

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN PRATIQUE
D'UN MODÈLE COMBINÉ DISTRIBUTION-AFFECTATION

— CAS MARSEILLAIS SOUS EMME/2 —

MURIEL MARIOTTO
DÉPARTEMENT DES GÉNIES CIVIL, GÉOLOGIQUE ET DES MINES
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

MÉMOIRE PRÉSENTÉ EN VUE DE L'OBTENTION
DU DIPLÔME DE MAÎTRISE ÈS SCIENCES APPLIQUÉES
(GÉNIE CIVIL)
MAI 2003



Library and
Archives Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Published Heritage
Branch

Direction du
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

ISBN: 0-494-01365-6

Our file Notre référence

ISBN: 0-494-01365-6

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 protègent 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.

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

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

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

UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL
ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL

Ce mémoire intitulé :

DÉVELOPPEMENT ET MISE EN PRATIQUE
D'UN MODÈLE COMBINÉ DISTRIBUTION-AFFECTATION

— CAS MARSEILLAIS SOUS EMME/2 —

présenté par : MARIOTTO Muriel

en vue de l'obtention du diplôme de : Maîtrise ès sciences appliquées
a été dûment accepté par le jury constitué de :

M. TRÉPANIÉ Martin, Ph.D., président

M. BAASS Karsten, Ph.D., membre et directeur de recherche

M. FLORIAN Michael, Ph.D., membre et codirecteur de recherche

M. FERLAND Jacques, Ph.D., membre

"Eh bien Watson,
dit Holmes, n'est-il pas curieux
qu'il faille parfois connaître l'avenir
avant que de connaître le passé ?"

R. Smullyan

REMERCIEMENTS

A Karsten Baass qui a accepté de diriger cette maîtrise de recherche.

A Mike Florian pour son soutien, sa patience, et sa confiance témoignée en acceptant la codirection. Ce fut un réel plaisir que d'apprendre de cet excellent professeur.

A INRO Consultants, Inc. pour leur très utile formation d'introduction à EMME/2, et leur disponibilité.

A Fabienne Dejean, du CETE Méditerranée, pour la mise à disposition des données du modèle de trafic de la ville de Marseille.

A Jean-Louis Valgalier, également du CETE Méditerranée, pour son enthousiasme sur les résultats à espérer de ce travail, ainsi que pour sa confiance.

RÉSUMÉ

Ce mémoire de maîtrise traite de la mise en application sur la ville de Marseille d'un modèle d'affectation rétroactif sur la phase de distribution des déplacements dans la planification des transports. Il a fallu, tout d'abord, prendre connaissance du contexte de cette mise en application, à savoir la problématique des déplacements motorisés à l'heure de pointe du soir à Marseille ¹.

Ce contexte n'a eu de cesse d'inspirer la réflexion de ce mémoire. L'observation qui a pu en être tirée de la constance du budget temps de déplacement pour une personne résidant dans le bassin marseillais fonde la problématique de cette recherche. L'analyse des données considérées comme significatives de ce contexte interfère étroitement avec sa compréhension et sa modélisation. Ainsi, un chapitre entier sera dédié à cette analyse et se verra complété par une analyse théorique du modèle combiné affectation-distribution. Une formalisation adaptée à la problématique en découlera. Ce procédé d'affectation amélioré constituant potentiellement un moyen de mieux rendre compte des observations du contexte, sera évalué sur la ville de Marseille. En concluant de la validité du modèle quant aux objectifs théoriques (stabilité de la boucle et respect de la contrainte de temps), il sera possible d'éclairer le contexte et les problèmes de la formalisation de sa modélisation actuelle.

Ce mémoire fournit donc les éléments d'une réflexion approfondie vers une amélioration du modèle de trafic de la ville de Marseille et pour tout autre modèle qui prendrait en considération une contrainte de temps.

¹ville d'un million d'habitants environ du sud de la France

ABSTRACT

This report of a master deals with implementing an assignment model actively combined with the distributive step. It has first been necessary to have a precise knowledge of the context of such implementing, that is to say the issue of motorized transports at the evening-rush hour in Marseilles, a million-inhabitants city of the South of France.

This context has kept inspiring the searching approach. The observation that could be made from the constancy of individual time budget in Marseilles, constitutes the bases of such a research. The data analysis regarded as relevant of the situation is tightly linked to its understanding and its modelling. Thus a whole chapter will be dedicated to this analysis and will be achieved thanks to a theoretical analysis of the combined model. An adapted implementation of the issue will follow. This improved assignment process which is likely to constitute a means of taking into account the observations of such context in the modelling process, will be assed in the city of Marseilles. By concluding on the reliability of our combined model as regards the theoretical target (back feed process stability and respect of a time constraint), it will be possible to make the context clearer and also to account for a better modeling process.

Hence this report provides the bases of a deeper analysis towards an improved transport model for the city of Marseilles and for any other models that would take a time constraint into account.

TABLE DES MATIÈRES

DÉDICACE	iv
REMERCIEMENTS	v
RÉSUMÉ	vi
ABSTRACT	vii
TABLE DES MATIÈRES	viii
LISTE DES FIGURES	x
LISTE DES TABLEAUX	xiv
LISTE DES ANNEXES	xv
SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xvi
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : ESQUISSE DES MOTIVATIONS	1
CHAPITRE 2 : PRÉSENTATION DES DONNÉES	7
2.1 Le type de données à disposition	8
2.2 Détails des données à disposition	12
2.2.1 Dans le cadre de la codification du réseau	12
2.2.2 Dans le cadre de la reconstitution de la matrice interne de la demande	15
2.2.3 Dans le cadre de l'augmentation de la matrice interne aux zones externes	34
2.3 Récapitulatif des résultats d'affectation	49

CHAPITRE 3 : ADAPTATION DES MODÈLES MATHÉMATIQUES	
SÉLECTIONNÉS COMME PERTINENTS	51
3.1 . Quelques rappels	51
3.1.1 La modélisation sous EMME/2	51
3.1.2 La procédure affectation-distribution combinée	52
3.2 Revue des modèles et algorithmes	53
3.2.1 Dans le cadre de l'étape de distribution des voyages	53
3.2.2 Dans le cadre de l'étape d'affectation de la demande sur le réseau	59
3.2.3 Dans le cadre d'une combinaison des étapes de distribution et d'affec- tation	80
CHAPITRE 4 : MISE EN OEUVRE DU MODÈLE	89
4.1 Un préliminaire :	89
4.2 Un enjeu : Son affectation	91
4.2.1 Présentation de la démarche	91
4.2.2 Formalisation de la démarche	100
4.3 Evaluation des résultats	116
CONCLUSION	121
RÉFÉRENCES	125
ANNEXES	129

LISTE DES FIGURES

2.1	Capacités en 1990 issues de la banque 90	13
2.2	Capacités en 1997 issues de la banque 2000	14
2.3	Affectation de la matrice interne reconstituée par CETE - situation 1990	27
2.4	Répartition des temps de parcours dans le cadre de l'affectation de la matrice interne - situation 1990	28
2.5	Répartition des distances parcourues dans le cadre de l'affectation de la matrice interne - situation 1990	29
2.6	Affectation de la matrice interne reconstituée par CETE - situation 1997	30
2.7	Répartition des temps de parcours dans le cadre de l'affectation de la matrice interne -situation 1997	31
2.8	Augmentation prévue par modèle du temps moyen de parcours HPS pour la seulee affectation de la matrice interne entre 1990 et 1997 . .	32
2.9	Répartition des distances parcourues dans le cadre de l'affectation de la matrice interne 1997	33
2.10	Valeurs pour le transit rentrées dans le modèle CETE	35
2.11	Résultat de l'affectation de la matrice totale - situation 90	37
2.12	Comparaison de la répartition des temps de parcours entre l'afecta- tion de la matrice totale et l'interne pour 1990	37
2.13	Comparaison de la répartition des distances parcourues entre l'affec- tation de la matrice totale et l'interne pour 1990	38
2.14	Comptages entre 1988 et 1992 issues de la banque 90	40
2.15	Comparaison entre comptages et trafic modélisé par le CETE pour 1990	41
2.16	Identification des liens où difficultés de calage - situation 90	42

2.17	Résultat de l'affectation de la matrice totale - situation 97	43
2.18	Comparaison de la répartition des temps de parcours entre l'affecta- tion de la matrice totale et celle de la matrice interne en 1997	44
2.19	Comparaison du temps moyen de parcours HPS entre 1990 et 1997	45
2.20	Comparaison de la répartition des distances entre l'affectation de la matrice totale et celle de la matrice interne en 1997	45
2.21	Comptages entre 1994 et 1997 issues de la banque 2000	46
2.22	Comparaison entre comptages et trafic modélisé par le CETE pour 1997	47
2.23	Identification des liens où difficultés de calage - situation 97	48
4.1	Shéma de principe de l'affectation combinée distribution-affectation	95
4.2	Schéma de principe - détail du process itératif	96
4.3	Principe de la macro qui fait la moyenne sur la demande	97
4.4	Principe de la macro qui fait la moyenne sur les trafics	98
4.5	Principe de la macro qui fait la moyenne sur la demande et sur les trafics	99
4.6	Evolution des temps moyens au cours du processus itératif - situation 1990	101
4.7	Evolution des temps moyens au cours du processus itératif - situation 1997	101
4.8	Evolution de la répartition des temps suite au calage de théta - situa- tion 1990	102
4.9	Evolution de la répartition des temps suite au calage de théta - situa- tion 1997	102
4.10	Déformation de la structure de la matrice de demande interne accen- tuée quand non représentation des zones où demande nulle initialle- ment - situation 90	103
4.11	Faible déformation de la structure de la matrice de demande interne quand non représentation des zones où demande nulle initialement - situation 97	104

4.12	Déformation de la répartition des temps de parcours entre une première et une seconde affectation à l'équilibre avec application du modèle de distribution les séparant - situation 90	105
4.13	Déformation de la répartition des temps de parcours entre une première et une seconde affectation à l'équilibre avec application du modèle de distribution les séparant - situation 97	105
4.14	Chronologie des différences relatives en moyenne et en max sur l'ensemble des paires OD pour la demande entre deux itérations - situation 90	107
4.15	Chronologie des différences relatives en moyenne et en max sur l'ensemble des paires OD pour la demande entre deux itérations - situation 97	107
4.16	L'affectation à l'équilibre de la matrice résultat du process d'affectation combinée conduit à la même répartition des temps de déplacements que celle combinée de la matrice initiale - situation 90	108
4.17	L'affectation à l'équilibre de la matrice résultat du process d'affectation combinée conduit à la même répartition des temps de déplacements que celle combinée de la matrice initiale - situation 97	108
4.18	Quasi stabilité de la répartition des temps de parcours entre une première et une seconde affectation à l'équilibre de la matrice issue du modèle d'affectation combiné avec application du modèle de distribution entre - situation 90	109
4.19	Quasi stabilité de la répartition des temps de parcours entre une première et une seconde affectation à l'équilibre de la matrice issue du modèle d'affectation combiné avec application du modèle de distribution entre - situation 97	110
4.20	Comparaison des répartitions des temps entre le résultat de l'affectation à l'équilibre et celle combinée - situation 90	111
4.21	Comparaison des répartitions des temps entre le résultat de l'affectation à l'équilibre et celle combinée - situation 97	112
4.22	Prise en compte de la contrainte de temps lors de la phase de calage du θ	113
4.23	Stabilité du bouclage affectation - distribution - situation 90	113

4.24	Stabilité du bouclage affectation - distribution - situation 97	114
4.25	Comparaison des répartitions des temps de parcours liées à l'affectation combinée et celle à l'équilibre de la matrice interne CETE - situation 90	115
4.26	Comparaison des répartitions des temps de parcours liées à l'affectation combinée et celle à l'équilibre de la matrice interne CETE - situation 97	115
4.27	Comparaison des répartitions des distances parcourues dans le cas de l'affectation combinée et dans le cas de l'affectation à l'équilibre de la matrice initiale - situation 90	117
4.28	Comparaison des répartitions des distances parcourues dans le cas de l'affectation combinée et dans le cas de l'affectation à l'équilibre de la matrice initiale - situation 97	117
4.29	Comparaison des trafics, en bleu selon la méthode combinée, ajouté en rouge l'absolu de la différence entre les deux types d'affectations - situation 1990	118
4.30	Comparaison des trafics, en bleu selon la méthode combinée, ajouté en rouge l'absolu de la différence entre les deux types d'affectations - situation 1997	118
31	Répartition de la population en 1990	131
32	Différenciel de population entre 1990 et 1997	132
33	Répartition de l'emploi en 1990	133
34	Différenciel de l'emploi entre 1990 et 1997	134
35	Répartition de l'emploi tertiaire en 1990	135
36	Différenciel de l'emploi tertiaire entre 1990 et 1997	136

LISTE DES TABLEAUX

1.1	Comparaison entre les résultats d'affectation du modèle CETE pour la décennie à venir et ceux des enquêtes ménages déplacements pour la dernière décennie	2
1.2	Evolution des budgets temps sur le bassin marseillais au cours de la dernière décennie	4
1.3	Evolution des temps moyens journaliers tous modes sur le bassin marseillais au cours de la dernière décennie	5
1.4	Evolution des temps moyens HPS pour la voiture particulière sur le bassin marseillais au cours de la dernière décennie	5
2.1	Récapitulatif des principaux résultats des affectations des matrices CETE 1990 et 1997 en comparaison avec les résultats des EMD . . .	49
4.1	Résultats comparatifs entre affectations du modèle et enquêtes ménages déplacements	119
2	Récapitulatif de la procédure de création de la matrice	145
3	Suite du récapitulatif de la procédure de création de la matrice . . .	146
4	Matrice1990	180
5	Matrice1997	185

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : Extensions des fichiers pour une modélisation sous OPERA.....	125
ANNEXE 2 : Analyse géographique des fichiers inputs du modèle (CETE) de génération.....	127
ANNEXE 3 : Utilitaire développé sous MATLAB pour représenter des histogrammes de plus de 2 matrices.....	133
ANNEXE 4 : A propos de la recomposition de la matrice demande selon la méthode OPERA.....	138
ANNEXE 5 : Macros du modèle d'affectation-distribution programmé.....	165
ANNEXE 6 : A propos de la structure des matrices résultantes du modèle d'affectation combinée.....	187

SIGLES ET ABRÉVIATIONS

2R : Deux Roues (motorisés)

CETE : Centre d'Études Technique de l'Équipement, organisme d'état dépendant du ministère de l'Équipement français

CERTU : Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques, organisme d'état dépendant du ministère de l'Équipement français

EMD : Enquêtes Ménages Déplacements

EMME/2 : Logiciel de modélisation des transports urbains de voyageurs, développé par INRO Consultants, Inc.

INRO : INRO Consultants, Inc. à Montréal

HPS : Heure de Pointe du Soir

MATLAB : Logiciel développé par The MathWorks, Inc. offrant un environnement de calculs très performant

OD : Origine-Destination

OPERA : Logiciel de prévision de trafic urbain mono-modal, développé, maintenu et commercialisé par le CETE Méditerranée

SIG : Système d'Information Géographique

TC : Transport Collectif

TCAM : Taux de Croissance Annuel Moyen

UVP : Unité Véhicule Particulier, agrégat de divers types de véhicules convertis en équivalent voiture particulière selon le critère d'occupation de la voirie

VP : Voiture Particulière

INTRODUCTION

La modélisation de la demande en déplacements motorisés en milieu urbain a pris son envol dans les années cinquante. Depuis, l'approche dite "à quatre étapes" est considérée comme classique. Elle a su donner des résultats satisfaisants. Les avancées sur le plan de la recherche théorique et technologique n'ont pas été sans rapports. Sans aborder la modélisation complètement désagrégée, approche qui a fait l'enjeu de recherches récentes, ce travail trouve sa place dans la thématique de l'amélioration de la modélisation de la demande de transport.

Généralement est utilisé le modèle dans sa version simple de déroulement chronologique des quatre étapes. Les recherches de la fin des années soixante-dix se sont beaucoup attachées à la question de boucles rétroactives entre diverses étapes du processus. C'est notamment le cas dans le cadre d'une modélisation qui combinerait les étapes de distribution et d'affectation. Notre étude en s'intéressant au développement de ce bouclage bénéficiera de ce fond bibliographique sur lequel s'appuyer.

La réalisation de cette recherche s'inscrit dans le cadre de ma formation en vue d'un travail de modélisateur urbain à assurer sur un territoire incluant le bassin marseillais en France. La recherche a donc été orientée par les préoccupations de l'équipe ² en charge du développement du modèle de la ville de Marseille. Le modèle actuellement en place ne donne pas entière satisfaction. Il est la réplique d'un modèle classique à quatre étapes. Les enjeux d'amélioration du modèle par la mise en oeuvre d'une boucle rétroactive affectation-distribution nous sont apparus comme pouvant

²équipe du CETE Méditerranée

correspondre à ceux du travail d'évaluation du modèle de la ville de Marseille qui a été souhaité. La problématique routière de la ville de Marseille sera donc l'occasion de mettre en pratique le modèle combiné distribution-affectation, qui a été choisi comme sujet de cette recherche.

Ainsi, il a été indispensable pour la réalisation de ce mémoire, d'avoir des échanges réguliers avec l'équipe en charge du modèle marseillais. Cela n'a pas été sans allonger le temps de la recherche. Il m'a également été nécessaire de me former sur différents logiciels, dont le logiciel de modélisation EMME/2. A l'issue de cette maturation, a pu être mise à profit la recherche bibliographique réalisée, en s'attachant aux enjeux de développement, d'exploitation et d'analyse qui animera la lecture de ce mémoire.

Le premier chapitre reprendra les motivations de ma recherche. Le second chapitre rendra compte du travail d'analyse des données nécessaires à la mise en oeuvre du modèle. L'étude bibliographique a abouti quant à elle, à la définition d'un algorithme propre à nos enjeux. Le troisième chapitre fera état de ce développement théorique, alors que le dernier chapitre le mettra en pratique. Les résultats auxquels nous parviendrons en plus de constituer une validation de notre programmation d'algorithme, sont de potentielles éléments de réflexion sur l'évaluation du modèle marseillais tel que modélisé par le CETE Méditerranée.

Chapitre 1

ESQUISSE DES MOTIVATIONS

Le modèle combiné distribution-affectation fut considéré comme objet de ce rapport de maîtrise et mis en pratique sur le modèle de prévision de trafic véhicules motorisés de la ville marseillaise, suite à la prise de connaissance de la problématique suivante.

Le CETE Méditerranée assure le développement et la mise à jour de modèles de la ville de Marseille. Un modèle a été produit tout d'abord en 1990 pour rendre compte de la situation à cette même année du trafic mécanisé (modèle mono-modal) à l'heure de pointe du soir ¹.

Le modèle a été repris et modifié aux alentours de 2000 pour des prévisions à l'horizon 2010 et 2020. Le modèle anticipait, pour la période 1999 - 2009, des taux moyens de croissance annuelle ² pour la demande en trafic à l'heure de pointe du soir, ainsi que pour d'autres variables significatives de l'affectation de cette demande sur le réseau ³, assez différentes de celles observées dans les enquêtes ménages déplacements de 1988 et 1997 (tableau (1.1)).

¹entre 17h et 18h

²Taux Moyen de Croissance Annuelle abrégé en TMCA pour la suite

³distances moyennes de déplacement, véhicules*kilomètres ...

Tableau 1.1: Comparaison entre les résultats d'affectation du modèle CETE pour la décennie à venir et ceux des enquêtes ménages déplacements pour la dernière décennie

TMCA	résultats issus de :	
	enquêtes-ménages 1989 - 1997	modèle 1997 - 2010
déplacements internes à l'agglomération	1,8	0,1
déplacements d'échanges	5,2	0,9
distances des déplacements internes	- 0,7	2,1
distances des échanges	0	- 0,1
veh*km pour les déplacements internes	1,1	2,2
veh*km pour les déplacements d'échanges	5,2	0,8

Du fait de la non-concordance entre les périodes, il est contestable d'établir des comparaisons entre les résultats du modèle et ceux des enquêtes. Notamment, le fort taux pour les veh*km en échange issu des enquêtes peut être analysé comme conséquent à la mise en service de l'autoroute A55 en 1988. Un taux faible pour les déplacements d'échange pris en compte dans un modèle de trafic pour la décade suivante peut très bien correspondre à une situation sans nouveaux projets d'infrastructures d'envergure, combinée à une politique volontariste en transport collectif, comme c'est le cas. En effet, le modèle a un réseau codifié qui ne fait intervenir aucun grand changement d'infrastructures routières entre sa situation de base 1997 et l'horizon 2010. La demande en déplacements a été modifiée de façon à rendre compte d'une politique qui serait enclin aux transports collectifs. Ainsi, ces deux valeurs de taux sont explicables.

Toutefois, cette étude a été le déclencheur d'une réflexion sur l'évaluation du modèle, car pour les déplacements internes, l'opposition entre les deux sources (modèle et enquêtes ménages) reste inexpliquée. Cette réflexion pourra être approfondie, si les résultats relatifs à la modélisation de l'année 1990 sont disponibles. Une partie du travail sera donc de se procurer les résultats du modèle pour la période 1990-1997.

Cette réflexion sur l'évaluation du modèle a abouti, du côté du CETE Méditerranée, à considérer le modèle améliorable par la prise en compte d'une contrainte de constance du budget temps au niveau de l'agglomération marseillaise. Si la demande

augmente, alors les arcs sont plus saturés à distance moyenne inchangée. Or comme la charge d'un lien dégrade son temps de parcours, les temps totaux seraient donc augmentés, ainsi que les budgets temps individuels. Cependant, il semblerait qu'en même temps que l'on observe cette croissance de la demande, on ait une diminution des distances parcourues. Cette diminution des distances parcourues serait-elle faite en vue, justement, de contrebalancer le temps passé dans les déplacements mécanisés et donc de stabiliser les budgets temps à une valeur acceptable individuellement, invariante dans le temps (du moins sur les périodes d'étude) ?

C'est cette question que se pose le CETE Méditerranée, quand il s'interroge sur la possibilité d'intégrer au modèle de la ville de Marseille une contrainte de constance du budget temps ou du temps moyen de déplacement. Précisons que l'on définit par la notion de budget temps, le temps total journalier consacré par une personne à se déplacer. Il s'agit de la somme par individu des temps de déplacements, y compris les temps des trajets terminaux qui peuvent s'effectuer à pied, les temps de recherche d'un stationnement, ainsi que les temps d'attente aux arrêts de bus. Le budget temps moyen correspond à la moyenne des budgets temps individuels sur l'ensemble des individus résidant dans la zone d'étude. Le temps moyen de déplacement, quant à lui, est le temps que passe en moyenne un individu pour effectuer un déplacement.

La possibilité d'introduire une contrainte de constance de temps moyen s'appuie également sur des exploitations d'enquêtes ménages déplacements effectuées sur d'autres territoires. Ces exploitations ont été faites en vue de corroborer la loi Zahavi (Zahavi, 1979 et Zahavi, 1980). Cette loi, du nom de son dépositaire, chercheur américain pour la banque mondiale ayant effectué à la fin des années 70 des études sur le déplacement des personnes, conclut selon l'analyse qui en est faite par Joly (Joly, 2002) :

1. "En France, le temps moyen consacré au transport par une personne mobile motorisée est relativement stable entre les jours de la semaine, et est similaire au budget temps de transport observé dans d'autres villes de pays développés.
2. La variation des budgets temps de transport autour de la moyenne des individus de chaque segment de population d'une ville est similaire pour tous les segments de population et est proche de celle observée dans les autres villes et pays. Le coefficient de variation est aux alentours de 0,6.

3. Le budget temps de transport moyen d'une personne mobile est une fonction inverse de la vitesse. Ainsi, un gain de vitesse a plus d'effets en terme de temps, lorsque les vitesses initiales sont faibles.

Il semblerait donc que l'on puisse conjecturer d'une constance du budget temps à l'échelle d'une ville. Testons cette loi à l'échelle de la ville de Marseille. Les budgets de temps issus de l'exploitation des enquêtes ménages de 1988 et 1997 sur le bassin de la ville de Marseille donne, après élimination des déplacements effectués par les personnes aux comportements atypiques (durée des déplacements supérieure à 120 minutes) :

Tableau 1.2: Evolution des budgets temps sur le bassin marseillais au cours de la dernière décennie

	Budgets temps
1988 avec coef. de redressement 1990	52,1 mn
1997 avec coef. de redressement 1999	53,8 mn

Ces résultats ont été communiqués par Guillaume Deconihout, stagiaire au CETE Méditerranée, à l'époque de la réalisation de mon mémoire de maîtrise. Il n'a pas été possible d'obtenir les résultats pour des années antérieures, faute d'homogénéité entre les enquêtes ménages. Il est difficile d'énoncer en tant que loi, une observation faite à partir de deux données, on limitera donc la validité de cette observation à la période étudiée. Et de conclure que la loi de Zahivi peut être considérée comme vérifiée pour la dernière décade, à l'échelle de l'agglomération marseillaise. On peut également s'interroger sur l'existence d'une constance du temps moyen de déplacement tous modes, toutes heures. Les chiffres obtenus pour ces temps moyens sur le bassin marseillais, toujours en éliminant les déplacements de plus de 120 minutes, sont tels que reportés dans le tableau (1.3).

Tableau 1.3: Evolution des temps moyens journaliers tous modes sur le bassin marseillais au cours de la dernière décennie

	Temps moyens tous modes toutes heures
1988 avec coef. de redressement 1990	17,1 mn
1997 avec coef. de redressement 1999	17,7 mn

Introduire une contrainte de constance du budget temps ou de temps moyens tous modes semble donc justifiée, si l'on suppose que le comportement des individus dans la décade à venir reproduit celui de la décade passée. Toutefois, comme le modèle de la ville de Marseille est un modèle routier calé pour l'heure de pointe du soir, la donnée pertinente est le temps moyen des déplacements motorisés à l'HPS⁴. La stabilité temporelle est-elle toujours de mise pour cette grandeur ? Faute de données sur les déplacements motorisés, on analysera ceux concernant uniquement la voiture particulière.

Tableau 1.4: Evolution des temps moyens HPS pour la voiture particulière sur le bassin marseillais au cours de la dernière décennie

Temps moyens VP HPS	avec marche	sans marche
1988 avec coef. de redressement 1990	22,3 mn	21,5 mn
1997 avec coef. de redressement 1999	20,5 mn	19,6 mn

VP = voiture particulière

HPS = heure de pointe du soir

Les différences temporelles sont plus significatives dans ce cas. Malgré tout, elles ne sont que d'environ 9%.

De l'exploitation des enquêtes ménages, on a considéré que pouvait être fixé à environ 21,5 minutes, la constante du temps moyen de déplacement pour les déplacements motorisés à l'heure de pointe du soir.

Ainsi, l'enjeu de cette maîtrise sera l'introduction d'une contrainte de constance de temps moyen de déplacement HPS au modèle de trafic de la ville de Marseille.

⁴Heure de Pointe du Soir

Cet exercice se fera dans le cadre du calage du modèle pour les années 1990 et 1997, afin de comparer avec les résultats des enquêtes ménages. Avant d'approfondir la question de la prise en compte de la contrainte de constance du temps moyen à travers le modèle combiné distribution-affectation et de sa mise en oeuvre dans le cadre de la modélisation du trafic routier de Marseille entre 1990 et 1997, il est primordial de s'intéresser aux données qu'il va falloir réunir.

Chapitre 2

PRÉSENTATION DES DONNÉES

Dans l'exercice de modélisation et d'évaluation que nous nous sommes fixés, l'étape de prise de connaissance, d'analyse et d'exploitation des données constitue une étape primordiale. Dans une version provisoire du Guide pratique pour la modélisation des déplacements urbains de voyageur (Etude SETEC, 2002) qui sera édité par le CERTU, pouvait-on lire : "qui dit schématisation, suppose nécessairement simplification et risque de caricature, écueil qu'il faut éviter en s'appuyant le plus possible sur des relevés physiques ou des données d'enquêtes vérifiables et en explicitant et contrôlant toutes les étapes du processus de modélisation : description, analyse et projection de la demande, description de l'offre de transport, hypothèses de croissance et d'évolution des réseaux, choix du modèles d'affectation et des principaux paramètres , calage...[...]. Corrélativement, de manière à bien juger de la pertinence des résultats obtenus, il est indispensable que le modélisateur présente de façon complète, transparente et détaillée son recueil de données, toutes les hypothèses et les logiques que comporte le traitement qu'il en a effectué et les conséquences qu'il en a tirées pour sa modélisation." L'enjeu de ce chapitre est donc de répondre au mieux à ces exigences, du moins à celles concernant la présentation et l'analyse des données. Les implications en terme de propositions de modèle sont détaillées dans un chapitre ultérieur.

2.1 Le type de données à disposition

Le modèle de transport sur voirie urbaine de la ville de Marseille a été réalisé pour les années de base 1990 et 2000 avec les logiciels OPERA et EMME/2.

OPERA est un logiciel de prévision de trafic urbain mono-modal, développé, maintenu et commercialisé par le CETE Méditerranée ¹, pour le compte du CERTU ². Comme le logiciel EMME/2, il est approprié à une démarche classique des "modèles à quatre étapes". EMME/2 ³ a été conçu par Michel Florian et Heinz Spiess au Centre de recherche sur les transports de l'Université de Montréal. Outre la possibilité d'utilisation d'EMME/2 en multi-modal, de nombreuses différences entre ces logiciels existent. La mise en oeuvre de la modélisation à quatre étapes est, en effet, particulière à chacun des logiciels. Pour ce qui est de la constitution des matrices de déplacements, les formats input et output sont différents. OPERA offre, de plus, un cadre de modélisation plus stricte qu'EMME/2 : les modules de génération, distribution, écrémage à l'heure de pointe du soir, de répartition modale et de prise en compte des trafics externes sont préprogrammés. EMME/2 permet une plus grande variété de procédures, par l'intermédiaire de ces macros programmées par les utilisateurs eux-mêmes. Pour ce qui est de l'affectation des matrices, OPERA réalise une affectation par tranches, alors qu'EMME/2 dans son utilisation standard la fait à l'équilibre.

Le modèle de la ville de Marseille réalisé en 1990 par le CETE Méditerranée correspond à la procédure de modélisation d'OPERA. Cette procédure fait s'enchaîner les étapes suivantes. La reconstitution de la matrice interne est réalisée à partir des données socio-économiques, des paramètres de sédentarité et de mobilité. La génération est différenciée selon trois motifs : Domicile $\longleftrightarrow$ Travail (DT), Domicile $\longleftrightarrow$ Autres motifs (DAM) et les secondaires (SE). Les coefficients de mobilité sont relatifs à une typologie de zone par l'intermédiaire de coefficients correcteurs. La distribution du trafic est basée sur un modèle gravitaire entropique dépendant de la distance entre les zones. Des coefficients horaires définis par motif sont appliqués afin

¹Centre d'Etude Technique de l'Équipement

²Centre d'Études sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques

³Une présentation plus détaillée de ce logiciel est faite dans le chapitre suivant

d'obtenir le trafic à l'heure de pointe du soir. La répartition modale applique la méthode des grilles, c'est-à-dire qu'en fonction de la typologie de la zone et du motif, un certain pourcentage représentant le trafic VP ⁴, TC ⁵ ou 2R ⁶ est appliqué au trafic total. La phase de transformation en UVP ⁷ fait ensuite la somme de ces 9 matrices (3 modes, 3 motifs). La prise en compte du trafic externe se fait via les comptages (enquête cordon) et/ou une distribution au prorata du poids des émissions et attractions internes de chaque zone. Le trafic de transit est dans ce cas réparti suivant des poids origine-destination entre zones externes par application d'un modèle de FRATAR. Lors de la représentation du réseau, doivent être spécifiés les longueurs des arcs, leur vitesse moyenne à vide, leur nombre de voies, leur capacité, leur catégorie (en termes de spécification de la loi débit-vitesse ⁸), leur trafic initial éventuel et leur coûts supplémentaires intégrant la pénibilité, les péages... Ce réseau codifié sous forme de graphe permet alors l'affectation de la demande de déplacements. Elle se fait par tranches (10 tranches maximales). Le calcul des coûts (loi débit-vitesse) fait intervenir les coûts kilométriques et les coûts supplémentaires, le coût à vide, la charge de trafic des itérations précédentes et un coefficient dépendant de la typologie de la route. Pendant les périodes de pointe, le débit peut dépasser la capacité. Il est possible de déconnecter les arcs saturés, avec, alors, une matrice de demande résiduelle. Cela n'est cependant pas recommandé si la priorité est l'analyse de la demande. En revanche, cela permet de représenter des conditions de circulation plus réelles.

C'est de cette procédure OPERA qu'est inspiré le modèle de la ville de Marseille réalisé par le CETE Méditerranée, dans sa phase de reconstitution de la matrice de demande. Pour ce qui est de la phase d'affectation (qui inclut une nécessaire codification du réseau), le logiciel OPERA n'a pas donné entière satisfaction au CETE. Le réseau de la ville de Marseille de 1990 a donc été codifié sous EMME/2. L'affectation à l'équilibre possible sous EMME/2 a fait l'objet d'un investissement technologique.

⁴véhicule particulier

⁵transport en commun

⁶deux roues

⁷unité de véhicules particuliers, agrégat en équivalent de véhicules entre des VP, TC et 2R

⁸abrégi par la suite en vdf, car de l'anglais : volume-delay-fonction

Le modèle réalisé par le CETE combine donc les compétences des deux logiciels.

Dans ce contexte et dans le cadre de l'exercice qui consisterait à reproduire le modèle existant du CETE pour l'année 1990, les données à disposition sont les suivantes.

Pour la reconstitution de la matrice interne des déplacements :

- Le modèle de génération calibré pour l'année 1990 :
le fichier .GEN ⁹ concerne les données par zone, en population, actifs avec emplois, emplois, emplois tertiaires, le taux de travail à domicile, le pourcentage d'intrazonaux, ainsi que les coefficients correcteurs par motifs en émission et attraction. Ce fichier renseigne également sur la mobilité moyenne sur l'agglomération différenciée par motifs, ainsi que sur le taux de présence au travail, et un paramètre du calage du modèle (le poids par lequel sont multipliés les emplois tertiaires). Le modèle est supposé connu. On le détaillera par la suite.
- Le modèle de distribution calibré pour l'année 1990 :
le fichier .DIS contient les valeurs des paramètres du modèle entropique dépendant de la distance. Le fichier .DIJ donne accès à ces distances.
- Les coefficients d'écrémage pour l'HPS ¹⁰ sont inclus dans le fichier .DIS.
- Le modèle de répartition modale calibré pour 1990 :
le fichier .MOD contient la typologie des zones (6 types), ainsi que les 9 matrices de dimension : $(nb_types_zones)^2$, relatives aux taux de VP, TC et 2R selon les trois motifs.
- Les coefficients mis à jour pour 1990 du taux d'occupation des VP et TC, ainsi que les taux de conversion en UVP des TC et 2R sont contenus dans le fichier .UVP.

⁹les extensions des fichiers input et output utilisés pour une modélisation OPERA sont répertoriées en annexes

¹⁰heure de pointe du soir, plus précisément entre 17h et 18h pour le modèle de la ville de Marseille

- La matrice de la demande interne est contenue dans le fichier .INT d'OPERA. Elle est également présente dans la banque EMME/2 fournie (il a fallu faire le tri entre un large nombre de variantes).

Pour la reconstitution de la matrice totale des déplacements :

A la matrice interne obtenue, sont ajoutés les déplacements en provenance et/ou à destination de zones externes. Cependant pour la reconstitution de ces déplacements impliquant des zones externes, les résultats de l'enquête cordon de 1990 sont considérés comme trop peu représentatifs pour une exploitation directe au niveau des quartiers. Le découpage de la ville a donc été, pour la distribution des trafics externes, regroupé en secteurs. Ces matrices focalisées de flux entrants et sortants ont été ensuite réparties selon le découpage en zones au prorata des émissions et attractions internes de chaque zone dans son secteur.

La matrice de demande totale est contenue dans le fichier .MAT d'OPERA. Elle est également présente dans la banque EMME2.

Pour la codification du réseau et l'affectation de la demande :

La banque EMME/2 fournie donne toutes les données nécessaires à la mise en oeuvre et à l'analyse de l'affectation de la demande : distance des arcs, nombre de voies, typologie de la voirie, vdf ¹¹, capacités, comptages. L'affectation de n'importe quelle matrice de demande peut donc être faite.

Ainsi, toutes les données pour reconstituer, à la façon du CETE, la matrice de demande ont été recueillies par nos soins. Nous nous donnerons comme objectif d'entreprendre cet exercice sous EMME/2. Il s'est donc agi de prendre connaissance de toutes les données, d'en faire le tri, et de mettre en place une démarche de reconstitution de la matrice de demande non plus sous OPERA, mais sous EMME/2.

¹¹de l'anglais volume-delay-function, correspond aux fonction débit-vitesse

2.2 Détails des données à disposition

Etudions, désormais, plus en détail la codification du réseau, ainsi que les données qui ont servi à notre reconstitution de la matrice de la demande.

Deux banques de données EMME/2 ont été traitées. La première est celle du calage 1990 pour prévision 2000, la seconde est celle de l'ajustement de la matrice 2000 aux comptages de 1997 pour prévisions 2010 et 2020. La seconde banque a été utilisée, afin de prendre en compte les évolutions du réseau dans notre diagnostic entre 1990 et 2000, afin de comparer ensuite avec les exploitations des enquêtes ménages déplacements. Le réseau a connu entre 1990 et 1997 des modifications structurelles de poids, en faveur de la demande en transport automobile. L'ouverture du tunnel Prado-Carenage en 1993 à la circulation en est un exemple. En termes de capacité.kilomètres (en tenant compte du nombre de voies offertes), on passe de 1722 à 1885 UVP.km, alors que la banque 1990 contient une matrice 2000, mais aucun scénario avec modifications de réseau. On analysera donc l'évolution de la situation de 1990 à 1997, prévue par le modèle réalisé par le CETE Méditerranée, aux travers de ces deux banques, afin de ne pas introduire un biais qui serait dû à une mauvaise estimation des modifications de réseaux ¹². Il est important de neutraliser le plus de variables possibles dans l'exercice de comparaison par rapport aux données enquêtes ménages déplacements, auquel on sera amené.

2.2.1 Dans le cadre de la codification du réseau

Un préalable à toute analyse de modèle agrégé est la connaissance du découpage de l'aire d'étude. L'agglomération de Marseille est découpée, dans ce modèle, en 115 zones en 1990, puis 117 à partir de 1997. Si on inclut les centres commerciaux et les zones externes, on peut aller jusqu'à une numérotation de centroïdes de 134 (les centroïdes 122, 123, 124 n'existent pas, ce qui donne un effectif de 131 centroïdes). Les centroïdes de numéro 125 à 134 désignent les zones externes. Pour l'année 2000,

¹²ce qui aurait été le cas si on ne s'était, par exemple, intéressé qu'à la banque 1990 où un scénario prévisionnel aurait anticipé la situation 1997

le CETE a créé la zone 1122 et éclaté la zone 14 en trois zones : 14, 2002 et 2014. On a alors exactement 134 zones.

La codification du réseau de 1990 est faite grâce à 433 noeuds réguliers et 1594 liens dont la longueur totale s'élève à 917 km sans tenir compte du nombre de voies, de longueur moyenne 575 m et de longueur maximale 6 km (3 liens ont plus de 5 km). Si on tient compte du nombre de voies, on approche les 2 460 km.

Les 383 connecteurs de centroïdes ont des types identifiables et ont un nombre de voies attribué maximal (9,9 voies) et des capacités souvent nulles, sauf pour 34 qui possèdent une capacité non nulle. Les noeuds représentant les zones externes sont celles comprises entre 125 et 134. Il existe 20 liens (2*10) les reliant au réseau. Ces liens sont de type 551 à 554. Pour les 1211 autres liens restants (non connecteurs), tous possèdent des capacités non nulles qui s'échelonnent de 100 à 5400 UVP, comme représenté à la figure (2.1).

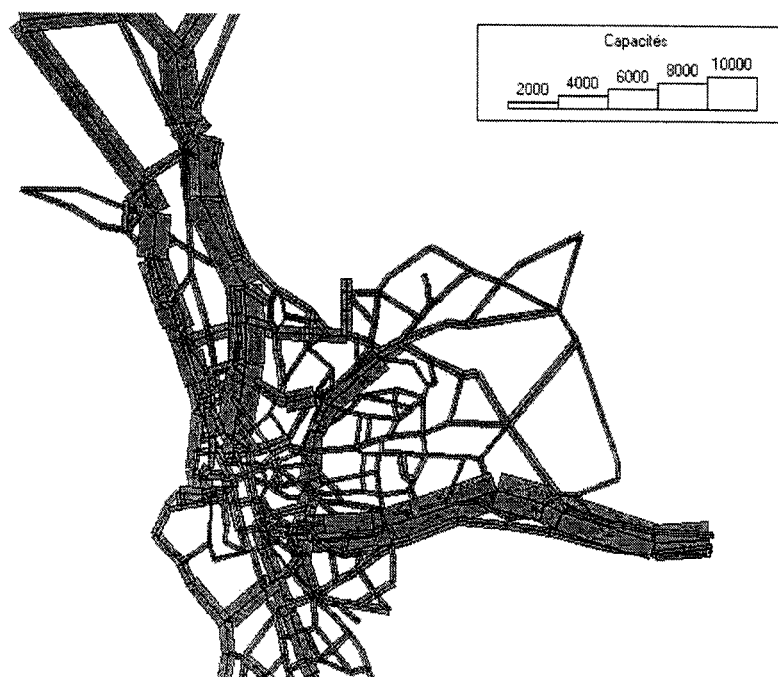


Figure 2.1: Capacités en 1990 issues de la banque 90

Nous nous sommes aperçus qu'existaient des discontinuités de capacités, notamment entre les noeuds 238 et 269. Ne sachant pas si le réseau possède effectivement de telles ruptures de capacités, nous avons conservé ce profil des capacités, même si cela provoquera des problèmes de saturation.

La codification du réseau de 2000 est faite grâce à 518 noeuds réguliers et 1774 liens dont la longueur totale s'élève à 942 km sans tenir compte du nombre de voies, de longueur moyenne 532 m et de longueur maximale 6km. Si on tient compte du nombre de voies, on approche les 2 541 km. Les connecteurs de centroïdes sont au nombre de 388. Seuls 38 ont un nombre de voies non égales au maximum. Ils ont des capacités nulles. Pour les connecteurs de centroïdes sur des zones externes, on a 20 liens. Pour les zones mettant en jeu les centres commerciaux, on a également 20 liens. Tous les liens sans capacité sont des connecteurs de centroïdes. Pour les autres liens les capacités s'échelonnent de 400 à 6 000 UVP, comme représenté à la figure (2.2).

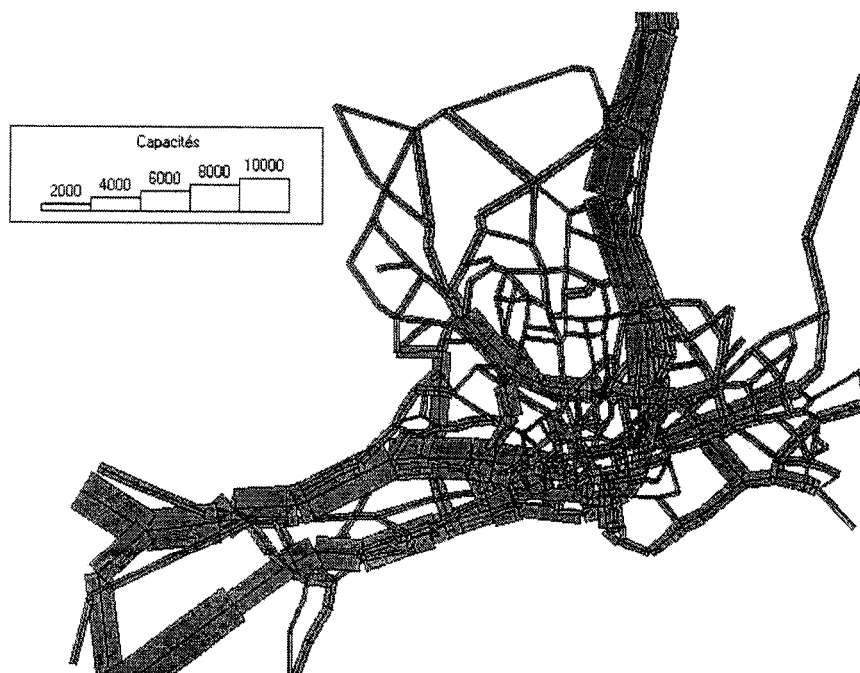


Figure 2.2: Capacités en 1997 issues de la banque 2000

Ce n'est qu'un survol du contenu des banques 1990 et 2000 quant à la codification du réseau qui vient d'être donné. La phase préliminaire de l'étude a été de s'imprégner du mieux possible de ces dernières et a donc nécessité un certain temps.

2.2.2 Dans le cadre de la reconstitution de la matrice interne de la demande

Il est question de s'inspirer dans notre propre démarche modélisatrice de celle du CETE Méditerranée pour la reconstitution de la matrice demande.

Description de la procédure

La démarche suivie a été interprétée comme pouvant être résumée de la façon suivante. Elle rappellera le cadre énoncé précédemment, lorsqu'il fut question de la méthode OPERA.

GENERATION

Emissions brutes

On différencie selon le motif (Domicile - Travail ; Domicile - Autres ; Secondaires ¹³) et par zone.

Après calage, le nombre de déplacements bruts émis par la zone p différencié par motif ($Eb_{motif}(p)$) est évalué comme suit :

1. Domicile - Travail

$$Eb_{DT}(p) = A \cdot ACTIFS(p) \cdot Ce_{DT}(p)$$

avec :

A représentant le taux de mobilité par actif, égal à 0.907 en 1990 et 0.967 en 1997

¹³déplacements n'ayant pas comme origine ou destination le domicile

ACTIFS représentant le nombre de personnes avec emploi se déplaçant c'est-à-dire ne travaillant pas à domicile et présent au travail ;

Ce_{DT} représentant un coefficient correcteur afin de tenir compte de l'hétérogénéité entre les zones.

2. Domicile - Autres

$$Eb_{DAM}(p) = B \cdot POP(p) \cdot Ce_{DAM}(p)$$

avec :

B représentant le taux de mobilité de la population, égal à 0.471 en 1990 ;

POP représentant le nombre de personnes ;

Ce_{DAM} représentant un coefficient correcteur afin de tenir compte de l'hétérogénéité entre les zones.

3. Secondaires

Le modèle est le même que celui pour les attractions.

$$Eb_{SE}(p) = [POP(p) + 4 \cdot EMP_{III}(p)] \cdot Ce_{SE}(p)$$

avec :

EMP_{III} représentant le nombre d'emplois tertiaires ;

Ce_{SE} représentant un coefficient correcteur afin de tenir compte de l'hétérogénéité entre les zones.

Les coefficients correcteurs dépendent de la typologie de la zone et du motif (16 types). L'application de tels coefficients peut entraîner une distorsion du total des émissions. L'étape suivante consiste donc à ajuster les émissions brutes, de façon à ce que sur l'ensemble des zones, l'on retrouve un nombre d'émissions total.

Emissions ajustées

Le nombre de déplacements ajustés émis par la zone p différencié par motif ($Ea_{motif}(p)$) est :

1. Domicile - Travail

$$Ea_{DT}(p) = Eb_{DT}(p) \cdot \frac{A \cdot \sum_i ACTIFS(p)}{\sum_p Eb_{DT}(p)}$$

2. Domicile - Autres

$$Ea_{DAM}(p) = Eb_{DAM}(p) \cdot \frac{\sum_p B \cdot POP(p)}{\sum_p Eb_{DAM}(p)}$$

3. Secondaires

$$Ea_{SE}(p) = Eb_{SE}(p) \cdot \frac{\sum_p C \cdot POP(p)}{\sum_p Eb_{SE}(p)}$$

avec $C = 0.246$ en 1990, taux de mobilité de la population pour les déplacements secondaires.

En prévision de l'étape suivante, à savoir la distribution des déplacements au sein de la matrice interne, il est utile de soustraire les déplacements intrazonaux.

Emissions nettes

Le nombre de déplacements nets émis par la zone p différencié par motif (O_p^{motif}) est :

1. Domicile - Travail

$$O_p^{DT} = Ea_{DT}(p) \cdot (1 - INT_{DT}(p))$$

avec INT_{DT} représentant le taux de déplacements intrazonaux

2. Domicile - Autres

$$O_p^{DAM} = Ea_{DAM}(p) \cdot (1 - INT_{DAM}(p))$$

avec INT_{DAM} représentant le taux de déplacements intrazonaux

3. Secondaires

$$O_p^{SE} = Ea_{SE}(p) \cdot (1 - INT_{SE}(p))$$

INT_{SE} représentant le taux de déplacements intrazonaux

Passons alors à la génération des attractions :

Attractions brutes

Le nombre de déplacements bruts en direction d'une zone q différencié par motif ($Ab_{motif}(q)$) est le suivant.

Avec EMP représentant le nombre d'emplois de la zone

Ca_{DT} , Ca_{DAM} , Ca_{SE} coefficients correcteurs afin de tenir compte de l'hétérogénéité entre les zones

1. Domicile - Travail

$$Ab_{DT}(q) = A \cdot EMP(q) \cdot Ca_{DT}(q)$$

2. Domicile - Autres

$$Ab_{DAM}(q) = (POP(q) + 4 \cdot EMP_{III}(q)) \cdot Ca_{DAM}(q)$$

3. Secondaires

$$Ab_{SE}(q) = (POP(q) + 4 \cdot EMP_{III}(q)) \cdot Ca_{SE}(q)$$

De même que pour les émissions, un ajustement des attractions sur l'ensemble des zones est nécessaire. Cet ajustement devra, de plus, satisfaire la conservation des flux pour l'ensemble du périmètre de génération : $\sum_p Ea_{motif}(p) = \sum_q Aa_{motif}(q)$ ¹⁴.

Attractions ajustées

Le nombre de déplacements ajustés en direction d'une zone q différencié par motif ($Aa_{motif}(q)$) est :

1. Domicile - Travail

$$Aa_{DT}(q) = Ab_{DT}(q) \cdot \frac{\sum_p Ea_{DT}(p)}{\sum_q Ab_{DT}(q)}$$

2. Domicile - Autres

$$Aa_{DAM}(q) = Ab_{DAM}(q) \cdot \frac{\sum_p Ea_{DAM}(p)}{\sum_q Ab_{DAM}(q)}$$

3. Secondaires

$$Aa_{SE}(q) = Ab_{SE}(q) \cdot \frac{\sum_p Ea_{SE}(p)}{\sum_q Ab_{SE}(q)}$$

¹⁴ $Aa_{motif}(q)$ représente les flux en direction de la zone q après ajustement pour un motif particulier

Attractions nettes

Le nombre de déplacements nets émis par la zone q différencié par motif (D_q^{motif}) est :

1. Domicile - Travail

$$D_q^{DT} = Aa_{DT}(q) \cdot [1 - INT_{DT}(p)]$$

2. Domicile - Autres

$$D_q^{DAM} = Aa_{DAM}(q) \cdot [1 - INT_{DAM}(p)]$$

3. Secondaires

$$D_q^{SE} = Aa_{SE}(q) \cdot [1 - INT_{SE}(p)]$$

DISTRIBUTION

Le choix du modèle utilisé n'est pas en question à ce stade-ci du mémoire. Rapportons seulement le résultat auquel est parvenu le CETE Méditerranée pour cette phase de distribution. Le nombre de déplacements entre une zone p et une zone q est défini par la relation :

$$g_{pq} = \alpha_p \cdot \beta_q \cdot \exp(-\theta_{motif} \cdot D_{pq})$$

avec

α_p et β_q les paramètres de balancement du modèle de distribution

$\theta_{DT} = 0,2$; $\theta_{DAM} = 0,36 = \theta_{SE}$ calage réalisé pour 1990 repris pour 1997

D_{pq} représentant la distance du plus court chemin entre p et q

PASSAGE A LA POINTE

On extrapole la demande pour l'heure de pointe du soir à partir de celle obtenue pour la journée grâce à l'application de coefficients différenciés par motifs orientés :

Dom $\rightarrow$ Tra = 0.7 % Dom $\rightarrow$ Autres = 7.8 % Secondaires = 10.8 %

Tra $\rightarrow$ Dom = 17.5 % Autres $\rightarrow$ Dom = 19.2 %

Ces coefficients ont été calés pour 1990 et sont réutilisés pour 1997.

REPARTITION MODALE

La répartition est sensible à la typologie de la zone. 6 types de zones sont répertoriés, selon la couverture en transport en commun de la zone et de son éloignement au centre. Les modes considérés sont : la voiture, le transport en commun et le deux roues. 9 matrices ont donc été élaborées pour les 3 modes et 3 motifs non orientés. Leur taille est de 6×6 . Elles contiennent les taux avec lesquels multiplier les déplacements HPS différenciés par motifs, afin d'obtenir les déplacements HPS différenciés par modes et motifs.

CONVERSION VEHICULAIRE

Afin de passer d'un nombre de déplacements (personnes) à un trafic (nombre d'UVP), on doit connaître les taux d'occupation. Ces taux sont donnés par motif et mode comme suit. Pour 1990 et 1997 ¹⁵, une voiture particulière peut contenir en moyenne pour l'heure de pointe du soir selon le motif :

DT : 1,16 personnes

DAM : 1,75 personnes

SE : 1,44 personnes

Pour le mode TC, on prendra un taux de 45 personnes par véhicule.

Pour le mode 2R, on prendra un coefficient unitaire.

Afin d'obtenir les équivalents UVP, on utilise les taux d'occupation de la chaussée suivants :

¹⁵sources = enquêtes ménages déplacements de 1988

Pour les VP : 1 UVP
 Pour les TC : 2 UVP
 Pour les 2R : 0,5 UVP

A l'issue de ces différentes étapes, on obtient 9 matrices dans lesquelles se répartit la demande interne en déplacements UVP pour l'heure de pointe du soir. La matrice demande interne UVP HPS est la somme de ces matrices.

La matrice obtenue est ensuite modifiée afin de prendre en compte les centres commerciaux. Ces centres commerciaux sont au nombre de 3. Une analyse fine de ces générateurs faisant défaut, le CETE n'a pu de façon satisfaisante reconstituer la génération des zones les contenant (opération de calage des coefficients correcteurs). Il a donc été décidé de les isoler et d'ajouter les trafics engendrés après la phase de génération décrite précédemment. Les zones 117 à 119 désignent ces centres commerciaux isolés. Ce sont des zones virtuelles en quelque sorte. Les trafics les concernant ont été évalués en 1990 comme étant :

numéro zone	émission (véhicules)	attraction (véhicules)
117	1050	1200
118	1800	1650
119	650	750
total sur les trois	3 500	3 600

Ces flux ont été traités comme du trafic uniquement interne à l'agglomération sauf pour la zone 118, où a été supposé qu'il existait une répartition entre externe et interne en proportion similaire au trafic autre que celui de cette zone. On obtient alors des trafics internes à l'agglomération pour cette zone inférieur de 230 véhicules en émission et 115 en attraction au trafic total de cette zone. Le trafic total de ces trois zones est alors égal à 6 750 véhicules.

Du fait que ce trafic, que l'on se propose de soustraire dans un premier temps, fait partie intégrante de la mobilité interne, on a décidé de diminuer les normes globales. Et comme les trafic HPS engendrés par un centre commercial ne concernent pas les déplacements DT, seuls les déplacements DAM et SE ont nécessité un ajustement. L'opération de déformation de la matrice interne se fait, alors, en calant de nouveaux coefficients de mobilité moyenne pour les motifs DAM et SE lors de la génération

des zones avec centres commerciaux (de 1 à 115). Dans cette opération de prise en compte de générateurs, il est à prévoir que les coefficients de mobilité pour les motifs concernés (DAM et SE) subissent une diminution de leurs valeurs. Les valeurs des coefficients correcteurs pour les zones contenant anciennement les centres commerciaux ont dû être redéfinies. Cela a été fait en comparant les valeurs des coefficients relatifs au motif DT de ces zones avec leurs proches voisins, en identifiant les zones similaires aux vues de cette comparaison et en reprenant les valeurs des coefficients relatifs aux motifs DAM et SE.

Ce qui donne l'évolution suivante des paramètres de mobilité B et C définis précédemment :

avec "cc", abréviation de centres commerciaux			
1990	A	B	C
cas cc inclus dans les 115 zones	0,992	0,471	0,246
cas cc isolés des 115 zones - 1 ^{er} essai	0,992	0,409	0,214
cas cc isolés des 115 zones - 2 ^{ème} essai	0,907	0,431	0,224

Le deuxième essai a été fait pour des raisons de modification du paramètre DT, la modification des autres coefficients semble avoir été fait de façon proportionnelle. C'est ce deuxième essai que l'on prendra comme définitif.

Et pour les coefficients correcteurs relatifs aux zones contenant anciennement les centres commerciaux après isolement, on a l'évolution suivante :

1990	coefficients correcteurs émissions		coefficients correcteurs attractions	
	cas cc inclus dans les 115 zones	cas des cc isolés	cas cc inclus dans les 115 zones	cas des cc isolés
DT	1,09	0,82	0,69	0,79
	0,88	0,95	0,88	1,26
	1,1	0,76	0,82	0,55
DAM	1,14	1,09	1,17	1,24
	1,19	1,09	2,33	1,73
	0,44	1,3	9,55	0,92
SE	1,68	1,16	1,68	1,16
	1,81	1,71	1,81	1,71
	4,56	0,72	4,56	0,72

Une fois cette phase de génération modifiée en vue de tenir compte des centres commerciaux, a été étudiée la question de la distribution de leurs trafics. Cela a été réalisé en définissant des périmètres d'influence pour 1990 de ces dits centres commerciaux. Ils ont été déterminés en fonction des temps de parcours inter-quartiers issus de l'affectation d'une première estimation de la matrice totale. A l'intérieur de ces aires d'influence, la distribution des trafics a été faite proportionnellement au trafic concernant une zone et le centre commercial par rapport au trafic total en échange avec ce centre commercial de 1990.

On ne détaillera pas, car non retracée, la procédure de prise en compte des centres commerciaux de la banque 2000. C'est certainement la même qui a été utilisée, avec des coefficients calés à nouveau. Cela pourrait être également un modèle de croissance appliqué aux trafics impliquant les centres commerciaux.

Une dernière procédure a été mise en place avant d'obtenir la matrice interne finale. C'est celle de l'éclatement de la zone 111 en trois : une nouvelle 111, la 120 et la 121. Les données socio-économiques de ces trois pôles faisant défaut, la génération relative à ces zones n'a pu se faire qu'a posteriori. La répartition proposée après une première modélisation de la matrice est la suivante :

1990	internes à l'agglomération		internes à ex-zone 111		
	% émissions	% attractions	111	120	121
111	26,3	27,2	0	0	267
120	23,9	24,7	0	0	80
121	49,8	48,1	220	85	0

Cette procédure amène donc à la constitution d'une matrice interne de taille 121*121 pour 1990 et de taille 124*124 pour 2000, dont seront analysées les valeurs par la suite.

Analyse des données socio-économiques utilisées

Les données nécessaires à la mise en place de cette démarche sont, pour une part, issues de l'exploitation d'enquêtes et, pour une autre, de calages. Dans notre logique de reprise d'un modèle déjà existant, nous n'avons pas eu le délicat travail de repérage des données pertinentes, ni celui de leur exploitation, ni encore celui de leur ajustement après diagnostic de leur qualité. Les données qui seront utilisées sont, en effet, des reprises d'inputs du modèle du CETE. Il est cependant intéressant d'avoir le suivi des différentes étapes de la constitution de ces données réalisées par le CETE, afin de pouvoir juger, nous-aussi, de la validité de ces données. Brièvement, les sources des données utilisées pour la modélisation faite par le CETE pour la ville de Marseille sont :

- le recensement national, qui a lieu tous les 10 ans, fournissant les chiffres de population, d'actifs, et autres indicateurs globaux socio-économiques
- les enquêtes ménage, réalisées sur commande des collectivités territoriales, datées pour notre périmètre d'étude de 1988 et 1997, fournissant les indicateurs globaux sur la mobilité et les estimations du nombre de déplacements, indispensables à l'exercice de calage
- les enquêtes cordons et bord de route, visant à permettre une représentation des flux d'échanges et de transit, ayant eu lieu en 1990 et 2000 ¹⁶.
- les comptages routiers, permettant de recenser le nombre de véhicules à un endroit donné, qui ont eu lieu autour de 1990 et 1997 sur un vaste ensemble de points du périmètre dans notre cas.

Il est important de noter pour une bonne compréhension de la suite, que la banque 2000 a été calée sur les comptages 1997. J'ai donc décidé de prendre relativement à cette banque, comme année seuil 1997 au lieu de 2000. Pour ce qui est des données socio-économiques 1997, elles seront approximées.

Ce panel de sources de données est représentatif du dispositif français d'enquêtes pouvant alimenter les études de modélisation. Toutefois, malgré l'intérêt de ce dispositif, certains ont pu lui reprocher, à l'exemple de Patrick Bonnel (Bonnel, 2002) :

- une partie des déplacements exclue du dispositif d'enquêtes

¹⁶non exploitées

- des périmètres d'enquêtes parfois différents
- des dates d'enquêtes parfois très différentes
- des découpages différents et un codage grossier des localisations
- une taille d'échantillons trop faible pour l'enquête ménages déplacements.

Concernant le premier point, l'étude de Nicolas (Nicolas et al., 2001) stigmatise le fait que seuls 87% des déplacements à l'heure de pointe ont été repérés par l'enquête ménages déplacements de Lyon en 1996. Cela serait dû au fait que les enquêtes ménages déplacements ne couvrent que les déplacements réalisés au sein du périmètre d'enquête. Certes, l'enquête cordon peut compléter ce recueil en repérant les déplacements d'échanges et de transit. En revanche, les autres segments restent exclus. L'utilisation des autres sources de données est souvent utile pour essayer de les atteindre. C'est notamment le cas des comptages routiers pour les flux automobiles et des enquêtes réalisées par les réseaux de transports collectifs pour ce mode. Peuvent également être réalisées des enquêtes de repérage des déplacements de marchandises en ville.

Pour ce qui est des périmètres d'enquêtes dans notre cas, l'exploitation des données ne semble pas avoir subi des problèmes de cohérence de découpage selon la source. Le découpage et les frontières concordent assez bien entre les différentes enquêtes. Enfin, la date de représentativité d'un comptage est élargie à un ou deux ans près. Par exemple, les comptages réalisés en 1988 et 1992 servent pour le calage de la matrice à l'année 1990.

A titre d'illustration, on s'intéressera dans ce qui suit à l'évolution socio-économique de notre périmètre d'étude. L'exploitation des fichiers sources du modèle OPERA nous a permis d'avoir un aperçu socio-économique de la situation de nos années seuil. Une brève analyse de ces données récupérées dans les fichiers OPERA a été faite via l'usage d'un viewer de SIG ¹⁷, ArcExplorer. On peut, de cette manière, mieux se représenter les évolutions socio-économiques vecteurs de transformation de la matrice interne. La population marseillaise est passée de 861 034 à 806 073 ¹⁸ entre

¹⁷système d'information géographique

¹⁸chiffres issus des inputs du modèle CETE

1990 et 1997. L'emploi total est passé de 323 420 à 273 835 entre 1990 et 1997. On tient compte plus spécifiquement de l'emploi tertiaire. Cette donnée est considérée plus pertinente que l'emploi total au niveau de la génération des attractions. Son évolution totale entre 1990 et 1997 est de 263 706 à 222 676. Une analyse spatiale de ces données est consultable en annexes.

Cette analyse des données nécessaires à l'exécution de la démarche proposée par le CETE faite, intéressons-nous maintenant aux résultats obtenus, à savoir les matrices internes en demande de déplacements. Ces matrices constitueront le témoin dans notre exercice futur de comparaison avec nos résultats. Un premier résultat est celui qui donne le nombre de déplacements en personnes pour les différents motifs durant une journée complète. Sans les intrazonaux, pour 1990, la modélisation sous OPERA proposait les valeurs suivantes :

motif	nombre de déplacements jour	part par motif
DT	199 400	28 %
DAM	333 200	47 %
SE	178 900	25 %
Total	711 500	100 %

Analyse de la matrice interne reconstituée par le CETE

Situation 1990

Pour ce qui est de la matrice interne ¹⁹ des trafics exprimés en UVP pour l'heure de pointe du soir, la mise à jour par le CETE ²⁰ du modèle calé 1990 donne un total de 74265 UVP pour cette même année. Ce résultat résulte notamment de l'ajustement aux comptages. C'est celui que l'on considérera dans le cadre du panel de matrices mises à disposition. Ce choix a été compliqué par le flou du classement des matrices dans la banque.

Ce choix réalisé, analysons plus en détail cette matrice de demande interne. Cette matrice ne possède que des valeurs entières, à l'exception des zones contenant les

¹⁹ matrice de taille 121 * 121

²⁰ celle qui nous a semblé pertinente

centres commerciaux et issues de partage de zones. Cette remarque est faite en vue de l'exercice de comparaison ultérieur.

Son affectation à l'équilibre réalisé par EMME/2 sur le réseau 1990 codifié comme exposé précédemment donne des trafics que l'on peut représenter comme cela a été fait à la figure (2.3). Le trafic à considérer est le rouge, l'autre étant le trafic additionnel lié aux échanges et au transit.

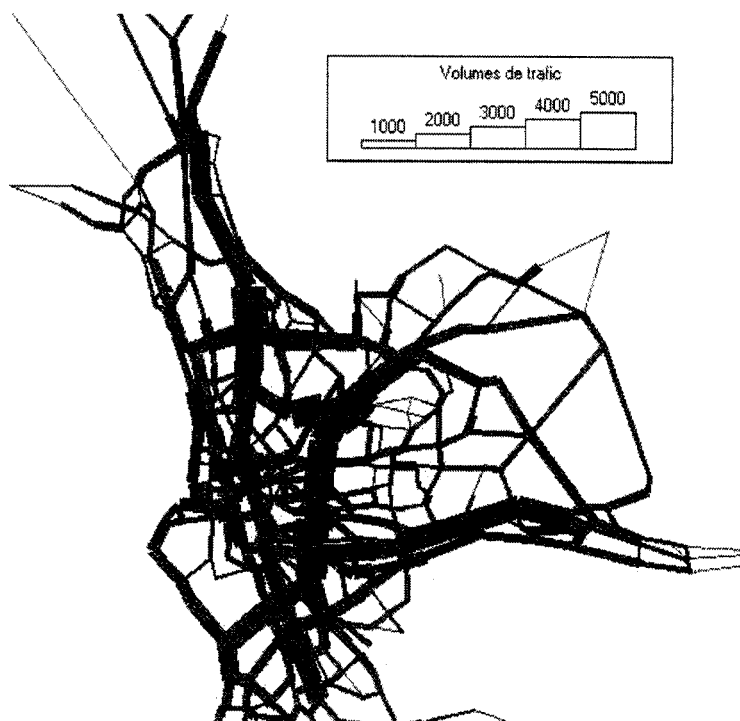


Figure 2.3: Affectation de la matrice interne reconstituée par CETE - situation 1990

Le trafic obtenu est en moyenne de 509 UVP par lien avec un maximum atteint de 2716. Dans ces conditions, le taux de saturation ²¹ est de 0,45 en moyenne.

Avec ce niveau de trafic, le modèle prévoit alors pour 1990 des temps moyen de parcours pour l'heure de pointe du soir de l'ordre de 10,9 minutes et une répartition de ces temps de parcours sur l'ensemble de la demande interne comme illustrée par la figure (2.4)

²¹rapport du trafic sur la capacité

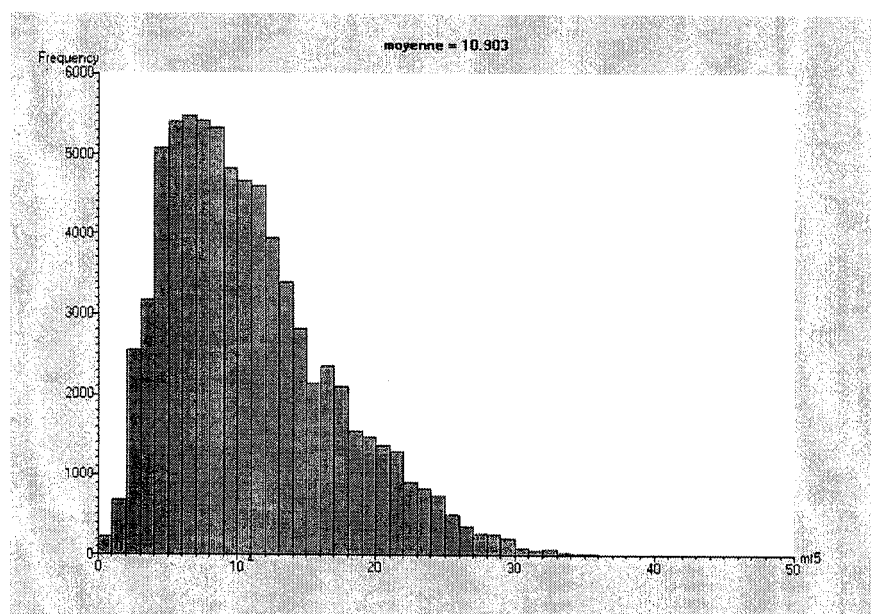


Figure 2.4: Répartition des temps de parcours dans le cadre de l'affectation de la matrice interne - situation 1990

Les distances, quant à elles, sont alors en moyenne pour l'heure de pointe du soir de 5,4 km et leur distribution est donnée en figure (2.5).

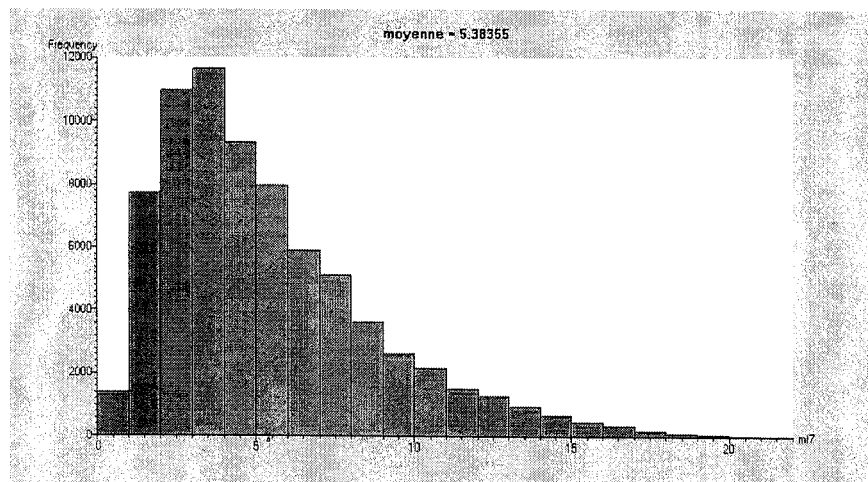


Figure 2.5: Répartition des distances parcourues dans le cadre de l'affectation de la matrice interne - situation 1990

Analyse de la matrice interne reconstituée par le CETE

Situation 1997

La matrice interne des trafics exprimés en UVP pour l'heure de pointe du soir du modèle 2000 réalisé par le CETE Méditerranée, ajustée aux comptages 1997 donne un total de 77 317 UVP.

Cette matrice fournit des valeurs décimales de trafic.

Son affectation à l'équilibre réalisé par EMME/2 sur le réseau 2000 codifié comme exposé précédemment donne des trafics que l'on peut représenter comme cela a été fait à la figure (2.6). Le trafic à considérer est le rouge, l'autre étant le trafic additionnel lié aux échanges et au transit.



Figure 2.6: Affectation de la matrice interne reconstituée par CETE - situation 1997

Le trafic obtenu est en moyenne de 491 UVP par lien avec un maximum atteint de 2918. Dans ces conditions, le taux de saturation est de 0,34 en moyenne.

Avec ce niveau de trafic, le modèle prévoit alors pour 1997 des temps moyen de parcours pour l'heure de pointe du soir de l'ordre de 13,1 minutes et une répartition de ces temps de parcours sur l'ensemble de la demande interne comme illustrée par la figure (2.7).

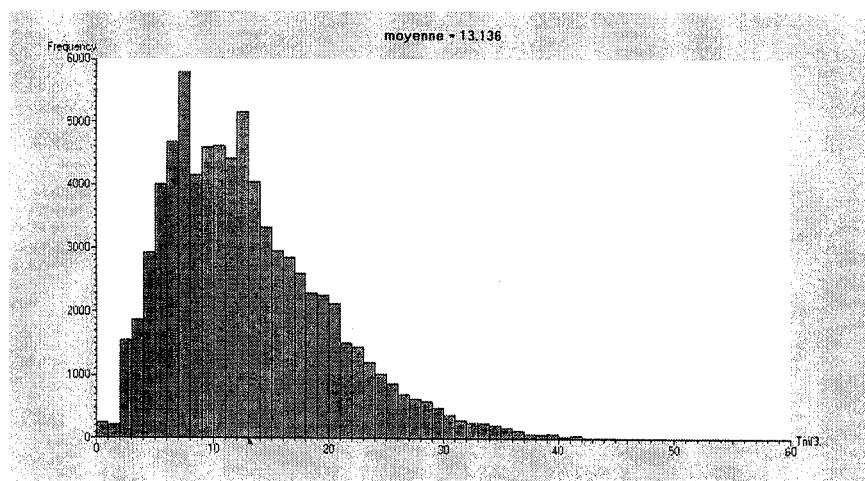


Figure 2.7: Répartition des temps de parcours dans le cadre de l'affectation de la matrice interne -situation 1997

Ainsi, contrairement aux observations faites dans le chapitre précédent, le modèle prévoit une augmentation de près de 20 % du temps moyen de parcours pour l'heure de pointe du soir sur la période 1990-1997 (figure (2.8)).

Les distances restent à leur valeur moyenne de 5,4 km pour l'heure de pointe du soir et leur distribution est donnée en figure (2.9).

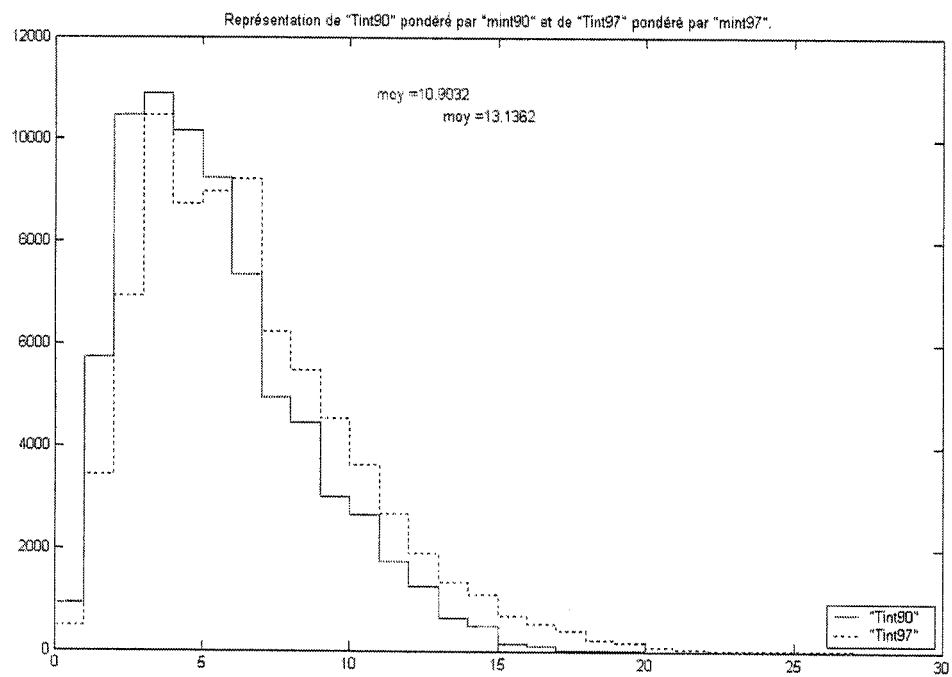


Figure 2.8: Augmentation prévue par modèle du temps moyen de parcours HPS pour la seule affectation de la matrice interne entre 1990 et 1997

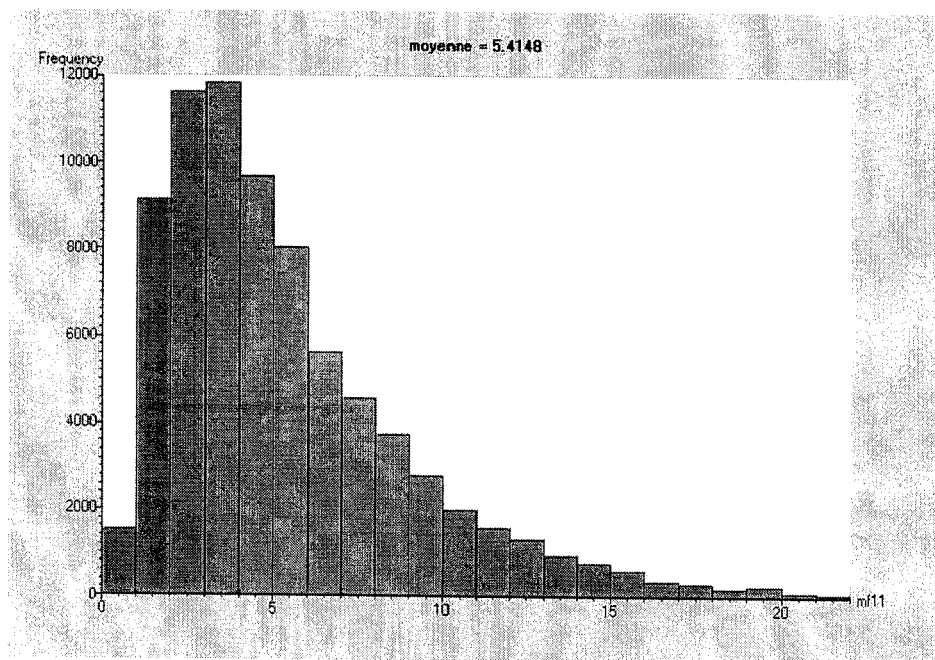


Figure 2.9: Répartition des distances parcourues dans le cadre de l'affectation de la matrice interne 1997

2.2.3 Dans le cadre de l'augmentation de la matrice interne aux zones externes

Description de la procédure

La matrice interne, que l'on vient d'analyser, peut se voir augmentée du trafic d'échanges et de transit, afin d'obtenir la matrice dite, à ce moment-là, totale. Les trafics d'échanges et de transit doivent correspondre à l'heure de pointe du soir pour être en cohérence avec la matrice interne. Les comptages effectués ont été modifiés à cet effet et ont donné les résultats suivants :

zone	trafic UVP (2 sens) 1990	part des sortants
125	1 250	52 %
126	8 080	52 %
127	550	44 %
128	5 100	51 %
129	600	47 %
130	260	54 %
131	680	46 %
132	7 500	53 %
133	980	45 %
134	830	60 %

Il est important de remarquer qu'un biais méthodologique est commis à cette étape-ci. En effet, les comptages représentent bien des UVP, mais incorporent des types de véhicules différents de ceux que nous avons considérés lors de la reconstitution de la matrice interne. Selon le type du compteur recueillant les données, il est possible de différencier la silhouette du véhicule, cependant ce type de compteur est d'usage rare en urbain. Il est fréquent d'utiliser des compteurs tous véhicules qui ne peuvent faire la différence entre les diverses catégories de trafic circulant. L'opération de comptage peut parfois être accompagnée d'un dénombrement manuel, il est alors possible de définir des pourcentages de répartition du trafic entre les différentes catégories de véhicule. A défaut d'une analyse fine sur la nature exacte des compteurs et de l'analyse des comptages qui ont été entrepris sur notre zone et de la

période d'étude, qui aurait pu nous assurer d'une exploitation différenciée entre les catégories de véhicules, on considérera que les trafics communiqués sont des agrégats de véhicules légers, de bus, de véhicules utilitaires légers (camionnettes) et de poids lourds, sans prendre en compte les deux roues. Ainsi, contrairement à la phase de reconstitution de la matrice interne, où le terme d'UVP correspondait à des véhicules légers, des bus (et autres véhicules utilisés pour le transport en commun), et des deux roues, le terme d'UVP dans les comptages correspond à l'agrégat mentionné précédemment. Les coefficients de conversion en UVP pouvant, de plus, ne pas être les mêmes. En outre, selon les sources des comptages (compteurs temporaires, permanents, silhouette, tube, au poids), l'affectation des différents types de trafics aux différentes catégories peut être différente. Enfin, la recherche de places de stationnement et le trafic intrazonal, pris en compte par les comptages, n'est pas modélisé par notre approche à quatre étapes. Il existe donc une certaine incohérence entre les valeurs de la matrice interne et celles pour l'échange et le transit.

Malgré ce constat, on se servira des données précédentes pour achever la reconstitution de la matrice totale. Elles permettent de remplir les marges de la matrice. La distribution de ces trafics a ensuite été réalisée de la façon suivante : on isole le trafic de transit que l'on soustrait. On obtient alors le trafic d'échanges pur, qui est distribué au prorata du poids de chaque zone dans le trafic de la matrice interne. Le transit est, quant à lui, distribué de façon ponctuelle selon la physionomie du réseau.

Le total du transit est indiqué comme étant égal à 460 UVP en 1990.

	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134
125	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
126	0	0	0	0	0	0	0	150	0	0
127	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
128	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0
129	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
130	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
132	20	220	0	40	0	0	0	0	0	0
133	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
134	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figure 2.10: Valeurs pour le transit rentrées dans le modèle CETE

On ne s'attardera pas sur la prise en compte de ces flux d'échanges et de transit, l'enjeu fixé concernant la mise en place d'un modèle distribution-affectation des flux internes. L'analyse de l'affectation des matrices totales réalisée par le CETE est tout de même réalisée ci-dessous pour les années 1990 et 1997.

Analyse de la matrice totale reconstituée par le CETE

Situation 1990

La matrice totale ²² des trafics exprimés en UVP pour l'heure de pointe du soir du modèle 1990 réalisée par le CETE Méditerranée donne un total de 99 638 UVP.

Cette matrice fournit des valeurs décimales pour les trafics d'échange.

Son affectation à l'équilibre réalisée par EMME/2 sur le réseau 1990 donne des trafics représenté à la figure (2.11).

Le trafic obtenu est en moyenne de 791 UVP par lien avec un maximum atteint de 6033. Dans ces conditions, le taux de saturation est de 0,62 en moyenne.

Avec ce niveau de trafic, le modèle prévoit alors pour 1990 des temps moyens de parcours pour l'heure de pointe du soir de l'ordre de 19,9 minutes au lieu des 10,9 minutes relatives à la matrice interne. Une difficulté d'analyse est à soulever cependant. Le temps de parcours des personnes en échange ou transit est un temps approximé de façon grossière car calculé à partir des points de chargement externes. De plus, comparé à l'exploitation des enquêtes ménages déplacements de cette même période, ce temps semble un peu faible. D'autant plus que le transit est pris en compte dans l'exploitation du modèle, alors qu'ils ne le sont pas dans l'enquête ménage ²³. La répartition de ces temps de parcours est illustrée à la figure (2.12).

Les distances quant à elles sont alors en moyenne pour l'heure de pointe du soir de 7,6 km au lieu des 5,4 km relatifs à la matrice interne. La distribution est donnée à la figure (2.13).

Enfin, on peut compléter cette analyse de reconstitution de la matrice demande et de son affectation sur le réseau par la comparaison du trafic obtenu à celui donné

²²matrice de taille 134 * 134

²³seuls les résidents du bassin marseillais sont interrogés

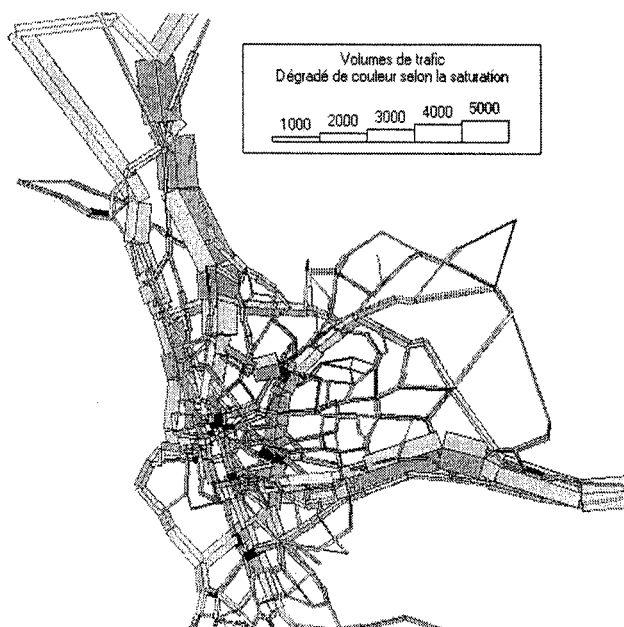


Figure 2.11: Résultat de l'affectation de la matrice totale - situation 90

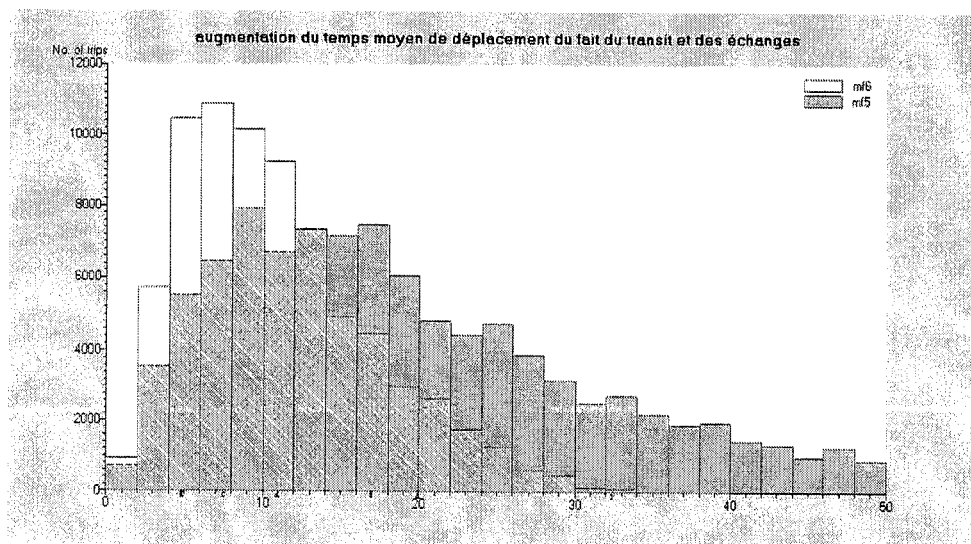


Figure 2.12: Comparaison de la répartition des temps de parcours entre l'affectation de la matrice totale et l'interne pour 1990

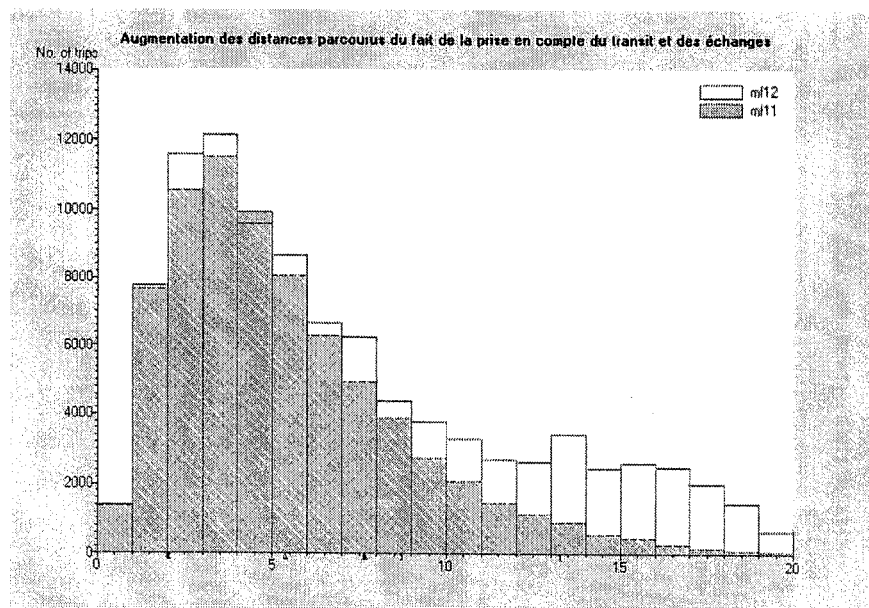


Figure 2.13: Comparaison de la répartition des distances parcourues entre l'affectation de la matrice totale et l'interne pour 1990

par les comptages opérés. Les mises en garde, quant à la comparaison des résultats issus d'un modèle ne prenant pas en compte les poids lourds, mais en revanche les deux roues avec ceux issus de comptages, incluant des poids lourds, mais pas des deux roues, ainsi que les mises en garde sur la validité des comptages eux mêmes dans leur exercice de conversion des véhicules en UVP, restent en vigueur. Malgré tout, le modèle sera calé par rapport à ces dits comptages. Ce qui est calé, c'est le trafic issu de l'affectation de la matrice sur le réseau. A l'issue de cet exercice supposé réalisé, on pourra comparer le trafic des liens où l'on dispose de comptages avec les dits comptages.

Avant cette comparaison, une analyse sommaire des comptages est nécessaire afin d'en valider la diversité et la représentativité. On dispose entre 1988 et 1992 de 232 liens qui ont fait l'objet de comptages (tous les connecteurs contenant des comptages ont été validés comme des connecteurs de centroïdes externes à l'exception de deux (deux sens) qui incluent pour l'un un centre commercial et pour l'autre une zone particulière). 37 des liens avec comptage sont en dépassement de capacité, un seul dépasse de plus de 50%. On représentera ces valeurs comme représentatives de la situation en 1990. On éliminera éventuellement les comptages qui nous semblent ne pas avoir de sens. Les liens colorés en rouge sur la figure (2.14) sont ceux qui sont en surcapacité.

La comparaison à ces comptages, du résultat de l'affectation de la matrice reconstituée peut être fait par régression linéaire, fonctionnalité offerte par EMME/2. En tenant compte de tous les comptages, le coefficient R^2 est proche de 0,79. La distribution en est donnée à la figure (2.15). Les points rouges correspondent aux liens où les comptage sont en dépassement de capacité.

En enlevant les comptages en dépassement de capacité, le coefficient R^2 tombe à 0,71.

La matrice semble avoir été calée que partiellement sur les comptages, car on aurait pu espérer un meilleur coefficient R^2 .

Nous avons enfin cherché à identifier les liens pour lesquels le calage ne se fait que difficilement. Ces liens sont marqués de la couleur rouge dans la représentation du trafic donnée à la figure (2.16).

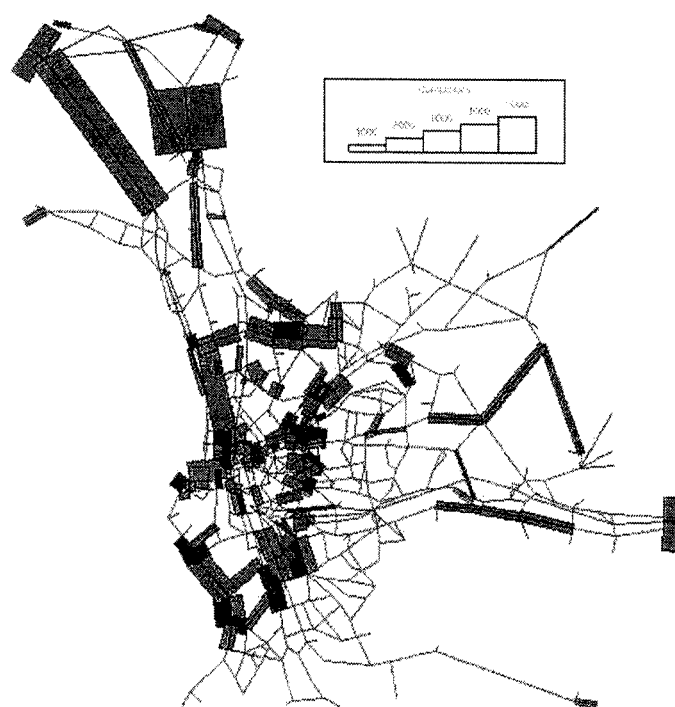


Figure 2.14: Comptages entre 1988 et 1992 issues de la banque 90

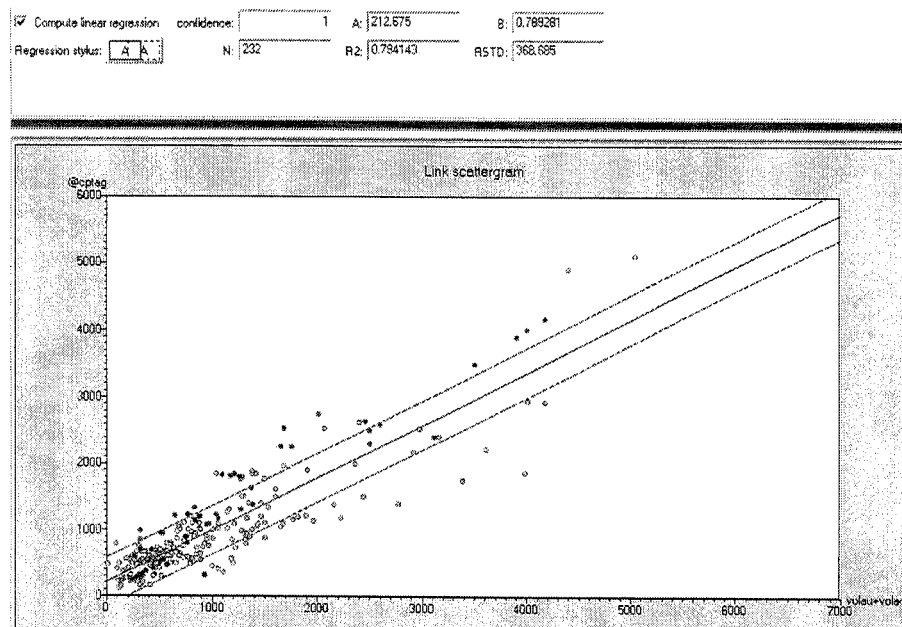


Figure 2.15: Comparaison entre comptages et trafic modélisé par le CETE pour 1990

Analyse de la matrice totale reconstituée par le CETE

Situation 1997

La matrice totale ²⁴ des trafics exprimés en UVP pour l'heure de pointe du soir du modèle 2000 réalisé par le CETE Méditerranée, ajustée aux comptages 1997 donne un total de 77 317 UVP.

Son affectation à l'équilibre réalisé par EMME2 sur le réseau 2000 codifié comme exposé précédemment donne des trafics représentés à la figure (2.17).

Le trafic obtenu est en moyenne de 822 UVP par lien avec un maximum atteint de 7256. Dans ces conditions, le taux de saturation est de 0,48 en moyenne.

Avec ce niveau de trafic, le modèle prévoit alors pour 1997 des temps moyen de parcours pour l'heure de pointe du soir de l'ordre de 20 minutes, au lieu des 13,1

²⁴matrice de taille 134 * 134

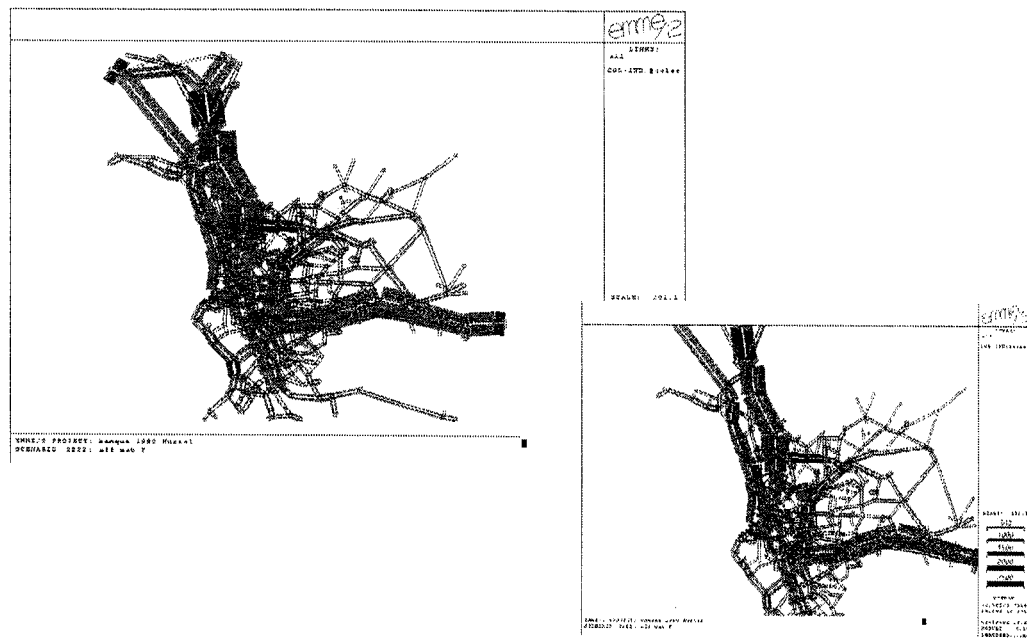


Figure 2.16: Identification des liens où difficultés de calage - situation 90

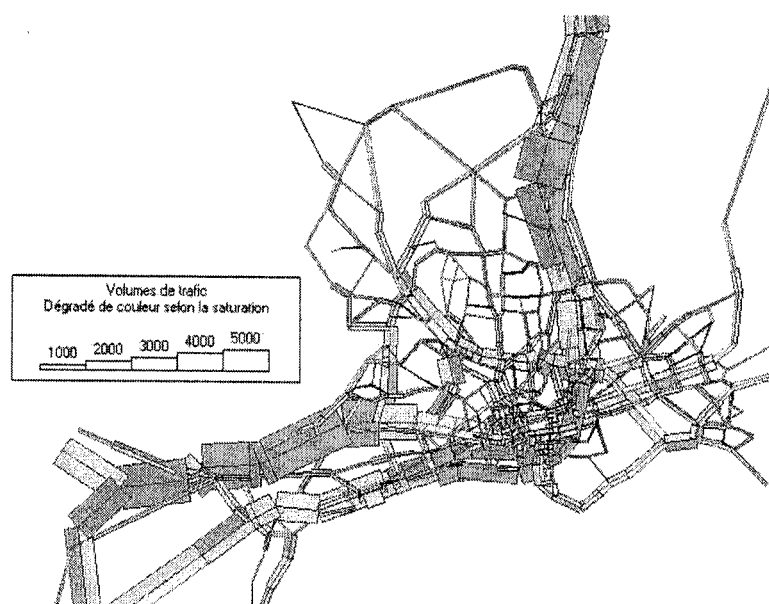


Figure 2.17: Résultat de l'affectation de la matrice totale - situation 97

minutes liées à l'affectation de la matrice interne. La répartition de ces temps de parcours est illustrée par la figure (2.18).

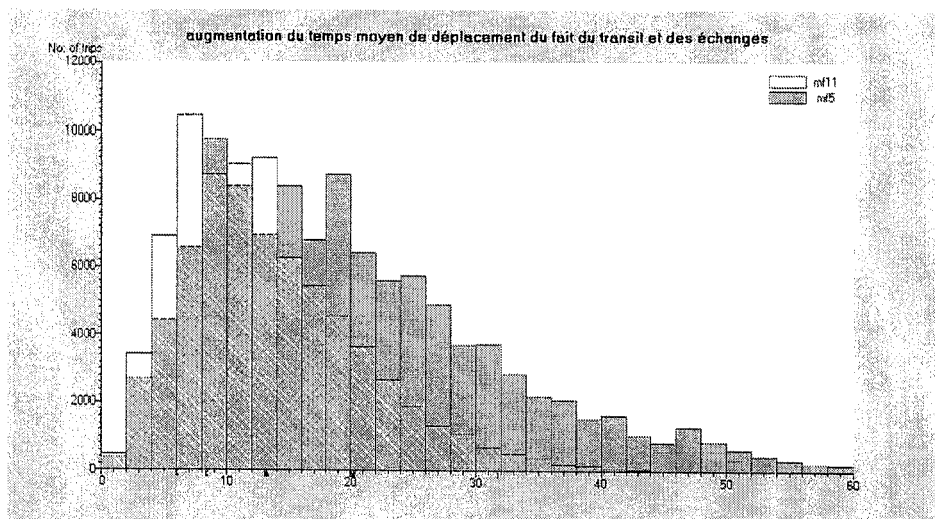


Figure 2.18: Comparaison de la répartition des temps de parcours entre l'affectation de la matrice totale et celle de la matrice interne en 1997

Entre 1990 et 1997, le modèle ²⁵ n'anticipe pas vraiment d'augmentation du temps de parcours moyen lié à l'affectation de la matrice totale, contrairement à ce qui a pu être observé pour l'affectation de la matrice interne. La répartition est très légèrement différente comme le montre la figure (2.19).

Les distances sont proches en moyenne de celles de 1990 : 7,8 km au lieu de 7,6 km. La comparaison de la distribution de distances entre le cas de l'affectation de la matrice totale et celle interne est donnée à la figure (2.20).

Comme pour la situation 1990, on peut compléter cette analyse de reconstitution de la matrice demande et de son affectation sur le réseau par la comparaison du trafic obtenu à celui donné par les comptages opérés. Avant cette comparaison, une analyse sommaire des comptages est nécessaire afin d'en valider la diversité et la représentativité. 80 liens ont fait l'objet de comptages entre 1994 et 1997. On considérera ces valeurs comme représentatives de la situation en 1997. Les comptages

²⁵si on prend en compte les modifications de l'offre comme on a pu le faire en prenant en considération les deux banques et non pas la seule banque 1990 avec un scénario de projection 1997 ou 2000

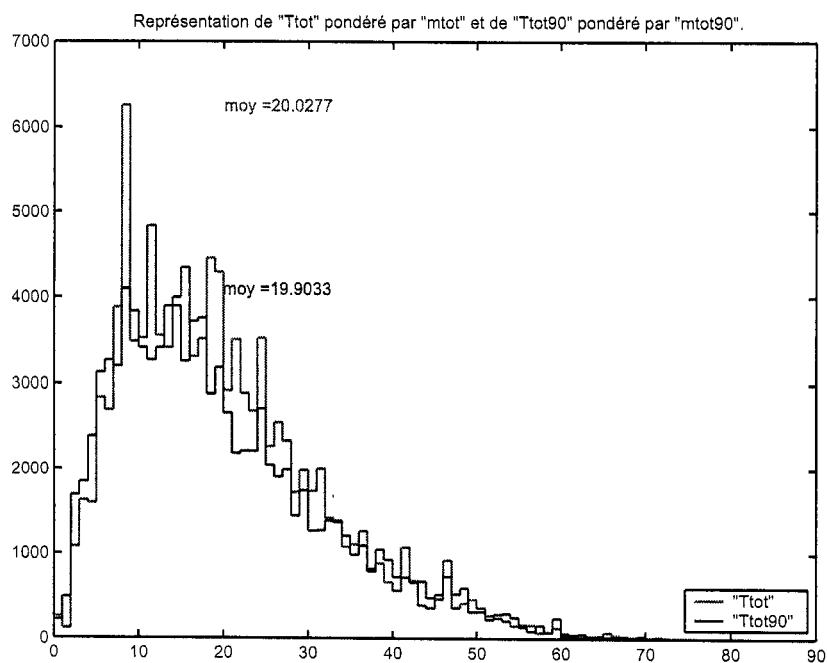


Figure 2.19: Comparaison du temps moyen de parcours HPS entre 1990 et 1997

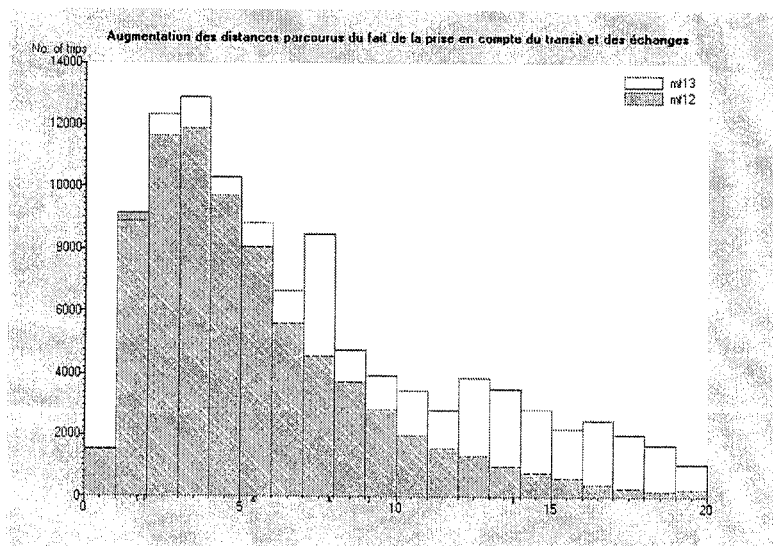


Figure 2.20: Comparaison de la répartition des distances entre l'affectation de la matrice totale et celle de la matrice interne en 1997

sont représentés à la figure (2.21) avec en rouge les 3 liens en dépassement de capacité.

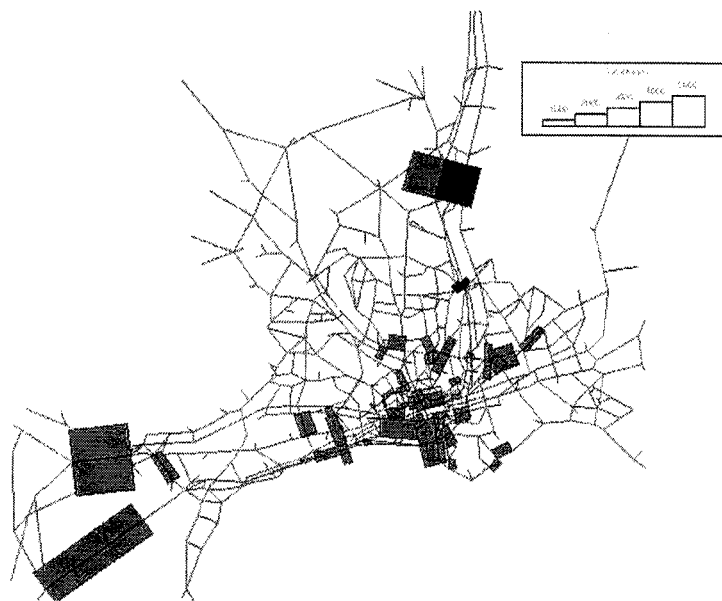


Figure 2.21: Comptages entre 1994 et 1997 issues de la banque 2000

Très peu de liens ont des comptages en dépassement de capacité (3).

La comparaison à ces comptages donne un coefficient R^2 proche de 0,73. La distribution en est donnée à la figure (2.22). Les points rouge correspondent aux liens où les comptage sont en dépassement de capacité.

La matrice ne semble pas avoir été calée complètement sur les comptages, car on aurait pu espérer un meilleur coefficient R^2 .

Nous avons enfin cherché à identifier les liens pour lesquels les trafics calculés étaient assez éloignés des comptages. Ces liens sont marqués de la couleur rouge dans la représentation du trafic donnée à la figure (2.23).

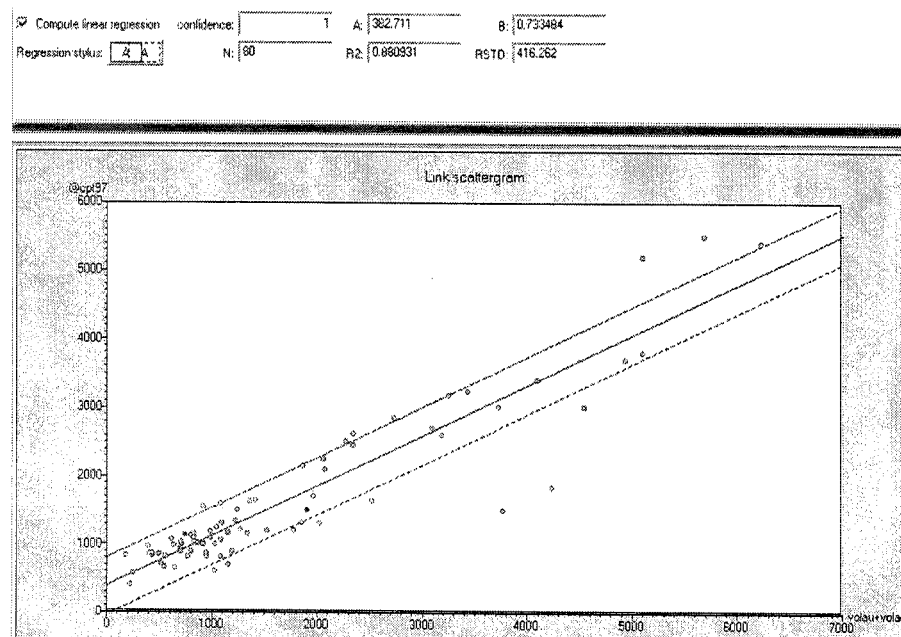


Figure 2.22: Comparaison entre comptages et trafic modélisé par le CETE pour 1997

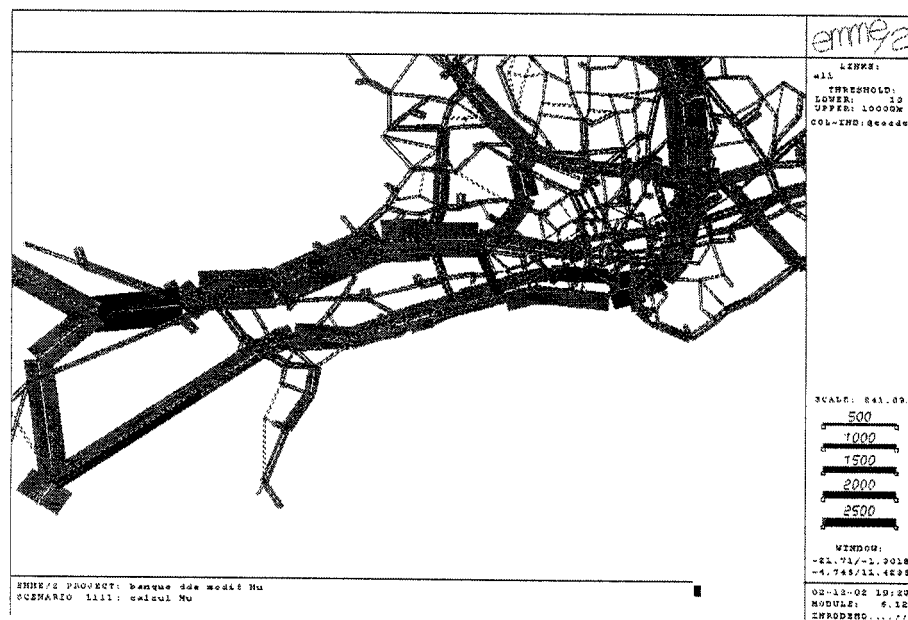


Figure 2.23: Identification des liens où difficultés de calage - situation 97

2.3 Récapitulatif des résultats d'affectation

En résumé de l'analyse des résultats d'affectations des deux matrices CETE représentatives des situations 1990 et 1997 ²⁶, on peut dresser le tableau (2.1), où "EMD" indique les résultats issus de l'exploitation des enquêtes ménages déplacements et où les taux de croissance sont des taux de croissance annuels géométriques. Remarquons que les résultats concernant les matrices internes ne sont pas égaux à ceux rapportés lors de l'explication de la reconstitution des matrices de demande. En effet, il était alors question de l'affectation sur réseau à vide de la matrice interne, ce qui ne présente aucune réalité observable. Dans l'exercice de comparaison avec les résultats de l'enquêtes ménage déplacements, l'affectation de la demande interne doit être réalisée sur un réseau comprenant le trafic d'échanges et de transit. Ce qui revient aux résultats de trafic de l'affectation de la matrice totale (en revanche, comme la pondération est moindre, les résultats de temps et distance moyens sont inférieurs). Les résultats relatifs aux matrices internes du tableau (2.1) ont donc été obtenus suite à une nouvelle série d'affectations pour les matrices internes sur réseau chargé du transit et de l'échange. Les résultats relatifs aux matrices totales sont, en revanche, de simple reprise des résultats déjà analysés en 2.2.

Tableau 2.1: Récapitulatif des principaux résultats des affectations des matrices CETE 1990 et 1997 en comparaison avec les résultats des EMD

Indicateurs		Valeurs Modèle 1990	Croissance (%) Modèle 1990/1997	Croissance (%) Enquête Ménage 1988/1997
Temps (mn)	interne	17,35	0,1	
	tot	19,9	0,1	0
Distance (km)	interne	5,38	0,1	-0,1
	tot	7,6	0,4	0,8
Vehicules (veh)	interne	74 265	0,6	1,8
	tot	99 638	1,4	2,5
veh.km (veh.km)	interne	355 026	0,3	1,1
	tot	701 789	1,8	3,3

²⁶issues de deux banques différentes et non d'une seule où l'une serait une matrice projetée sur une offre estimée

Les deux sources de données ne laissent pas présager des mêmes tendances. Remarquons que la tendance dessinée dans le cadre de l'exploitation de l'affectation des matrices issues de l'exercice de modélisation est elle-aussi différente de celle du tableau (1.1) qui avait été initiateur du travail d'évaluation dans lequel se positionnent les préliminaires de ce mémoire. La prise en compte de l'évolution du réseau, contrairement à ce qui avait été fait dans l'exercice ayant mené au tableau (1.1), est la cause probable de ces différences. Le tableau (1.1) est un exercice dans lequel le réseau futur était projeté et correspondait à la prochaine décennie, alors que pour tableau (2.1), l'offre est prise en compte dans sa réalité pour la décennie correspondant à l'exploitation EMD. Les différences entre modèle et enquêtes dans ce contexte sont bien moins importantes.

Le fait de tenir compte de l'offre réelle permet bien de minimiser les écarts du modèle avec la réalité. Pour les différences persistant toutefois, il semblerait que ce soit la hauteur de la demande qui soit à remettre en cause. L'ébauche d'un diagnostic sur le modèle de la ville de Marseille serait donc de conseiller la révision de la phase de génération, phase non impliquée dans le modèle d'affectation combinée dont il sera question par la suite.

Toutefois, la prise en compte d'une contrainte sur le temps moyen de déplacements, met enjeu les phases de distribution et d'affectation, qui elles sont au coeur de notre modèle combiné. C'est donc plus dans le seul contexte de mise en pratique d'un modèle d'affectation permettant le respect d'une contrainte de temps moyen de déplacement et de stabilité entre les phases d'affectation et de distribution ²⁷, et non plus dans un contexte de validation de modèle, qu'est à comprendre la suite du travail.

²⁷ dans le cas d'un modèle de distribution impliquant les temps de parcours et non les distances

Chapitre 3

ADAPTATION DES MODÈLES MATHÉMATIQUES SÉLECTIONNÉS COMME PERTINENTS

3.1 Quelques rappels

3.1.1 La modélisation sous EMME/2

La modélisation sous EMME/2 peut être multimodale, même si dans notre cas, elle ne concernera que le mode automobile. Elle est appropriée aux réseaux urbains, ce que peut parfaitement illustrer le réseau de voiries de la ville de Marseille. Elle s'appuie sur la procédure de modélisation agrégée classique à quatre étapes, tout en permettant une liberté de mise en oeuvre au planificateur. La procédure d'affecta-

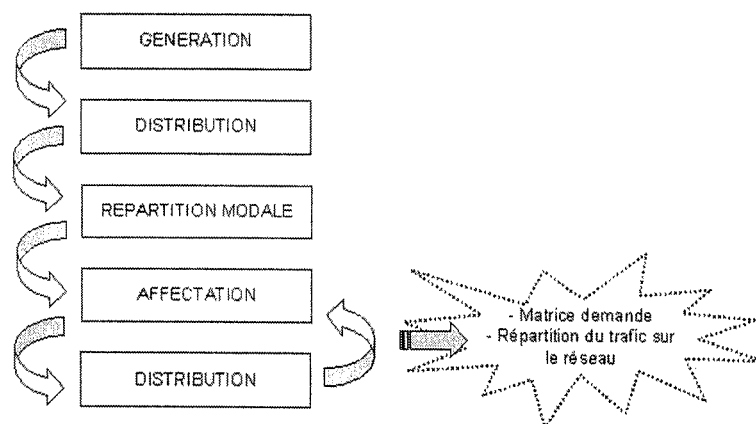
tion de la demande sur le réseau peut être une affectation tout ou rien, à capacité restreinte, incrémentale, stochastique, et peut viser l'optimisation pour le système, mais plus vraisemblablement se fera en vue de l'atteinte de l'équilibre en visant l'optimisation pour l'utilisateur.

À l'issue de cette affectation, les flux parcourant le réseau sont accessibles pour chacun des arcs codifiés. Le planificateur peut également prendre connaissance des temps (coûts) de parcours sur l'ensemble des paires origine-destination¹ et sur chacun des arcs. Il est possible également que la demande entre chaque paire se voit modifiée à l'issue de cette procédure d'affectation de la demande sur le réseau. C'est le cas par exemple avec la procédure d'affectation combinée avec la phase de distribution que nous expliquons par la suite.

3.1.2 La procédure affectation-distribution combinée

Le modèle proposé est un modèle classique à quatre étapes. Notre enjeu est d'introduire une contrainte sur le temps moyen de déplacement. Cette contrainte est susceptible de modifier la phase de distribution par rapport au modèle CETE. L'idée principale est de rendre le modèle de distribution dépendant du coût de transport entre les paires OD. Outre les modifications à entreprendre sur la phase de distribution, on s'intéressera à la prise en considération de l'effet rétroactif que peut entraîner la phase d'affectation sur celle de distribution, quand celle-ci est effectuée avec un modèle de distribution faisant intervenir le coût des liens (dépendant directement des volumes de trafic). On parle de modèle combiné distribution-affectation. Ainsi, un processus itératif peut être envisager afin d'obtenir une solution stable :

¹abrégé pour la suite en OD



Cette boucle itérative sera contrainte sur le temps moyen de déplacement, contrainte introduite lors de la phase de distribution.

Cette procédure entraîne une modification successive de la distribution de la demande sur l'ensemble des paires OD. L'enjeu de cette procédure est de permettre aux volumes affectés à l'équilibre de la procédure, de redonner la même demande après distribution, ainsi qu'une répartition des temps entre les différentes paires OD qui satisfasse la contrainte sur le temps moyen de déplacement.

3.2 Revue des modèles et algorithmes

3.2.1 Dans le cadre de l'étape de distribution des voyages

Dans un processus de modélisation à quatre étapes, la distribution fait suite à l'étape de génération des émissions et attractions de chacune des zones à l'étude. L'objectif est de répartir alors le nombre total de déplacements (voyageurs) issus de chaque zone sur l'ensemble des destinations disponibles. Autrement dit de trouver les g_{pq} représentant la demande entre une origine p et une destination q tels que l'on ait :

$$\sum_q g_{pq} = O_p, \forall p \quad (3.1a)$$

$$\sum_p g_{pq} = D_q, \forall q \quad (3.1b)$$

$$g_{pq} \geq 0, \forall (p, q) \quad (3.1c)$$

avec : O_p désignant le total de la demande en déplacements issue d'une origine p

avec : D_q celui en direction d'une destination q

On suppose en plus que :

$$g_{pq} = \alpha_p \cdot \beta_q \cdot f_{pq}$$

On est alors en présence d'un modèle multiplicatif avec α_p et β_q , les paramètres de calibrage et f_{pq} , une fonction dépendant de p et q de forme particulière. La forme de f_{pq} détermine le type de modèle multiplicatif. Par exemple, si f_{pq} représente la demande à l'année de base, on est en présence d'un modèle dit de croissance.

Si f_{pq} est une fonction indépendante de p et q appliquée au coût général ou temps de parcours entre p et q , on est en présence d'un modèle dit gravitaire. Le modèle entropique en est un cas particulier avec une fonction exponentielle :

$$g_{pq} = \alpha_p \cdot \beta_q \cdot \exp(-\theta \cdot u_{pq}) \quad (3.2)$$

où u_{pq} désigne le temps ou coût de déplacement entre p et q

Dans notre cas, la demande a été identifiée comme pouvant être reproduite par un modèle entropique. Ce type de modèle est devenu populaire grâce aux travaux de Wilson (Wilson, 1867).

Dans le modèle du CETE sur Marseille, les déplacements sont distribués non pas selon des u_{pq} , mais selon la distance entre p et q , ce qui présente l'avantage de rendre indépendant le modèle de distribution par rapport aux résultats de l'affectation.

On peut donc formuler la phase de distribution de notre modèle comme devant satisfaire :

$$g_{pq} = \alpha_p \cdot \beta_q \cdot \exp(-\theta \cdot u_{pq}) \quad (3.3a)$$

soumis à :

$$\sum_q g_{pq} = O_p, \quad \forall p \quad (3.3b)$$

$$\sum_p g_{pq} = D_q, \quad \forall q \quad (3.3c)$$

$$g_{pq} \geq 0, \quad \forall (p, q) \quad (3.3d)$$

Pour sa résolution, on peut supposer que θ est fixé, les u_{pq} connus, ainsi que les O_p et les D_q pour l'année étudiée. Il suffit alors de déterminer les coefficients de balancement (α_p et β_q) pour que l'on obtienne la demande distribuée par paire OD.

Pour ce faire, l'algorithme dit de balancement résout efficacement ce problème. En 1937 Kruithof (Kruithof, 1837) a utilisé cette méthode pour prévoir la saturation des lignes téléphoniques au Pays-Bas. C'est Fratar (Fratar, 1954) et Furness (Furness, 1965) qui l'ont appliquée en premier aux problèmes de distribution de déplacements en véhicule. Cet algorithme également connu sous le nom de "méthode de Furness et Fratar" s'articule en quatre étapes :

Etape 1 : Initialisation

$$n = 0$$

$$\alpha_p^n = 1, \quad \forall p$$

$$\beta_q^n = 1, \quad \forall q$$

Etape 2 : Balancement des lignes

$$\alpha_p^{n+1} = \frac{O_p}{\sum_q \beta_q^n \cdot f_{pq}}$$

Etape 3 : Balancement des colonnes

$$\beta_q^{n+1} = \frac{D_q}{\sum_p \alpha_p^{n+1} \cdot f_{pq}}$$

Etape 4 : Test d'arrêt

$$\text{si } \max \left[\max_p \left(\frac{\alpha_p^{n+1} - \alpha_p^n}{\alpha_p^{n+1}} \right), \max_q \left(\frac{\beta_q^{n+1} - \beta_q^n}{\beta_q^{n+1}} \right) \right] \leq \epsilon$$

ou si $n + 1 = n_{\max}$, alors arrêter le processus

sinon $n = n + 1$ et retourner à la deuxième étape

Cet algorithme permet donc de mettre en oeuvre n'importe quel modèle multiplicatif, du moment où les émissions, les attractions et la fonction de déterrence f_{pq} sont connues pour l'année d'étude, avec une légère réserve : même si $\sum_p O_p = \sum_q D_q$, il peut arriver qu'aucune matrice des g_{pq} ne satisfasse l'ensemble des équations du problème de balancement. La convergence de la méthode a été en revanche prouvée pour les modèles entropiques par Evans (Evans AW., 1970).

Intéressons nous maintenant, au calibrage de ce modèle entropique. Cette calibration passe par le choix du θ . Evans (Evans SP., 1971, 1973 et 1974) a montré que le calibrage du paramètre θ peut être réalisé en déterminant pour quelle valeur de θ est obtenue l'égalité entre le temps total (ou moyen) observé et celui prédit par la matrice calculée par le modèle.

Ce calibrage sous cette condition correspond bien à notre cas. En effet, les enquêtes ménages effectuées en 1988 et 1997 sur l'agglomération de Marseille mettent en évidence ce même phénomène de constance du temps moyen de parcours. Ainsi, peut-on énoncer le problème de calibrage du θ de la manière suivante :

Trouvons une valeur (ou fourchette de valeurs) pour θ telle que :

$$C(\theta) = \frac{\sum_{p,q} g_{pq} \cdot u_{pq}}{\sum_{p,q} g_{pq}} = \hat{C} \quad (3.4)$$

avec C désignant le temps (coût) moyen, et la présence du chapeau indiquant qu'il est observé
l'équation est soumise aux conditions (3.1) et (3.3a)

On cherche alors à montrer à la manière de Evans que $C(\theta)$ est décroissant.

Pour ce faire, on procédera d'abord par montrer l'équivalence entre les deux problèmes suivants :

$$g_{pq} = \alpha_p \cdot \beta_q \cdot \exp(-\theta \cdot u_{pq}) \quad \Leftrightarrow \quad \min \sum_{p,q} g_{pq} \cdot (\ln(g_{pq}) + \theta \cdot u_{pq}) \quad (3.5)$$

soumis aux conditions (3.1)

Cela se fait en appliquant les conditions de Kuhn-Tucker au problème de minimisation par rapport à la variable g_{pq} . L'équivalence se faisant avec :

$$\alpha_p = \exp(\lambda_p) , \quad \forall p \quad (3.6a)$$

$$\beta_q = \exp(\gamma_q - 1) , \quad \forall q \quad (3.6b)$$

avec λ_p et γ_q représentant les variables duales

Cette équivalence démontrée permet d'établir la décroissance de $C(\theta)$:
Soit $\theta_1 \neq \theta_2$, deux solutions possibles du modèle entropique. Solutions d'un problème de minimisation, elles vérifient :

$$A(\theta_1) + \theta_1 \cdot B(\theta_1) \leq A(\theta_2) + \theta_1 \cdot B(\theta_2) \quad (3.7a)$$

$$A(\theta_2) + \theta_2 \cdot B(\theta_2) \leq A(\theta_1) + \theta_2 \cdot B(\theta_1) \quad (3.7b)$$

Avec

$$\begin{cases} A(\theta) = \sum_{p,q} g_{pq} \cdot \ln(g_{pq}) \\ B(\theta) = \sum_{p,q} g_{pq} \cdot u_{pq} \end{cases}$$

Du système d'équations (3.7), on obtient :

$$(\theta_1 - \theta_2) \cdot (B(\theta_1) - B(\theta_2)) \leq 0 \quad (3.8)$$

Soit :

$$B(\theta_1) \geq B(\theta_2) \quad \text{si} \quad \theta_1 \leq \theta_2 \quad (3.9)$$

Autrement dit, $B(\theta)$ est une fonction décroissante de θ . Il en est alors de même pour $C(\theta)$.

Cette propriété est la pierre angulaire de la méthode de calibration suggérée par Evans afin de trouver la valeur de θ telle que $C(\theta) = \hat{C}$. Il suffit de procéder par itérations successives jusqu'à obtenir le θ donnant $\hat{C}$. Ce qui peut s'énoncer à la façon d'un programme, comme suit :

Etape 0 : initialisation

$$n = 0$$

$$\theta^n = 1/\hat{C}$$

Etape 1 : détermination de g_{pq}^n

Procédure de balancement avec f_{pq}^n dépendant de θ^n

u_{pq}^0 supposé connu, par exemple identique à la matrice des temps

sur le réseau à vide ; u_{pq}^n résultat de l'affectation de g_{pq}^{n-1}

Etape 2 : détermination de $C(\theta^n)$

$$C(\theta^n) = \frac{\sum_{p,q} g_{pq}^n \cdot u_{pq}^n}{\sum_{p,q} g_{pq}^n}$$

Etape 4 : test d'arrêt

$$\text{si } \frac{\|C(\theta^n) - \hat{C}\|}{\hat{C}} \leq \epsilon$$

ou si $n + 1 = n_{max}$, alors arrêter le processus

sinon $n = n + 1$ et reprendre à l'étape 1

$$\text{avec } \theta^n = \begin{cases} 3/2 * \theta^{n-1} & \text{si } C(\theta^{n-1}) \geq \hat{C} \\ 3/4 * \theta^{n-1} & \text{sinon} \end{cases}$$

3.2.2 Dans le cadre de l'étape d'affectation de la demande sur le réseau

Une fois la demande connue, la procédure d'affectation peut être mise en oeuvre, afin d'obtenir les flux circulant sur le réseau. Cette phase d'affectation de la demande est faite dans le cadre d'un réseau sujet à la congestion, c'est-à-dire que le coût de transport sur un lien dépend du volume véhiculé par ce même lien. Dans ce contexte, deux types de modélisation pour l'affectation de la demande sont souvent reportés dans la littérature :

Logique d'optimisation : On considère que l'usager est régi par une logique de minimisation du coût de son déplacement, comme le principe de Wardrop peut l'exprimer.

Logique stochastique : On considère au contraire une non-optimisation systématique.

Malgré son réalisme, la logique stochastique ne sera pas prise en considération, du fait qu'elle ne permet nullement la mise en oeuvre de solutions convergentes. On lui préférera la logique d'optimisation qui sera faite à partir d'algorithmes d'affectation à l'équilibre.

Les travaux de Knight (Knight, 1924) réalisés en 1924 faisaient déjà état de cette idée de l'affectation à l'équilibre. Les principes de choix d'itinéraires optima ont, par la suite, formalisé cette idée. Ceux de Wardrop (Wardrop, 1952), édictés en 1952, font toujours office de référence :

Premier principe (UE) : Le temps de parcours sur chacun des itinéraires utilisés est inférieur ou égal à celui qui aurait été expérimenté sur un itinéraire non utilisé. Le parcours des itinéraires utilisés pour chaque couple OD se fait donc avec le même temps, qui est minimum. Cette situation à l'équilibre est celle où l'on met le moins de temps en situation de chargement du réseau.

Deuxième principe (SE) : Le temps moyen de parcours sur l'ensemble du réseau est minimal.

Le premier principe, plus communément appelé "principe d'optimisation pour l'utilisateur" ², serait plus véridique, alors que le deuxième, plus communément appelé "principe d'optimisation pour le système" ³, serait plus efficace.

Formulons désormais dans le cadre du premier principe (le plus couramment utilisé et donc choisi), le problème d'affectation du trafic à l'équilibre, avec les mêmes conventions d'écriture que précédemment, et avec les notations suivantes.

Soit v_a le volume de l'arc a , on définit pour chacun des liens un coût de parcours du lien $s_a(v_a)$, appelé encore fonction débit-vitesse selon les volumes, en anglais : volume delay fonction (vdf). Si ces fonctions sont des fonctions constantes, c'est-à-dire que l'on a une indépendance du coût du parcours d'un lien par rapport au trafic qui y circule, la situation d'équilibre serait facilement trouvée en effectuant un calcul du plus court chemin entre chaque paire OD. Il est plus réaliste et communément admis que le niveau de trafic dégrade le temps (coût) de parcours. Les fonctions vdf précédemment mentionnées sont très largement utilisées et reconnues comme étant continues et croissantes.

On peut aussi définir pour chaque itinéraire k reliant une origine p et une destination q , un s_k , coût du parcours d'un itinéraire :

$$s_k = \sum_a \delta_{ak} \cdot s_a(v), \quad \forall k \in K_{pq} \quad (3.10)$$

avec K_{pq} l'ensemble des chemins reliant l'origine p à la destination q , et

$$\delta_{ak} = \begin{cases} 1 & \text{si } a \text{ appartient au chemin } k \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

On peut également définir par une variable, par exemple u_{pq} , le coût minimal pour aller de p à q via l'ensemble des chemins k possibles.

$$u_{pq} = \min_{k \in K_{pq}} s_k, \quad \forall (p, q) \quad (3.11)$$

²de l'anglais "user's equilibrium" $\sim$ UE

³de l'anglais "system's equilibrium" $\sim$ SE

Enfin, on définit h_k les flux parcourant un itinéraire tels que :

$$\sum_{k \in K_{pq}} h_k = g_{pq}, \quad \forall (p, q) \quad (3.12a)$$

$$h_k \geq 0, \quad \forall k \quad (3.12b)$$

Et les volumes par liens sont tels que :

$$v_a = \sum_{pq} \sum_{k \in K_{pq}} \delta_{ak} \cdot h_k, \quad \forall a \quad (3.13)$$

Le fait que pour toutes les paires OD, tous les itinéraires k orientés utilisés sont de coûts égaux minima s'écrit :

$$s_k^* - u_{pq}^* \begin{cases} = 0 & \text{si } h_k^* > 0 \\ \leq 0 & \text{si } h_k^* = 0 \end{cases} \quad \forall k \in K_{pq} \quad (3.14)$$

Soit

$$(s_k^* - u_{pq}^*) * (h_k - h_k^*) \geq 0 \quad (3.15)$$

En sommant sur tous chemins de toutes les paires OD :

$$\sum_{pq} \sum_{k \in K_{pq}} s_k^* (h_k - h_k^*) \geq \sum_{pq} \sum_{k \in K_{pq}} u_{pq}^* (h_k - h_k^*) \quad (3.16)$$

Ou encore :

$$\sum_a s_a(v^*) (v_a - v_a^*) \geq \sum_{pq} u_{pq}^* (g_{pq} - g_{pq}^*) \quad (3.17)$$

Soit une fonction de demande G_{pq} définie telle que : $G_{pq}(u) = g_{pq}$. C'est une fonction monotone décroissante continue de u . Cette fonction est également considérée comme bornée supérieure, c'est-à-dire qu'existe un nombre maximal de déplacements générés entre une origine et une destination pour une certaine période, quel

que soit le prix du déplacement. Cette borne supérieure peut être par exemple le nombre d'habitants de la zone d'origine. Soit W_{pq} la fonction inverse de G_{pq} , on a : $W_{pq}(g) = u_{pq}$, on a alors :

$$\sum_a s_a(v^*)(v_a - v_a^*) - \sum_{pq} W_{pq}(g^*)(g_{pq} - g_{pq}^*) \geq 0 \quad (3.18)$$

De plus, il est communément considéré que le coût de transport sur un lien ne dépend que du volume de ce seul lien. On néglige les interactions possibles entre liens. Autrement dit :

$$s_a(v) = s_a(v_a) \quad (3.19)$$

Il peut être également considéré que la fonction de demande d'une paire OD ne dépend que du coût de transport de cette même OD :

$$G_{pq}(u) = G_{pq}(u_{pq}) \quad (3.20)$$

Et donc pour la fonction inverse :

$$W_{pq}(g) = W_{pq}(g_{pq}) \quad (3.21)$$

On a donc :

$$\sum_a s_a(v_a^*)(v_a - v_a^*) - \sum_{pq} W_{pq}(g_{pq}^*)(g_{pq} - g_{pq}^*) \geq 0 \quad (3.22)$$

Cette inéquation variationnelle accompagnée de ses conditions (3.12) et (3.13) constitue la formulation du problème d'affectation à l'équilibre du trafic.

Sa formulation apparait notamment dans les travaux de Dafermos (Dafermos, 1980). Sa résolution permet l'obtention des flux dits à l'équilibre, et des autres grandeurs précédemment évoquées, tel que le coût du transport d'une paire OD. L'enjeu est donc de résoudre cette inéquation.

Mais avant toute chose, il est possible de s'assurer qu'une solution unique existe. Pour ce faire, et également pour la proposition d'algorithmes de résolution, il est utile de montrer l'équivalence du problème avec sa transformée de Beckman.

Cette transformée est un problème d'optimisation convexe des coûts dont la condition d'optimalité serait la formulation de notre problème. Ce nouveau problème s'écrit :

$$\min(z) = \min \left[\sum_a \int_0^{v_a} s_a(x).dx - \sum_{pq} \int_0^{g_{pq}} W_{pq}(y).dy \right] \quad (3.23)$$

soumis aux conditions (3.12) et (3.13)

L'équivalence entre ces deux problèmes peut se démontrer par l'application des conditions de Kuhn-Tucker au problème de minimisation. Soit $L(h, g, \alpha)$ le lagrangien associé, avec α le vecteur des multiplicateurs de Lagrange associé aux contraintes.

$$L(h, g, \alpha) = \sum_a \int_0^{v_a(h)} s_a(x).dx - \sum_{pq} \int_0^{g_{pq}} W_{pq}(y).dy + \sum_{pq} \alpha_{pq} * (g_{pq} - \sum_k h_k) \quad (3.24)$$

L'application des conditions de Kuhn-Tucker conduit au calcul de :

$$h_k \cdot \frac{\partial L(h, g, \alpha)}{\partial h_k} = 0, \quad \forall k \quad (3.25a)$$

$$\frac{\partial L(h, g, \alpha)}{\partial h_k} \geq 0, \quad \forall k \quad (3.25b)$$

$$g_{pq} \cdot \frac{\partial L(h, g, \alpha)}{\partial g_{pq}} = 0, \quad \forall (p, q) \quad (3.25c)$$

$$\frac{\partial L(h, g, \alpha)}{\partial g_{pq}} \geq 0, \quad \forall (p, q) \quad (3.25d)$$

$$\frac{\partial L(h, g, \alpha)}{\partial \alpha_{pq}} = 0, \quad \forall (p, q) \quad (3.25e)$$

avec en plus les conditions de positivité pour les variables h_k et g_{pq} déjà énoncées. Ce calcul aboutit à retrouver également les conditions formulées précédemment sur le problème UE. On a donc équivalence.

Afin de prouver l'existence d'une solution unique, il suffit de montrer alors que z est une fonction strictement convexe et que la région admissible est, elle aussi, convexe. Or comme les contraintes (3.12) et (3.13) sont linéaires, la région admissible est convexe. De plus, les vdf sont des fonctions continues, monotones, croissantes du volume et d'autre part la fonction demande est une fonction continue du coût minimum (u), monotone, décroissante (il en est alors de même de sa fonction

inverse). Ainsi, $\sum_a \int_0^{v_a} s_a(x).dx$ et $\sum_{pq} \int_0^{g_{pq}} W_{pq}(y).dy$ sont respectivement strictement convexe et concave. On a donc la soustraction d'une fonction strictement concave à une fonction strictement convexe, ce qui donne une fonction strictement convexe. z est donc convexe. Le programme consistant à la minimiser admet par conséquent une solution unique.

On pourrait également se référer aux travaux de Smith (Smith, 1979) et Aash-tiani (Aashtiani et al., 1980) pour démontrer cette unicité des solutions. La preuve en est faite en supposant qu'existeraient deux couples distincts d'ensemble des solutions sur le réseau, des grandeurs de flots et de demande. En écriture matricielle, cela peut s'écrire : (v^1, g^1) et (v^2, g^2) avec v , le vecteur des v_a sur l'ensemble des arcs et g , le vecteur des g_{pq} sur l'ensemble des paires OD. En reprenant l'inéquation variationnelle (3.22) avec comme couple de variables (v^1, g^1) et comme couple solution à l'équilibre (v^2, g^2) dans une première écriture et l'inverse dans une deuxième écriture, on obtient :

$$\begin{cases} \sum_a s_a(v_a^2)(v_a^1 - v_a^2) - \sum_{pq} W_{pq}(g_{pq}^2)(g_{pq}^1 - g_{pq}^2) \geq 0 \\ \sum_a s_a(v_a^1)(v_a^1 - v_a^2) - \sum_{pq} W_{pq}(g_{pq}^1)(g_{pq}^1 - g_{pq}^2) \leq 0 \end{cases} \quad (3.26)$$

Ce qui conduit à :

$$\sum_a (s_a(v_a^1) - s_a(v_a^2))(v_a^1 - v_a^2) - \sum_{pq} (W_{pq}(g_{pq}^1) - W_{pq}(g_{pq}^2))(g_{pq}^1 - g_{pq}^2) \leq 0 \quad (3.27)$$

En utilisant alors les propriétés de monotonie croissante pour les vdf et décroissante pour les fonctions de demande et de demande inverse, on peut écrire :

$$\begin{cases} \sum_a (s_a(v_a^1) - s_a(v_a^2))(v_a^1 - v_a^2) \geq 0 \\ \sum_{pq} (W_{pq}(g_{pq}^1) - W_{pq}(g_{pq}^2))(g_{pq}^1 - g_{pq}^2) \leq 0 \end{cases} \quad (3.28)$$

Ce qui implique :

$$\begin{cases} \sum_a (s_a(v_a^1) - s_a(v_a^2))(v_a^1 - v_a^2) = 0 \\ \sum_{pq} (W_{pq}(g_{pq}^1) - W_{pq}(g_{pq}^2))(g_{pq}^1 - g_{pq}^2) = 0 \end{cases} \quad (3.29)$$

Enfin, comme la monotonie pour les fonctions de demande est stricte, la dernière équation n'est pas valable dans le cadre de deux demandes distinctes. C'est donc que $g_{pq}^1 = g_{pq}^2$. On a donc unicité de la solution en terme de demande par paire OD. Pour ce qui est des volumes, si on est dans une situation où les vdf (s_a) sont des fonctions strictement monotones par rapport aux volumes, alors on peut facilement établir, de la même façon que cela a été fait pour la demande, que les volumes sont uniques.

Ainsi, il existe un ensemble de v_a et un ensemble de g_{pq} uniques, solutions des deux problèmes équivalents ((3.22), (3.23)), ce qui est primordial à la validité de l'exercice qui consiste à comparer des scénarios. En revanche, il est important de remarquer que cette unicité n'est pas valable dans le cadre de la formulation proposée, pour les flux donnés par chemin : h_k . Le problème étant sous-dimensionné dans ce cas. Etant donnés les flux par liens (encore appelés volume), les flux par chemin correspondent à la solution de la résolution simultanée des équations linéaires suivantes :

$$v_a^* = \sum_{pq} \sum_k \delta_{ak} . h_k , \quad \forall a \quad (3.30)$$

Or le nombre de variables h_k (autrement dit le nombre de chemins utilisés) dépasse largement le nombre de contraintes (correspondant au nombre de liens a). L'unicité n'est donc pas garantie, ce qui ne permet pas de considérer la grandeur h_k comme caractéristique de l'état du trafic sur le réseau dans un contexte de planification.

La formulation par la transformée de Beckman (3.23), outre son utilisation pour la démonstration de l'unicité de la solution, sera celle que l'on utilisera également pour la résolution du problème. Une formulation en problème de minimisation d'une fonction de coûts convexe est plus facile. C'est donc au problème dans sa formulation

((3.23) accompagnée de (3.12) et (3.13)) qu'il convient de s'attacher à résoudre désormais.

On peut adopter la méthode d'approximation linéaire de Frank et Wolfe (Frank et Wolfe, 1956) comme l'a démontré en premier Bruynooghe (Bruynooghe et al., 1968), et par la suite LeBlanc (LeBlanc et al., 1975), ainsi que Florian et Nguyen (Florian et Nguyen, 1976).

La présentation de l'adaptation de cette méthode à notre problème se fera en trois étapes. Tout d'abord, sera abordé le problème simplifié d'une demande constante sur l'ensemble des paires OD. Le cas général sera détaillé par la suite. Et en dernier lieu, on s'intéressera au cas d'un modèle combiné affectation-distribution.

Demande constante

C'est le cas d'une fonction g_{pq} considérée comme indépendante de u_{pq} . Sa valeur est donc considérée comme constante, égale à $\mathcal{G}_{pq}$, mais également à g_{pq}^* dans l'équation variationnelle. Le deuxième terme de (3.22) est alors nul. Il en est donc de même dans sa formulation dite de Beckman équivalente.

La fonction objectif de notre problème (3.23) peut alors être simplifiée en :

$$\min(z) = \min\left(\sum_a \int_0^{v_a} s_a(x) dx\right)$$

Dans ce qui suit, il sera donc question de la résolution à l'aide de la méthode d'approximation linéaire du problème :

$$\min(z) = \min\left(\sum_a \int_0^{v_a} s_a(x) dx\right) \quad (3.31a)$$

Soumis aux contraintes :

$$\sum_k h_k = \mathcal{G}_{pq}, \quad \forall(p, q) \quad (3.31b)$$

$$h_k \geq 0, \quad \forall k \quad (3.31c)$$

Avec la même définition des v_a que dans (3.13) :

$$v_a = \sum_{pq} \sum_k \delta_{pq} \cdot h_k, \quad \forall a \quad (3.31d)$$

Commençant avec une solution admissible, la méthode d'approximation linéaire de Frank and Wolfe obtient une direction de recherche en linéarisant la fonction objectif, résolvant un sous-problème linéaire et, au final, en trouvant une meilleure solution du point de vue de la fonction objectif, située sur le segment reliant la solution initiale et celle issue de la résolution du sous-problème linéaire.

Le fondement théorique de l'emploi d'une telle méthode est apparu en premier dans l'article de Frank et Wolfe, de 1956. Par la suite, Zangwill (Zangwill, 1969), Luenberger (Luenberger, 1973), Simmons (Simmons, 1975) et Wagner (Wagner, 1975) ont développé d'autres méthodes de recherche convergente de solutions pour les problèmes de minimisation de fonctions ditoniques continues définies sur un certain intervalle d'étude avec ou sans contraintes linéaires. Frank et Wolfe avaient originellement orienté leur méthode pour la résolution de problèmes de programmation quadratique avec contraintes linéaires. Cette méthode a été par la suite utilisée de façon très satisfaisante pour la détermination des flux à l'équilibre sur un réseau de transport.

Dans sa formulation, la méthode de Frank et Wolfe s'occupe de la résolution de problèmes du type de celui qui suit.

Soit une fonction z convexe non linéaire à variables multiples au nombre de I .

La méthode est itérative et cherche à déterminer à chaque pas n , un ensemble de solutions $x^{n+1} = (x_1^{n+1}, \dots, x_I^{n+1})$ issu de $x^n = (x_1^n, \dots, x_I^n)$ tel que $z(x^{n+1}) < z(x^n)$.

Le problème à résoudre est formulé comme suit :

$$\min_x z(x) \quad (3.32a)$$

soumis aux J contraintes linéaires :

$$\sum_i a_{ij} \cdot x_i \geq b_j, \quad \forall j \in J \quad (3.32b)$$

La logique de résolution est une logique de recherche de direction de descente (on est en présence d'une fonction convexe dont on cherche le minimum) en considérant non seulement la raideur de la pente de chaque direction possible dans le voisinage de x^n , mais également l'éloignement avec lequel on peut se déplacer sur cette direction tout en restant dans le domaine admissible. C'est-à-dire que si, par exemple, seulement un petit déplacement est possible dans une direction, alors faire une itération de recherche dans cette direction est inutile. Même si la direction peut entraîner une forte décroissance localement dans la fonction objectif z , si on ne peut pas aller très loin, cela n'aboutira que dans une très légère diminution de la valeur de z évaluée en x^n puis x^{n+1} . Inversement, une direction où il est possible d'aller très loin, même si localement elle n'est pas celle qui permet le changement le plus rapide dans l'évaluation de z , sera à privilégier. Le critère de sélection de la direction dans laquelle effectuer la recherche de la solution du pas suivant peut donc résulter du produit de la raideur de la pente de descente avec la longueur de déplacement selon cette direction étant donné le domaine admissible. Ce qui implique que pour trouver une direction de descente, l'algorithme recherche dans tout le domaine admissible une solution $y^n = (y_1^n, \dots, y_I^n)$, telle que la direction entre x^n et y^n permette la maximisation de ce produit, encore appelé "chute". Soit en écriture matricielle :

$$\max \left[-\nabla z(x^n) \cdot \frac{(y - x^n)^\top}{\|y - x^n\|} \cdot \|y - x^n\| \right] \quad (3.33)$$

Après calculs et en considérant le fait que la maximisation s'effectue sur les y , la fonction objectif peut être simplifiée en :

$$\min [\nabla z(x^n) \cdot y^\top] \quad (3.34)$$

Au final, cela revient donc à rechercher $y^n = (y_1^n, \dots, y_I^n)$, à chaque pas n solution du programme :

$$\min \left[\sum_i \frac{\partial z(x^n)}{\partial x_i} \cdot y_i \right] \quad (3.35)$$

soumis aux conditions (3.32b)

On aurait pu également adopter une approche plus mathématique et moins géométrique et arriver au même résultat. Nous aurions alors utilisé une linéarisation de la fonction objectif. Ainsi en utilisant un développement de Taylor de la fonction $z(y)$ au voisinage de x^n , aurait-on pu écrire matriciellement :

$$z(y) \approx z(x^n) + \nabla z(x^n) \cdot (y - x^n)^\top \quad (3.36)$$

Cette fonction aurait été celle que l'on aurait cherché à minimiser afin de trouver y^n . Cette minimisation s'effectuant sur y , la fonction objectif aurait pu être simplifiée en supprimant les termes ne faisant pas intervenir y . Le problème serait revenu à celui proposé en (3.35).

A l'issue de la résolution de ce programme d'approximation linéaire, on obtient donc la direction de descente $d^n = y^n - x^n$ pour chaque itération n . La méthode consiste alors à déterminer la taille du déplacement selon la direction de descente ainsi spécifiée et définir un test d'arrêt du processus itératif.

Pour ce qui est de la taille du déplacement, étant donné le fait que y^n est obtenu en résolvant un programme linéaire, y^n se situe sur une frontière du domaine admissible (égalité pour une des contraintes). Ainsi, la solution améliorée x^{n+1} , qui est recherchée pour l'itération n sur la direction de descente d^n à partir de x^n , se situe logiquement entre x^n et y^n . On peut donc définir un paramètre λ^n pour chaque itération n tel que :

$$x^{n+1} = x^n + \lambda^n \cdot (y^n - x^n), \text{ avec } \lambda \in [0, 1] \quad (3.37)$$

Afin de trouver le déplacement le plus efficace en terme de rapidité de convergence, on cherchera le meilleur λ ; c'est celui qui minimise la fonction objectif z évaluée en x^{n+1} . On obtient donc la solution améliorée x^{n+1} en résolvant le programme en λ suivant :

$$\min_{0 \leq \lambda \leq 1} [z(x^n + \lambda \cdot (y^n - x^n))] \quad (3.38)$$

Pour ce qui est du test d'arrêt du processus itératif, on peut utiliser un des critères connus suivants :

- * basé sur la contribution marginale
de chaque itération :

$$[z(x^n) - z(x^{n+1})] \leq \epsilon$$

- * ou encore à partir du gradient :

$$\max_i \left| \frac{\partial z(x^n)}{\partial x_i} \right| \leq \epsilon$$

- * basé sur la comparaison des solutions :

$$\max_i \frac{|x_i^{n+1} - x_i^n|}{x_i^n} \leq \epsilon$$

- * ou encore :

$$\sum_i (x_i^{n+1} - x_i^n)^2 \leq \epsilon$$

Le récapitulatif de cette méthode peut donc être fait de la manière suivante :

itération 0 : définition d'une solution admissible

Soit x^0 une solution admissible du problème (3.32)

itération 1 : recherche de la direction de descente

Trouver y^n solution du programme linéaire :

$$\min_y [\nabla z(x^n) \cdot y^\top]$$

soumis aux contraintes (3.32b).

Le vecteur de descente est alors : $(y^n - x^n)$.

itération 2 : détermination de la taille du déplacement

Trouver λ^n solution de

$$\min_{0 \leq \lambda \leq 1} z(x^n + \lambda \cdot (y^n - x^n))$$

itération 3 : calcul de la nouvelle solution

Définir x^{n+1} comme égal à

$$x^n + \lambda^n \cdot (y^n - x^n)$$

itération 4 : test d'arrêt

Si $[z(x^n) - z(x^{n+1})] \leq \epsilon$, alors on peut considérer que la convergence est at-

teinte, la solution du problème étant alors x^{n+1} , sinon retourner à l'itération 1 avec $n = n + 1$.

Avant de passer à l'application de cette méthode, on remarquera juste qu'elle permet de traiter des réseaux de grande taille, ce qui n'est pas le cas avec la méthode de Newton par exemple, même si cette dernière est plus efficace (Sheffi, 1984).

Revenons maintenant au problème objet de notre attention, à savoir celui formulé par les équations (3.31).

Il a été question de la mise en application de l'algorithme d'approximation linéaire de Frank et Wolfe. Mais tout d'abord, intéressons nous aux différentes heuristiques qui ont été en vigueur (et peuvent encore l'être) avant le développement de la résolution par algorithmes. Les heuristiques les plus utilisées ont été les suivantes :

- Méthode sous capacité restreinte

Le principe est itératif. A chaque itération est affectée la demande par un process tout ou rien, sur un réseau dont les coûts par arc sont évalués à partir de la répartition du trafic sur les arcs, de l'itération précédente. Le critère d'arrêt est évalué à partir de la différence entre les volumes par arc de l'itération actuelle et la précédente. On peut également se restreindre à un certain nombre d'itérations. La méthode ayant souvent conduit à des "flip-flops" dans les valeurs des flux résultants, une procédure de "smoothing" a été ajoutée. Cette dernière consiste à faire préalablement à l'affectation tout ou rien, une moyenne des coûts par arc entre, au moins, les deux dernières itérations. Peut être également proposé le calcul itératif suivant évaluant le coût de l'arc a à l'itération n :

$$s_a^n = 0.75 \cdot s_a^{n-1} + 0.25 \cdot s_a(v_a^{n-1}) \quad (3.39)$$

Cette procédure a été employée un temps par le US Federal Highway Administration avec la méthode de moyenne effectuée sur les volumes des arcs sur les 4 dernières itérations afin d'obtenir les volumes dits à l'équilibre.

- Méthode d'affectation par tranches

Le principe est itératif. On découpe la matrice de demande en plusieurs tranches que l'on affecte séparément à chaque itération avec une procédure de tout ou

rien. Les coûts $s_a^n(v_a^{n-1})$ sont actualisés avant chaque nouvelle itération avec $v_a^n = v_a^{n-1} + w_a^n$, où w_a^n représente le résultat de l'affectation partielle d'une tranche de la demande correspondant à cette itération.

Ces heuristiques longtemps utilisées peuvent malheureusement ne pas converger vers la solution d'équilibre. Une autre approche a par conséquent été développée, laissant de côté l'usage des heuristiques. Il s'agissait de s'intéresser à la formulation du problème en tant que programme mathématique. Ce programme est constitué d'une fonction objectif convexe soumise à des contraintes linéaires. La méthode qui s'est imposée est celle de résolution par approximation linéaire du type de celle de Frank et Wolfe. En effet, comme on l'a vu, cette méthode est particulièrement efficace pour la résolution de problème de ce type. De plus, cette méthode met en oeuvre la résolution d'un programme linéaire, qui, dans le cas du problème UE, a une structure spéciale qui simplifie la solution.

Appliquons la méthode d'approximation linéaire de Frank et Wolfe proposée ci-avant au problème (3.31).

La situation initiale de la recherche itérative de l'équilibre peut se faire à partir de la situation qui affecterait l'ensemble de la demande selon le processus tout ou rien sur le réseau à vide.

Il convient ensuite de résoudre un programme linéaire en y , afin de déterminer la direction de descente :

$$\min_y [\nabla z(v_a^n) \cdot y^\top] = \min_a \sum_a \frac{\partial z(v_a^n)}{\partial v_a} \cdot y_a \quad (3.40a)$$

Soumis aux contraintes :

$$\sum_k h'_k = g_{pq}, \quad \forall (p, q) \quad (3.40b)$$

$$h'_k \geq 0, \quad \forall k \quad (3.40c)$$

Avec :

$$y_a = \sum_{p,q} \sum_k \delta_{ak} \cdot h'_k, \quad \forall a \quad (3.40d)$$

Le calcul de $\frac{\partial z(v_a^n)}{\partial v_a}$ avec :

$$z(v_a^n) = \sum_a \int_0^{v_a^n} s_a^n(x) \cdot dx \quad \text{et} \quad s_a^n = s_a(v_a^n)$$

aboutit à la simplification de (3.40a) en :

$$\min \sum_a s_a^n \cdot y_a \quad (3.41)$$

Ce programme linéaire cherchera donc à minimiser le total des coûts (temps) de parcours avec des coûts par arc s_a^n constants (non dépendants du flux, v_a^n fixé à chaque n) pour chaque itération n . Le coût (temps) total est calculé suite à une affectation tout ou rien de la demande sur le chemin le plus court entre chaque paire OD.

Une fois trouvé le vecteur y^n défini sur l'ensemble des arcs a , solution du programme linéaire (3.40) pour l'itération n , on peut calculer la direction de descente d^n .

Pour ce qui est de la grandeur optimale du déplacement dans cette direction, le problème de minimisation en λ auquel on est amené :

$$\min_{0 \leq \lambda \leq 1} z(v^n + \lambda \cdot (y^n - v^n)) \quad (3.42)$$

se résout aisément du fait de la définition à base d'intégrales de la fonction objectif z . On a donc pour chaque itération n , λ^n solution de :

$$\sum_a (y_a^n - v_a^n) \cdot s_a [(v_a^n + \lambda \cdot (y_a^n - v_a^n))] = 0 \quad (3.43)$$

Enfin, la différence entre le temps total et celui sur le plus court chemin peut être prise comme critère d'arrêt du processus itératif.

La méthode proposée se résume comme suit :

itération 0 : définition d'une solution admissible

Obtenir les v_a^1 pour tous les arcs a , en affectant la demande avec un process de tout ou rien, le réseau étant à vide.

Initialiser n , compteur d'itérations à 1.

itération 1 : mise à jour des coûts

Calculer les s_a^n sur l'ensemble des arcs a , comme étant $s_a(v_a^n)$.

itération 2 : recherche de la direction de descente

Obtenir les flux auxiliaires y_a^n pour tous les arcs a , en effectuant une affectation tout ou rien sur le réseau dont les coûts par arc sont égaux à s_a^n .

La direction de descente est donnée par le vecteur : $(y_a - v_a)$.

itération 3 : détermination de la taille du déplacement

Trouver λ^n solution de :

$$\sum_a (y_a^n - v_a^n) \cdot s_a [v_a^n + \lambda \cdot (y_a^n - v_a^n)] = 0$$

itération 4 : calcul de la nouvelle solution

Définir pour tous les arcs a , v_a^{n+1} comme égal à :

$$v_a^n + \lambda^n \cdot (y_a^n - v_a^n)$$

itération 5 : test d'arrêt

Si le test d'arrêt, par exemple, $\sum_a |s_a^n \cdot v_a^n - s_a^n \cdot y_a^n| \leq \epsilon^4$, est satisfait, alors on peut considérer que la convergence est atteinte, la solution du problème étant alors v_a^{n+1} , sinon retourner à l'itération 1 avec $n = n + 1$.

⁴On parle de "gap" dans EMME/2, il peut être calculé de façon normative en divisant par le total de la demande $\sum_{pq} g_{pq}$, il représente la différence entre le temps total ou moyen de l'affectation faite à l'itération n et celui obtenu par le parcours du chemin le plus court à cette même itération.

On peut remarquer que la méthode avec capacités restreintes exposée précédemment est un cas particulier de cet algorithme. Il suffit de fixer λ^n à 1 pour toutes les itérations n pour la retrouver.

Une expérimentation de la mise en oeuvre de cet algorithme comparée à celle des deux heuristiques présentées précédemment, donne des résultats probants quant à l'amélioration de la convergence. Ce qui est particulièrement intéressant du point de vue de la quantité de calculs à assurer. Etant donné que doit être entrepris le calcul des plus courts chemins dans la direction de descente, l'atteinte d'une "bonne" réponse rapidement peut s'avérer utile. Toutefois on n'est pas dans le cas où l'on doit les conserver d'une itération à l'autre. La place utilisée pour stocker l'information n'augmente donc pas en même temps que le nombre d'itérations. Pour plus de détails, on pourra se référer à l'ouvrage de Sheffi. Enfin, il a été remarqué durant cette expérimentation que le nombre d'itérations augmentait grandement quand le réseau était à saturation.

Demande variable selon les paires OD

Le cas précédent, à savoir celui de la demande fixe, est un cas particulier du problème que l'on se propose de résoudre dans ce paragraphe. Si on ne considère plus la fonction demande entre une origine et une destination comme connue et indépendante du coût du plus court chemin pour cette OD, on est dans le cas de demande variable, appelée également "demande élastique" dans la littérature. Dans ce cas, on tient compte du fait que le niveau de service peut influencer la fonction de demande. L'exemple de situation de congestion peut illustrer ce cas : si la congestion croît dans un secteur, certains automobilistes peuvent décider de changer l'heure de leurs déplacements, de mode de transport, ... et donc diminuer la demande en déplacements entre les paires OD de ce secteur.

On se retrouve donc dans le cas du problème du début, non simplifiable reprenant l'équation (3.23), à savoir :

$$\min(z) = \min \left[\sum_a \int_0^{v_a} s_a(x).dx - \sum_{pq} \int_0^{g_{pq}} G_{pq}^{-1}(y).dy \right] \quad (3.44a)$$

Soumis aux conditions :

$$\sum_k h_k = g_{pq} , \quad \forall (p, q) \quad (3.44b)$$

$$h_k \geq 0 , \quad \forall k \quad (3.44c)$$

$$g_{pq} \geq 0 , \quad \forall (p, q) \quad (3.44d)$$

Avec :

$$v_a = \sum_{pq} \sum_k \delta_{ak} \cdot h_k , \quad \forall a \quad (3.44e)$$

Une résolution à la manière de celle présentée pour le cas particulier de la demande fixe est présentée dans l'ouvrage de Sheffi.

Cette méthode d'approximation linéaire et recherche de descente peut être résumée comme suit :

itération 0 : initialisation

Trouver une solution admissible donnant les vecteurs v^1 et g^1 (par exemple, v^1 peut être trouvé suite à l'affectation de g^1 par un process tout ou rien sur le réseau considéré à vide ; et g^1 peut résulter de l'application de la fonction de demande G_{pq} aux u_{pq}^1 , calculés sur le réseau considéré à vide).

Mettre le compteur d'itération n à la valeur 1.

itération 1 : mise à jour des coûts

Calculer les s_a^n sur l'ensemble des arcs a , comme étant $s_a(v_a^n)$. Faire le calcul des plus courts chemins u_{pq}^n , les coûts des arcs étant fixés à s_a^n .

itération 2 : recherche de la direction de descente

Réaliser une affectation de la demande g_{pq}^n pour chaque paire (p, q) selon la procédure suivante :

A la manière de la méthode utilisée pour la demande fixe, on va définir des grandeurs auxiliaires, solutions de la linéarisation de la fonction objectif. Cette fois en plus de la grandeur en volume y_a^n auxiliaire de v_a^n , on définit une grandeur en flux f_k^n , auxiliaire de h_k^n . Cette détermination se fait en fonction de la différence entre le coût à l'itération n du transport sur le plus court chemin entre p et q , et la valeur de $G_{pq}^{-1}(g_{pq}^n)$. Si pour une paire OD, le coût du plus court chemin m est strictement inférieur à cette différence, alors f_m^n est égal à la borne supérieure de l'ensemble des flux ayant pour origine p et destination q , alors que sur les autres chemins reliant cette même paire OD, $f_k^n = 0, \forall k \neq m \in K_{pq}$; Si le coût est en revanche strictement supérieur, sur l'ensemble des chemins reliant cette paire OD, $f_k^n = 0$. Enfin, dans le cas de l'égalité, on peut soit reproduire ce qui est fait dans le cas où il y a supériorité stricte, soit l'autre. On obtient alors les flux auxiliaires f_k^n sur l'ensemble des chemins k de l'ensemble des paires OD. On peut alors déterminer la variable auxiliaire en volume y_a^n comme étant égale à : $\sum_k \sum_a \delta_{ka} \cdot f_k^n$ sur l'ensemble des paires OD. On va aussi calculer une valeur auxiliaire en demande notée par exemple q_{pq}^n .

$$q_{pq}^n = \sum_{k \in K_{pq}} f_k^n$$

La direction de descente est donnée par le vecteur : $(y^n - v^n; q^n - g^n)$.

itération 3 : taille du déplacement

Trouver λ^n solution de :

$$\min_{\lambda} \left[\sum_a \int_0^{v_a^n + \lambda \cdot (y_a^n - v_a^n)} s_a(x) \cdot dx - \sum_{pq} \int_0^{g_{pq}^n + \lambda \cdot (q_{pq}^n - g_{pq}^n)} G_{pq}^{-1}(x) \cdot dx \right]$$

itération 4 : calcul des nouvelles variables

$$v_a^{n+1} = v_a^n + \lambda^n \cdot (y_a^n - v_a^n), \quad \forall a$$

$$g_{pq}^{n+1} = g_{pq}^n + \lambda^n \cdot (q_{pq}^n - g_{pq}^n), \quad \forall (p, q)$$

itération 5 : test d'arrêt

On peut prendre comme critère la différence entre les coûts de transport sur

les plus courts chemins entre deux itérations voisines, combiné ou non à celle de la demande entre deux itérations voisines :

$$\sum_{pq} \frac{|u_{pq}^n - u_{pq}^{n-1}|}{u_{pq}^{n-1}} \leq \epsilon$$

$$\sum_{pq} \frac{|g_{pq}^n - g_{pq}^{n-1}|}{g_{pq}^{n-1}} \leq \epsilon$$

$$\sum_{pq} \frac{|u_{pq}^n - u_{pq}^{n-1}|}{u_{pq}^{n-1}} + \frac{|g_{pq}^n - g_{pq}^{n-1}|}{g_{pq}^{n-1}} \leq \epsilon$$

Si ce critère est rencontré, on considère alors que l'équilibre a été atteint avec comme volumes par liens v_a^{n+1} et comme demande g_{pq}^{n+1} . Sinon, reprendre à l'itération 1 avec $n = n + 1$.

Cet algorithme d'approximation linéaire nécessite plus de calculs dans ce cas, que pour le cas particulier de la demande fixe. Même si le nombre d'arbres des plus courts chemins à évaluer est identique dans les deux cas, des efforts de calculs supplémentaires se feront sentir dans le cas de la demande variable :

- un effort supplémentaire est à réaliser afin de pouvoir comparer les coûts de ces plus courts chemins pour chaque paire OD à la valeur que donne l'application de la fonction de demande inverse à la demande.
- Un autre permet de réaliser le calcul complet du problème de minimisation intervenant dans la détermination de la taille du déplacement. Cependant, comme c'est une résolution d'un problème à une dimension, cela ne rajoute que peu de calculs.
- Enfin un dernier, qui est celui qui coûte réellement, est relatif au nombre d'itérations du processus. Le nombre d'itérations dans le cas de la demande variable est bien plus important que celui de la demande fixe. De plus ce nombre est influencé par le choix de la borne supérieure des flots donnés par chemin. Une borne supérieure relaxée (c'est-à-dire très élevée), implique une congestion plus importante. Or la convergence est plus lente à atteindre dans ce cas. Une solution est donc de fixer cette borne supérieure, la plus petite

possible, et même de la faire varier à chaque itération afin d'ajuster au mieux sa valeur.

On est donc en présence d'un algorithme qui peut être lent à converger. Cependant une telle extension de l'algorithme au cas général de demande variable n'est pas indispensable. Une autre méthode serait d'appliquer l'algorithme de demande fixe, qui possède une meilleure vitesse de convergence, à un réseau légèrement modifié de façon à résoudre le problème de demande variable. Il existe plusieurs méthodes à base de représentations équivalentes de réseau permettant d'adapter l'algorithme de demande fixe au problème de demande variable. Les méthodes dites de formulation de flux excédentaires à coûts nuls et de demande excédentaire en sont deux exemples. La deuxième étant plus efficace. Mais ces méthodes ne feront pas l'objet de notre étude.

En effet, on peut également contourner la difficulté en mieux formulant notre problème : les fonctions de demande ont souvent des formes spécifiques et répertoriées. C'est lors de l'étape de la distribution qu'on les définit. D'ailleurs au cours de notre étude, il a déjà été question des formes que peuvent revêtir de telles fonctions. Pour le modèle de la ville de Marseille, objet de ce mémoire, c'est un modèle de distribution gravitaire de type entropique qui est utilisé :

$$g_{pq} = \alpha_p \cdot \beta_q \cdot \exp(-\theta \cdot u_{pq}) \quad ((3.3a))$$

L'idée soutenant la fin de cette partie d'analyse théorique de notre problème est donc de s'intéresser plus spécifiquement au cas d'un problème du type de demande variable mais avec certaines propriétés qui pourront simplifier l'algorithme de résolution. Ces propriétés sont liées au fait que l'on est en présence d'un modèle de distribution entropique, que le nombre de déplacements originaires de chaque zone peut être considéré comme connu, et qu'il en va de même pour ceux à destination de chaque zone, l'étape de génération des déplacements par zones d'origine et zones de destination ayant été réalisée.

On est donc dans un cadre plus spécifique que celui de demande variable. Le modèle qui sera employé doit être doublement contraint :

$$\sum_q g_{pq} = O_p, \forall p \quad ((3.3b))$$

$$\sum_p g_{pq} = D_q, \forall q \quad ((3.3c))$$

avec la demande considérée comme obéissant à une loi entropique (3.3a)

L'algorithme de résolution pourrait donc être plus facile d'application et voir sa vitesse de convergence améliorée. Dans ces conditions, on est en présence d'un modèle dit d'affectation-distribution combinées. La demande est déterminée à l'issue de la procédure d'affectation selon les principes de la procédure de distribution.

3.2.3 Dans le cadre d'une combinaison des étapes de distribution et d'affectation

Au cours de l'analyse précédente, nous avons identifié notre problème comme pouvant être formulé à la façon d'un problème de demande variable, doublement contraint par le total de la demande sur les origines et les destinations et répondant à une logique de distribution entropique :

$$\min(z) = \min \left[\sum_a \int_0^{v_a} s_a(x).dx - \sum_{pq} \int_0^{g_{pq}} G_{pq}^{-1}(y).dy \right] \quad ((3.44a))$$

soumis à :

$$\sum_k h_k = g_{pq} , \quad \forall (p, q) \quad ((3.44b))$$

$$h_k \geq 0 , \quad \forall k \quad ((3.44c))$$

$$v_a = \sum_{pq} \sum_k \delta_{ak} \cdot h_k , \quad \forall a \quad ((3.44e))$$

$$\sum_q g_{pq} = O_p , \quad \forall p \quad ((3.3b))$$

$$\sum_p g_{pq} = D_q , \quad \forall q \quad ((3.3c))$$

$$g_{pq} = \alpha_p \cdot \beta_q \cdot \exp(-\theta \cdot u_{pq}) \quad ((3.3a))$$

Ce type de problème est communément référencé comme étant un problème d'affectation-distribution combinées. Sa formulation précédente peut se voir simplifier en :

$$\min(z) = \min \left[\sum_a \int_0^{v_a} s_a(x) \, dx + \frac{1}{\theta} \cdot \sum_{pq} g_{pq} \cdot \ln g_{pq} \right] \quad (3.45a)$$

soumis à :

$$\sum_k h_k = g_{pq} , \quad \forall (p, q) \quad (3.45b)$$

$$\sum_q g_{pq} = O_p , \quad \forall p \quad (3.45c)$$

$$\sum_p g_{pq} = D_q , \quad \forall q \quad (3.45d)$$

$$h_k \geq 0 , \quad \forall k \quad (3.45e)$$

avec :

$$v_a = \sum_{pq} \sum_k \delta_{ak} \cdot h_k, \quad \forall a \quad (3.45f)$$

On peut vérifier en cherchant les conditions du premier-ordre de ce problème de minimisation, par rapport à g_{pq} et h_k , qu'il satisfait également la formulation du problème de distribution (3.1), (3.3a) et celle du problème d'affectation à l'équilibre selon le principe de Wardrop (3.44).

La formulation telle qu'en (3.45) constitue le cadre du modèle combiné affectation-distribution qui sera mis en oeuvre dans le chapitre suivant. Dans l'immédiat, on se propose d'exposer sa résolution par la méthode d'approximation linéaire partielle.

La question de sa résolution à l'aide d'une approximation linéaire partielle trouve ses sources dans le travail de Evans (Evans, 1976). Dans le même temps, d'autres travaillaient également sur ce genre de modèle. Evans cite les travaux de Bruynooghe (Bruynooghe, 1969) qu'elle désigne comme apparentés. Cependant Bruynooghe en restant trop général, n'apporte que peu d'éléments à la résolution de notre problème (3.45). Les travaux entrepris par Tomlin (Tomlin, 1971) présentent un algorithme assez similaire à celui de S. Evans. L'adaptation de l'algorithme de Frank et Wolfe au problème combiné a été, quant à lui, mis en pratique en 1974 par Florian (Florian et al., 1975). Cet algorithme, outre ses propriétés de convergence démontrées, est d'une mise en oeuvre facile.

La résolution de (3.45) s'inspirera de cette utilisation de l'algorithme de Frank et Wolfe, tout en ne linéarisant que partiellement le problème à la manière de S. Evans. La justification en est la suivante :

La linéarisation partielle (celle selon la variable de flux parcourus par chemin) à la manière de l'algorithme de Frank et Wolfe aboutit à résoudre en variables q_{pq}^n auxiliaire à l'itération n de g_{pq} , y_a^n auxiliaire de v_a et f_k^n auxiliaire de h_k :

$$\min_{f_k, q_{pq}} \left[\sum_k \frac{\partial z(f_k, q_{pq})}{\partial f_k} \cdot f_k \right] \quad (3.46)$$

Or d'après la définition des v_a selon (3.13), on a :

$$\frac{\partial}{\partial f_k} = \sum_{pq} \sum_k \delta_{ak} \cdot \frac{\partial}{\partial y_a}$$

Ce qui appliquait à (3.46), donne la fonction objectif suivante :

$$\min_{f_k, q_{pq}} \left[\sum_{pq} \sum_k \sum_a \delta_{ak} \cdot s_a(y_a) \cdot f_k + \frac{1}{\theta} \sum_{pq} q_{pq} \cdot \ln q_{pq} \right] \quad (3.47)$$

En utilisant la condition de conservation des flux :

$$\sum_k f_k = q_{pq}, \quad \forall k \in K_{pq} \quad (3.48)$$

et en définissant s_k comme dans (3.10), la fonction objectif se simplifie en :

$$\min_{q_{pq}} \left[\sum_{pq} (q_{pq} \sum_k s_k) + \frac{1}{\theta} \sum_{pq} q_{pq} \cdot \ln q_{pq} \right] \quad (3.49)$$

Cette fonction qui sera résolue à chaque itération n permettra d'obtenir la situation optimale temporaire, autrement dit, pour chaque itération n , on peut remplacer $\sum_{k \in K_{pq}} s_k$ par le coût du plus court chemin u_{pq}^{*n} . Ce qui permet une dernière simplification de la fonction objectif en :

$$\min_{q_{pq}} \left[\sum_{pq} q_{pq}^n \cdot (u_{pq}^{*n} + \frac{1}{\theta} \cdot \ln q_{pq}^n) \right] \quad (3.50)$$

On multiplie pour la suite cette fonction objectif par θ ce qui ne change rien à la valeur du minimum atteint par la fonction. On aboutit alors au programme linéaire suivant :

$$\min_{q_{pq}} \left[\sum_{pq} q_{pq}^n \cdot (\theta \cdot u_{pq}^{*n} + \ln q_{pq}^n) \right] \quad (3.51a)$$

soumis à :

$$\sum_q q_{pq}^n = O_p, \forall p \quad (3.51b)$$

$$\sum_p q_{pq}^n = D_q, \forall q \quad (3.51c)$$

$$q_{pq}^n \geq 0, \forall (p, q) \quad (3.51d)$$

Ce programme peut être analysé, à la lumière de (3.5), comme un modèle de distribution en q_{pq}^n :

$$q_{pq}^n = \varphi_p^n \cdot \psi_q^n \cdot \exp(-\theta \cdot u_{pq}^{*n}) \quad (3.52)$$

avec φ_p^n et ψ_q^n les paramètres de balancement du modèle

On peut donc en conclure que l'intérêt de la linéarisation partielle de (3.45) n'est pas des moindres, car elle permet de retrouver la formulation d'un modèle de distribution, modèle déjà étudié et facile de mise en oeuvre (balancement à la manière de la méthode de Furness).

Cette question de la linéarisation partielle approfondie, reprenons alors la démarche de l'algorithme de Frank- et Wolfe depuis le début :

itération 0 : définition d'une solution admissible

Trouver une solution admissible donnant les vecteurs v^1 et g^1 (par exemple, v^1 peut être trouvé suite à l'affectation de g^1 par un process tout ou rien sur le réseau considéré à vide; et g^1 peut résulter du modèle de distribution entropique avec les u_{pq}^1 , calculés sur un réseau considéré à vide).

Initialiser n , compteur d'itérations, à 1.

itération 1 : mise à jour des coûts

Calculer les s_a^n sur l'ensemble des arcs a , comme étant $s_a(v_a^n)$. En déduire l'ensemble des s_k^n égaux à : $\sum_a \delta_{ak} s_a^n$. Fixer alors les u_{pq}^{*n} , coûts du déplacement entre p et p sur le plus court chemin à l'itération n , comme égal à : $\min_{k \in K_{pq}} (s_k^n)$.

itération 2 : recherche de la direction de descente

Résoudre en q_{pq}^n variable auxiliaire de g_{pq}^n , le problème de distribution suivant :

$$q_{pq}^n = \varphi_p^n \cdot \psi_q^n \cdot \exp(-\theta \cdot u_{pq}^{*n})$$

soumis à :

$$\sum_q q_{pq}^n = O_p, \quad \forall p$$

$$\sum_p q_{pq}^n = D_q, \quad \forall q$$

$$q_{pq}^n \geq 0, \quad \forall (p, q)$$

Pour se faire, utiliser la méthode de balancement de Furness exposée précédemment. Une fois l'ensemble des q_{pq}^n obtenu, trouver celui des y_a^n , auxiliaires des v_a^n , en affectant en tout ou rien (les chemins les plus courts étant égaux à u_{pq}^{*n}).

La direction de descente est alors donnée par le vecteur : $(y_a^n - v_a^n; q_{pq}^n - g_{pq}^n)$.

itération 3 : détermination de la taille du déplacement

Trouver λ^n solution de :

$$\min_{0 \leq \lambda \leq 1} \sum_a \int_0^{v_a^n + \lambda \cdot (y_a^n - v_a^n)} s_a(x) \cdot dx + \frac{1}{\theta} \sum_{pq} [g_{pq}^n + \lambda \cdot (q_{pq}^n - g_{pq}^n)] \cdot \ln(g_{pq}^n + \lambda \cdot (q_{pq}^n - g_{pq}^n))$$

itération 4 : calcul des nouvelles variables

$$v_a^{n+1} = v_a^n + \lambda^n \cdot (y_a^n - v_a^n), \quad \forall a$$

$$g_{pq}^{n+1} = g_{pq}^n + \lambda^n \cdot (q_{pq}^n - g_{pq}^n), \quad \forall (p, q)$$

itération 5 : test d'arrêt

Si le test d'arrêt, par exemple, $\sum_a \frac{|v_a^{n+1} - v_a^n|}{v_a^n} \leq \epsilon$, alors on peut considérer que la convergence est atteinte, la solution du problème étant alors $(v_a^{n+1}; g_{pq}^{n+1})$, sinon retourner à l'itération 1 avec $n = n + 1$.

Dans son ouvrage daté de 1985, Sheffi propose une résolution semblable, si ce n'est l'étape relative au modèle de distribution. Elle est remplacée par la résolution d'un problème de transport de Hitchcock. En effet, le programme (3.51) peut être analysé comme devant remplir l'objectif :

$$\min_{q_{pq}} \left[\sum_{pq} [\theta \cdot u_{pq}^{*n} + \ln g_{pq}^n] \cdot q_{pq}^n \right]$$

c'est-à-dire minimiser le coût total sur l'ensemble des paires OD du transport entre chaque OD, de q_{pq}^n marchandises de coût unitaire $(\theta \cdot u_{pq}^{*n} + \ln g_{pq}^n)$. Le flux q_{pq}^n résultant doit satisfaire les marges (demandes en O_p et D_q fixées). L'algorithme dit de Hitchcock permet une résolution efficace de ce type de problème. Sa proposition pour l'étape relative à la recherche de la direction de descente est donc la suivante :

itération 2 : recherche de la direction de descente

1. Calculer dans une variable c_{pq}^n la valeur de : $\theta \cdot u_{pq}^{*n} + \ln g_{pq}^n$
2. Résoudre le problème de transport de Hitchcock relatif à ces coûts unitaires c_{pq}^n . En découlent les q_{pq}^n .
3. Affecter ces q_{pq}^n sur les chemins les plus courts (égaux à u_{pq}^{*n}), afin d'obtenir les y_a^n .

Ce procédé oblige le stockage des valeurs de u_{pq}^{*n} pour les étapes 2.2 et 2.3. Si on est limité en place, il est possible d'effectuer à nouveau ce calcul pour 2.3, cela pénalisant cependant la rapidité.

Notre étude ne traitera pas plus avant de cette variante. Cela nous évitant d'investir un nouvel algorithme.

La recherche de la direction de descente par l'adaptation du modèle de distribution déjà bien étudié, et très facile d'implantation sous EMME/2, aura donc notre préférence.

Une dernière remarque reste cependant à faire avant d'avoir la version définitive de l'algorithme mis en oeuvre dans la partie suivante de ce mémoire. Cette mise en oeuvre se fera encore plus efficacement, une fois spécifiée une valeur de λ^n pour

laquelle on sait que l'algorithme converge. Il a été démontré qu'avec $\lambda^n = \frac{1}{n}$, cela était le cas. On est alors dans le cadre d'une méthode dite de moyennes successives. Cette méthode est communément connue comme étant convergente, même si elle est lente et a tendance à osciller.

En remplaçant λ^n par $\frac{1}{n}$, l'algorithme de résolution de (3.45) se voit simplifié en :

itération 0 : définition d'une solution admissible

Trouver une solution admissible donnant les vecteurs v^1 et g^1 (par exemple, v^1 peut être trouvé suite à l'affectation de g^1 par un process tout ou rien sur le réseau considéré à vide; et g^1 peut résulter du modèle de distribution entropique avec les u_{pq}^1 , calculés sur un réseau considéré à vide).

Initialiser n , compteur d'itérations, à 1.

itération 1 : mise à jour des coûts

Calculer les s_a^n sur l'ensemble des arcs a , comme étant $s_a(v_a^n)$. En déduire l'ensemble des s_k^n égaux à : $\sum_a \delta_{ak} s_a^n$. Fixer alors les u_{pq}^{*n} , coûts du déplacement entre p et q sur le plus court chemin à l'itération n , comme égal à : $\min_{k \in K_{pq}} s_k^n$.

itération 2 : recherche de la direction de descente

Résoudre en q_{pq}^n variable auxiliaire de g_{pq}^n , le problème de distribution suivant :

$$q_{pq}^n = \varphi_p^n \cdot \psi_q^n \cdot \exp(-\theta \cdot u_{pq}^{*n})$$

soumis à :

$$\sum_q q_{pq}^n = O_p, \quad \forall p$$

$$\sum_p q_{pq}^n = D_q, \quad \forall q$$

$$q_{pq}^n \geq 0, \quad \forall (p, q)$$

Pour se faire, utiliser la méthode de balancement de Furness exposée précédemment. Une fois l'ensemble des q_{pq}^n obtenu, trouver celui des y_a^n , auxiliaires des v_a^n , en affectant en tout ou rien (les chemins les plus courts étant égaux à u_{pq}^{*n}).

itération 3 : calcul des nouvelles variables

$$v_a^{n+1} = \frac{n-1}{n} \cdot v_a^n + \frac{1}{n} \cdot y_a^n, \quad \forall a$$

$$g_{pq}^{n+1} = \frac{n-1}{n} \cdot g_{pq}^n + \frac{1}{n} \cdot q_{pq}^n, \quad \forall (p, q)$$

itération 4 : test d'arrêt

Si le test d'arrêt, par exemple, $\sum_a \frac{|v_a^{n+1} - v_a^n|}{v_a^n} \leq \epsilon$, alors on peut considérer que la convergence est atteinte, la solution du problème étant alors $(v_a^{n+1}; g_{pq}^{n+1})$, sinon retourner à l'itération 1 avec $n = n + 1$.

C'est cette formulation de l'algorithme du modèle combiné distribution - affectation, que l'on va mettre en oeuvre.

Chapitre 4

MISE EN OEUVRE DU MODÈLE

MODELE COMBINE DISTRIBUTION - AFFECTATION

4.1 Un préliminaire :

La reconstitution de la matrice en demande de déplacements

Avant la mise en place du modèle combiné distribution - affectation, dont l'algorithme a été exposé dans le chapitre précédent, je me suis fixée l'objectif de reproduire, via l'usage de macros sous EMME/2, la reconstitution de la matrice en demande de déplacements. Cette reconstitution se fera selon l'approche employée par le CETE Méditerranée réalisée sous OPERA, exposée dans le deuxième chapitre. La formalisation de la modélisation de la demande de la ville de Marseille pour la période 1990-2000 est donc désormais également disponible sous EMME/2. A cette étape du rapport, il ne sera pas fait état du détail de cette formalisation,

bien qu'elle ait occupé une bonne partie du temps imparti, compte tenu des divers tests effectués et de l'apprentissage du langage de programmation des macros d'EMME/2. La macro programmée de reconstitution de la demande fait s'enchaîner 6 sous-macros assurant la réalisation de la génération, 2 pour la distribution, une pour le passage à l'heure de pointe du soir, une pour la répartition modale, une pour la conversion véhiculaire, une qui détermine la matrice interne totale, puis une de prise en compte des centres commerciaux, une pour l'ajustement de zonage, et enfin une nécessaire à l'ajout du trafic d'échanges et de transit. Pour cette dernière étape, une simple reprise des trafics à disposition a été effectuée. L'objet de notre intérêt se porte, en effet, sur la matrice interne ¹.

Le détail des commandes peut être consulté en annexes 4. On a également mis à la suite de ces macros de reconstitution à proprement parlé, une macro de comparaison entre la matrice obtenue à la suite des opérations précédemment détaillées et celle du CETE. Or comme celle-ci est ajustée, on a ajouté une macro d'ajustement aux comptages de la matrice obtenue précédemment, pour finalement pouvoir comparer les deux matrices ajustées. La comparaison est réalisée sur des critères de répartition des temps de déplacement et des distances parcourues pour l'heure de pointe du soir.

Concernant les données ² nécessaires à la mise en place des macros, les données de population, d'emplois, de coefficients correcteurs, de pourcentages d'intrazonaux, de pourcentage de travail à domicile et de grilles de répartition modale, ont été rentrées pour 1990 et 1997. Pour ce qui est des scalaires, on fait l'hypothèse d'une constance dans les taux de pourcentage de présence au travail, de tous les taux d'occupation véhiculaire, des facteurs de pointe entre 1990 et 1997. Les mobilités individuelles et par actif, quant à elles, évoluent.

L'application des macros *recompo_demande_CETE.mac mf2 1 134 0,2 0,36 70 20* et *recompo_demande_CETE.mac mf2 1 125 0,2 0,36 70 20* ne semblent pas permettre l'obtention des matrices de demande telles que communiquées par le CETE Méditerranée pour les situations 1990 et 1997. Au niveau du total des UVP, on obtient dans le cas de l'application de la macro de reconstitution de la demande précédemment décrite un total de 103900 UVP, au lieu des 99638 UVP de la matrice

¹le modèle combiné affectation-distribution travaille sur la matrice interne

²issues des inputs du modèle CETE et non d'une exploitation personnelle de fichiers de recensement ou autres

du CETE pour 1990. Et surtout, les distributions des temps de déplacement pour l'heure de pointe du soir sont vraiment trop différentes même après ajustement de la matrice. La matrice reconstituée par mes soins entraînerait des temps de parcours beaucoup plus importants que celle du CETE.

Compte tenu de l'exploitation des enquêtes ménage, le résultat de l'application de la macro de reconstitution de la matrice de demande est loin d'être satisfaisante. La situation de 1997 ne permet pas l'obtention de meilleurs résultats. La reconstitution de la matrice de demande sous EMME/2 effectuée par mes soins n'est donc pas complètement formalisée, une base solide de macros ayant été cependant développée.

Toutefois, l'enjeu de ce mémoire ne résidant pas dans la formalisation de la reconstitution de la matrice de demande, mais dans la mise en oeuvre d'un modèle combiné distribution-affectation, je n'ai pas continué plus avant cette formalisation. Désormais, la mise en oeuvre du modèle combiné sera l'unique objet du mémoire. Afin de poursuivre dans cette voie, j'ai été amenée à traiter de l'affectation de la matrice de demande. Mais laquelle choisir ? J'ai alors fait le choix de reprendre la matrice de la banque transmise par le CETE Méditerranée, à défaut d'en avoir reconstitué une.

4.2 Un enjeu : Son affectation

4.2.1 Présentation de la démarche

Une fois une matrice de demande en transport obtenue (on prendra celle transmise par le CETE et dont l'analyse a été faite dans le deuxième chapitre), la démarche classiquement employée est de l'affecter selon un algorithme d'équilibre, disponible notamment sous EMME/2. Cependant pour les raisons déjà exposées, je propose de mettre en place un processus d'affectation légèrement différent. L'affectation sera réalisée selon le modèle combiné distribution-affectation. On s'inspirera de l'algorithme dans son formalisme final, qui a été exposé lors de l'étude théorique

de ce modèle au chapitre précédent.

Il est donc question d'avoir à disposition un modèle de distribution entropique, qui selon les notations déjà utilisées peut s'écrire :

$$q_{pq}^n = \varphi_p^n \cdot \psi_q^n \cdot \exp(-\theta \cdot u_{pq}^{*n})$$

soumis à :

$$\sum_q q_{pq}^n = O_p, \quad \forall p$$

$$\sum_p q_{pq}^n = D_q, \quad \forall q$$

$$q_{pq}^n \geq 0, \quad \forall (p, q)$$

Or le modèle calé par le CETE et programmé dans les macros de reconstitution de la demande, pour des convenances déjà exposées, fait plutôt intervenir les distances des plus courts chemins à la place des coûts minima (et plus précisément temps minima pour ce qui suit). De plus, il correspond à des déplacements en terme de personnes différenciés par motif. Or dans le formalisme utilisé, le modèle de distribution doit être en mesure de fournir des déplacements en termes d'UVP (ce que l'on affectera par la suite). De plus, désagréger par motif compliquerait le modèle de calage. Pour toutes ces raisons, il s'agit désormais de caler un modèle entropique pour la distribution du trafic. C'est à ce niveau que nous avons trouvé judicieux de faire intervenir la contrainte de constance du temps moyen évoquée dans le premier chapitre.

La contrainte suivante est donc à rajouter :

$$\frac{\sum u_{pq}^{*n} \cdot q_{pq}^n}{\sum q_{pq}^n} = \mathcal{T}$$

avec $\mathcal{T}$ désignant le temps moyen observé au cours de l'exploitation des enquêtes ménages. Une valeur de 21,5 mn sera considérée pour le temps moyen de déplacement. On se retrouve alors exactement dans le cas décrit par Evans que nous avons exposé

dans le chapitre précédent. Le calage du θ est alors possible du fait de la décroissance du coût (temps) en fonction de θ , comme cela a été démontré par Evans. Ce qui nous a permis de formaliser l'algorithme de calage comme suit :

Etape 0 : initialisation

$$n = 0$$

$$\theta^n = 1/\mathcal{T}$$

Etape 1 : détermination de q_{pq}^n

$$n = n + 1$$

Procédure de balancement avec $f_{pq}^n = \exp(-\theta^{n-1} \cdot u_{pq}^{*n-1})$

Etape 2 : calcul des u_{pq}^{*n}

Affecter à l'équilibre la demande q_{pq}^n

Etape 3 : détermination de $C(\theta^n)$

$$C(\theta^n) = \frac{\sum u_{pq}^{*n} \cdot q_{pq}^n}{\sum q_{pq}^n}$$

Etape 4 : test d'arrêt

$$\text{si } \frac{\|C(\theta^n) - \mathcal{T}\|}{\mathcal{T}} \leq \epsilon$$

ou si $n + 1 = n_{max}$, alors arrêter le processus

sinon reprendre à l'étape 2

$$\text{avec } \theta^n = \begin{cases} 3/2 * \theta^{n-1} & \text{si } C(\theta^{n-1}) \geq \mathcal{T} \\ 3/4 * \theta^{n-1} & \text{sinon} \end{cases}$$

EMME/2 possédant une fonctionnalité de mise en oeuvre de l'algorithme de balancement selon la même méthode que celle de Furness et Fratar exposé au chapitre précédent, on ne détaillera pas plus avant. La macro qui a été programmée est

disponible en annexes 5. Elle met en oeuvre cette procédure de calage du théta pour un modèle entropique de distribution du trafic de la matrice interne.

Une fois une valeur de théta obtenue selon ces principes de calage du modèle de distribution, on conservera cette valeur pour la mise en oeuvre du modèle combiné distribution-affectation qui rappelons le, s'articule selon les étapes suivantes :

itération 0 : définition d'une solution admissible

Trouver une solution admissible donnant les vecteurs v^1 et g^1 (par exemple, v^1 peut être trouvé suite à l'affectation de g^1 par un process tout ou rien sur le réseau considéré à vide; et g^1 peut résulter du modèle de distribution entropique avec les u_{pq}^1 , calculés sur un réseau considéré à vide).

Initialiser n , compteur d'itérations, à 1.

itération 1 : mise à jour des coûts

Calculer les s_a^n sur l'ensemble des arcs a , comme étant $s_a(v_a^n)$. En déduire l'ensemble des s_k^n égaux à : $\sum_a \delta_{ak} s_a^n$. Fixer alors les u_{pq}^{*n} , coûts du déplacement entre p et q sur le plus court chemin à l'itération n , comme égal à : $\min_{k \in K_{pq}} s_k^n$.

itération 2 : recherche de la direction de descente

Appliquer le modèle de distribution calé précédemment, pour obtenir l'ensemble des q_{pq}^n .

Puis trouver celui des y_a^n , auxiliaires des v_a^n , en affectant en tout ou rien (les chemins les plus courts étant égaux à u_{pq}^{*n}).

itération 3 : calcul des nouvelles variables

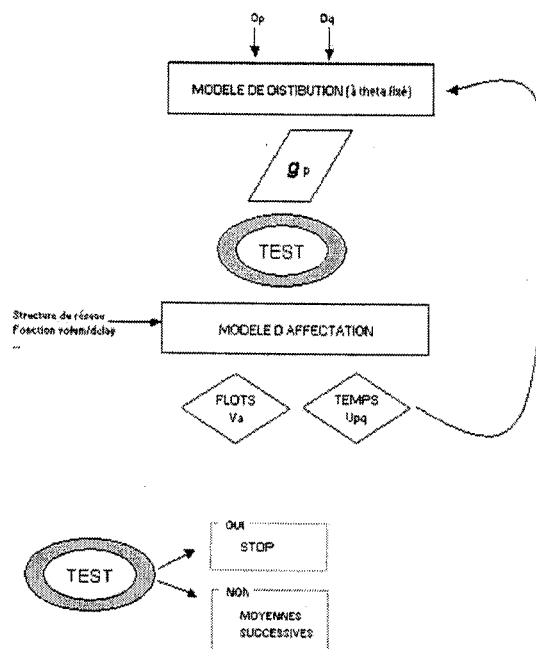
$$v_a^{n+1} = \frac{n-1}{n} \cdot v_a^n + \frac{1}{n} \cdot y_a^n, \quad \forall a$$

$$g_{pq}^{n+1} = \frac{n-1}{n} \cdot g_{pq}^n + \frac{1}{n} \cdot q_{pq}^n, \quad \forall (p, q)$$

itération 4 : test d'arrêt

Si le test d'arrêt, par exemple, $\sum_a \frac{|v_a^{n+1} - v_a^n|}{v_a^n} \leq \epsilon$, alors on peut considérer que la convergence est atteinte, la solution du problème étant alors $(v_a^{n+1}; g_{pq}^{n+1})$, sinon retourner à l'itération 1 avec $n = n + 1$.

Les macros que nous avons alors programmées pour la mise en place de cet algorithme, suivent le schéma de principe suivant :



TEST est à comprendre dans le sens de test de convergence

Figure 4.1: Schéma de principe de l'affectation combinée distribution-affectation

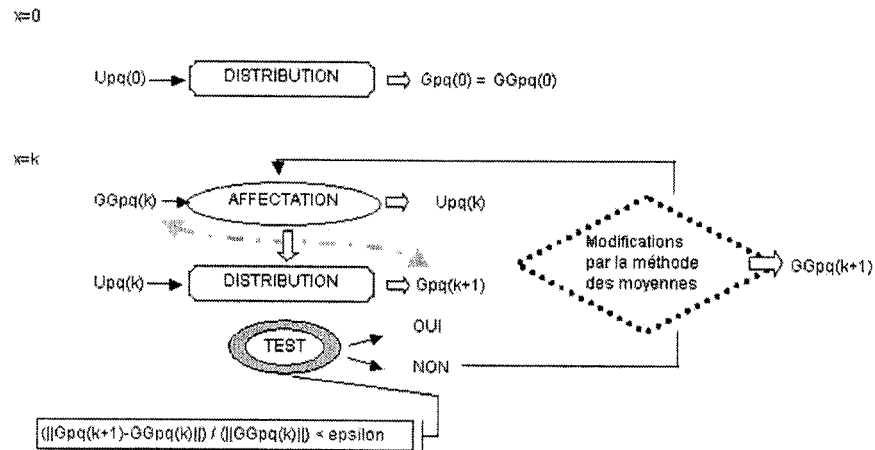


Figure 4.2: Schéma de principe - détail du process itératif

Trois méthodes voisines ont été testées :

- la moyenne se fait sur la demande
- la moyenne se fait sur les trafics
- la moyenne s'effectue en combiné sur la demande et les trafics.

Leur schéma de principe sont donnés aux figures (4.3) à (4.5).

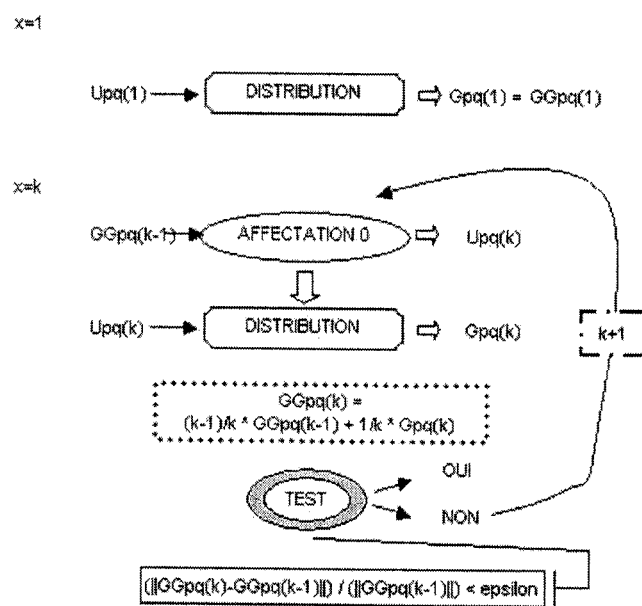
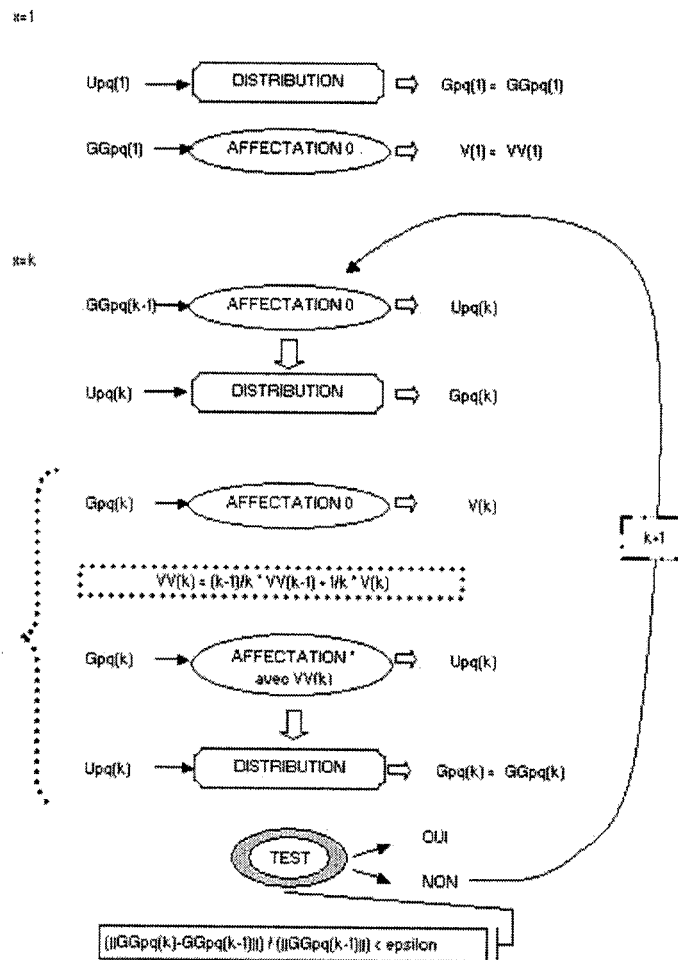
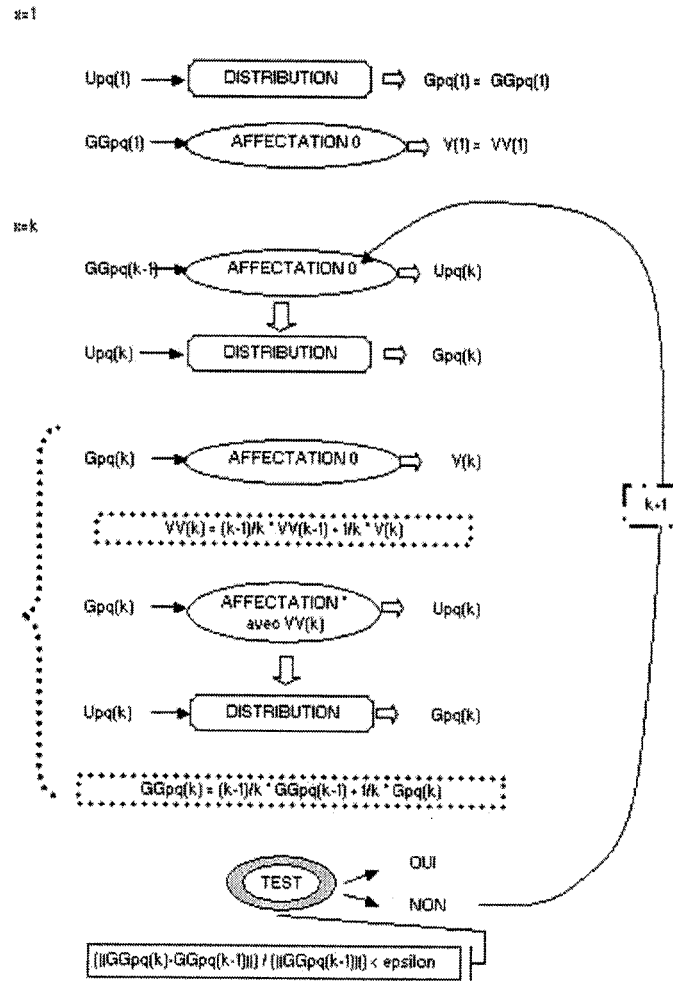


Figure 4.3: Principe de la macro qui fait la moyenne sur la demande



* = affectation zéro avec les volumes qui nous intéressent mis en attribut supplémentaire dans le calcul des coûts des arcs

Figure 4.4: Principe de la macro qui fait la moyenne sur les trafics



* = affectation zéro avec les volumes qui nous intéressent mis en attribut supplémentaire dans le calcul des coûts des arcs

Figure 4.5: Principe de la macro qui fait la moyenne sur la demande et sur les trafics

A l'issue de l'expérimentation de ces différentes méthodes entreprises selon diverses nuances de programmation, a été retenue la méthode qui fait la moyenne sur la demande et sur les trafics. C'est celle qui minimise le nombre d'étapes du processus itératif. Une version de cette macro peut être consultable en annexes 5.

4.2.2 Formalisation de la démarche

Calage du modèle de distribution

Dans un premier temps, afin de caler le modèle de distribution pour la mise en place du modèle combiné, la macro (*<Klg_mdl_entro.mac 0.01 mf2 ms60 mf83 mf84 mf71*) a été appliquée ³. Elle permet de caler le modèle de distribution en respectant la contrainte de temps moyen de déplacement égal à 21,5 mn. Avec ces valeurs de paramètres, la convergence du process itératif est atteinte à la 70^{ème} étape, avec un théta de 0,179 pour la banque 1990 et un temps moyen de déplacement de 21,86 minutes. Pour la situation 1997, cela est réalisé à la 54^{ème} étape, avec un théta de 0,14 et un temps moyen de déplacement 21,56 minutes. Les temps moyens refusés, car non situés dans la fourchette des 1% autour du temps moyen considéré comme observé (21,5 mn) sont tels qu'illustrés aux figures (4.6) et (4.7).

Comparons alors la répartition des temps de parcours liés à l'affectation à l'équilibre de la matrice obtenue à la suite de ce calage de celle de la matrice initiale, comme cela est illustré aux figures (4.8) et (4.9).

³pour 1990, epsilon a été fixé à 0.05

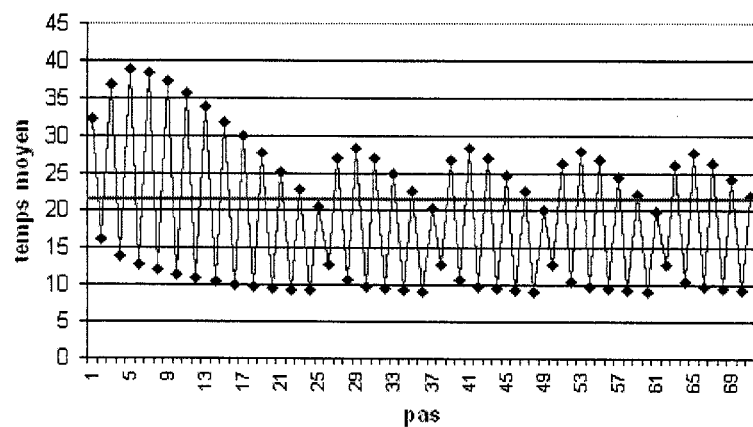


Figure 4.6: Evolution des temps moyens au cours du processus itératif - situation 1990

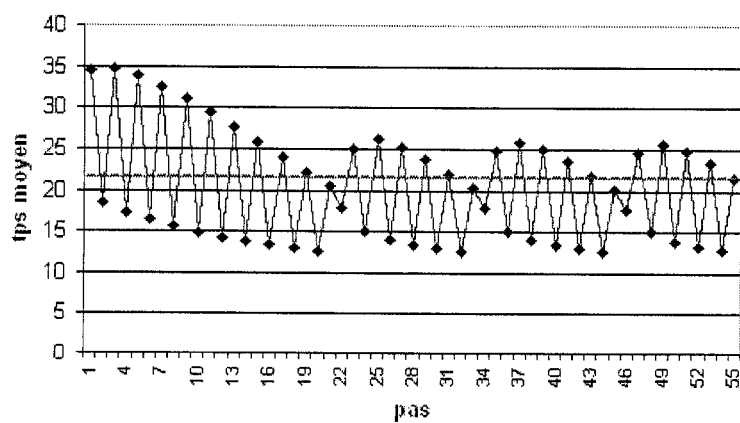


Figure 4.7: Evolution des temps moyens au cours du processus itératif - situation 1997

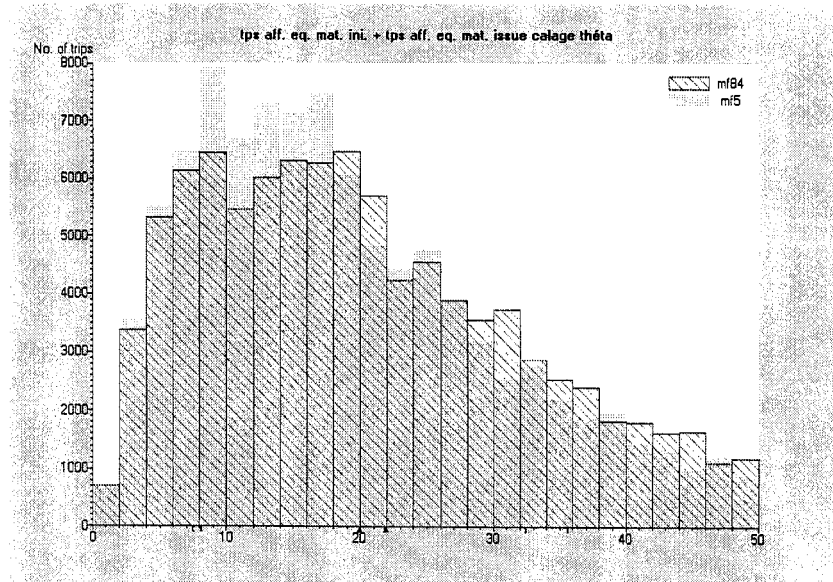


Figure 4.8: Evolution de la répartition des temps suite au calage de théa - situation 1990

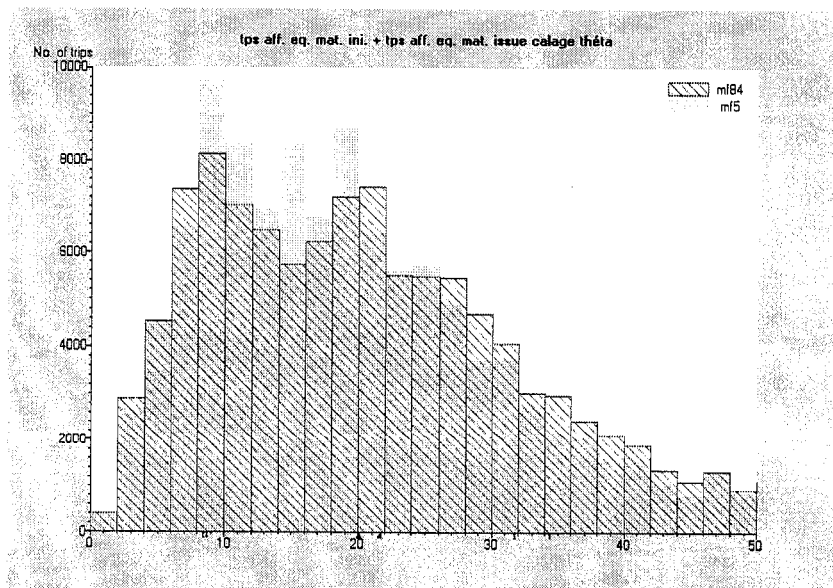


Figure 4.9: Evolution de la répartition des temps suite au calage de théa - situation 1997

Un biais du modèle peut être observé dans le cas de la situation 1990, du fait que la matrice initiale est arrondie à l'entier. La déformation de la matrice de demande lors du calage, se fait en créditant par de très faibles échanges, certes, des zones anciennement sans échanges. On assiste donc à une déformation de la matrice qui continue à avoir pour ses marges à chaque pas les mêmes totaux. Cette transformation est très visible quand on représente une répartition des différentes matrices de demande. Le phénomène s'accroît encore si on supprime dans la représentation, les zones anciennement sans échanges (figure (4.10)).

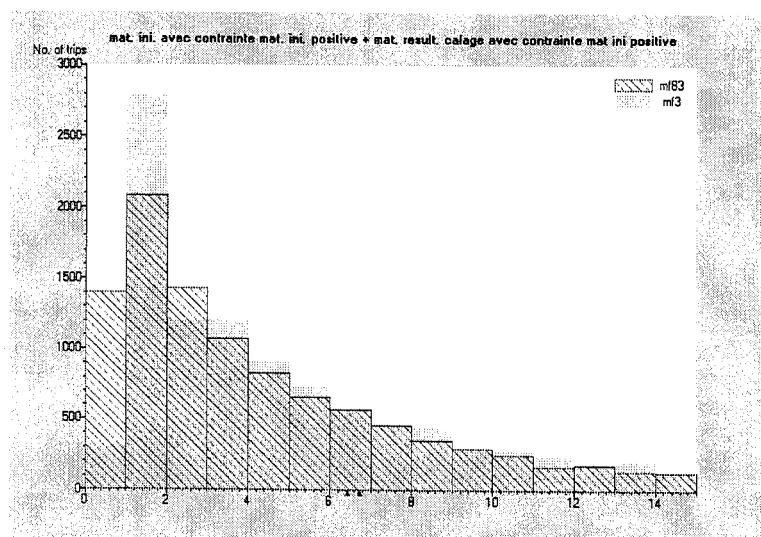


Figure 4.10: Déformation de la structure de la matrice de demande interne accentuée quand non représentation des zones où demande nulle initialement - situation 90

En revanche, dans le cas de la situation 1997, la matrice initiale est arrondie. La comparaison est alors moins biaisée car se fait dans des conditions analogues. On vérifie donc bien que la déformation de la structure de la demande est moins prononcée que dans la situation 1990 (figure (4.11)).

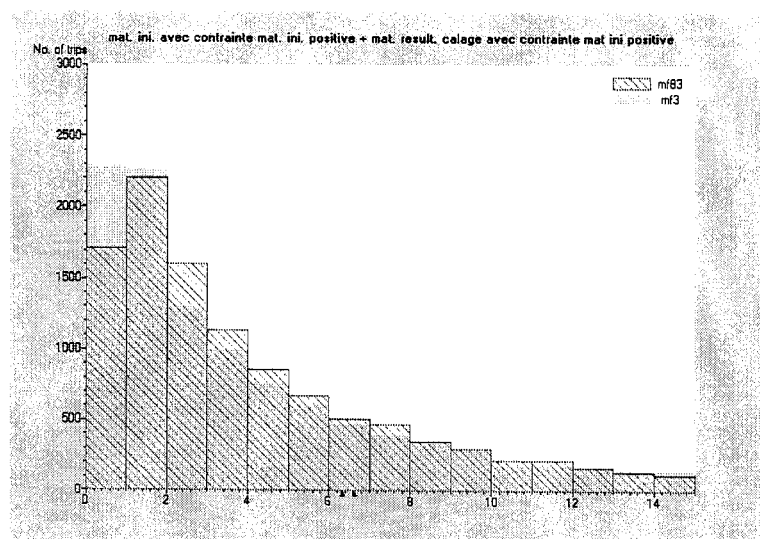


Figure 4.11: Faible déformation de la structure de la matrice de demande interne quand non représentation des zones où demande nulle initialement - situation 97

Affectation combinée avec la distribution

Tout d'abord, illustrons le problème auquel nous nous intéressons. Pour rappel, ce problème concerne la non stabilité de la matrice de demande. Cette non stabilité concerne le fait qu'après affectation à l'équilibre et distribution (selon la matrice des temps issue de l'affectation), la demande peut être différente à l'initiale. Cela s'observe également sur les volumes.

On a donc affecté à l'équilibre une première fois la matrice initiale (celle communiquée par le CETE). Les volumes ont été stockés, ainsi que la matrice des temps. On a alors appliqué le modèle de distribution ⁴ avec la matrice des temps qu'on vient d'obtenir. Une nouvelle matrice de demande est obtenue, que l'on affecte à l'équilibre. Les nouveaux volumes sont stockés dans un nouvel attribut, et la matrice des temps dans une nouvelle matrice. Sont alors comparées les différentes répartitions des temps entre la première affectation et la seconde (4.12) et (4.13).

⁴celui qui vient d'être calé pour respect contrainte de temps

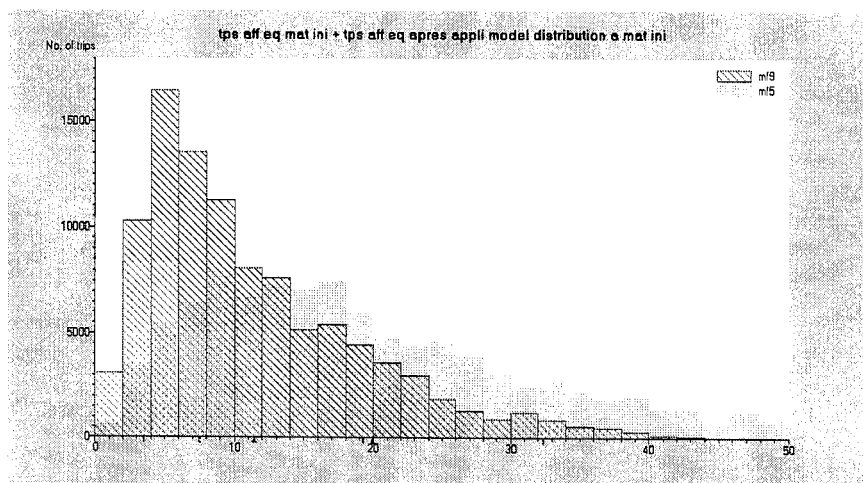


Figure 4.12: Déformation de la répartition des temps de parcours entre une première et une seconde affectation à l'équilibre avec application du modèle de distribution les séparant - situation 90

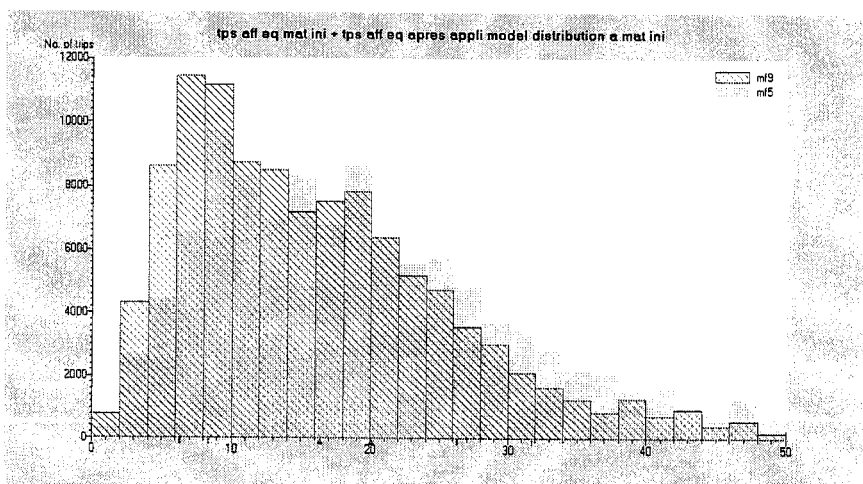


Figure 4.13: Déformation de la répartition des temps de parcours entre une première et une seconde affectation à l'équilibre avec application du modèle de distribution les séparant - situation 97

La comparaison est également faite sur les volumes et l'on trouve une erreur relative entre les deux situations d'affectation de 32 % pour 1990 et de 22 % pour 1997.

Le manque de rétroactivité de l'affectation sur la distribution est patent. On cherche donc à obtenir dans ce qui suit une stabilité entre deux affectations voisines séparées par une application du modèle de distribution, ce qui constitue l'enjeu de l'affectation combinée.

La démarche a été d'affecter la matrice initiale selon l'algorithme du modèle distribution-affectation détaillé précédemment, via la macro (*<mdl_dist_aff.mac ms60 0.05 mf2 mo67 md67 mf72 mf89 mf90*). Avec ces valeurs de paramètres, la convergence du processus itératif est atteinte à la 14^{ème} étape, avec satisfaction également du critère de test sur les volumes, si c'était ce dernier qui avait été choisi (une différence relative entre deux itérations pour les volumes d'au plus 0,1 %) ⁵. Celle pour la situation 1997 est atteinte à la 19^{ème} étape, avec une différence relative entre deux itérations pour les volumes d'au plus 0,1 %. La chronologie de la différence relative (en moyenne et en max sur l'ensemble des paires OD) pour la demande entre deux itérations du processus a été enregistrée au cours du processus (figures (4.14) et (4.15)).

Afin de valider l'atteinte des objectifs de la rétroaction, on utilise la même démarche qui a mis à défaut l'affectation à l'équilibre. On affecte une première fois à l'équilibre la matrice issue de notre modèle d'affectation combinée. Les volumes sont stockés, ainsi que la matrice des temps. Notons que les deux types d'affectations ⁶ mènent à des répartitions de temps de déplacements équivalentes comme cela peut être observé aux figures (4.16) et (4.17).

Est ensuite appliqué le modèle de distribution avec la matrice des temps résultat de l'affectation à l'équilibre qui vient d'être réalisée. Une nouvelle matrice de demande est obtenue. Le résultat (en terme de volumes et de répartition des temps de

⁵ce n'est pas ce critère qui a été pris en compte, mais celui de stabilité de la demande. On s'assure donc que si ça avait été celui-là qui avait été pris en compte, la condition aurait été vérifiée.

⁶à l'équilibre et combinée

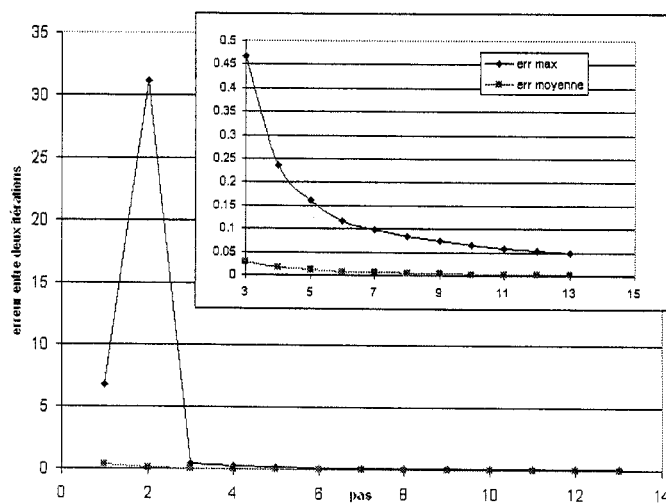


Figure 4.14: Chronologie des différences relatives en moyenne et en max sur l'ensemble des paires OD pour la demande entre deux itérations - situation 90

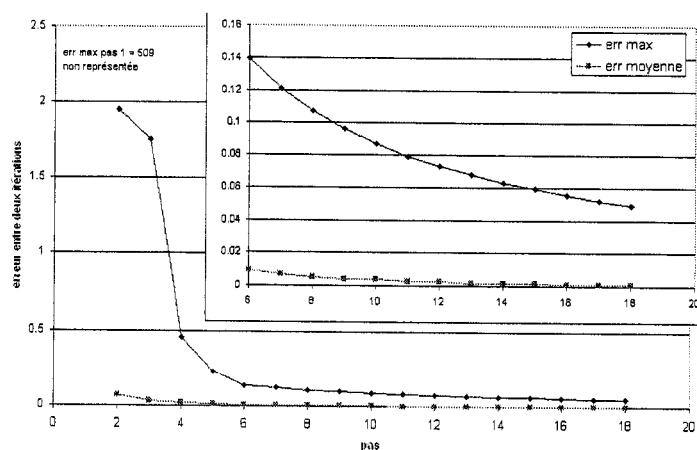


Figure 4.15: Chronologie des différences relatives en moyenne et en max sur l'ensemble des paires OD pour la demande entre deux itérations - situation 97

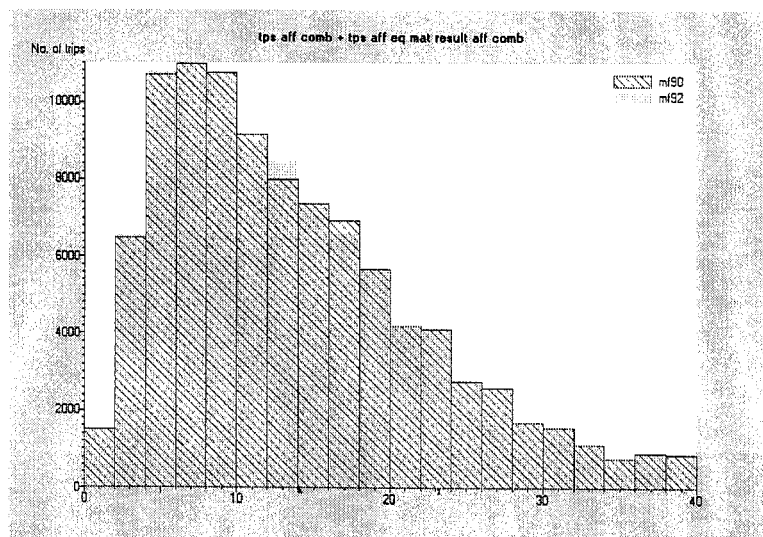


Figure 4.16: L'affectation à l'équilibre de la matrice résultat du process d'affectation combinée conduit à la même répartition des temps de déplacements que celle combinée de la matrice initiale - situation 90

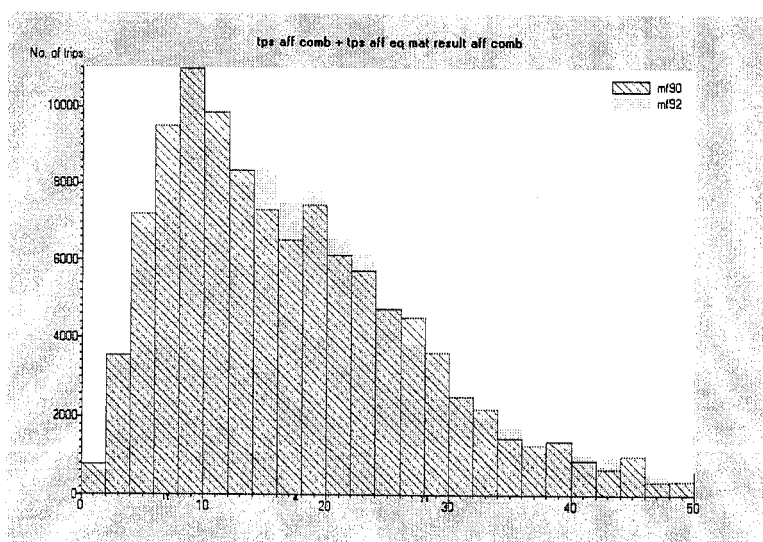


Figure 4.17: L'affectation à l'équilibre de la matrice résultat du process d'affectation combinée conduit à la même répartition des temps de déplacements que celle combinée de la matrice initiale - situation 97

parcours) de son affectation à l'équilibre est alors comparé à celui de l'affectation à l'équilibre de la matrice résultant du process d'affectation combiné.

Les figures (4.18) et (4.19) donnent à voir des répartitions très similaires. En comparaison avec le cas d'une affectation classique, la stabilité semble être enfin de mise.

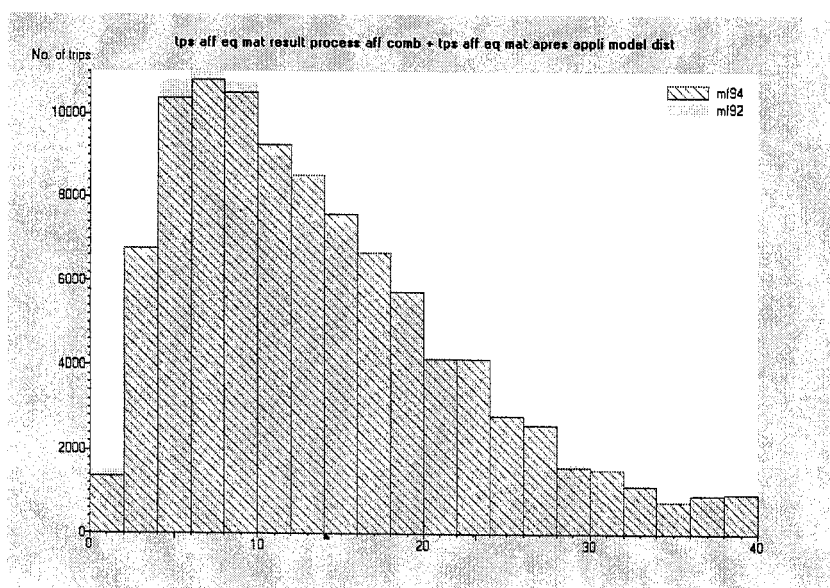


Figure 4.18: Quasi stabilité de la répartition des temps de parcours entre une première et une seconde affectation à l'équilibre de la matrice issue du modèle d'affectation combiné avec application du modèle de distribution entre - situation 90

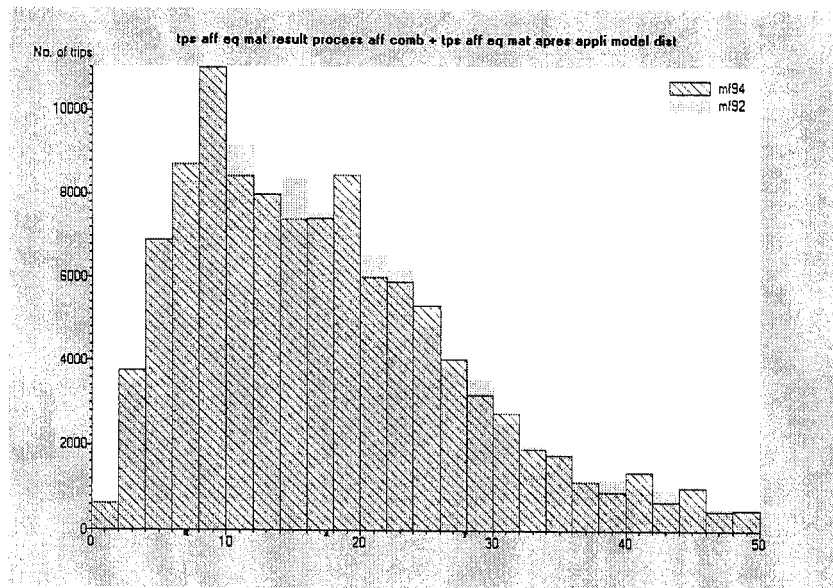


Figure 4.19: Quasi stabilité de la répartition des temps de parcours entre une première et une seconde affectation à l'équilibre de la matrice issue du modèle d'affectation combiné avec application du modèle de distribution entre - situation 97

La comparaison est également faite sur les volumes, où l'on calcule une erreur relative entre les deux situations d'affectation désormais que d'environ 5% pour 1990 et 1997. A la vue de ces résultats, les objectifs de stabilité semblent avoir été atteints. Notre modèle d'affectation combinée permet la rétroactivité de l'affectation sur la distribution, satisfaisant ainsi une partie de nos enjeux. Reste alors à confirmer qu'est satisfaite la contrainte du temps moyen de parcours à HPS.

La répartition des temps liée à l'affectation combinée en comparaison à celle liée à l'affectation à l'équilibre de la matrice initiale est alors illustrée en figures (4.20) et (4.21). Les représentations sont assez différentes.

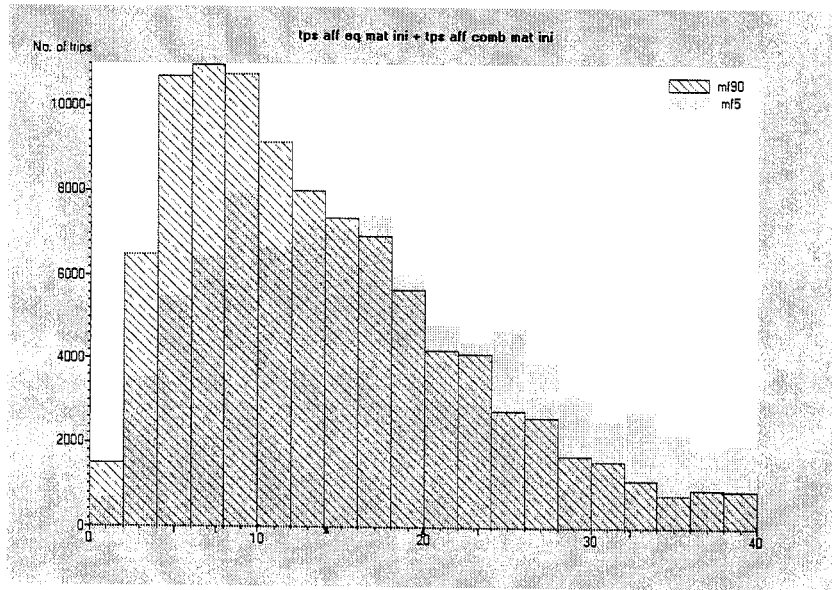


Figure 4.20: Comparaison des répartitions des temps entre le résultat de l'affectation à l'équilibre et celle combinée - situation 90

Pour ce qui est des volumes obtenus, la différence entre les deux types d'affectation est de près de plus de 20 %. Là encore, les différences sont notables. Compte tenu des différences observables, l'application d'une affectation combinée menerait à une situation de trafic notablement différente de celle obtenue avec une affectation classique d'équilibre.

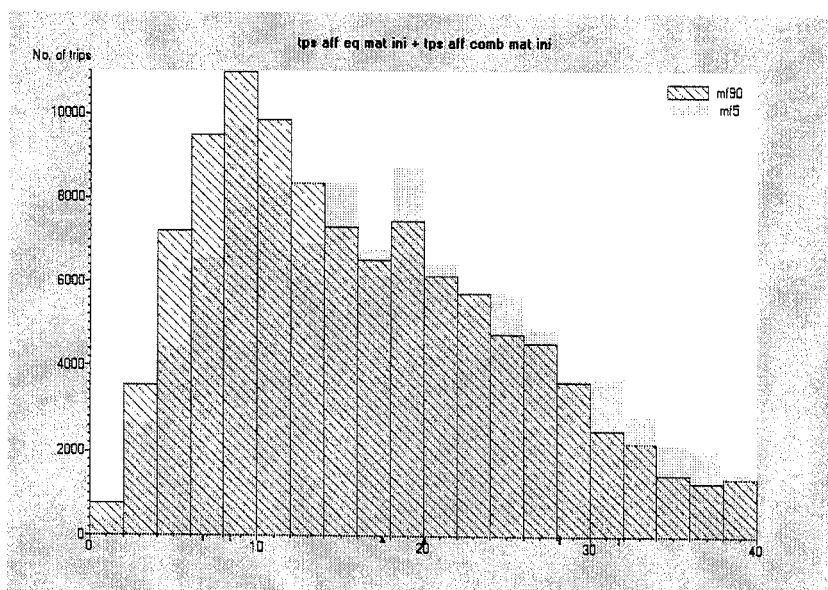


Figure 4.21: Comparaison des répartitions des temps entre le résultat de l'affectation à l'équilibre et celle combinée - situation 97

Remarquons que la contrainte de temps n'est pas respectée. Le temps moyen issu de l'affectation combinée est encore plus faible (14 mn pour 1990 et 17,5 mn pour 1997) que celui issu de l'affectation à l'équilibre de la matrice initiale. On est donc encore plus éloigné des 21,5 minutes souhaitées.

La contrainte de constance de temps n'a donc pas été satisfaite au cours de l'application de notre modèle. Afin d'y remédier, une variante du programme a été élaborée. Il s'agit de procéder à nouveau au calage du modèle de distribution en remplaçant toute affectation à l'équilibre comme cela était le cas, par une affectation selon le modèle combiné (le θ du modèle de distribution étant celui de l'étape précédente dans le processus itératif de calage). Le processus prend alors plus de temps, car il cumule deux processus itératifs (figure (4.22)).

La convergence est atteinte dans le cadre de l'application de la macro ($< Klg.mac$ 0.05 mf2 ms61 mf30 mf31 mf32 mf33), à la quatrième étape avec un θ de 0,078 et un temps moyen de déplacement pour la matrice diminuée des transits de 21,02

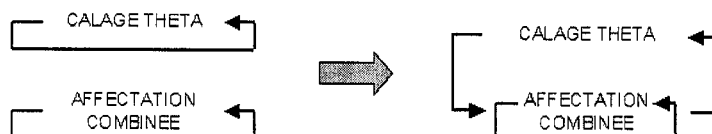


Figure 4.22: Prise en compte de la contrainte de temps lors de la phase de calage du théta

minutes pour la situation 1990. Il faut deux itérations de plus pour être dans la fourchette des 5% entourant le temps moyen de 21,5 mn pour la situation 1997. Avec une valeur trouvée de théta égale à 0,089, le temps moyen de déplacement vaut 21,35 mn. La contrainte de stabilité du temps moyen aux alentours de 21,5 mn est donc respectée. On a également stabilisé entre l'affectation et la distribution correspondant à ce théta (vérification procédée de la même manière que précédemment) (figures (4.23) et (4.24)).

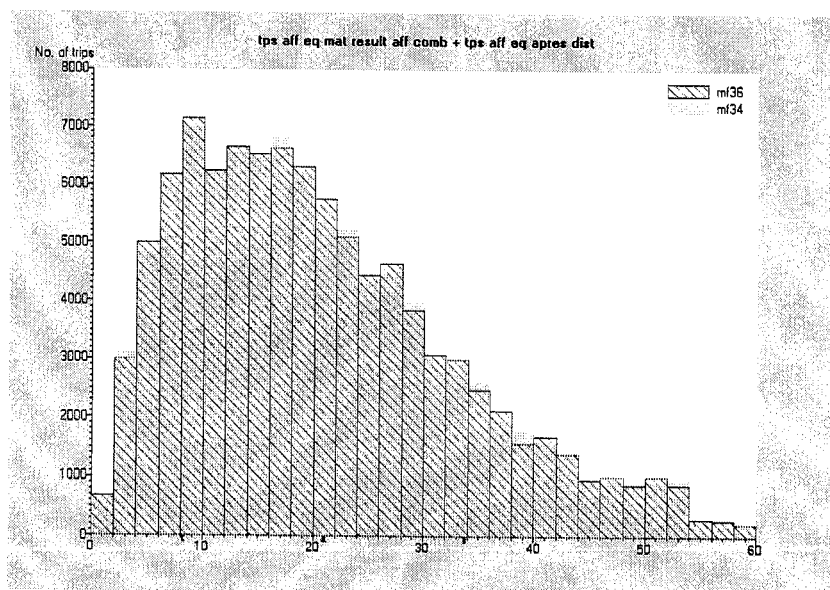


Figure 4.23: Stabilité du bouclage affectation - distribution - situation 90

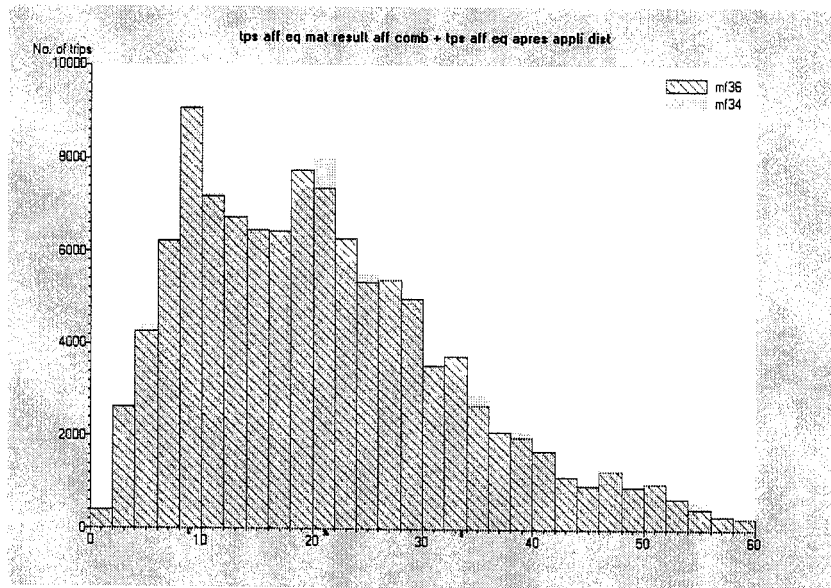


Figure 4.24: Stabilité du bouclage affectation - distribution - situation 97

A titre d'illustration, peut être représentée la comparaison entre la répartition des temps résultant de l'application de notre modèle d'affectation de celle à l'équilibre de la matrice initiale (figures (4.25) et (4.26)).

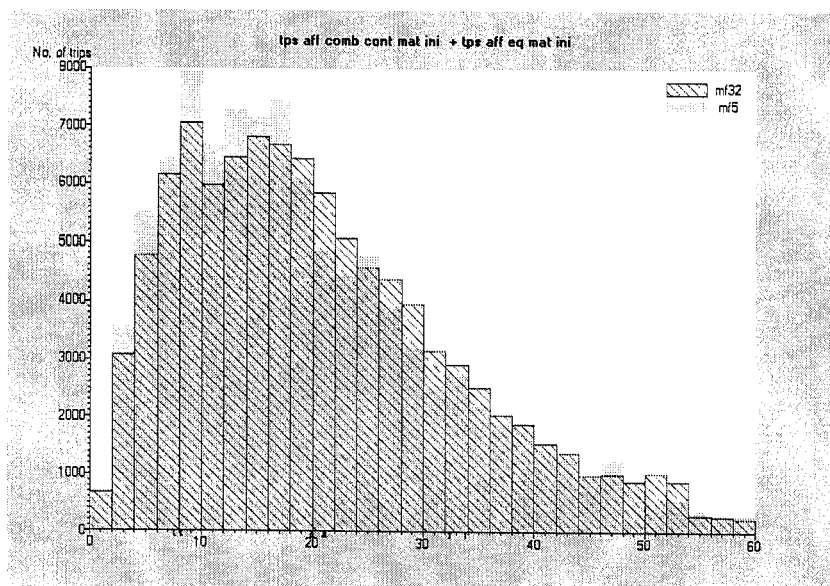


Figure 4.25: Comparaison des répartitions des temps de parcours liées à l'affectation combinée et celle à l'équilibre de la matrice interne CETE - situation 90

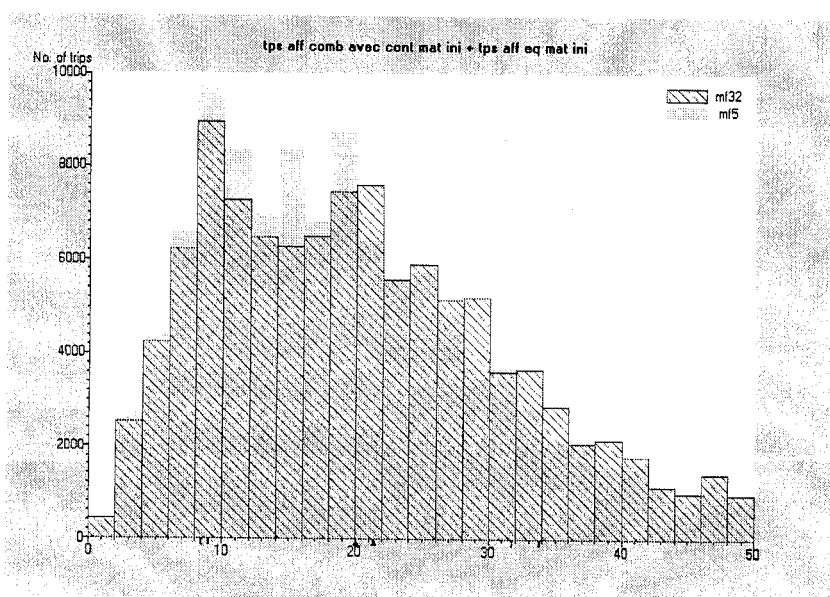


Figure 4.26: Comparaison des répartitions des temps de parcours liées à l'affectation combinée et celle à l'équilibre de la matrice interne CETE - situation 97

4.3 Evaluation des résultats

Nous nous intéressons aux résultats issus de l'application du modèle combiné dans sa dernière version. Une première évaluation a été la comparaison des trafics aux comptages. Pour la situation 1990, le R^2 (de 0.84) est supérieur à celui donné après affectation à l'équilibre de la matrice du CETE. De même pour la situation 1997, où le R^2 approxime le 0.95.

Puis, afin de se rendre compte des éventuelles différences occasionnées par notre procédé d'affectation, nous avons comparé dans un premier temps la déformation de la matrice de demande lors de la mise en oeuvre de l'affectation combinée. Seules les différences de plus de 10 UVP ont été considérées comme significatives dans notre exercice de comparaison. En rapportant par la suite les différences non nulles persistantes après ce filtre à une différence relative, on a une différence moyenne globale de 0,1 % pour la situation 1990. Pour la situation 1997, les différences sont plus importantes. Elles sont de 3,7 % en moyenne. Une représentation de ces différences relatives entre la demande initiale et celle issue de notre modèle est disponible en annexes 6.

Dans un second temps, je me suis intéressée aux différences de répartitions des temps de parcours et des distances. L'étude relative aux temps de parcours a été réalisée dans la section précédente. Pour ce qui est des distances, les différences sont en moyenne de 300 mètres soit moins de 10% de différence. Ces différences ne seront pas considérées comme significatives. A titre indicatif, sont toutefois communiquées les différences de répartitions (matrice totale) (figures (4.27) et (4.28)).

Une dernière étape de ce mémoire a été la comparaison des valeurs de trafic. Les différences sont représentées en supplément de la valeur du trafic obtenu dans le cas de l'affectation combinée aux figures (4.29) et (4.30).

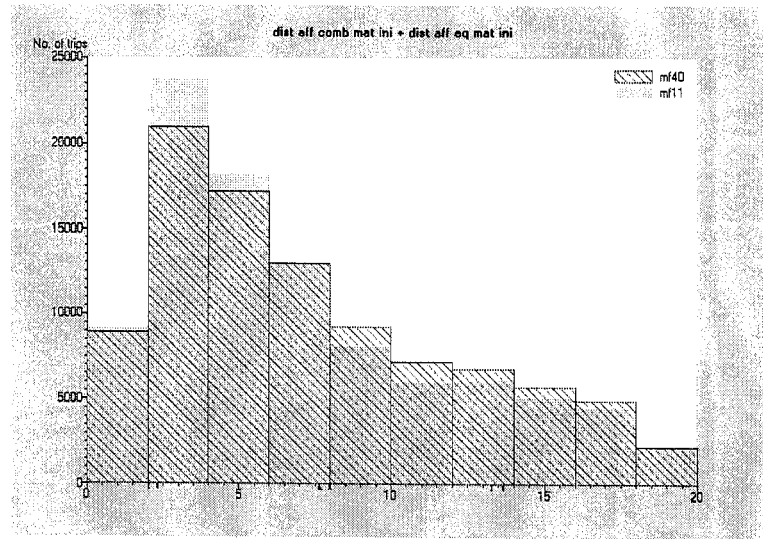


Figure 4.27: Comparaison des répartitions des distances parcourues dans le cas de l'affectation combinée et dans le cas de l'affectation à l'équilibre de la matrice initiale - situation 90

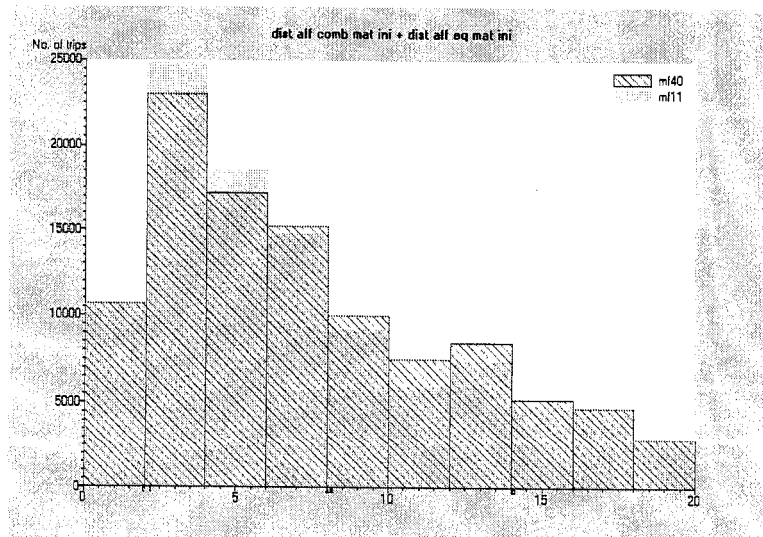


Figure 4.28: Comparaison des répartitions des distances parcourues dans le cas de l'affectation combinée et dans le cas de l'affectation à l'équilibre de la matrice initiale - situation 97



Figure 4.29: Comparaison des trafics, en bleu selon la méthode combinée, ajouté en rouge l'absolu de la différence entre les deux types d'affectations - situation 1990



Figure 4.30: Comparaison des trafics, en bleu selon la méthode combinée, ajouté en rouge l'absolu de la différence entre les deux types d'affectations - situation 1997

Soit si on récapitule ⁷ nos résultats dans un tableau de la même forme qu'au tableau (2.1), on obtient le tableau (4.1).

Tableau 4.1: Résultats comparatifs entre affectations du modèle et enquêtes ménages déplacements

Indicateurs		Valeurs 1990 Modèle combiné	Croissance 1990/1997 (%) Modèle combiné	Croissance 1988/1997 (%) Enquête Ménage
Temps (mn)	interne	18,27	0,3	
	tot	21,02	0,2	0
Distance (km)	interne	5,85	-0,4	-0,1
	tot	7,98	0,2	0,8
Vehicules (veh)	interne	74 265	0,6	1,8
	tot	99 638	1,4	2,5
veh.km (veh.km)	interne	391 769	0,1	1,1
	tot	701 789	1,7	3,3

Les différences sont trop peu significatives au niveau des indicateurs globaux entre les deux types d'affectation pour faire l'objet d'une conclusion autre que celle faite à la fin du chapitre 2 ⁸.

Le développement du modèle combiné distribution-affectation constituait l'objectif de ce mémoire. Sa mise en application sur la problématique transport de la ville de Marseille pour laquelle elle semblait présenter un intérêt, a permis de prendre la mesure de ses possibilités. L'analyse comparative quantitative des résultats n'est pas à considérer comme un aboutissement. Je vous invite à considérer cette dernière partie du mémoire comme une illustration de la mise en oeuvre du modèle développé précédemment. Pour répondre aux questions de la problématique de la ville marseillaise, l'analyse devra être plus approfondie, des pistes de diagnostic ayant été tracées dans ce mémoire. Dans l'immédiat, compte tenu des résultats obtenus, je suggérerais de reprendre la modélisation en calant la distribution à partir d'une contrainte de temps moyen de déplacements pour la demande interne et non plus totale comme cela a été fait. En effet, le temps de déplacements des échanges et transit sont sujets à beaucoup plus d'incertitudes. Et dans ce cas, une plus grande cohérence entre le temps moyen de déplacement des EMD après requête sur la zone

⁷et complétons avec les résultats liés à la demande interne

⁸lors du commentaire suivant le tableau (2.1) entre résultat EMD et modèle affectation à l'équilibre

d'étude (correspondant à celui des résidants) et temps moyen de déplacement calculé par le modèle (pondération de la matrice des temps avec la matrice interne) serait assurée. Les macros sont facilement adaptables et une requête à partir de LEXEM⁹ et ACCESS sur les enquêtes ménages déplacements permettrait de fournir les temps moyens de déplacements internes pour les deux années seuil.

⁹logiciel de traitement de base de données développé par le CETE Méditerranée

CONCLUSION

Ce travail a été réalisé dans un souci de satisfaction des exigences liées à la maîtrise, mais également dans un souci de recherche de réponses à la mise en question du modèle de la ville de Marseille initiée par le CETE méditerranée, organisme en charge du dit modèle.

Une certaine stabilité du temps moyen de parcours au cours de la dernière décennie a pu être observée sur l'agglomération marseillaise. Cette observation a donné lieu lors de son exégèse dans le premier chapitre à une prise de connaissance de la problématique du trafic de la ville de Marseille, et a constitué en outre le ferment des objectifs du modèle combiné.

Cette double grille de lecture est encore plus présente dans le chapitre traitant spécifiquement de l'analyse des données. Ce deuxième chapitre a été l'occasion de me familiariser avec l'approche modélisatrice du CETE, étape préliminaire à la programmation de la recomposition de la demande étudiée au dernier chapitre. Elle a également nécessité l'acquisition de données (par le biais d'affectations diverses notamment) sur lesquelles une analyse comparative dans le cadre de la problématique d'évaluation du modèle pourra être réalisée. Cela m'a d'ailleurs mené à quelques conclusions, base d'une réflexion à approfondir.

Le troisième chapitre, coeur de mon travail de développement, trouve ses enjeux d'application dans le respect de la prise en compte d'une contrainte de temps et a été mis en pratique dans le dernier chapitre. Le développement du modèle combiné a fait suite à une étude bibliographique approfondie sur laquelle il s'est appuyé. Associant diverses contributions, les bases d'un algorithme répondant à nos enjeux

ont été établies et ont mené à sa constitution. Fort de cet algorithme, la phase de programmation, qui n'a pas été relatée lors de ce mémoire de maîtrise, mais dont le résultat est fourni en annexes, a été réalisée.

Le dernier chapitre complète cette phase de développement par une phase d'exploitation et d'analyse. Ce travail fournit de nouvelles données à inclure dans la réflexion d'évaluation du CETE.

Ainsi, les conclusions suscitées lors de l'application du modèle combiné et de l'analyse des données sur la problématique marseillaise, peuvent constituer des éléments de réflexion à intégrer dans une analyse qui porterait sur l'évaluation du modèle. La prise en compte de l'évolution réelle de l'offre a permis une diminution des écarts entre prévisions du modèle et observations de la réalité. L'analyse devra être poursuivie sur cette réflexion d'influence de paramètres. Plusieurs niveaux pourront être considérés dans cette analyse de sensibilité : l'influence des données sera à évaluer indépendamment de celle de leur calage, à différencier également de celle des choix des fonctions mathématiques et des variables significatives, et des algorithmiques pour la réalisation des quatre étapes, à différencier si possible de celle du choix d'une modélisation à quatre étapes et des différentes boucles rétroactives. Par exemple, j'envisagerais d'analyser le fait que ce soit la hauteur de la demande qui soit mise en défaut (comme cela semble être le cas), en évaluant la part d'erreur due au mauvais calage des coefficients correcteurs pris en considération lors de la phase de génération ou de celui des coefficients de la fonction de régression, ou encore si ce sont les données de population et/ou d'emplois qui ont été sous estimées, ou si c'est le choix des variables significatives. Il est également envisageable que ce soit la répartition modale qui soit à remettre en question.

Outre la constitution d'éléments de réflexion pour l'évaluation de l'approche modélisatrice du CETE sur la ville de Marseille, ce travail a donné lieu à la formalisation d'un modèle d'affectation contrôlé par une contrainte sur le temps moyen de déplacement. Les macros programmées pourront être réutilisées au cours d'une autre modélisation. L'algorithme de calage du modèle de distribution sous la contrainte de temps moyen, pourra cependant être affiné afin d'offrir une palette plus large de théta possibles. Après quelques modifications, il pourra en être de même pour la

formalisation de la recomposition de la demande marseillaise sous EMME/2, qui a ce jour n'était réalisée que sous OPERA ou EXCEL.

Il a été question dans ce mémoire de la "loi Zahavi" dont la vérification est loin de faire l'unanimité. Le modèle proposé n'est pas pour autant à remettre en question. En effet, on a considérée dans la programmation la possibilité de prendre en compte des valeurs différentes de temps moyen pour les années seuil, et non la stabilité du temps moyen de déplacement ¹⁰.

De façon assez peu surprenante, nombreuses ont été les difficultés rencontrées au cours de cette recherche. Elles ont fait suite à l'acquisition de compétences sur de nouveaux logiciels, ont été d'ordre informatique, ont été liées à l'usage de données erronées, ou hors de leur contexte de validité. Ces difficultés ont permis un réajustement permanent de la démarche. Seules celles liées à l'investissement des données caractérisant notre objet d'étude, feront l'objet de commentaires.

L'approche très "terrain" dont j'ai fait preuve pourrait bien être reprochée à ce mémoire de maîtrise recherche. Cependant, ce travail n'a été possible que par la mise à disposition de données, en majorité transmises par le CETE. Ce travail de recueil a à lui seul demandé du temps. Mais c'est surtout lorsqu'il s'est agi de s'approprier une logique modélisatrice, comprendre l'architecture des banques, connaître le contexte, savoir qu'attendre d'une exploitation des enquêtes ménages, appréhender leur fourchette de fiabilité, avoir une vue d'ensemble sur le dispositif d'enquêtes et d'informations à propos du trafic urbain, que ce temps s'est allongé. Ne pas en faire part serait réduire, de plus de moitié, mon travail de recherche. Ce travail orienté dès son début vers la problématique de la circulation à Marseille, ne pouvait donc pas faire abstraction de cette présentation et analyse des données.

Dans le travail de modélisateur qui m'attend au CETE Méditerranée, il sera surtout question de la mise en place de modèles standards à quatre étapes, probablement encore moins affinés que celui de Marseille, et de l'exploitation de résultats d'affectation. Ce sera le contexte qui créera la différence. C'est lui qui donne toute la perspective au modèle. C'est lui qui justifie le modèle. Son investissement est donc loin d'être inopportun. Avant de devenir à ce point opérationnelle, mon intention a

¹⁰ comme souhaité initialement par le CETE Méditerranée

été d'investir le développement théorique d'un modèle, opportunité qu'offre la maîtrise recherche et qui sera plus difficile à mettre en oeuvre une fois un travail de chargé d'études à assurer. Mais cet investissement ne pouvait trouver de sens que dans une mise en pratique. Ce sont ces deux intentions qui m'ont animée tout au long de cette recherche.

RÉFÉRENCES

AASHTIANI HZ. ET MAGNANTI TL. (1980) *Equilibria on a congested transportation network*. Opns Res. Ctr., M.I.T.

BRUYNNOOGHE M., GIBERT A. ET SAKAROVITCH M. (1968) *Une méthode d'affectation du trafic*. Rapport du SETRA, Paris.

BRUYNNOOGHE M. (1969) *Une méthode intégrée de distribution et d'affectation de trafic sur un réseau*. Rapport de l'I.R.T., Département Recherche Opérationnelle et Informatique, Paris.

BUREAU D'ÉTUDES SETEC (2002) *Modélisation des déplacements urbains de voyageurs - Guide pratique*. Version provisoire de février 2002, CERTU DTT.

BONNEL P. (2002) *Prévision de la demande de transport*. Rapport présenté en vue de l'obtention du diplôme d'habilitation à diriger les recherches, soutenu le 7 mai 2002, Université Lumière Lyon 2, Faculté de sciences économiques et de gestion.

DAFERMOS S. (1980) *Traffic equilibrium and variational inequalities*. Transportation Research, vol. 5, p 42-54.

DAFERMOS S. ET NAGURNEY A. (1982) *Sensitivity analysis for the general network equilibrium problem*. Technical report LCDS, Lefschetz Center for Dynamical Systems, Brown University.

EVANS AW. (1970) *Some properties of trip distribution methods*. Transportation Research, vol. 5, p. 19-36.

EVANS SP. (1971) *The calibration of trip distribution models with exponential or similar cost functions*. Transportation Research, vol. 5, p. 15-38.

EVANS SP. (1973) *A relationship between the gravity model for trip distribution and the transportation problem in linear programming*. Transportation Research, vol. 5, p. 39-61.

EVANS SP. (1973) *Some applications of mathematical optimization theory in transport planning*. Thèse de doctorat, Research group in traffic studies, University College, Londres.

EVANS SP. (1974) *Some models for combining the trip distribution and traffic assignment stages in the transport planning process*. Lecture Notes in economics and mathematical systems operations research, traffic equilibrium methods, Montréal, 1974.

EVANS SP. (1976) *Derivation and analysis of some models combining trip distribution and assignment*. Transportation Research, vol. 10, p. 37-57.

FLORIAN M. ET NGUYEN S. (1976) *An application and validation of equilibrium trip assignment methods*. Transportation Science, vol. 10, p. 374-389.

FLORIAN M., FERLAND J. ET NGUYEN S. (1975) *On the combined distribution-assignment of traffic*. Transportation science, vol. 9, p. 43-53.

FRANK M. ET WOLFE P. (1956) *An algorithm of quadratic programming*. Naval Res. Log, Quart. 3, p. 95-110.

- FRATAR TS. (1954) *Vehicular trip distribution by successive approximation*. Traffic Quaterly, vol. 8, p. 53-56.
- FURNESS KP. (1965) *Time function iteration*. Traffic Engineering and Control, p. 458-460.
- JOLY I. (2002) *La "Loi de Zahavi" : quelle pertinence pour comprendre la contraction et la dilatation des espaces-temps de la ville ?* Préparé pour le Plan Urbanisme Construction Architecture, publication du Laboratoire d'Economie des Transports.
- KNIGHT FH. (1924) *Some fallacies in the interpretation of social cost*. Quarterly Journal of Economics, p. 582-606.
- KRUIHOF J. (1937) *Calculation of telephone traffic*. De Ingenieur 52, E15-E25.
- LEBLANC LJ., MORLOK EK. ET PIERSKALLA WP. (1975) *An efficient approach to solving the road network equilibrium traffic assignment problem*. Transportation Research, vol. 5, p. 309-318.
- LUENBERGER DG. (1973) *Introduction to linear and nonlinear programming*. Addison-Wesley, Reading, Mass.
- NICOLAS JP., POCHET P., POIMBOEUF H. (2001) *Indicateurs de mobilité durable sur l'agglomération lyonnaise, méthodes et résultats*. Recherche pour le compte de Renault, APDD, Lyon, 2001.
- SHEFFI Y. (1984) *Urban transportation networks : equilibrium analysis with mathematical programming methods*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- SIMMONS DM. (1975) *Nonlinear programming for operations research* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

- SMITH MJ. (1979) *Existence, Uniqueness and stability of traffic equilibria*. Transportation Research B, vol. 13B, p.295-304.
- TOMLIN JA. (1971) *A mathematical programming model for the combined distribution-assignment of traffic*. Transportation Science, vol. 5, p. 120-140.
- WAGNER HM. (1975) *Principles of operations research with applications to managerial decisions* Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- WARDROP JG. (1952) *Some theoretical aspects of road traffic research*. Proc. Inst. Civil Engineers, part 2, p. 325-378.
- WILSON AG. (1967) *A statistical theory of spatial distribution models*. Transportation Research, vol. 1, p. 253-270.
- ZAHAVI Y. (1979) *The 'UMOT' Project*. Rapport pour l'U.S. Department of Transportation and the Ministry of Transport of Federal republic of Germany.
- ZAHAVI Y. ET RYAN JM. (1980) *Stability of travel components over time*. Transportation Research Record, p. 19-26.
- ZAHAVI Y. ET TALVITIE A. (1980) *Regularities in travel time and money expenditures*. Transportation Research Record, p.13-19.
- ZANGWILL WI. (1969) *Nonlinear programming : a unified approach*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.

ANNEXES

ANNEXE 1

Extensions des fichiers pour une modélisation sous OPERA

.GEN	données de génération
.DIS	données de distribution
.MOD	grille de répartition modale
.UVP	données de transformation en UVP
.RES	données de description du réseau
.GO1	génération calculées pour chaque zones
.DIJ	matrice des distances données en temps pour la distribution
.DT	matrice de déplacement tous modes pour le motif DT
.DT1	matrice de déplacement des VP pour le motif DT
.DT2	matrice de déplacement des TC pour le motif DT
.DT3	matrice de déplacement des 2R pour le motif DT
.DA	matrice de déplacement tous modes pour le motif DAM
.DA1	matrice de déplacement des VP pour le motif DAM
.DA2	matrice de déplacement des TC pour le motif DAM
.DA3	matrice de déplacement des 2R pour le motif DAM
.SE	matrice de déplacement tous modes pour le motif SE
.SE1	matrice de déplacement des VP pour le motif SE
.SE2	matrice de déplacement des TC pour le motif SE
.SE3	matrice de déplacement des 2R pour le motif SE

.INT	matrice interne en UVP
.EXT	données trafic externe
.MAT	matrice totale en UVP
.COU	matrice des coûts
.AFF	résultat d'affectation
.COO	coordonnées des noeuds
.CRD	compte rendu de l'affectation
.SAR	numéro de noeud de sélection d'arc
.CON	coefficient comparaison variantes
.PEN	pénalités aux carrefours
.PDE	paramètres de dessin
.PAR	paramètres d'affectation
.IT1	édition des résultats d'affectation
.TRO	matrice d'analyse d'un tronçon

ANNEXE 2

Analyse géographique des fichiers inputs du modèle (CETE) de génération

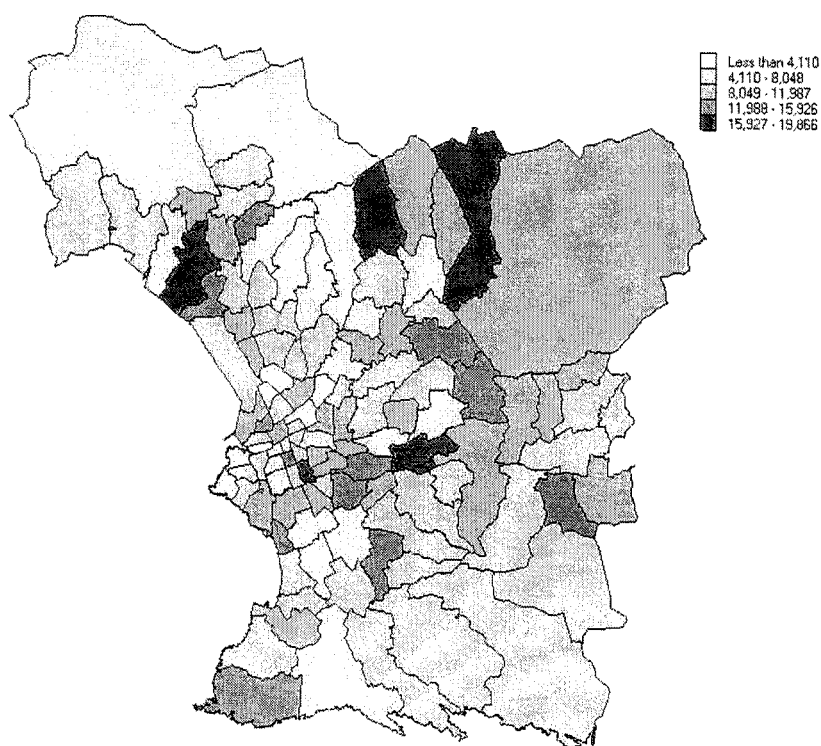


Figure 31: Répartition de la population en 1990

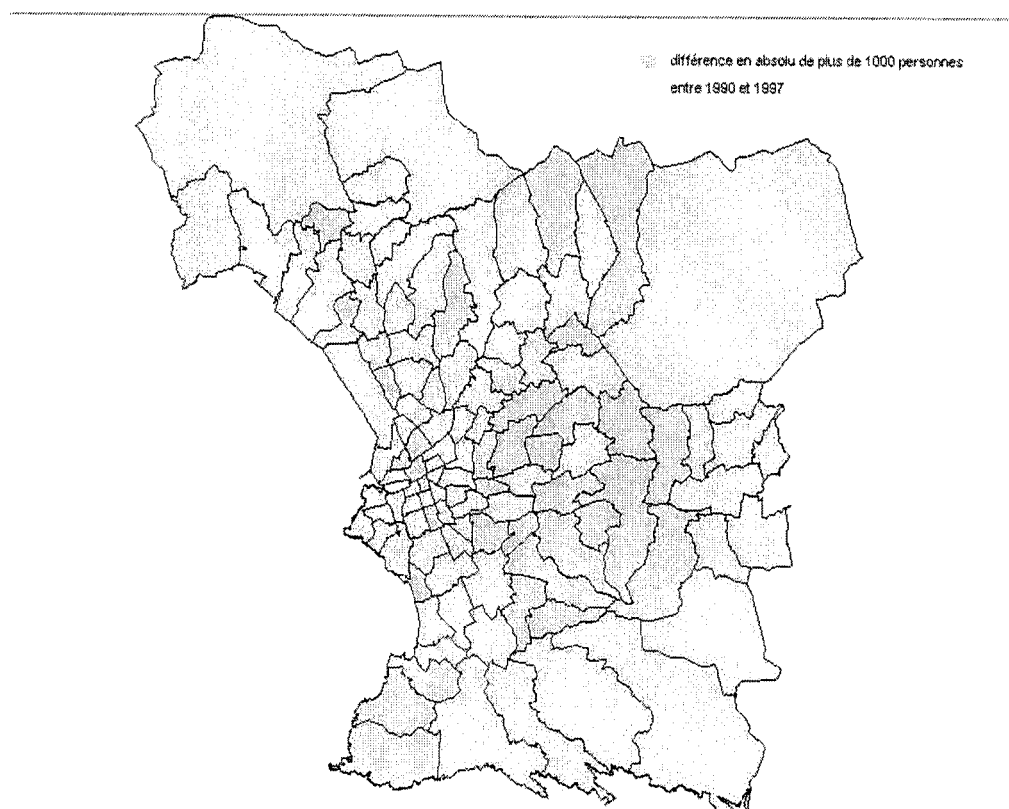


Figure 32: Différenciel de population entre 1990 et 1997

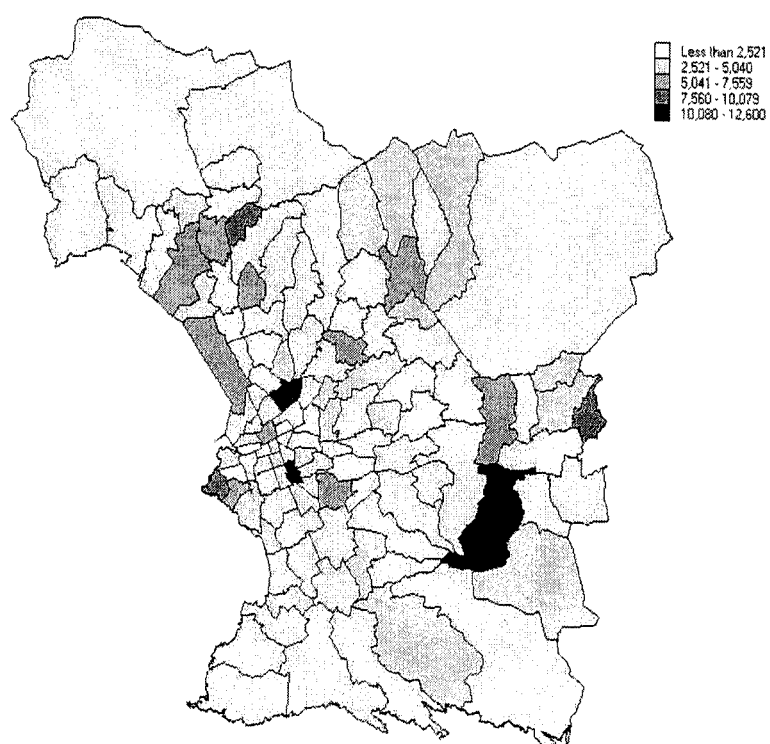


Figure 33: Répartition de l'emploi en 1990

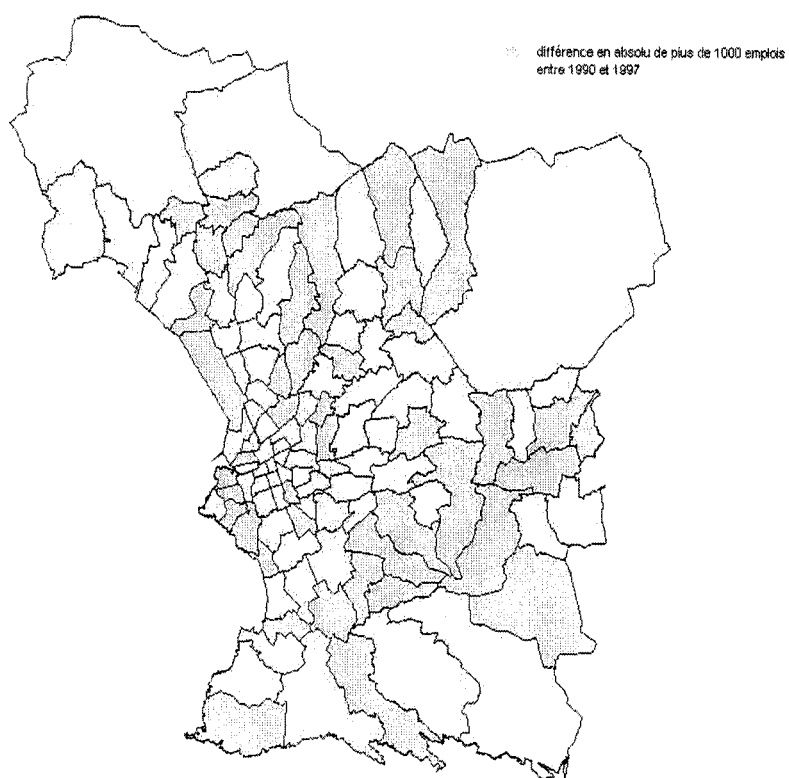


Figure 34: Différenciel de l'emploi entre 1990 et 1997

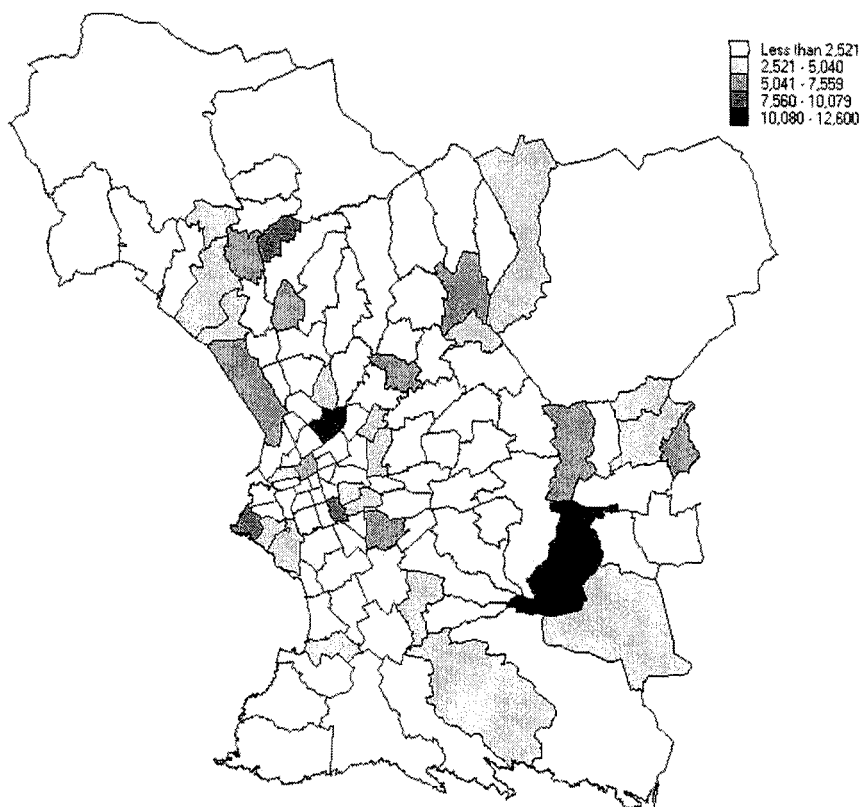


Figure 35: Répartition de l'emploi tertiaire en 1990

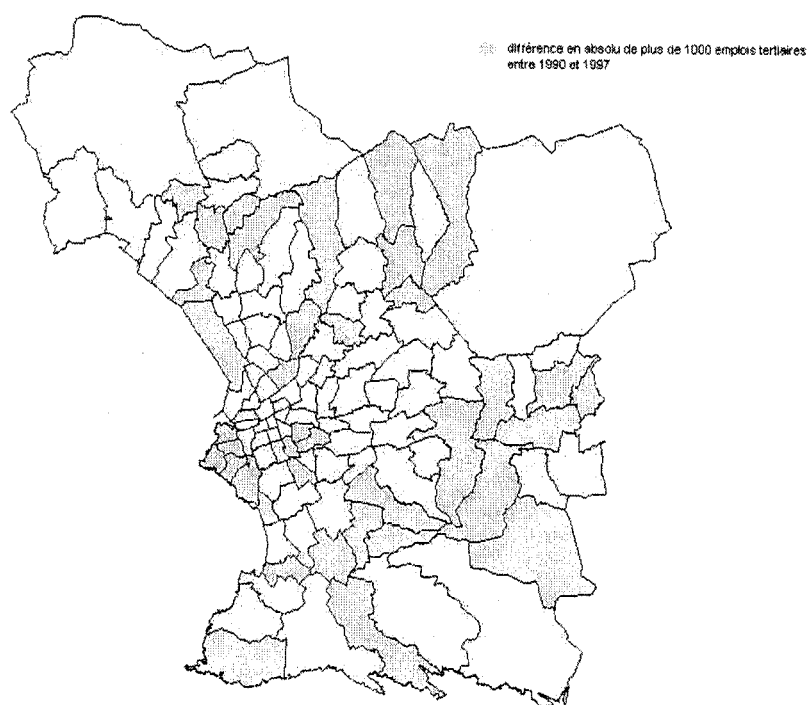


Figure 36: Différenciel de l'emploi tertiaire entre 1990 et 1997

ANNEXE 3

Utilitaire développé sous MATLAB pour représenter des histogrammes de plus de 2 matrices

Au cours de cette recherche, j'ai été confrontée à la limite des deux matrices qu'impose EMME/2 dans sa fonctionnalité de comparaison d'histogrammes. Pour remédier à cette limite, j'ai développé un script en MATLAB dont le code est indiqué ci-dessous. Cet utilitaire peut également être utilisé pour comparer les histogrammes de matrices issues de deux banques différentes (possible également sous EMME/2, mais pas directement).

Avant de lancer le script sous MATLAB, les matrices doivent être exportées de EMME/2 sous EXCEL (l'utilisation de la fonctionnalité de "tableaux croisés" offerte par EXCEL permet de les formater en matrices carrées) et être enregistrées en format .wk1. Une fois importées sous MATLAB, ces matrices sont très facilement manipulables. Les fonctionnalités de calcul de MATLAB peuvent alors y être appliquées, par exemple pour le calcul de temps moyen... C'est également le cas pour les scripts, dont la fonction que j'ai développée peut être un exemple. Elle permet la représentation de 4 histogrammes de matrices pondérées avec possibilité de définition du pas.

```
function gpond(t,A,B,C,D,E,F,G,H)
% gpond(t,A,B) representant A ponderee par B
% t indique l'indentation pour l'echelle de A
switch nargin
case 3
x=[0:t:max(max(A)) t:t:max(max(A))];
for i=1:(length(x)-1)/2;
x(2*i)=i;
x(2*i+1)=x(2*i);
end
```

```

for i=0 : (max(max(A))/t);
ind=find((A < ((i+1)*t)) & (A >= (i*t)));
y(2*i+1)=sum(sum(B(ind)));
y(2*(i+1))=y(2*i+1);
end
y=y(1 : length(x));
moy1=moyenne(A,B);
plot(x',y')
title(strcat(sprintf('Représentation de "%s"',inputname(2)),...
sprintf(' pondéré par "%s"',inputname(3))))
text(moy1,max(y),strcat('moy = ',num2str(moy1)), 'Color','b')
legend(sprintf('"%s" ',inputname(2)),4)
case 5
x=[0 : t : max(max(max(A)),max(max(C))) t : t : max(max(max(A)),max(max(C)))];
for i=1 : (length(x)-1)/2;
x(2*i)=i;
x(2*i+1)=x(2*i);
end
for i=0 : (max(max(A))/t);
ind=find((A < ((i+1)*t)) & (A >= (i*t)));
y(2*i+1)=sum(sum(B(ind)));
y(2*(i+1))=y(2*i+1);
end
y=y(1 : (2*fix(max(max(A))/t)+1));
for i=0 : (max(max(C))/t);
ind=find((C < ((i+1)*t)) & (C >= (i*t)));
z(2*i+1)=sum(sum(D(ind)));
z(2*(i+1))=z(2*i+1);
end
z=z(1 : (2*fix(max(max(C))/t)+1));
if length(y) < length(x)
y=[y zeros(1,(length(x)-length(y)))];
else if length(z) < length(x)
z=[z zeros(1,(length(x)-length(z)))];
end
end
y=[y' z'];
moy1=moyenne(A,B);
moy2=moyenne(C,D);
plot(x',y(:,1),'r-',x',y(:,2),'b-')
title(strcat(sprintf('Représentation de "%s"',inputname(2)),...
sprintf(' pondéré par "%s"',inputname(3)),...
sprintf(' et de "%s"',inputname(4)),...
sprintf(' pondéré par "%s"',inputname(5))))
text(moy1,max(y(:,1)),strcat('moy = ',num2str(moy1)), 'Color','r')
text(moy2,max(y(:,2)),strcat('moy = ',num2str(moy2)), 'Color','b')
legend(sprintf('"%s" ',inputname(2)),sprintf('"%s" ',inputname(4)),4)

```

```

case 7
x=[0:t:max([max(max(A)),max(max(C)),max(max(E))]) ...
t:t:max([max(max(A)),max(max(C)),max(max(E))])];
for i=1:(length(x)-1)/2;
x(2*i)=i;
x(2*i+1)=x(2*i);
end
for i=0:(max(max(A))/t);
ind=find((A<((i+1)*t))&(A>=(i*t)));
y(2*i+1)=sum(sum(B(ind)));
y(2*(i+1))=y(2*i+1);
end
y=y(1:(2*fix(max(max(A))/t)+1));
for i=0:(max(max(C))/t);
ind=find((C<((i+1)*t))&(C>=(i*t)));
z(2*i+1)=sum(sum(D(ind)));
z(2*(i+1))=z(2*i+1);
end
z=z(1:(2*fix(max(max(C))/t)+1));
for i=0:(max(max(E))/t);
ind=find((E<((i+1)*t))&(E>=(i*t)));
f(2*i+1)=sum(sum(F(ind)));
f(2*(i+1))=f(2*i+1);
end
f=f(1:(2*fix(max(max(E))/t)+1));
if length(y)<length(x)
y=[y zeros(1,(length(x)-length(y)))];
end
if length(z)<length(x)
z=[z zeros(1,(length(x)-length(z)))];
end
if length(f)<length(x)
f=[f zeros(1,(length(x)-length(f)))];
end
y=[y' z' f'];
moy1=moyenne(A,B);
moy2=moyenne(C,D);
moy3=moyenne(E,F);
plot(x',y(:,1),'r-',x',y(:,2),'b-',x',y(:,2),'g-')
title(strcat(sprintf('Représentation de "%s"',inputname(2)),...
sprintf(' pondéré par "%s"',inputname(3)),...
sprintf(' de "%s"',inputname(4)),...
sprintf(' pondéré par "%s"',inputname(5)),...
sprintf(' et de "%s"',inputname(6)),...
sprintf(' pondéré par "%s"',inputname(7))))
text(moy1,max(y(:,1)),strcat('moy = ',num2str(moy1)), 'Color','r')
text(moy2,max(y(:,2)),strcat('moy = ',num2str(moy2)), 'Color','b')

```

```

text(moy3,max(y(:,3)),strcat('moy = ',num2str(moy3)), 'Color','g')
legend(sprintf('%s' ,inputname(2)),sprintf('%s' ,inputname(4)),...
sprintf('%s' ,inputname(6)),4)

case 9
x=[0 :t :max([max(max(A)),max(max(C)),max(max(E)),max(max(G))]) ...
t :t :max([max(max(A)),max(max(C)),max(max(E)),max(max(G))])];
for i=1 : (length(x)-1)/2 ;
x(2*i)=i ;
x(2*i+1)=x(2*i) ;
end
for i=0 : (max(max(A))/t) ;
ind=find((A < ((i+1)*t)) & (A >= (i*t)));
y(2*i+1)=sum(sum(B(ind)));
y(2*(i+1))=y(2*i+1) ;
end
y=y(1 : (2*fix(max(max(A))/t)+1)) ;
for i=0 : (max(max(C))/t) ;
ind=find((C < ((i+1)*t)) & (C >= (i*t)));
z(2*i+1)=sum(sum(D(ind)));
z(2*(i+1))=z(2*i+1) ;
end
z=z(1 : (2*fix(max(max(C))/t)+1)) ;
for i=0 : (max(max(E))/t) ;
ind=find((E < ((i+1)*t)) & (E >= (i*t)));
f(2*i+1)=sum(sum(F(ind)));
f(2*(i+1))=f(2*i+1) ;
end
f=f(1 : (2*fix(max(max(E))/t)+1)) ;
for i=0 : (max(max(G))/t) ;
ind=find((G < ((i+1)*t)) & (G >= (i*t)));
h(2*i+1)=sum(sum(H(ind)));
h(2*(i+1))=h(2*i+1) ;
end
h=h(1 : (2*fix(max(max(G))/t)+1)) ;
if length(y)<length(x)
y=[y zeros(1,(length(x)-length(y)))] ;
end
if length(z)<length(x)
z=[z zeros(1,(length(x)-length(z)))] ;
end
if length(f)<length(x)
f=[f zeros(1,(length(x)-length(f)))] ;
end
if length(h)<length(x)
h=[h zeros(1,(length(x)-length(h)))] ;
end
y=[y' z' f' h'] ;

```

```

moy1=moyenne(A,B);
moy2=moyenne(C,D);
moy3=moyenne(E,F);
moy4=moyenne(G,H);

plot(x(:,1),'r-',x(:,2),'b-',x(:,3),'g-',x(:,4),'k-')
title(strcat(sprintf('Représentation de "%s"',inputname(2)),...
sprintf(' pondéré par "%s"',inputname(3)),...
sprintf(' de "%s"',inputname(4)),...
sprintf(' pondéré par "%s"',inputname(5)),...
sprintf(' de "%s"',inputname(6)),...
sprintf(' pondéré par "%s"',inputname(7)),...
sprintf(' et de "%s"',inputname(8)),...
sprintf(' pondéré par "%s"',inputname(9))))
text(moy1,max(y(:,1)),strcat('moy = ',num2str(moy1),'Color','r'))
text(moy2,max(y(:,2)),strcat('moy = ',num2str(moy2),'Color','b'))
text(moy3,max(y(:,3)),strcat('moy = ',num2str(moy3),'Color','g'))
text(moy4,max(y(:,4)),strcat('moy = ',num2str(moy4),'Color','k'))
legend(sprintf('"%s" ',inputname(2)),sprintf('"%s" ',inputname(4)),...
sprintf('"%s" ',inputname(6)),sprintf('"%s" ',inputname(8)),4)
otherwise
error('manque des arguments a la fonction')
end

function moy=moyenne(A,B)
moy=(sum(sum(A.*B))/sum(sum(B)));

```

ANNEXE 4

A propos de la recombposition de la matrice demande selon la méthode OPERA

MATRICE INTERNE SANS PRISE EN COMPTE DES CENTRES COMMERCIAUX ET DE L'ECLATEMENT DES PENNES

La macro *recompo_demande_CETE.mac* contient toutes les sous-macros suivantes et nécessite l'existence des matrices suivantes.

1. Matrice colonne (mo40) donnant les actifs avec emplois en 1990 constituée à partir des chiffres du fichier .gen.
2. Matrice colonne (mo41) donnant la population en 1990
3. Matrice ligne (md40) donnant les emplois tertiaires en 1990
4. Matrice ligne (md41) donnant la pop (transposée de mo41)
5. Matrice ligne (md42) donnant les emplois en 1990
6. Matrices mo 50 51 52 input des pourcentages d'intrazonaux issus de .gen 90 selon les 3 motifs (penser à diviser ces mo par 100 pour la suite des calculs)
7. Matrice mo53 input du pourcentage de travail à domicile par zone
8. Matrices des facteurs correcteurs à appliquer aux Emissions et Attractions selon la typologie (en 16 zones, non rentrée) issus du fichier .gen. constitution des matrices mo et md 43 44 45
9. Scalaires des mobilités (ms 40 41 42 43 44) selon le nb d actifs, la population, selon le motif dont on cherche à connaître les émissions et les attractions par zone
10. Constitution des 2 macros déterminant les matrices des Emissions et des Attractions 24h selon les 3 motifs : *genEmiBrutes.mac* et *genAttBrutes.mac* => création des matrices mo et md 49 50 51 relatives à Op et Dq pour D-T D-AM SE pr 24h.
11. Les facteurs de correction entraînent des distorsions, on va donc ajuster et de façon à ce que on est que la somme des émissions et des attractions sur l'ensemble du territoire étudié par motif soient égales. Cet ajustement des mo et md 49 50 51 aux totaux, se fait par les macros *genEmiajust.mac* et *genAttajust.mac* => création des matrices d'attractions mo et md 49 50 51

12. Pour ce faire est utilisé les sommes des mo et md 49 50 51 que l'on a rentré préalablement dans ms 58 59 60 61 62 63, ainsi que la création de ms 64 65 66 sur lesquels on souhaite ajuster. La macro *sommeattemi.mac* réalise ces sommations.
13. Enfin, on soustrait les intra-zonaux en soustrayant aux mo et md 49 50 51 le pourcentage d'intra (mo 55 56 57) aux min des émissions ou attractions ajustées. On obtient alors mo et md 52 53 54, par la macro *gennet.mac*
14. Détermination de la matrice des SP (Shortest Paths) en faisant un assignement à itération 0 (ou plus, c'est pareil) avec comme matrice demande une matrice unité (ms1). On a préalablement mis tous les volume delay functions de tous les liens = fd99 (=length). Les auto time issus de cet assignement sont enregistrés dans mf43 qui constitue en fait la matrice des SP. La macro *calcul_des_s.p.mac* reproduit cette affectation.
15. Rentrée des matrices scalaires ms 46 47 qui contiennent les facteurs multiplicatifs des exponentielles du modèle de distribution (les motifs D-AM et SE ont les mêmes valeurs de coefficients multiplicateurs)
16. Calcul des matrices mf 44 45 supports du balancement calées par CETE ($=\exp(-a \cdot Dp_q)$) avec $a = ms46$ ou 47 selon motif et Dp_q donné par mf40. Puis, réalisation du balancement donnant les matrices des déplacements tous modes pour les 3 motifs (mf 40 41 42) pour 24h interzonaux.
La macro qui contient toutes ces étapes est : *distribution_balancement.mac*.
17. Création des matrices scalaires contenant les facteurs d'HPS selon les motifs dirigés (5 sens) : ms 48 49 50 51 52
18. Création des matrices des déplacements tous modes pour les 5 motifs orientés pour HPS (mf 46 47 48) avec la macro *facteurHPS.mac*
19. Typologie des zones pour la répartition modale rentrée dans le groupe gt. Les groupes au delà de 115 (en 1990, il n'y avait que 115 zones de répertoriées) sont dans le gt0. Les autres constituent les gt1 à gt6.
20. Rentrée des matrices mf 49 -> 57 qui contiennent les valeurs des coefs de la répartition modale entre VP, TC et 2R pour les 3 motifs (soit $3 \cdot 3 = 9$ matrices) selon la typologie en 6 zones issus de .mod.
21. Création de mf 58 -> 66 représentant les nombres de déplacements effectués en HPS pour les 3 motifs (non plus différenciés selon le sens) et les 3 modes avec la macro *repartition_modale.mac*
22. Rentrée des matrices scalaires contenant les coefficients pour la transformation en UVP : ms 53 54 55 56 57 (les trois premiers sont relatifs aux matrices VP selon les 3 motifs, les deux autres sont pour TC puis 2R)
23. Création des matrices UVP selon les 3 motifs et 3 modes mf 58 -> 66 par application des coefficients précédents aux matrices mf* 58 -> 66 lors de la macro *transfoUVP.mac*

24. Détermination de la matrice VP totale HPS tous motifs confondus sans les intras dans mf 67, par macro *det_demande_tot.mac*
25. Elimination des valeurs non significatives (prises comme étant inférieures à 1) par la macro *epurage.mac*

Tableau 2: Récapitulatif de la procédure de création de la matrice

MS		MO		MD		ME	
INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT	INPUT	OUTPUT
40 : <i>Oactif</i>	58 : <i>sommo1</i>	40 : <i>actifs</i>	49 : <i>EajuDT</i>	40 : <i>emplo3</i>	49 : <i>AajuDT</i>		
41 : <i>OpopAM</i>	59 : <i>sommo2</i>	41 : <i>popu</i>	50 : <i>EajuDA</i>	41 : <i>popu</i>	50 : <i>AajuDA</i>		
42 : <i>OpopSE</i>	60 : <i>sommo3</i>	43 : <i>corEm1</i>	51 : <i>EajuSE</i>	42 : <i>emploi</i>	51 : <i>AajuSE</i>		
43 : <i>DcoqFE</i>	61 : <i>sommd1</i>	44 : <i>corEm2</i>	52 : <i>OpDT24</i>	43 : <i>corA11</i>	49* : <i>AttDT</i>		
44 : <i>OpsceT</i>	62 : <i>sommd2</i>	45 : <i>corEm3</i>	53 : <i>OpDA24</i>	44 : <i>corA12</i>	50* : <i>AttDAM</i>		
	63 : <i>sommd3</i>	55 : <i>intra1</i>	54 : <i>OpSE24</i>	45 : <i>corA13</i>	51* : <i>AttSE</i>		
	64 : <i>somDT</i>	56 : <i>intra2</i>	49* : <i>EbrDT</i>		52 : <i>DqDT24</i>		
	65 : <i>somDAM</i>	57 : <i>intra3</i>	50* : <i>EbrDA</i>		53 : <i>DqDA24</i>		
	66 : <i>somSE</i>	58 : <i>tradom</i>	51* : <i>EbrSE</i>		54 : <i>DqSE24</i>		
*	*	*	*	*	*	*	*
1 : <i>unite</i>							43 : <i>matSP</i>
							44 : <i>coball</i>
							45 : <i>coba12</i>
							40 : <i>D24DT</i>
							41 : <i>D24DAM</i>
							42 : <i>D24SE</i>
*	*	*	*	*	*	*	*
48 : <i>FHPSDT</i>							46 : <i>HPSDT</i>
49 : <i>FHPSTD</i>							47 : <i>HPSDAM</i>
50 : <i>FHPSDA</i>							48 : <i>HPSSE</i>
51 : <i>FHP SAD</i>							
52 : <i>FHP SSE</i>							

MATRICE AUGMENTEE DES CENTRES COMMERCIAUX ET PRENANT EN COMPTE ECLATEMENT DES PENNES

1. Constitution d'un ensemble contenant trois groupes définissant les aires d'influence des centres commerciaux (ensemble gi).
2. Pour répartir au prorata des trafics des aires d'influence, sont créées les scalaires temporaires ms 90 et 91 lors de la macro *reparcc.mac*. Cette macro permet de compléter les cases relatives aux zones 117 118 119. L'output de cette macro est la matrice mf 68. Ce qui a été réparti, c'est les 6750 UVP que l'on attribue aux cc, dans la note de travail et que l'on a nous-même observé (lors de la modification de la matrice interne en jouant sur les coef de mobilité pour les motifs DAM et SE quand on cherche à obtenir la matrice interne diminuée du trafic des cc).
3. La macro *pennes.mac*, quant à elle, permet de compléter les cases relatives aux zones 120 et 121, en redistribuant le trafic de la zones 111 (Les Pennes). On obtient à l'issue de cette macro, à nouveau une matrice mf68, qui représente la demande en transport UVP entre les zones de 1 à 125.

MATRICE TOTALE

Ce qui a été fait pour les échanges, à défaut de précision sur la méthode employée, est un simple copiage des UVP ext de la matrice %1% du CETE, par la macro *copie_ext.mac*. A l'issue de cette macro, on obtient la demande totale dans la matrice mf68, que l'on agrège en mo md et ms 68. (%1% est typiquement mf2). On a alors l'ensemble de la demande en transport entre les zones 1 à 134.

COMPARAISON DE LA MATRICE RECONSTITUEE (NON ENCORE AJUSTEE) AVEC UNE AUTRE

1. Afin d'avoir des indications sur la matrice reconstituée, on affecte la matrice dans le scénario 1111. Ainsi, obtient-on les attributs volau et timau et les matrices de temps et de distances (mf 71 et 72). Cette affectation se fait par la macro *affscl1111.mac*. On peut ne faire l'affectation que de la matrice interne si on spécifie dans les bornes l'intervalle 1 115 (On crée la matrice mf69, submatrix de mf68). ex d'usage : *affscl1111.mac 1 134*
2. Une autre macro reprenant cette affectation et la complétant par celle dans un autre scénario d'une matrice avec laquelle on souhaite faire des comparaisons, permet la comparaison des graphes de distribution des distances et des temps pondérés par la demande. Cette macro

est nommée *compar_histo.mac*. Elle crée les matrices mf69 70 qui sont des submatrix des mf83 et la matrice étalon (possibilité donc de faire l'étude des matrices internes en spécifiant comme intervalle 1 115). On obtient les output mf 71 72 73 74 qui sont les matrices des distribution des temps et des distances selon si on a affecté mf83 ou la matrice étalon. Les volau et timau de scl111 correspondent à l'affectation de mf83 et ceux de sc2990 de la matrice étalon. ex usage : *compar_histo.mac* mf24 1 134

AJUSTEMENT AUX COMPTAGES

1. Application de la macro demadj22.mac par l'intermédiaire de la macro *appli_demadj.mac*, qui fait une copie préalable de mf83 que l'on compte ajustée sur les comptages contenus dans @cptag. L'ajustement se fait dans le scénario 1111. On obtient la matrice ajustée dans mf75 que l'on affecte afin d'avoir la répartition des distances et des temps contenue dans mf 77 78. La macro demadj.mac nécessite la création de la matrice mf 76 contenant les directions des gradients et l'extra attribut temporaire @ltmp, ainsi que le compteur d'itération ms90. Les paramètres du nombre d'itération sont flexibles. usage : *appli_demadj.mac* 75 20.
2. La macro *compar_histo_ajust.mac* complète l'analyse de cette matrice mf90 ajustée, en affectant la matrice mf3 qui est la matrice ajustée par demadj.mac de F afin d'en obtenir la répartition des distances et des temps : mf 79 80. Cette macro permet de sortir les histogrammes de comparaison sur ces répartitions (pondérées par la demande).

CALAGE DU MODELE DE DISTRIBUTION ENTROPIQUE

1. Pour reproduire par la suite le modèle de distribution pour les années futures, on décide de prendre un modèle entropique dont l'impédance est fonction du temps (mais on peut prendre n'importe quelle autre mesure du coût). On cherche à caler le theta pour l'année de base. Ce calage peut s'effectuer par l'application de la macro *K_model_entro.mac*, qui permet d'obtenir après un process itératif la valeur du theta multiplicateur du temps dans l'exposant. On obtient donc le calage de theta pour la demande mf90 (réduite à sa matrice interne) si on tape *K_model_entro.mac* mf90 0.01. Le dernier para donne la précision du calage en définissant le critère d'arrêt du process itératif. On a comme output de cette macro les matrices mf 76, réduction de mf75aux zones 1,115*1,115 et mf81 82 qui sont les matrices des tps et des distances, mf83* et 83 qui sont l'impédance et la matrice demande reconstituée respectivement, ms90 comme agregation de la matrice reconstituée, ms 58 59 pour le tps moyen selon si observé ou calculé et ms 60 61 pour les valeurs de theta. mo md 90 sont les émissions et attractions de mf76 que l'on souhaite voir reproduit.

2. Pour valider le calage du modèle de distribution sur une fonction exponentielle dépendant du temps, on compare la distribution des temps quand on affecte d'une part la matrice sur laquelle on se base pour faire le calage (typiquement mf90) et celle obtenue en appliquant le modèle de distribution calé (mf97).

C'est la macro *compar_histo_K_model_entro.mac* qui s'en charge. Elle change les matrices mf84 85.

Ces macros ont été codées comme suit. Certaines commandes pourraient être revues afin de gagner du temps de calcul. Cette programmation a débuté alors que je me familiarisais encore avec EMME/2.

recompo_demande_CETE.mac

```

~#mettre en premier para la matrice avec
laquelle on souhaite faire l'analyse de
comparaison (ex mf24)
~#en deuxième et troisième les bornes
de l'intervalle sur lequel on veut travailler
(1 115 par ex)
~#en quatrième et cinquième les valeurs
des alpha de
l'expo d'impédance (ex 0.2 0.36)
~#en sixième et septième les nb d
itérations pour demadj
(typiquement 70 et 20)
~#en huitième la précision du KLG du
modèle de distribution entropique
(ex 0.01)
reports=null
~/genEmiBrutes.mac
~/genAttBrutes.mac
~/sommeattemi.mac
~/genEmiajust.mac
~/genAttajust.mac
~/gennet.mac
~/calcul_des_SP.mac
~/distribution_balancement.mac %4% %5%
~/facteurHPS.mac
~/repartition_modale.mac
~/transfoUVP.mac
~/det_demande_tot.mac
~/reparcc.mac
~/pennes.mac
~/copie_ext.mac %1% /on a alors
la création de la matrice totale VP
~/epurage.mac
~/compar_histo.mac %1% %2% %3% /ds le
sc1111, sc2990, on aff mf68 et mf F
~#et on compare la repar des dist et
des tim sur mat interne ou totale
~/appli_demadj.mac %6% %7% /ajustement
aux comptages et aff de la mat ajustée
pour avoir mat des dist et autim
~/compar_histo_ajust.mac /compar la
repar des dist et tim une fois ajust aux
comptages fait
~/K_model_entro.mac %8% /KLG du
modèle de distribution entropique qui
donnerait mf75 (red int) avec une
~#expo d'impédance fonction des temps.
~/compar_histo_K_model_entro.mac
/compar les dist et tps pour matrice
interne entre resultat
~#avec modèle de distribution cale
sur le tps et celui initial
~#SAUVEGARDE DE LA MATRICE TEMOIN MF67
OBTENUE PAR DEMANDE.MAC DANS MF88
3.21
1
y
mf88
y
temoin
copie de mf67 pr temoin lors macro combi
~?q=1
y
0
mf67

```

n

1

q

genEmiBrutes.mac

```

~/Output des déplacements émis brutes
par zone

```

3.21

1

y

mo49

y

EbrDT

mat Emi brutes D-T 24h

~?q=1

y

0

mo40*ms40*ms44*mo43*(100-mo58)/100

n

1

1

y

mo50

y

EbrDAM

mat Emi brutes D-AM 24h

~?q=1

y

0

mo41*mo44*ms41

~/coef_mob*pop*correction

n

1

1

y

mo51

y

EbrSE

mat Emi brutes SE 24h

~?q=1

y

0

(mo41*ms43*md40)*mo45

~/coef_mob*pop*correction

n

1

4

genAttBrutes.mac

```

~/output des déplacements attirés
~/brutes par zone

```

```

3.21
1
y
md49
y
AbrDT
mat des Att DT brutes 24h
~?q=1
y
0
md42*ms40*md43*ms44
~/emplois*correction*mob*pace_travail

n
1

1
y
md50
y
AbrDAM
mat des Att DAM brutes 24h~?q=1
~?q=1
y
0
(md41+ms43*md40)*md44
~/((emplois tertiaire + 4*pop)*corr

n
1

1
y
md51
y
AbrSE
mat des Att SE brutes 24h
~?q=1
y
0
(md41+ms43*md40)*md45
~/idem que pour DAM

n
1

4

sommeattemi.mac

~/output des agreg pr calcul des ajust
3.21
1
y
ms58
y
sommo1
somme de mo49 emissions DT
~?q=1
y
0
mo49

n
1
y
ms59
y
sommo2
somme de mo50 emissions DAM
~?q=1
y
0
mo50

n
1
y
ms60
y
sommo3
somme de mo51 emissions SE
~?q=1
y
0
mo51

n
1
y
ms61
y
sommd1
somme de md46 attractions DT
~?q=1
y
0
md49
~/agrégation de md46

n
1
y
ms62
y
sommd2
somme de md47 att DAM
~?q=1
y
0
md50
~/agrégation de md47

```

```

n
1
1
y
ms63
y
sommd3
somme de md48 Att SE
~?q=1
y
0
md51
~/agrégation de md48

n
1
1
y
ms64
y
somDT
somme actif tot fois mob DT
~?q=1
y
0
mo40*ms44*(100-mo58)/100*ms40
~/del coef directeur du calcul de mo49

n
1
1
y
ms65
y
somDAM
somme pop tot fois mob DAM
~?q=1
y
0
mo41*ms41
~/del coef directeur du calcul de mo50

n
1
1
y
ms66
y
somSE
somme pop tot fois mob SE
~?q=1
y
0
mo41*ms42
~/tot ens des emi ajust = att ajust

```

```

n
1
4

genEmiajust.mac

~/output contenant les emi ajustees
3.21
1
y
mo49
y
EajuDT
mat des emis ajustees DT 24h
n
mo49*ms64/ms58

n
1
y
mo50
y
EajuDA
mat des emis ajustees DAM 24h
n
mo50*ms65/ms59

n
1
1
y
mo51
y
EajuSE
mat des emis ajustees SE 24h
n
mo51*ms66/ms60

n
1
4

genAttajust.mac

~/output des attractions ajustees
3.21
1
y
md49
y
AajuDT
mat des att ajustees DT 24h
n

```

```

md49*ms64/ms61

n
1

1
y
md50
y
AajuDA
mat des att ajustees DAM 24h
n
md50*ms65/ms62

n
1

1
y
md51
y
AajuSE
mat des att ajustees SE 24h
n
md51*ms66/ms63

n
1

4

gennet.mac

~/output des emis et att nettes
3.21
1
y
mo52
y
OpDT24
mat des emis nettes DT 24h
~?q=1
y
0
mo49-(mo49.min.md49')*mo55/100
~/on soustrait les intras

n
1

1
y
mo53
y
OpDA24
mat des emis nettes DAM 24h
~?q=1
y
0
mo50-(mo50.min.md50')*mo56/100

n
1

1
y
mo54
y
OpSE24
mat des emis nettes SE 24h
~?q=1
y
0
mo51-(mo51.min.md51')*mo57/100

n
1

1
y
md52
y
DqDT24
mat des att nettes DT 24h
~?q=1
y
0
md49-(mo49'.min.md49)*mo55'/100
~/on soustrait les intras

n
1

1
y
md53
y
DqDA24
mat des att nettes DAM 24h
~?q=1
y
0
md50-(mo50'.min.md50)*mo56'/100

n
1

1
y
md54
y
DqSE24
mat des att nettes SE 24h
~?q=1
y
0
md51-(mo51'.min.md51)*mo57'/100

n
1

4

```

```
calcul_des_SP.mac

~/affectation pour calcul des shortest
paths dans mf43
~*change l affectation de sc 2222
ainsi que le vdf
s=2222
4.12
3
fd99
length
~/on veut une dist et non un tps comme
output de autotim0
```

```
8
2.41
1
y
vdf
99
~/on met ts les liens avec vdf=fd99
(=length)
```

```
all
4
6
5.11
1
2
1
1
ms1
~/aff a iteration 0 avec mat dem unite
```

```
mf43
~/output ou sera stocke les SP
y
matSP
matrice des Shortest Paths
~?q=1
y
0
0
5.21
1
```

```
distribution_balancement.mac

~/output distribution apres balancement
sur model entro
3.21
1
y
mf44
y
cobal1
mat support du model entro DT
~?q=1
```

```
y
0
exp(0-%1%*mf43)*(p!=q)
~/mat model entro calee par F servant de
support au bal
```

```
n
1
1
y
mf45
y
cobal2
mat support model entro DAM et SE
~?q=1
y
0
exp(0-%2%*mf43)*(p!=q)
~/mat model entro calee par F servant
de support au bal
```

```
n
1
4
3.22
1
mf44
~/mat de support du bal
mo52
~/vecteur dem agregee aux origines
md52
~/vecteur dem agregee aux destinations
n
```

```
1
1
mf40
~/resultat du bal
y
D24DT
depl ts modes 24h DT -intra
~?q=1
y
0
1
```

```
1
mf45
mo53
md53
n
1
1
mf41
y
D24DAM
depl ts modes 24h DAM -intra
~?q=1
y
0
1
```

```

1
mf45
mo54
md54
n

1

1
mf42
y
D24SE
depl ts modes 24h SE -intra
~?q=1
y
0
1
q

facteurHPS.mac

~/output des dep HPS
3.21
1
y
mf46
y
HPSTDT
depl ts mod HPS motif (aller retour) DT
~?q=1
y
0
mf40*(ms48+ms49)

n
1

1
y
mf47
y
HPSTDT
depl ts mod HPS motif (aller retour) DAM
~?q=1
y
0
mf41*(ms50+ms51)

n
1

1
y
mf48
y
HPSTSE
depl ts mod HPS motif (aller retour) SE
~?q=1
y
0
mf42*ms52

n
1
4

repartition_modale.mac

~/output des dep selon 3 mod 3 motif
3.21
1
y
mf58
y
DVPDT
depl en VP HPS pr DT
~?q=1
y
0
mf46*mf49/100

n
1

1
y
mf59
y
DTCDT
depl TC HPS pr DT
~?q=1
y
0
mf46*mf50/100

n
1

1
y
mf60
y
D2RDT
depl 2R HPS pr DT
~?q=1
y
0
mf46*mf51/100

n
1

1
y
mf61
y
DVPDA
depl VP HPS pr DA
~?q=1
y
0

```

mf47*mf52/100

n

1

1

y

mf62

y

DTQDA

depl TC HPS pr DA

~?q=1

y

0

mf47*mf53/100

n

1

1

y

mf63

y

D2RDA

depl 2R HPS pr DA

~?q=1

y

0

mf47*mf54/100

n

1

1

y

mf64

y

DVPSSE

depl VP HPS pr SE

~?q=1

y

0

mf48*mf55/100

n

1

1

y

mf65

y

DTQSE

depl TC HPS pr SE

~?q=1

y

0

mf48*mf56/100

n

1

1

y

mf66

y

D2RSE

depl 2R HPS pr SE

~?q=1

y

0

mf48*mf57/100

n

1

4

transfoUVP.mac

~/output des UVP selon 3 mod 3 motifs

3.21

1

y

mf58

y

UVPVp1

UVP mat VP pr DT

n

mf58/ms53

n

1

1

y

mf59

y

UVPVp1

UVP mat TC pr DT

n

mf59/ms56

n

1

1

y

mf60

y

UVP2R1

UVP mat 2R pr DT

n

mf60/ms57

n

1

1

y

mf61

y

UVPVp2

UVP mat VP pr DAM

n

```

mf61/ms54
n
1
n
1
1
y
mf62
y
UVP TC2
UVP mat TC pr DAM
n
mf62/ms56

n
1
1
y
mf63
y
UVP2R2
UVP mat 2R pr DAM
n
mf63/ms57

n
1
1
y
mf64
y
UVPVp3
UVP mat VP pr SE
n
mf64/ms58

n
1
1
y
mf65
y
UVP TC3
UVP mat TC pr SE
n
mf65/ms56

n
1
1
y
mf66
y
UVP2R3
UVP mat 2R pr SE
n
mf66/ms57

n
1
1
y
mf67
y
VPtot
mat UVP tot HPS sans intra
~?q=1
y
0
mf58+mf59+mf60+mf61+mf62
+mf63+mf64+mf65+mf66

n
1
1
y
mo67
y
VPtot
mat UVP tot HPS agreg par o -intra
~?q=1
y
0
mf67

n
1
1
y
md67
y
VPtot
mat UVP tot HPS agreg par d -intra
~?q=1
y
0
mf67

n
1
1
y
ms67
y
VPtot
mat UVP tot HPS agreg -intra
~?q=1
y

```

```

0                                     +(p==117)*(gi(q)==1)*(6750/2*md67/ms91)
mf67                                +(p==118)*(gi(q)==2)*(6750/2*md67/ms91)
                                     +(p==119)*(gi(q)==3)*(6750/2*md67/ms91)

n                                     n
1                                     1
4                                     q

pennes.mac

~/output de la mat UVP HPS augmentee
des cc et Pennes
3.21
1
y
mo90
y
tempo
tempo
~?q=1
y
0
mf68*(q==111)

n
1
1
y
md90
y
tempo
tempo
~?q=1
y
0
mf68*(p==111)

n
1
1
y
mf68
n
mf68*(p==111)*0.263+(q==111)*0.272
+md90*(p==120)*0.239+(q==120)*0.247*mo90
+(p==121)*0.498*md90+(q==121)*0.481*mo90
+(p==111)*(q==111)*mf68
+(p==111)*(q==121)*267
+(p==120)*(q==121)*80
+(p==121)*(q==111)*220
+(p==121)*(q==120)*85

n
1
q

reparcc.mac

~/output de la mat augmentee des cc
3.21
1
y
ms90
y
tempo
tempo
~?q=1
y
0
mo67

y
gi1,gi3

1

1
y
ms91
y
temp
temp
~?q=1
y
0
md67

y
gi1,gi3

1

1
y
mf68
UVPcc
mat UVP tot -intra +cc
~?q=1
y
0
mf67*(q==117)*(6750/2*mo67/ms90)*(gi(p)==1)
+(q==118)*(gi(p)==2)*(6750/2*mo67/ms90)
+(q==119)*(gi(p)==3)*(6750/2*mo67/ms90)

```

copie_ext.mac

~/output de la mat UVP HPS augmentee
cc+pennes+ext
3.21

1
y
mf68
y
TOTAL
mat UVP tot HPS -intra +cc+pennes+ext
n
mf68*%1%*((p>=125)*(q<125)+(q>=125))

n
1

1
y
md68
y
TOTAL
mat UVP tot HPS-intra+cc+pennes+ext
~?q=1
y
0
mf68

n

1

1
y
mo68
y
TOTAL
mat UVP tot HPS-intra+cc+pennes+ext
~?q=1
y
0
mf68

n

1

1
y
ms68
y
TOTAL
mat UVP HPS tot-intra+cc+pennes+ext
~?q=1
y
0
mf68

n

1

4

compar_histo.mac

~/pour l analyse des repartitions
des distances
et des temps moyens
~/usage : <mf_de_comparaison>
<borne_inf> <borne_sup>
~*change l affectation des scenars
1111 et 2990

3.21
1
y
mf69
y
affM
mat dont on se sert pr aff sc1111
~?q=1
y
0
mf68

y
%2%,%3%

o

1

1

y

mf70

y

affF

mat dt on se sert pr aff sc2990

~?q=1

y

0

%1%

y

%2%,%3%

o

1

q

s=1111

5.11

1

2

1

5

mf69

mf71

y

autimM

```

autotime issu d aff avec mf69
~?q=1
y
0
4
+
-999999,999999
mf72
y
distM
dist moyenne issue aff avec mf69
~?q=1
y
0
1
400
0.1
0.1
5.21
2

s=2222
5.11
1
2
1
5
mf70

mf73
y
autimF
autotime issu d aff avec mf70
~?q=1
y
0
4
+
-999999,999999
mf74
y
distF
dist moyenne issue aff avec mf70
~?q=1
y
0
1
400
0.1
0.1
5.21
2

3.16
2
mf72
y
mf69
n
mf74
y
mf70
n

1
1
0,40

```

```

y
~*
r
2
mf71
y
mf69
n
mf73
y
mf70
n

1
1
0,90

y
~*
q

appli_demadj.mac

~/MISE EN OEUVRE DE LA MACRO DEMADJ
~/QUI AJUSTE LA MATRICE DE DEMANDE Dpq
AUX COMPTAGES SUR LES LIENS
~/usage : appli_demadj.mac
<nb iterations aff>
<nb iterations macro>
~/Les paras de demadj sont
quant à eux les
comptages, la mat de demande,
~/celle de laquelle on met le gradient,
les paras
de 1 aff (nb iterations, gap1, gap2)
~/et nb d iterations macro
~/change aff de scil11
3.12
2
ms90
~?e
~$>suite
y
~:suite
~?q=0

q
3.21
1
y
mf75
y
TOTaju
tot VP ajust
~?q=1
y
0
mf68

n
1
q

```

```

s=1111
~<demadj2.mac @optag mf75 mf76 %1%
0.1 0.1 %2%
~/puis on affecte la mat obtenue
(mf90) pour avoir
la repartition des dist
3.21
1
y
mo75
y
T0Taju
total ajustee par demadj
~?q=1
y
0
mf75

n

1

1
y
md75
y
T0taju
total ajuste par demadj
~?q=1
y
0
mf75

n

1

1
y
ms75
y
T0Taju
total ajust par demadj
~?q=1
y
0
mf75

n

1
q
5.11
1
2
1
5
mf75

mf77
y
timMaj
autime issu aff avec mf75 (mat ajustee)

```

```

~?q=1
y
0
4
+
-999999,999999
mf78
y
disMaj
dist issue aff avec mf75 (mat ajustee)
~?q=1
y
0
1
400
0.1
0.1
5.21
2
3.21
1
y
m276
y
redf75
reduction de mf75 a 1,125*1,125
~?q=1
y
0
mf75

y
1 124 /on ne veut que faire le
calage du modele
sur la mat interne

o

1

1
y
mo75
y
ajured
total ajustee par demadj reduite 115x
~?q=1
y
0
mf76

n

1

1
y
md76
y
ajured
total ajuste par demadj reduite 115z
~?q=1
y
0
mf76

```

```

n
1
q
s=1111
5.11
1
2
1
5
mf76

mf81
y
tpsMre
autotime aff avec mf76 red de mf75
~?q=1
y
0
4
+
-999999,999999
mf82
y
disMre
dist aff avec mf76 red de mf75
~?q=1
y
0
1
400
0.1
0.1
5.21
2

compar_histo_ajust.mac
~/pour l analyse des repartitions
des distances et des temps moyens
~/quand l'ajustement aux comptages
a ete realise
~/change l affectation de sc 2222
s=2222
5.11
1
2
1
5
mf2

mf79
y
timFaj
autotime issu d aff avec mf3 ajustee
~?q=1
y
0
4
+
-999999,999999
mf80

y
disFaj
dist moyenne issue aff avec mf3 ajustee
~?q=1
y
0
1
400
0.1
0.1
5.21
2

3.16
2
mf78
y
mf75
n
mf80
y
mf2
n
1
1
0,40
y
~*
r
2
mf77
y
mf75
n
mf79
y
mf2
n
1
1
0,90
y
~*
q

```

ANNEXE 5

Macros du modèle d'affectation-distribution programmé

Ce sont les macros codées comme suit qui ont été utilisées pour obtenir les résultats du chapitre 4. Certaines commandes pourraient être revues afin de gagner du temps de calcul. Cette programmation a débuté alors que je me familiarisais encore avec EMME/2.

combi_dist_aff.mac

banque1990

Klg.mdl_entro.mac

```
~/MACRO CALANT LE THETA DE L EXPO
D UN MODELE ENTROPIQUE
~/parametre de la macro : <epsilon>
<matrice input des g_pq>
<scalaire output pr theta>
~/<matrice output des g_pq int>
<matrice output des tps aff tot>
<mf erreurs>
~/quand le critere d arret n est pas
atteint, la macro s arrete au step 300
~x=0 /iteration 0
3.12
1
%6%
~?!e
~+|errthe|err macro K_model_entro|0|~$>finish
```

```
2
%6%
y
1
%6%
errthe
err macro K_model_entro
0
~:finish
q
3.21
1
y
mf67
y
rd%2%
red de %2% a int de klg model entro
~?q=1
y
0
%2%*(p<125)*(q<125)
```

```
n
1
1
y
mf68
y
ext%2%
red de %2% aux externes
~?q=1
y
0
%2%-mf67
```

```
n
1
q
```

```
5.11
1
~?q=2
2
1
1
mf67
mf68
%5%
y
T%4%
tps aff eq de %4% st%x% avec mf68 en ad
~?q=1
y
0
400
.1
.1
5.21
2
3.21
1
y
ms58
y
tpstot
tps tot OBSERVE
~?q=1
y
0
21.5
1
1
y
%3%
y
theta
theta_step %x%
~?q=1
y
0
1/ms58
1
1
y
mo67
y
emiaju
emissions ajustees red mat int
~?q=1
y
0
mf67
n
1
1
y
```

```

md57
y
attaju
attractiona ajustees red mat int
~?q=1
y
0
mf67

n

1
q
~/DEBUT PROCESS ITERATIF
~:next step
~x+1
3.21
1
y
mf99
y
aeff
aeff
~?q=1
y
0
exp(0-%3%*%5%)*(p!=q)

n
1

q
3.22
1
mf99
mc67
md67
n

2
1
%%
y
gpqchg
demande apres bal_step %x%
~?q=1
y
0
1
q
5.11
1
2
1
1
%4%

mf68
%5%
y
T%4%
tps aff eq de %4% st%x%avec mf68 en ad
y
0
400
.1

```

```

.1
5.21
2
3.21
1
y
ms90
y
aeff
aeff
~?q=1
y
0
%4%+mf68

n

1

1
y
ms59
y
tpsmoy
tps moyen CACULE step %x%
~?q=1
y
0
%5%*(%4%+mf68)

n

1

1
y
ms59
n
ms59/ms90

1

1
y
ms59
y
theta
theta step %x%
~?q=1
y
0
%3%*2*((ms59-(ms58*(1+%1%/2)))>0)
+%3%/2*((ms59-(ms58*(1+%1%/2)))<0)
+%3%*((ms59-(ms58*(1+%1%/2)))<=0)
*((ms59-(ms58*(1+%1%/2)))>=0)

1

1
y
%6%

```

```

n
ms59*(p==%x%)*(q==1)*(%x%<135)
+%6%
+ms59*(p==(%x%-134))*(q==2)*(%x%>134)

n
1

~ri=%ms99%
~+|~?ri=%%3%%|~$>end
1
y
%3%
y
theta
theta at step %x%
n
((ms99.min.%3%)+(abs(ms99-%3%))/2)

1

q
~+|~?x=300|~$>probleme
~$next_step
~:probleme
~$le_criterie_d_arret_n_a_pas_ete_atteint
~$>exit
~:end
q
~/Atteinte_precision_%1%_au_step_%x%_avec_un
tps_moy_de_%ms59%
~/theta_stocke_dans_%3%
~:exit

mdl_dist_affeq.mac

~#MISE EN OEUVRE DE LA METHODE
DES MOYENNES COMBINEES
~#DANS LE CADRE D UN MODELE
IMBRIQUE DISTRIBUTION - AFFECTATION
~usage : nom <theta> <epsilon>
<mfininput_demande tot>
<mco_model_distribution.mac> <md>
~$<mferreur> <mfoutput_demande int >
<mfoutput_tps_aff_comb>
~$donne_l_historique_des_erreurs_jusqu
au_nb_d_iterations_demande
~x=1 /iteration 1 du process iteratif
3.12
1
%6%
~?!e
~+|ercomb|err_dist_aff_TEST_dem|0|~$>finishh

2
%6%
y
1
%6%
ercomb
err_dist_aff_TEST_dem
0
~:finishh

q
3.21
1
y
%7%
y
GOpq
new_demand_int_dist_aff_combi_step_%x%
~?q=1
y
0
%3%*(p<125)*(q<125)

n
1

1
y
mf68
y
ext%3%
red_de_%3%_aux_externes
~?q=1
y
0
%3%-%7%

n
1
q
5.11
1
~?q=2
2
1
1
%7%

mf68
400
0.1
0.1
5.21
2
2.41
1
y
ul3
0
all
4
1
y
ul3
volau

all
4
q
~/DEBUT DU PROCESS ITERATIF
~:next_step
~x+1
eli=ul3
4.11

```

```

vdfell.txt
1
1
q
5.11
1
2
1
1
1
%7%

mf68
%8%
y
TQ0pq0
tps dist_aff0 combi st %x%
~?q=1
y
0
0
0.1
0.1
5.21
2
4.11
vdf.txt
1
1
q
~<model_distribution.mac %1%
%8% %4% %5%
5.11
1
2
1
1
mf67

mf68

400
0.1
0.1
5.21
2
2.41
1
y
@temp
n
0

all
4
1
y
@temp
n
((%x%-1)/%x%)*u13+(1/%x%)*(volau)

all
4
q
3.21
1
y
mf99
y

```

```

vide
doit rester vide sinon efface
~?q=1
y
0
((%x%-1)/%x%)*%7%*(1/%x%)*mf67

n
1
q
~/TEST1 - SUR LA DEMANDE
3.21
1
y
ms92
y
errmax
erreur max
~?q=1
y
0
((abs(%7%-mf99))/(%7%))*(%7%>0)

n
.max.
.max.
1

1
y
ms90
y
temp
temp
~?q=1
y
0
%7%

n

1

1
y
ms93
y
errmoy
erreur moyenne
~?q=1
y
0
abs(%7%-mf99)

n

1

1
y
ms93
n

```

ms93/ms90

```

1
1
y
%6%
n
ms92*(p==%x%)*(q==1)*(<%x%<135)+%6%
+ms92*(p==(<%x%-134))*(q==2)*(<%x%>134)
+ms93*(p==%x%)*(q==3)*(<%x%<135)
+ms93*(p==(<%x%-134))*(q==4)*(<%x%>134)

```

```

n
1
q
~r1=ms92%
~r2=ms93%
~+|~?x=250|~$>PB
~+|~?x2<%2%|~$>continue
~$>poursuivre
~:continue
~+|~?x1<%2%|~$>sortie
~$>poursuivre
~:PB
~*probleme de convergence avec
epsilon = %2%
~$exit
~:sortie
3.21
1
y
%7%
y
Gafdis
dem aff_dist combi step %x%
y
0
mf99

```

```

n
1
q
reports=test2.txt
2.41
1
n
((abs($temp-ul3))/(ul3))*(ul3>0)

```

```

all
2
2
q
reports=nul
2.41
1
y
ul3
0

```

```

all
4
1
y
ul3

```

\$temp

```

all
4
q
ell=ul3
4.11
vdfell.txt
1
1
q
5.11
1
2
1
1
%7%
mf68
%8%
y
Tcomb
tps dist_aff0 combi st %x%
~?q=1
y
0
0
0.5
0.5
5.21
2
4.11
vdf.txt
1
1
q
~$>exit
~:poursuivre
3.21
1
y
%7%
y
GGpq
new demand dist_aff combi step %x%
y
0
mf99

```

```

n
1
q
2.41
1
y
ul3
0
all
4
1
y
ul3
$temp

```

```

all
4

```

```

q
~$next_step
~:exit

macro totale avec respect contrainte temps

~<Klg.mac 0.05 mf2 ms61 mf83 mf84 mf71 mf30
Klg.mac

~/MACRO CALANT LE THETA DE L EXPO
D UN MODELE ENTROPIQUE
~/parametre de la macro : <epsilon>
<matrice input des g_pq>
<scalaire output pr theta>
~/<matrice output des g_pq int>
<matrice output des tps aff tot>
<mf erreurs>
~/quand le critere d arret n est pas
atteint, la macro s arrete au step 300
~x=0 /iteration 0
3.12
1
%6%
~?!e
~+|errthe|err macro K_model_entro|0|~$>finish

2
%6%
y
1
%6%
errthe
err macro K_model_entro
0
~:finish
q
3.21
1
y
mf67
y
rd%2%
red de %2% a int ds klg model entro
~?q=1
y
0
%2%*(p<125)*(q<125)

n
1
1
y
mf68
y
ext%2%
red de %2% aux externes
~?q=1
y
0
%2%-mf67

n

1
q
3.21
1
y
ms58
y
tpstot
tps tot OBSERVE
~?q=1
y
0
21.5

1
1
y
%3%
y
theta
theta_step %x%
~?q=1
y
0
1/ms58

1
1
y
mo67
y
emiaju
emissions ajustees red mat int
~?q=1
y
0
mf67

n
1
1
y
md67
y
attaju
attractiona ajustees red mat int
~?q=1
y
0
mf67

n
1
q
~<affeq.mac %3% 0.05 mf2 mo67 md67
mf72 %4% %5%
~/DEBUT PROCESS ITERATIF
~:next_step
~x+1

```

```

3.21
1
y
mf99
y
aeff
aeff
~?q=1
y
0
exp(0-%3%*%5%)*(p!=q)

n
1

q
3.22
1
mf99
mo67
md67
n

2
1
%4%
y
gpqchg
demande apres bal_step %x%
~?q=1
y
0
1
q
3.21
1
y
%7%
y
aeff
aeff
~?q=1
y
0
%4%+mf68

n
1
q
~<affeq.mac %3% 0.05 %7% mo67
md67 mf72 %4% %5%
3.21
1
y
ms90
y
aeff
aeff
~?q=1
y
0
%4%+mf68

n

1
1
y
ms59
y
tpsmoy
tps moyen CACULE step %x%
~?q=1
y
0
%5%*(%4%+mf68)

n

1
1
y
ms59
n
ms59/ms90

1
1
y
ms99
y
theta
theta step %x%
~?q=1
y
0
%3%*2*(ms59-(ms58*(1+%1%/2)))>0)
+%3%/2*(ms59-(ms58*(1-%1%/2)))<0)
+%3%*(ms59-(ms58*(1+%1%/2)))<=0)
*(((ms59-(ms58*(1-%1%/2))))>=0)

1
1
y
%6%
n
ms59*(p==%x%)*(q==1)*(%x%<135)
+%6%
+ms59*(p==( %x%-134))*(q==2)*(%x%>134)

n
1
~r1=%ms99%
~+|~?r1=%3%%|~$>end
1
y
%3%
y
theta
theta at step %x%
n
((ms99.min.%3%)+(abs(ms99-%3%))/2)

```

```

0
%2%

1

q
~+|~?x=300|~$>probleme
~$next step
~:probleme
~*le critere d arret n a pas ete atteint
~$>exit
~:end

q
~/Atteinte precision %1% au
step %x% avec un tps moy de %ms59%
~/theta stocke dans %3%
~:exit

banque1997

Klg_md1_entro.mac

~/MACRO CALANT LE THETA DE
L EXPO D UN MODELE ENTROPIQUE
~/parametre de la macro : <epsilon>
<matrice input des g_pq>
<scalaire output pr theta>
~/<matrice output des g_pq int>
<matrice output des tps aff tot>
<mf erreurs>
~/quand le critere d arret n est pas
atteint, la macro s arrete au
step 300
~x=0 /iteration 0
3.12
1
%6%
~?!e
~+|errthe|err macro K_model_entro|0|~$>finish

2
%6%
y
1
%6%
errthe
err macro K_model_entro
0
~:finish
q
3.21
1
y
mf67
y
rd%2%
red de %2% a int ds klg model entro
~?q=1
y

y
y
gj1
o
1
1
y
mf68
y
ext%2%
red de %2% aux externes
~?q=1
y
0
%2%-mf67

n
1
q
5.11
1
~?q=2
2
1
1
mf67
mf68
%5%
y
T%4%
tps aff eq de %4% st%x% avec mf68 en ad
~?q=1
y
0
400
.1
.1
5.21
2
3.21
1
y
ms58
y
tpstot
tps tot OBSERVE
~?q=1
y
0
21.5

1
1
y
%3%
y
theta
theta_step %x%

```

```

~?q=1
y
0
1/ms58

1

1
y
mo67
y
emlaju
emissions ajustees red mat int
~?q=1
y
0
mf67

n

1

1
y
md67
y
attaaju
attractiona ajustees red mat int
~?q=1
y
0
mf67

n

1
q
~/DEBUT PROCESS ITERATIF
~:next step
~x+1
3.21
1
y
mf99
y
aeff
aeff
~?q=1
y
0
exp(0-~3%*~5%)*(p!=q)

n
1

q
3.22
1
mf99
mo67
md67
n
2

```

```

1
%4%
y
gpqchg
demande apres bal_step %x%
~?q=1
y
0
1
q
5.11
1
2
1
1
%4%

mf68
%5%
y
T%4%
tps aff eq de %4% st%x%/avec mf68 en ad
y
0
400
.1
.1
5.21
2
3.21
1
y
ms90
y
aeff
aeff
~?q=1
y
0
%4%+mf68

n

1

1
y
ms59
y
tpsmoy
tps moyen CACULE step %x%
~?q=1
y
0
%5%*(%4%+mf68)

n

1

1
y
ms59
n

```

```

ms59/ms90

1

1
y
ms99
y
theta
theta step %x%
~?q=1
y
0
%3%=2*((ms59-(ms58*(1+%1%/2)))>0)
+%3%/2*((ms59-(ms58*(1-%1%/2)))<0)
+%3%*((ms59-(ms58*(1+%1%/2)))<0)
*(((ms59-(ms58*(1-%1%/2)))>0)

1

1
y
%6%
n
ms59*(p==%x%)*(q==1)*(%x%<136)
+%6%
+ms59*(p==( %x%-134))*(q==2)*(%x%>134)

n
1

~r1=ms99%
~+|~?r1=%3%|~$>end
1
y
%3%
y
theta
theta at step %x%
n
((ms99.min.%3%)+(abs(ms99-%3%))/2)

1

q
~+|~?x=300|~$>probleme
~$next step
~:probleme
~le critere d arret n a pas ete atteint
~$>exit
~:end
q
~/Atteinte precision %1% au step %x%
avec un tps moy de %ms59%
~/theta stocké dans %3%
~:exit

mdl_dist_aff.mac

~*MISE EN OEUVRE DE LA METHODE

DES MOYENNES COMBINEE
~*DANS LE CADRE D UN MODELE
IMBRIQUE DISTRIBUTION - AFFECTATION
~#usage : nom <theta> <epsilon>
<mfinput_demande tot>
<mo model_distribution.mac> <md>
~#<mferreur> <mfoutput_demande int >
<mfoutput tps aff comb>
~$donne l historique des erreurs
jusqu au nb d iterations demande
~x=1 /iteration 1 du process iteratif
3.12
1
%6%
~?!e
~+|ercomb|err dist_aff TEST dem|0|~$>finishh

2
%6%
y
1
%6%
ercomb
err dist_aff TEST dem
0
~:finishh
q
3.21
1
y
%7%
y
GGpq
new demand int dist_aff combi step %x%
~?q=1
y
0
%3%

y
gj1

o

1

1
y
mf68
y
ext%3%
red de %3% aux externes
~?q=1
y
0
%3%-~7%

n
1
q
5.11
1
~?q=2
2
1
1

```

```

%7%

mf68

0
0.5
0.5
5.21
2
2.41
1
y
ul3
0

all
4
1
y
ul3
volau

all
4
q
~/DEBUT DU PROCESS ITERATIF
~:next_step
~x+1
eli=ul3
4.11
~?e
vdfel1.txt
1
1
q
5.11
1
2
1
1
%7%

mf68
%8%
y
TGGpq0
tps dist_af0 combi st %x%
~?q=1
y
0
0
0.5
0.5
5.21
2
4.11
~?e
vdf.txt
1
1
q
~<model_distribution.mac %i% %8%
%4% %5%
5.11
1
2
1
1

```

```

mf67

mf68

0
0.5
0.5
5.21
2
2.41
1
y
@temp
n
0

all
4
1
y
@temp
n
((%x%-1)/%x%)*ul3+(1/%x%)*(volau)

all
4
q
3.21
1
y
mf99
y
vide
doit rester vide sinon efface
~?q=1
y
0
((%x%-1)/%x%)*%7%+(1/%x%)*mf67

n
1
q
~/TEST1 - SUR LA DEMANDE
3.21
1
y
ms92
y
errmax
erreur max
~?q=1
y
0
((abs(%7%-mf99))/(%7%))*(%7%>0)

n
.max.
.max.
1

1
y
ms90
y
temp
temp

```

```

~?q=1
y
0
%7%

n

1

1
y
ms93
y
errmoy
erreur moyenne
~?q=1
y
0
abs(%7%-mf99)

n

1

1
y
ms93
n
ms93/ms90

1

1
y
%6%
n
ms92*(p==%x%)*(q==1)*(%x%<135)+%6%
+ms92*(p==( %x%-134 ))*(q==2)*( %x%>134)
+ms93*(p==%x%)*(q==3)*( %x%<135)
+ms93*(p==( %x%-134 ))*(q==4)*( %x%>134)

n
1
q
~r1=%ms92%
~r2=%ms93%
~+|~?x=250|~$>PB
~+|~?r2<%2%|~$>continue
~$>poursuivre
~:continue
~+|~?r1<%2%|~$>sortie
~$>poursuivre
~:PB
~*probleme de convergence avec
epsilon = %2%
~$exit
~:sortie
3.21
1
y
%7%
y

Gafdis
dem aff_dist combi step %x%
y
0
mf99

n
1
q
reports=test2.txt
2.41
1
n
((abs(0temp-ul3))/(ul3))*(ul3>0)

all
2
2
q
reports=nul
2.41
1
y
ul3
0

all
4
1
y
ul3
0temp

all
4
q
el1=ul3
4.11
~?e
vdfel1.txt
1
1
q
5.11
1
2
1
1
%7%

mf68
%8%
y
Tcomb
tps dist_aff0 combi st %x%
~?q=1
y
0
0
0.5
0.5
5.21
2
4.11
~?e
vdf.txt
1

```

```

1
q
~$>exit
~:poursuivre
3.21
1
y
%7%
y
G6pq
new demand dist_aff combi step %x%
y
0
mf99

n
1
q
2.41
1
y
ul3
0

all
4
1
y
ul3
@temp

all
4
q
~$next_step
~:exit

macro totale avec respect contrainte temps

~<Klg.mac 0.05 mf2 ms61 mf31 mf32 mf71 mf30

Klg.mac

~/MACRO GALANT LE THETA DE L EXPO
D UN MODELE ENTROPIQUE
~/parametre de la macro : <epsilon>
<matrice input des g_pq>
<scalaire output pr theta>
~/<matrice output des g_pq int>
<matrice output des tps aff tot>
<mf erreurs> <mf sup>
~/quand le critere d arret n est pas
atteint, la macro s arrete
au step 300
~x=0 /iteration 0
3.12
1
%6%
~?!e
~+|errthe|err macro K_model_entro|0|~$>finish

2
%6%
y

1
%6%
errthe
err macro K_model_entro
0
~:finish
q
3.21
1
y
mf67
y
rd%2%
red de %2% a int ds klg model entro
~?q=1
y
0
%2%

y
gj1
o

1
1
y
mf68
y
ext%2%
red de %2% aux externes
~?q=1
y
0
%2%-mf67

n
1
q
3.21
1
y
ms58
y
tpstot
tps tot OBSERVE
~?q=1
y
0
21.5

1
1
y
%3%
y
theta
theta_step %x%
~?q=1
y
0
1/ms58

```

```

1
1
y
mo67
y
emiaju
emissions ajustees red mat int
~?q=1
y
0
mf67

n
1
1
y
md67
y
attaju
attractiona ajustees red mat int
~?q=1
y
0
mf67

n
1
q
~<aff.mac %3% 0.05 mf2 mo67
md67 mf72 %4% %5%
~/DEBUT PROCESS ITERATIF
~:next step
~x+1
3.21
1
y
mf99
y
aeff
aeff
~?q=1
y
0
exp(0-%3%*%5%)*(p!=q)

n
1

q
3.22
1
mf99
mo67
md67
n

2
1
%4%
y

gpqchg
demande apres bal_step %x%
~?q=1
y
0
1
q
3.21
1
y
%7%
y
aeff
aeff
~?q=1
y
0
%4%+mf68

n
1
q
~<aff.mac %3% 0.05 %7% mo67
md67 mf72 %4% %5%
3.21
1
y
ms90
y
aeff
aeff
~?q=1
y
0
%4%+mf68

n
1
1
y
ms59
y
tps moy
tps moyen CACULE step %x%
~?q=1
y
0
%5%*(%4%+mf68)

n
1
1
y
ms59
n
ms59/ms90

```

```

1

1
y
ms99
y
theta
theta step %x%
~?q=1
y
0
%3%*2*((ms59-(ms58*(1+%1%/2)))>0)
+%3%/2*((ms59-(ms58*(1-%1%/2)))<0)
+%3%*((ms59-(ms58*(1+%1%/2)))<=0)
*((ms59-(ms58*(1-%1%/2)))>=0)

1

1
y
%6%
n
ms59*(p==%x%)*(q==1)*(%x%<135)
+%6%
+ms59*(p==(x%-134))*(q==2)*(%x%>134)

n
1

~r1=%ms99%
~+|~?r1=%3%|~$>end
1
y
%3%
y
theta
theta at step %x%
n
((ms99.min,%3%)+(abs(ms99-%3%))/2)

1

q
~+|~?x=300|~$>probleme
~$next step
~:probleme
~*le critere d arret n a pas ete atteint
~$>exit
~:end

q
~/Atteinte precision %1% au step %x%
avec un tps moy de %ms59%
~/theta stocké dans %3%
~:exit

```

ANNEXE 6

A propos de la structure des matrices résultantes du modèle d'affectation combinée

[illegible]

