réelle.

```
Sub Afficher_situation_reelle()

If b <> 1 Then 'Si la procedure n'est pas automatisée

If z = 1 Then

   Set mydocument = Worksheets(1)
   Set s = mydocument.Shapes

   Worksheets(1).Cells(38, 6).Value = duree_reelle(1)
   Worksheets(1).Cells(38, 7).Value = duree_reelle(2)
   Worksheets(1).Cells(38, 9).Value = duree_reelle(3)
   Worksheets(1).Cells(38, 10).Value = duree_reelle(4)
   Worksheets(1).Cells(38, 11).Value = duree_reelle(5)

   If y > 4 Then

      Worksheets(1).Cells(28, 5).Value = Liste(resultat(1)) & "-" & Liste(resultat(2)) & "-" &
◄Liste(resultat(3)) & "-" & Liste(resultat(4)) & "-" & Liste(resultat(5)) & "-" & Liste(resultat(6)) &
◄"-" & Liste(resultat(1))

      For i = 1 To 6
         Worksheets(1).Shapes(Liste(resultat(i)) + 6).Fill.ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0)
         Set c = s.AddConnector(msoConnectorStraight, 0, 0, 0, 0)
         With c.ConnectorFormat
            .BeginConnect ConnectedShape:=mydocument.Shapes(Liste(resultat(i)) + 6),
◄ConnectionSite:=1
            .EndConnect ConnectedShape:=mydocument.Shapes(Liste(resultat(i + 1)) + 6),
◄ConnectionSite:=1
            c.RerouteConnections
         End With
      Next i

   End If

   Worksheets(1).Cells(33, 6).Value = distance
   Worksheets(1).Cells(34, 6).Value = Temps
```

```
End If

Worksheets(6).Cells(10 + a, 2).Value = a
Worksheets(6).Cells(10 + a, 3).Value = distance

End If

End Sub
```

Figure B.13 Affichage de la solution réelle

La troisième procédure présentée permet l'affichage de la solution optimale.

```
Sub Afficher_solution_optimale()

If b <> 1 Then 'Si la procedure n'est pas automatisée

If z = 1 Then

   Set mydocument = Worksheets(1)
   Set s = mydocument.Shapes

   For i = 1 To 6
      Worksheets(1).Shapes(Liste(resultat2(i)) + 30).Fill.ForeColor.RGB = RGB(255, 0, 0)
      Set c = s.AddConnector(msoConnectorStraight, 0, 0, 0, 0)
      With c.ConnectorFormat
         .BeginConnect ConnectedShape:=mydocument.Shapes(Liste(resultat2(i)) + 30),
◄ConnectionSite:=1
         .EndConnect ConnectedShape:=mydocument.Shapes(Liste(resultat2(i + 1)) + 30),
◄ConnectionSite:=1
         c.RerouteConnections
      End With
   Next i

   Worksheets(1).Cells(30, 11) = distance
   Worksheets(1).Cells(31, 11) = Temps

   Worksheets(1).Cells(28, 10).Value = Liste(resultat2(1)) & "-" & Liste(resultat2(2)) & "-" &
◄Liste(resultat2(3)) & "-" & Liste(resultat2(4)) & "-" & Liste(resultat2(5)) & "-" &
◄Liste(resultat2(6)) & "-" & Liste(resultat2(1))


End If

Worksheets(6).Cells(10 + a, 4).Value = distance
Worksheets(6).Cells(10 + a, 5).Value = (Worksheets(6).Cells(10 + a, 3) -
◄Worksheets(6).Cells(10 + a, 4))
Worksheets(6).Cells(10 + a, 7).Value = resultat2(1) & "-" & resultat2(2) & "-" & resultat2(3) & "-
" ◄& resultat2(4) & "-" & resultat2(5) & "-" & resultat2(6) & "-" & resultat2(1)
```

```
End If

End Sub
```

Figure B.14 Affichage de la solution optimale

ANNEXE C : RÉSULTATS COMPLÉMENTAIRES

Cette section contient des tableaux de résultats, ainsi que quelques figures, qui n'ont pas été inclus dans le chapitre 5 afin d'alléger le corps du texte. Les conclusions tirées de ces éléments ont déjà été présentées, mais observer les données brutes permet d'obtenir quelques détails complémentaires. Nous n'allons donc pas ici reprendre les analyses du chapitre 5 mot à mot, mais simplement offrir la possibilité de visualiser les résultats obtenus.

Les six premières figures sont en lien direct avec la section 5.1.2 et présentent la distribution des écarts par rapport à l'optimal pour chaque algorithme.

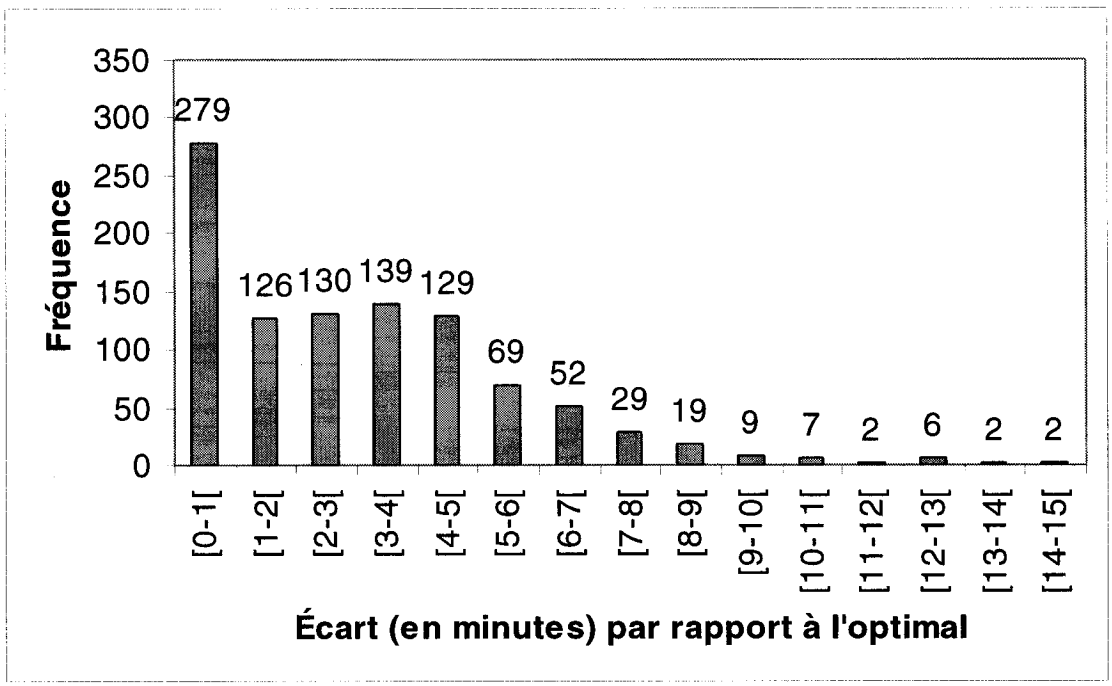


Figure C.1 Distribution des résultats obtenus à l'aide du Cas 1

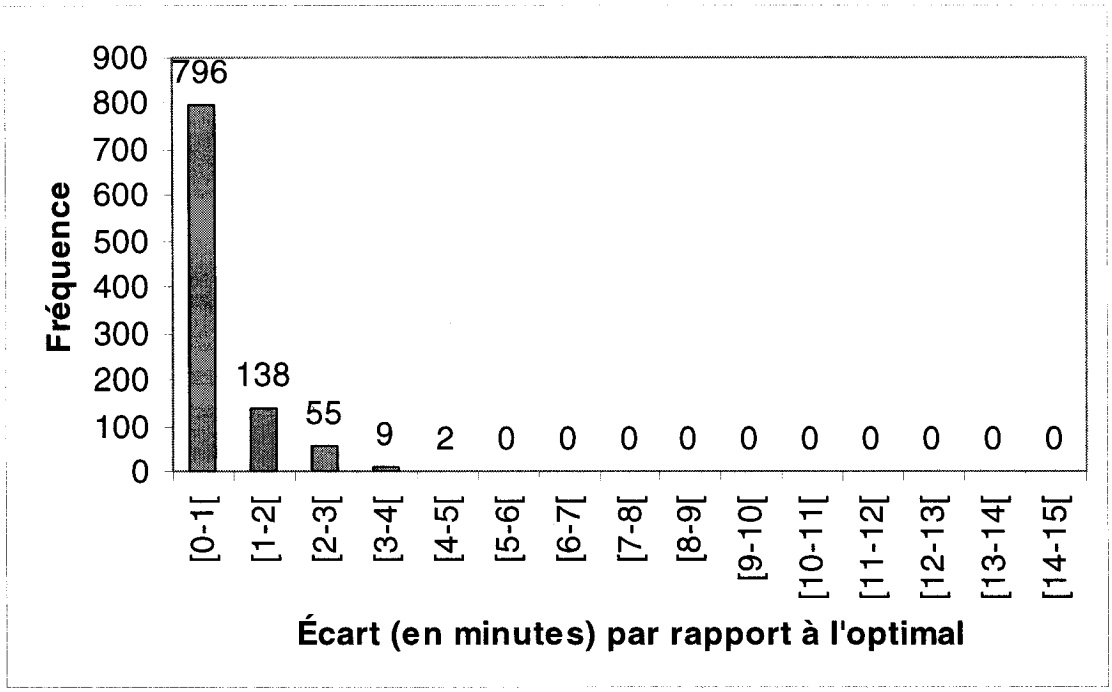


Figure C.2 Distribution des résultats obtenus à l'aide du Cas 2

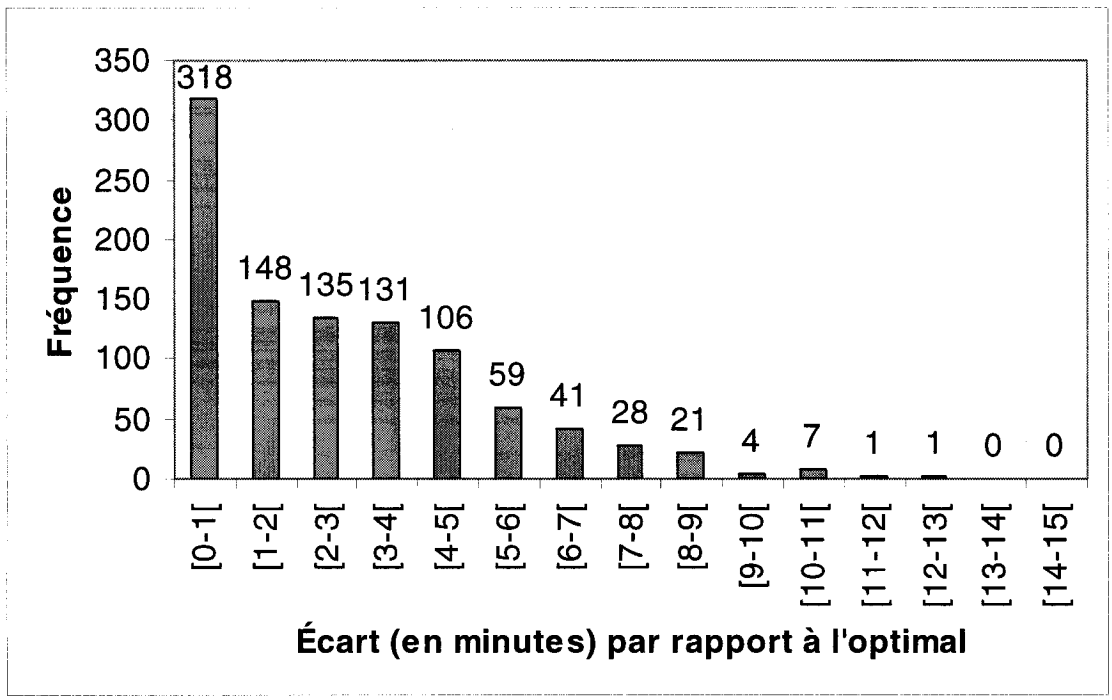


Figure C.3 Distribution des résultats obtenus à l'aide du Cas 3

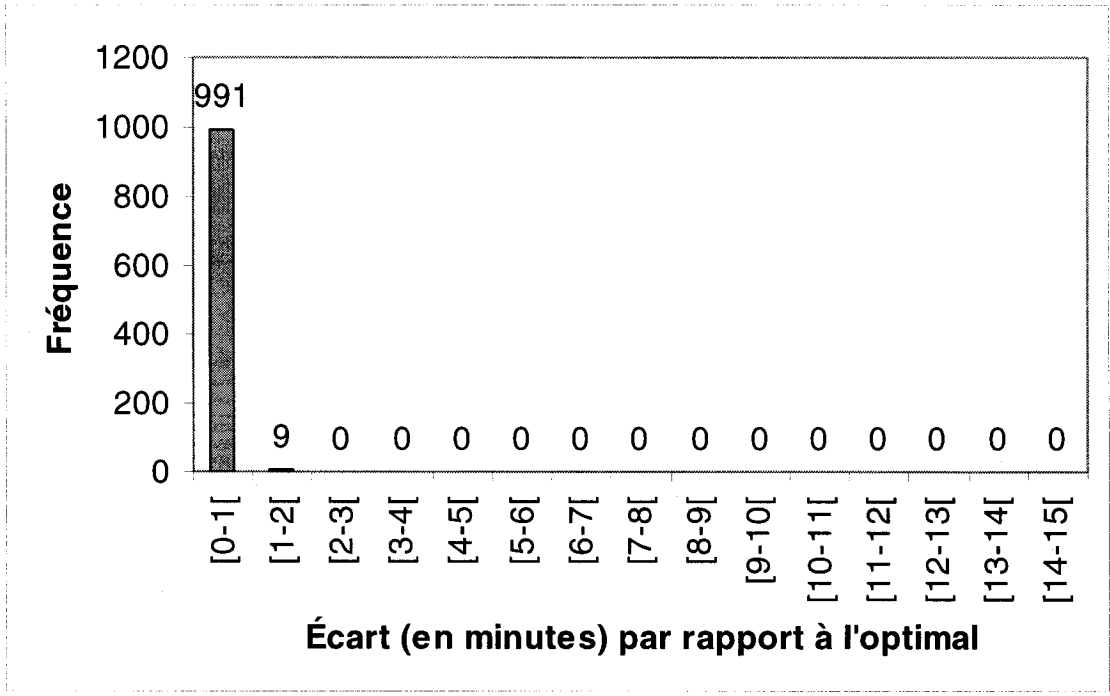


Figure C.4 Distribution des résultats obtenus à l'aide du Cas 4

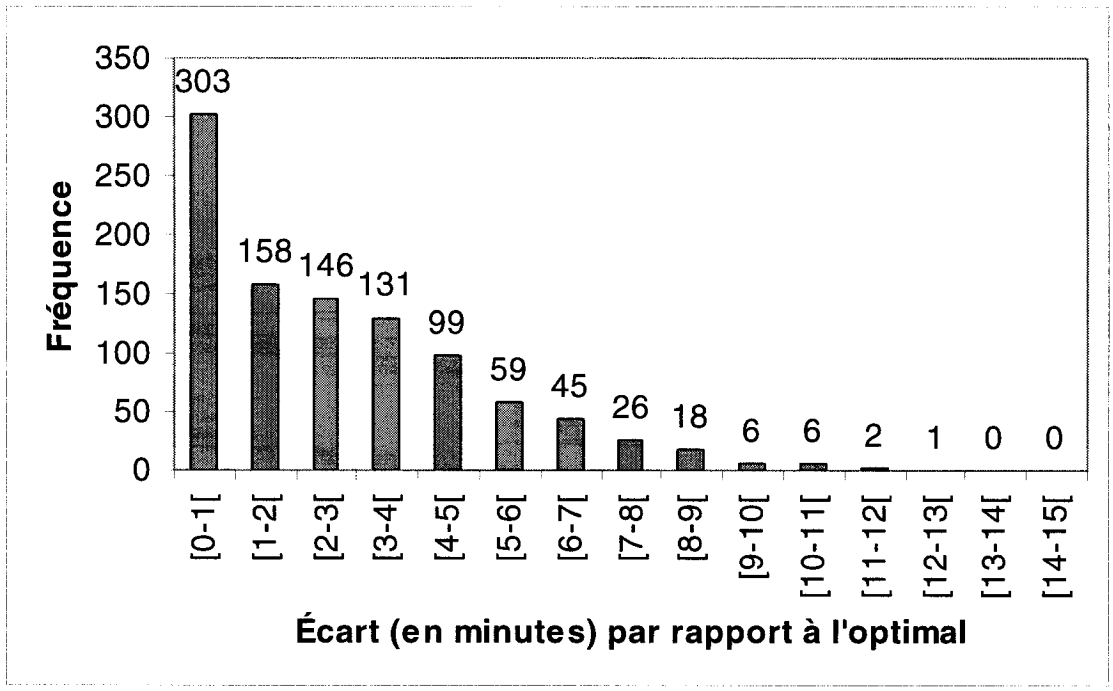


Figure C.5 Distribution des résultats obtenus à l'aide du Cas 5

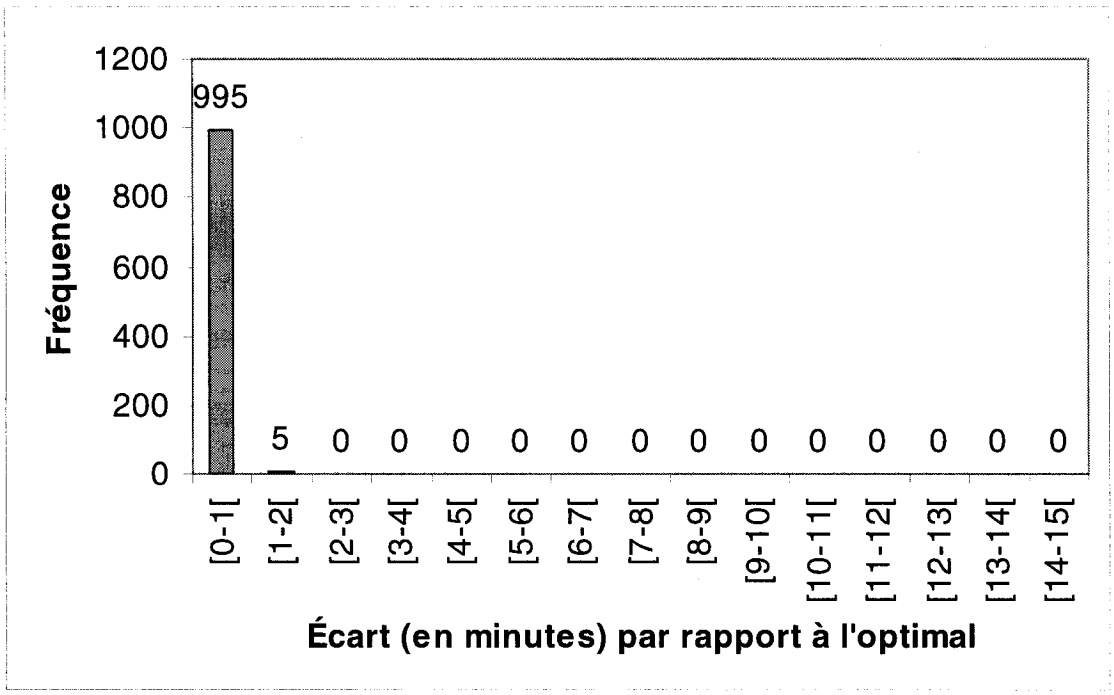


Figure C.6 Distribution des résultats obtenus à l'aide du Cas 6

Les cinq figures qui suivent sont présentées en complément de la Figure 5.1 de la section 5.1.2.

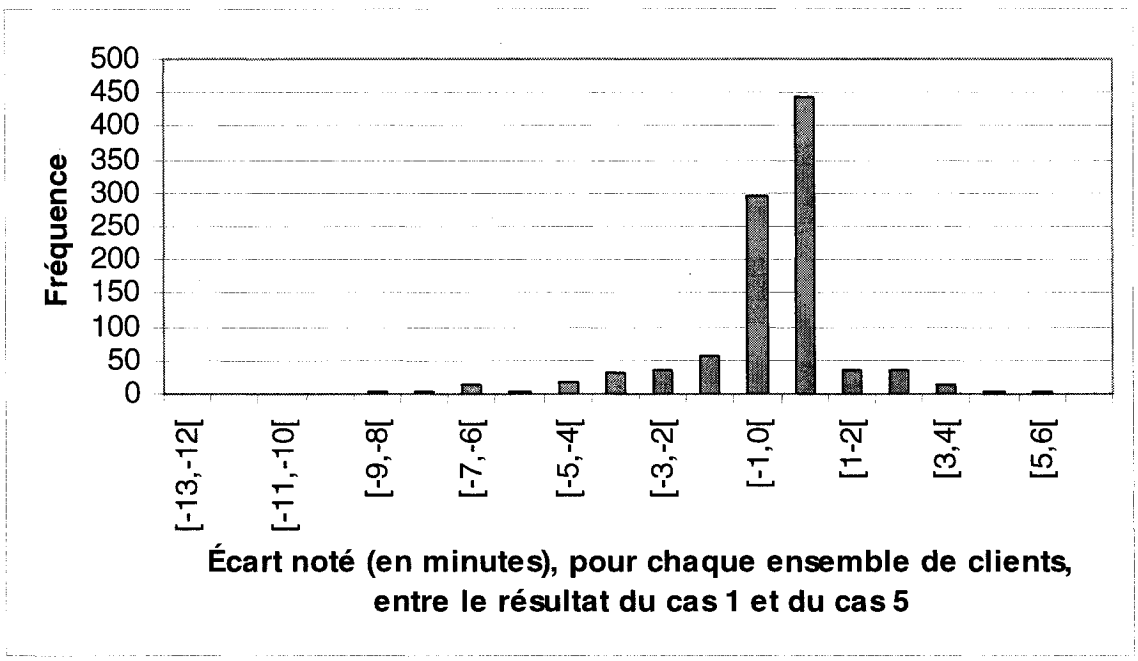


Figure C.7 Performance du Cas 1 par rapport au Cas 5

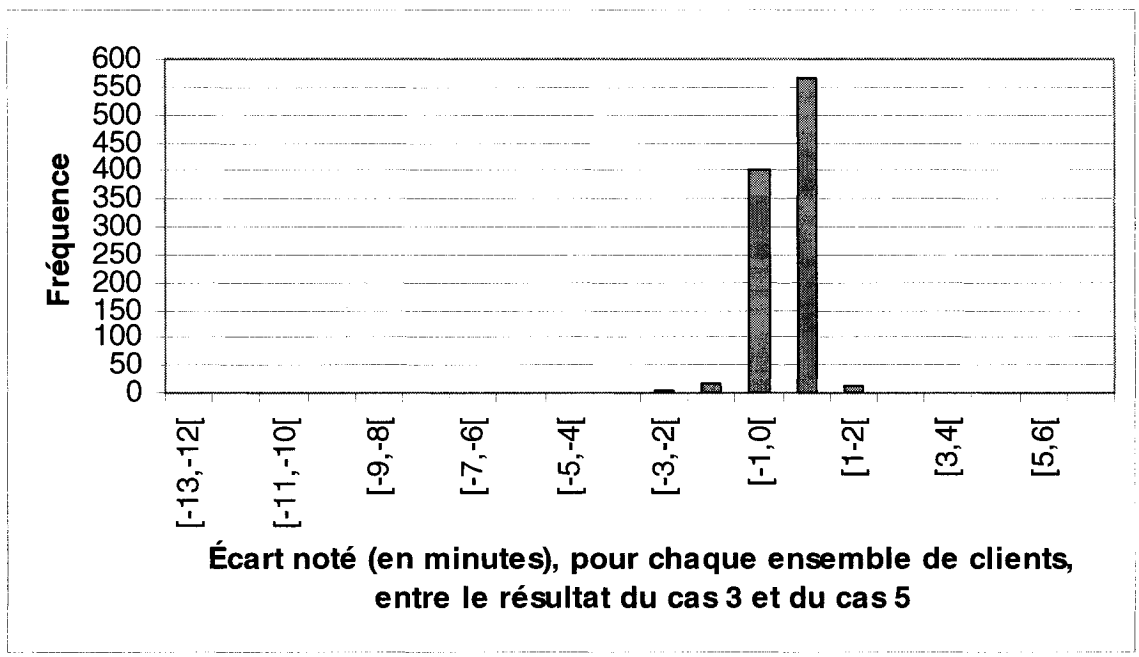


Figure C.8 Performance du Cas 3 par rapport au Cas 5

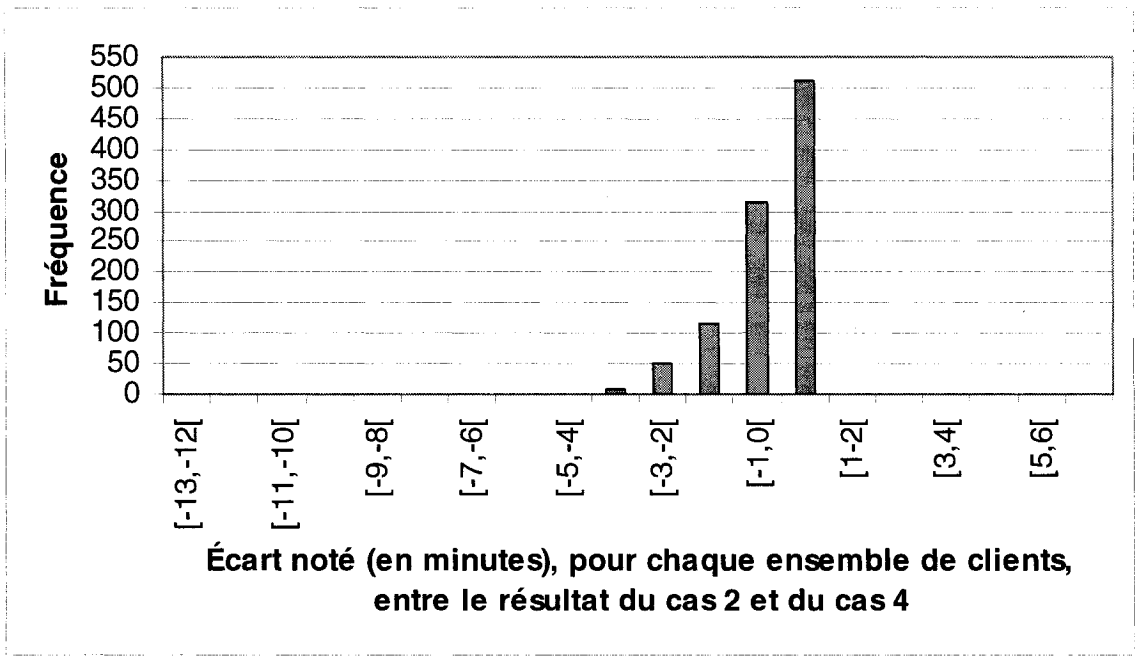


Figure C.9 Performance du Cas 2 par rapport au Cas 4

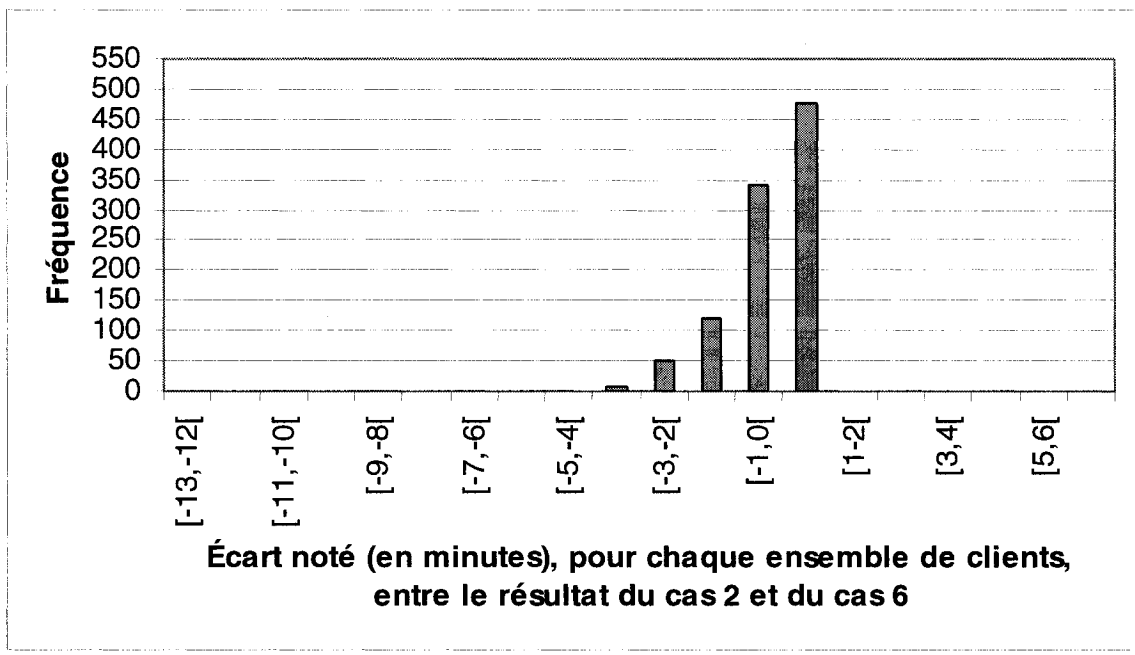


Figure C.10 Performance du Cas 2 par rapport au Cas 6

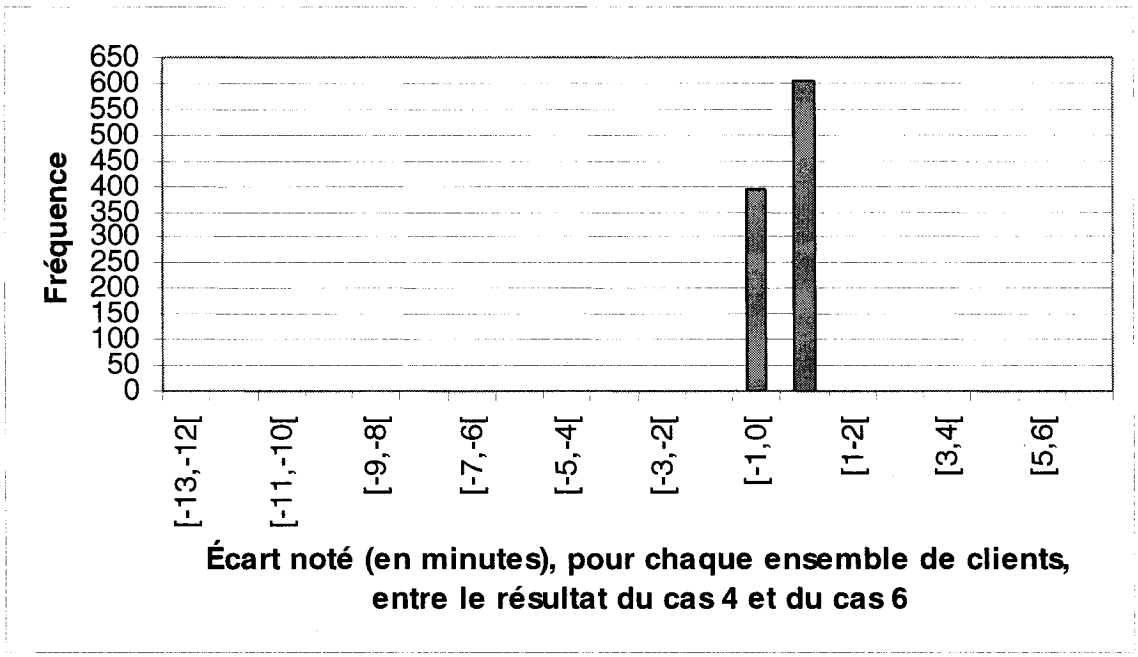


Figure C.11 Performance du Cas 4 par rapport au Cas 6

Les quatre tableaux qui suivent présentent les résultats obtenus lors des simulations additionnelles voulant mesurer l'effet du trafic.

Tableau C.1 Résultats lorsque les valeurs de trafic a et b valent 1,1 et 1,2

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	30,1188	27,7444	30,1421	27,5977	30,1411	27,5906
Temps optimal (min)	27,5781	27,5784	27,5781	27,5782	27,5780	27,5778
Différence (min)	2,5407	0,1660	2,5640	0,0195	2,5631	0,0128
Différence (%)	9,21%	0,60%	9,30%	0,07%	9,29%	0,05%

Tableau C.2 Résultats lorsque les valeurs de trafic a et b valent 1,2 et 1,4

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	31,3799	28,9499	31,2702	28,6231	31,2613	28,6075
Temps optimal (min)	28,5538	28,5541	28,5540	28,5536	28,5540	28,5526
Différence (min)	2,8262	0,3958	2,7161	0,0695	2,7073	0,0548
Différence (%)	9,90%	1,39%	9,51%	0,24%	9,48%	0,19%

Tableau C.3 Résultats lorsque les valeurs de trafic a et b valent 1,4 et 1,8

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	33,7412	31,3449	33,6721	30,7293	33,6641	30,6894
Temps optimal (min)	30,5044	30,5025	30,5031	30,5039	30,5034	30,5019
Différence (min)	3,2368	0,8424	3,1690	0,2254	3,1608	0,1875
Différence (%)	10,61%	2,76%	10,39%	0,74%	10,36%	0,61%

Tableau C.4 Résultats lorsque les valeurs de trafic a et b valent 1,5 et 2,0

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	34,4315	32,0887	34,3698	31,3063	34,3530	31,2443
Temps optimal (min)	31,0273	31,0293	31,0263	31,0302	31,0300	31,0286
Différence (min)	3,4041	1,0594	3,3436	0,2761	3,3229	0,2157
Différence (%)	10,97%	3,41%	10,78%	0,89%	10,71%	0,70%

Les deux tableaux qui suivent présentent les résultats obtenus lors des simulations additionnelles voulant mesurer l'effet des distances.

Tableau C.5 Résultats lorsque les distances sont divisées par deux

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	32,6282	30,0554	32,3089	29,6303	32,2914	29,5996
Temps optimal (min)	29,5091	29,5090	29,5097	29,5085	29,5093	29,5078
Différence (min)	3,1191	0,5464	2,7992	0,1218	2,7820	0,0918
Différence (%)	10,57%	1,85%	9,49%	0,41%	9,43%	0,31%

Tableau C.6 Résultats lorsque les distances sont multipliées par deux

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	66,2031	60,7831	65,6306	59,8781	65,5359	59,7937
Temps optimal (min)	59,6103	59,6105	59,6109	59,6127	59,6121	59,6094
Différence (min)	6,5927	1,1725	6,0197	0,2655	5,9238	0,1843
Différence (%)	11,06%	1,97%	10,10%	0,45%	9,94%	0,31%

Les deux tableaux qui suivent présentent les résultats obtenus lors des simulations additionnelles voulant mesurer l'effet du temps de service.

Tableau C.7 Résultats lorsque les durées sont bonifiées de 15 minutes

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	32,9100	30,3188	32,5634	29,8227	32,5542	29,8109
Temps optimal (min)	29,7737	29,7750	29,7739	29,7740	29,7748	29,7741
Différence (min)	3,1364	0,5438	2,7895	0,0487	2,7794	0,0368
Différence (%)	10,53%	1,83%	9,37%	0,16%	9,33%	0,12%

Tableau C.8 Résultats lorsque les durées sont bonifiées de 30 minutes

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	33,5134	30,8831	33,2343	30,3711	33,1965	30,3361
Temps optimal (min)	30,2749	30,2746	30,2751	30,2749	30,2745	30,2753
Différence (min)	3,2385	0,6085	2,9592	0,0962	2,9220	0,0608
Différence (%)	10,70%	2,01%	9,77%	0,32%	9,65%	0,20%

Les cinq tableaux qui suivent présentent les résultats obtenus lors des simulations additionnelles voulant tester l'effet du caractère imprévisible du temps de service.

Tableau C.9 Résultats lorsqu'il n'y a aucune variabilité

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	32,8134	30,1828	32,4930	29,6856	32,4930	29,6856
Temps optimal (min)	29,6856	29,6856	29,6856	29,6856	29,6856	29,6856
Différence (min)	3,1278	0,4972	2,8074	0,0000	2,8074	0,0000
Différence (%)	10,54%	1,67%	9,46%	0,00%	9,46%	0,00%

Tableau C.10 Résultats lorsqu'il y a une variation de 10%

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	33,4610	30,9960	33,1458	30,5802	33,1756	30,6028
Temps optimal (min)	30,3440	30,3440	30,3440	30,3440	30,3440	30,3440
Différence (min)	3,1170	0,6520	2,8018	0,2362	2,8316	0,2588
Différence (%)	10,27%	2,15%	9,23%	0,78%	9,33%	0,85%

Tableau C.11 Résultats lorsqu'il y a une variation de 20%

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	33,3474	30,9466	33,0408	30,5352	33,0928	30,5252
Temps optimal (min)	30,3098	30,3098	30,3098	30,3098	30,3098	30,3098
Différence (min)	3,0376	0,6368	2,7310	0,2254	2,7830	0,2154
Différence (%)	10,02%	2,10%	9,01%	0,74%	9,18%	0,71%

Tableau C.12 Résultats lorsqu'il y a une variation de 30%

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	33,4990	31,0330	33,1760	30,6034	33,1552	30,5988
Temps optimal (min)	30,3872	30,3872	30,3872	30,3872	30,3872	30,3872
Différence (min)	3,1118	0,6458	2,7888	0,2162	2,7680	0,2116
Différence (%)	10,24%	2,13%	9,18%	0,71%	9,11%	0,70%

Tableau C.13 Résultats lorsqu'il y a une variation de 40%

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	33,5854	31,1316	33,2926	30,7100	33,2842	30,7146
Temps optimal (min)	30,4758	30,4758	30,4758	30,4758	30,4758	30,4758
Différence (min)	3,1096	0,6558	2,8168	0,2342	2,8084	0,2388
Différence (%)	10,20%	2,15%	9,24%	0,77%	9,22%	0,78%

Le dernier tableau présente les résultats obtenus lors de la simulation utilisant six matrices de temps plutôt que trois.

Tableau C.14 Résultats détaillés de la simulation à 6 matrices de distances

	Cas 1 Plus proche voisin	**Cas 2** TSP	**Cas 3** Plus proche voisin (trafic)	**Cas 4** TDTSP	**Cas 5** Plus proche voisin (temps réel)	**Cas 6** TDTSP réajusté
Temps de parcours (min)	30,0448	27,7213	30,0657	27,6320	30,0682	27,6182
Temps optimal (min)	27,5481	27,5473	27,5475	27,5476	27,5475	27,5477
Différence (min)	2,4967	0,1741	2,5182	0,0844	2,5207	0,0705
Différence (%)	9,06%	0,63%	9,14%	0,31%	9,15%	0,26%