ECOLE POLYTECHNIQUE

UNIVERSITE DE MONTREAL

ETUDE DES DECOUPAGES ZONAUX DANS LA PLANIFICATION DES TRANSPORTS.

par

Noureddine CHICHAOUI

DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

ECOLE POLYTECHNIQUE

MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION

DU GRADE DE MAITRE ES SCIENCES APPLIQUEES (M.Sc.A)

AVRIL 90

© Noureddine Chichaoui 1990

al Library
ıada

Bibliothèque nationale
du Canada

ian Theses Service

Service des thèses canadiennes

Canada
4

author has granted an irrevocable non-
usive licence allowing the National Library
anada to reproduce, loan, distribute or sell
es of his/her thesis by any means and in
form or format, making this thesis available
ıterested persons.

L'auteur a accordé une licence irrévocable et non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de sa thèse de quelque manière et sous quelque forme que ce soit pour mettre des exemplaires de cette thèse à la disposition des personnes intéressées.

author retains ownership of the copyright
ıis/her thesis. Neither the thesis nor
stantial extracts from it may be printed or
erwise reproduced without his/her per-
sion.

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

ISBN 0-315-58111-5

nadä

UNIVERSITE DE MONTREAL

ECOLE POLYTECHNIQUE

Ce mémoire intitulé:

" ETUDE DES DECOUPAGES ZONAUX DANS LA PLANIFICATION DES TRANSPORTS"

présenté par: Noureddine CHICHAOUI
en vue de l'obtention du grade de: MAITRE ES SCIENCES APPLIQUEES a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de:

M. Karsten Baass, Ph.D,	Directeur de recherche
M. Philipe Manseau, M.Sc.A.,	Président
M. Robert Chapleau, Ph.D,	Membre

SOMMAIRE

Les études en transport sont généralement effectuées à partir de systèmes agrégés manuellement, sans égard à la perte d'information qui y est induite. BAASS a développé une méthode et un logiciel de groupement systématique et efficace capable de générer un ensemble de systèmes zonaux agrégés selon une méthode hiérarchique de groupement appelée ZODEAG. Ce logiciel permet de générer, pour différents niveaux d'agrégation, des systèmes zonaux minimisant une fonction-objectif composée de deux éléments: l'homogénéité de la population à l'intérieur des zones nouvellement créées et la minimisation des déplacements intra-zonaux. Cette fonction est sujette à un ensemble de contraintes optionnelles offrant à l'analyste la possibilité d'en appliquer une ou plusieurs à la fois selon les objectifs recherchés.

Chacune des deux composantes de la fonction-objectif est accompagnée d'un facteur de pondération qui permet d'allouer plus ou moins de poids à la dimension qui s'y associe dans le processus d'agrégation. Toutefois, l'analyste ne connaît pas les réactions du modèle face à différentes variations des deux facteurs de pondération. De

plus, il ne dispose pas d'une méthodologie détaillée lui permettant de déterminer lequel des systèmes résultant de ces différentes variations, représente le meilleur choix à chaque niveau de planification à savoir le court, le moyen et le long terme.

La réaction de Zodeag face à différentes variations des deux facteurs de pondération nous a permis de connaître l'intervalle d'étude de chaque facteur. Par la suite, on a développé un ensemble de critères qui nous ont permis de déterminer les combinaisons de facteurs de pondération offrant les meilleurs découpages zonaux à utiliser pour la planification à court, moyen et long terme.

ABSTRACT

Transportation studies are generally done based on systems aggregated manually, without regard to loss of information which results therefrom. BAASS has developed a method and an aggregation program that is both systematical and efficient, capable of generating a set of agregate zonal systems by a hierarchical method of grouping called ZODEAG. This program allows us to generate, for different agregate levels, zonal system which minimize an objective function composed of two elements: the homogeneity of the population within the newly created zones and the minimization of inter-zonal trip. This function is subject to a set of optional constraints gives the analyst the possibility of applying one or more of them at a time as is required by the research.

Each of the components of the objective function is accompanied with a weight factor which allows for the allocation of more or less weight to the dimension to which it is associated in the aggregation process. But the analyst does not know the model's reaction to the different variation of the two weight factors. In addition, the analyst does not dispose of a detailed method allowing him

to determine which of the systems resulting from the different variations represents the best choice for each planning level be it in the short, the intermediate and the long term.

ZODEAG's reaction to different variations of the two weight factors has allowed us to obtain the interval of each factor under study. There, we can develop a set of criteria which allows us to determine the combination of weight factors offering the best zonal samples to be used in the short, medium and long range.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon directeur de recherche monsieur Karsten G. BAASS, Ph.D., pour les conseils judicieux et son apport scientifique au présent projet de recherche. Je tiens aussi à remercier tout le corps professoral de la section "génie des transports" pour leur contribution à ma formation. Je ne pourrais également passer sans silence les encouragements de mes confrères étudiants de la section.

De plus, sans l'apport financier, les encouragements et la compréhension de ma famille, il m'aurait été difficile de réaliser ce travail. J'aimerais ainsi souligner et par le fait même remercier tout particulièrement ma soeur ILHAM pour toute l'aide qu'elle m'a apporteé durant mes études.

J'aimerais porter une attention particulière à ma bien-aimée NADIA pour toute l'attente et le courage dont elle a fait preuve pendant mon séjour au CANADA.

TABLE DES MATIERES.

SOMMAIRE.....iv

ABSTRACT.....vi

REMERCIEMENTS.....viii

TABLE DES MATIERES.....ix

LISTE DES FIGURES.....xii

LISTE DES TABLEAUX.....xv

LISTE DES ANNEXES.....xvi

CHAPITRE PAGE

CHAPITRE 1 : INTRODUCTION..... 1

CHAPITRE 2 : LES SYSTEMES ZONAUX DANS LA PLANIFICATION DES TRANSPORTS..... 5

2 - 1 : LE CHOIX DES SYSTEMES ZONAUX..... 5

2 - 2 : CARACTERISTIQUES D'UN BON SYSTEME ZONAL DANS LE PROCESSUS DE PLANIFICATION DES TRANSPORTS..... 9

CHAPITRE 3 : L'AGREGATION ZONALE DANS LA PLANIFICATION DES TRANSPORTS..... 13

3 - 1 : DEFINITION DE LA FONCTION-OBJECTIF.. 15

3 - 2 : LES DIFFERENTS TYPES DE FONCTION-OBJECTIF..... 15

3 - 3 : LES DIFFERENTES TECHNIQUES D'AGREGATION..... 18

CHAPITRE 4 : LA PROCEDURE DE GROUPEMENT ZODEAG... 24

4 - 1 : ALGORITHME DE GROUPEMENT..... 26

4 - 2 : DESCRIPTION GENERALE DES MODULES DE ZODEAG..... 31

4 - 3 : LA FONCTION-OBJECTIF DE ZODEAG..... 37
- HOMOGENEITE..... 37
- INTERACTION..... 40

4 - 4 : LES CONTRAINTES.....42

4 - 5 : LES FACTEURS DE PONDERATION.....46

4 - 6 : FORMULATION MATHEMATIQUE.....47

CHAPITRE 5 : PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS.....49

CHAPITRE 6 : METHODOLOGIE.....53

CHAPITRE 7 : LES DONNEES.....65

7 - 1 : DONNEES DU SYSTEME A L'ETUDE.....65

7 - 2 : LES PARAMETRES UTILISES PAR LE MODELE.....68

CHAPITRE 8 : APPLICATION DE LA METHODOLOGIE PROPOSEE ET ANALYSE DES RESULTATS.....79

8 - 1 : LES VALEURS LIMITES DE α ET β.....79

8 -1 -1 : LE CAS DE β.....80

8 -1 -2 : LE CAS DE α.....84

8 - 2 : LA SENSIBILITE DES DEUX FACTEURS DE PONDERATION α ET β.....87

8 -2 -1 : LA SENSIBILITE DE α.....87

8 -2 -2 : LA SENSIBILITE DE ß.....103

8 - 3 : LES SYSTEMES ZONAUX AUX TROIS NIVEAUX DE PLANIFICATION.....108

8 -3 -1 : CHOIX DU NOMBRE DE ZONES POUR CHAQUE NIVEAU DE PLANIFICATION.....109

8 -3 -2 : CHOIX DE LA CONFIGURATION SPATIALE POUR CHAQUE NIVEAU DE PLANIFICATION 111

CHAPITRE 9 : METHODOLOGIE GENERALE PROPOSEE.....133

CHAPITRE 10 : CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....136

BIBLIOGRAPHIE.....139

ANNEXES.....141

LISTE DES FIGURES

3.1 Organigramme général de ZODEAG..... 32

3.2 Modules de ZODEAG..... 33

6.1 Perte d'information en fonction des stades d'agrégation..... 55

6.2 Perte d'information sur les déplacements par rapport au niveau d'agrégation..... 56

6.3 Evolution non-uniforme de la fonction-objectif. 57

6.4 Evolution uniforme de la fonction-objectif..... 57

7.1 Les 522 zones de la ville de Montrèal..... 66

7.2 Etape 400 avec et sans contrainte de forme..... 71

7.3 Etape 500 avec et sans contrainte de forme..... 72

7.4 Accumulation de la fonction-objectif pour les systèmes avec et sans contrainte de forme.. 74

7.5 Pourcentage de désaccord entre la valeur choisie et la valeur calculée de l'indice forme..... 78

8.1 Evolution de la fonction-objectif pour les valeurs extrêmes de beta..... 82

8.2 Evolution de la fonction-objectif pour les valeurs extrêmes de alpha..... 86

8.3 Evolution de la fonction-objectif avec beta=0.01 et alpha=2.00,1.00 et 0.10..... 90

8.4 Evolution de la fonction-objectif avec beta=0.10 et alpha=2.00,1.00 et 0.10..... 91

8.5 Evolution de la fonction-objectif avec beta=1.00 et alpha=2.00,1.00 et 0.10..... 92

8.6 Systèmes zonaux obtenue avec alpha=0.10 et beta=0.01..... 93

8.7 Systèmes zonaux obtenus avec alpha=1.00 et beta=0.01..... 94

8.8 Systèmes zonaux obtenus avec alpha=2.00 et beta=0.01..... 95

8.9 Systèmes zonaux obtenus avec alpha=0.10 et beta=0.10..... 96

8.10 Systèmes zonaux obtenus avec alpha=1.00 et beta=0.10.....97

8.11 Systèmes zonaux obtenus avec alpha=2.00 et beta=0.10.....98

8.12 Systèmes zonaux obtenus avec alpha=0.10 et beta=1.00.....99

8.13 Systèmes zonaux obtenus avec alpha=1.00 et beta=1.00.....100

8.14 Systèmes zonaux obtenus avec alpha=2.00 et beta=1.00.....101

8.15 Evolution de la fonction-objectif avec alpha=0.10 et beta=0.01,0.10 et 1.00.....104

8.16 Evolution de la fonction-objectif avec alpha=1.00 et beta=0.01,0.10 et 1.00.....105

8.17 Evolution de la fonction-objectif avec alpha=2.00 et beta=0.01,0.10 et 1.00.....106

8.18(a) Systèmes zonaux satisfaisant le premier critère (niveau 500).....113

8.18(b) Systèmes zonaux satisfaisant le premier critère (niveau 500).....114

8.18(c) Systèmes zonaux satisfaisant le premier critère (niveau 500).....115

8.18(d) Systèmes zonaux satisfaisant le premier critère (niveau 500).....116

8.21 Perte d'information des systèmes retenus au niveau 500.....118

8.22 Niveau de compacité des systèmes retenus au niveau 500.....118

8.23 Histogramme des valeurs de compacité et de perte d'information des systèmes au niveau 500.....119

8.24 Système zonal suggeré pour la planification à long terme.....120

8.25(a) Systèmes zonaux satisfaisant le premier critère (niveau 400).....123

8.25(b) Systèmes zonaux satisfaisant le premier critère (niveau 400).....124

8.25(c) Systèmes zonaux satisfaisant le premier critère (niveau 400).....125

8.27 Perte d'information des systèmes retenus au niveau 400.....127

8.28 Niveau de compacité des systèmes retenus au niveau 400.....127

8.29 Histogramme des valeurs de compacité et de perte d'information des systèmes retenus au niveau 400.....128

8.30 Système zonal suggerè pour la planification à moyen terme.....129

9.1 Organigramme de la méthode proposée.....134

LISTE DES TABLEAUX

7.1 Proportion de la variation totale expliquée par les facteurs pour les 522 zones..... 68

8.1 Pourcentage d'accroissement de la fonction-objectif pour diffèrentes combinaisons de alpha et beta (alpha constante et beta varie de 0.9 à 1.30)..... 83

8.2 Pourcentage d'accroissement de la fonction-objectif pour diffèrentes combinaisons de alpha et beta (beta constante et alpha varie de 1.9 à 2.30)..... 85

8.3 Valeurs retenues pour l'étude de sensibilité des deux dimensions de la fonction-objectif..... 89

8.4 Valeurs de compacité et de perte d'information des systèmes retenus au niveau 500..... 119

8.5 Valeurs de compacité et de perte d'information des systèmes retenus au niveau 400..... 128

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A

TABLEAU A.1 : POURCENTAGE D'ACCROISSEMENT DE LA FONCTION-OBJECTIF POUR DIFFERENTES COMBINAISONS DE ALPHA ET BETA. (ALPHA=1.00 ET BETA VARIE DE 0.9 A 1.30)

TABLEAU A.2 : POURCENTAGE D'ACCROISSEMENT DE LA FONCTION-OBJECTIF POUR DIFFERENTES COMBINAISONS DE ALPHA ET BETA. (ALPHA=2.00 ET BETA VARIE DE 0.9 A 1.30)

TABLEAU A.3 : POURCENTAGE D'ACCROISSEMENT DE LA FONCTION-OBJECTIF POUR DIFFERENTES COMBINAISONS DE ALPHA ET BETA. (BETA=1.00 ET ALPHA VARIE DE 1.9 A 2.30)

TABLEAU A.4 : POURCENTAGE D'ACCROISSEMENT DE LA FONCTION-OBJECTIF POUR DIFFERENTES COMBINAISONS DE ALPHA ET BETA. (BETA=0.10 ET ALPHA VARIE DE 1.9 A 2.30)

ANNEXE B

TABEAU B.1 : SIGNIFICATION DES ABREVIATIONS RELATIVES AUX VARIABLES SOCIO-ECONOMIQUES.

ANNEXE C

FIGURE C.1 A C.8 : CONFIGURATION ZONALE DE L'ETAPE 300 DU PROCESSUS D'AGREGATION.

CHAPITRE I

INTRODUCTION

Les études en transport ont pour but de présenter les tendances actuelles et futures des déplacements qui sont simulés par des modèles mathématiques. Le grand nombre de déplacements à étudier rend nécessaire l'utilisation de données groupées. Ce groupement donne naissance à un système constitué d'un ensemble de zones ayant des caractéristiques semblables au point de vue de la génération des déplacements. Jusqu'à récemment, ces zones ont été déterminées par le planificateur d'une façon empirique. Les méthodes empiriques utilisées pour l'établissement d'un système de zones agrégé donnent naissance à des systèmes probablement non-optimaux. Ceci à cause de l'existence d'un nombre très élevé de systèmes de zones possibles et également parce qu'il s'agit de considérer de nombreux critères afin de générer un bon système de zones.

La revue de littérature montre qu'il existe plusieurs algorithmes de groupement de données. Cependant, peu de programmes informatiques complets permettent

d'effectuer une agrégation zonale de façon systématique. Le logiciel ZODEAG (ZOnal DEsign AGregation) permet de générer, à l'aide d'un algorithme heuristique et pour différents niveaux d'agrégation, des systèmes zonaux s'approchant de l'optimum et dont la configuration est sujette à l'application facultative de certaines contraintes imposées par le planificateur: contrainte de forme des zones, limite du nombre de déplacements par zone, imposition de barrières, regroupement deux par deux, égalité des dimensions des zones formées.

L'ensemble de ces contraintes régissent l'utilisation d'une fonction-objectif. Cette fonction-objectif est composée de deux principales composantes. Elle cherche à maximiser l'homogénéité des populations à l'intérieur des zones et à maximiser l'interaction zonale au niveau des déplacements. A chaque composante est associé un facteur de pondération qui reflète le degré d'importance qu'il faut accorder à chaque dimension dans le processus de groupement.

Ce logiciel permet de dériver des systèmes de zones agrégées d'une manière systématique et contribue également à une meilleure compréhension des relations entre le système

spatial et les modèles utilisées en planification.

Il peut générer une infinité de systèmes zonaux; autant de systèmes différents qu'il existe de possibilité de combinaisons des deux facteurs de pondérations et d'applications de contraintes. En pratique, toutefois, plusieurs arrangements non-judicieux peuvent être exclus. Quoi qu'il en soit, le système ZODEAG tel qu'il existe actuellement offre peu de possibilités concernant l'analyse des résultats produits.

L'état des connaissances à ce jour ne permet pas, à priori, de cerner l'effet de variation des deux facteurs de pondération sur la qualité de l'agrégation, mesurée selon la valeur de la fonction-objectif.

Le but de ce travail est donc d'évaluer la sensibilité des deux facteurs de pondération de la fonction-objectif pour pouvoir déterminer un système de zones agrégées à partir duquel le planificateur pourra appliquer ses modèles mathématiques pour la prévision des habitudes de déplacements aux trois niveaux de planification, à savoir le court, le moyen et le long terme.

Afin de parvenir au but de cette recherche, il faut tout d'abord connaître ce que les modèles mathématiques exigent d'un système de zones. Par la suite, il faut se familiariser avec les rudiments de l'utilisation du logiciel en faisant une description des différents modules et fichiers de ZODEAG.

Une méthodologie doit être mise sur pied pour que ce soient dorénavant possibles la différenciation et d'évaluation des différents systèmes de zones. Ceci se fera par le biais d'un ensemble de critères qui permettront aux planificateurs d'associer un système de zones à chaque type de planification.

CHAPITRE II

LES SYSTEMES ZONAUX DANS LA PLANIFICATION DES TRANSPORTS

2.1 : LE CHOIX DES SYSTEMES ZONAUX :

Le transport est une activité humaine reliée à l'espace et au temps; or ces deux dimensions ne sont qu'imparfaitement représentées par les modèles mathématiques de planification. En effet, pour obtenir une image fidèle et parfaite des déplacements urbains, il faudrait une information microscopique sur ces activités, selon leur nature spatiale et temporelle.

- **Nature spatiale** : Chaque individu dans un territoire donné possède un certain nombre de caractéristiques relatives à ses habitudes de déplacement. Si on réussit à connaître ses habitudes, des modèles mathématiques peuvent nous aider à connaître ses futurs déplacements. Toutefois, travailler au niveau individuel devient presque impossible non seulement à cause des coûts de l'étude, mais aussi parce que les déplacements sont des

activités humaines et comme toute activité humaine, elles peuvent être extrêmement difficiles à comprendre et sujettes à beaucoup de changements.

Si on réussit à grouper des personnes qui habitent et travaillent dans le même lieu, qui utilisent le même mode de transport, aux mêmes heures, on réussira à diminuer les dimensions des données et ainsi obtenir de meilleures propriétés statistiques des informations concernant le groupe.

Dans le processus de planification, ces groupements se reflètent dans l'espace et peuvent générer une certaine perte d'information si un membre du groupe possède des habitudes de déplacements différentes de l'ensemble du groupe. Mais on est généralement forcé d'accepter une certaine perte de précision par une généralisation des habitudes de déplacement dans le but de réduire les coûts d'acquisition des données et leur traitement. D'un autre côté, si l'étude se fait à un niveau très désagrégé, les résultats générés ne peuvent être appliqués qu'à un niveau désagrégé.

- <u>Cadre temporel :</u> Tout processus de planification

répond à un besoin de prévision et ce dernier est orienté dans le temps. On peut élaborer un processus de planification pour répondre à des besoins à court terme, à moyen terme ou à long terme.

A chaque niveau de planification est associé une série de questions qui nécessitent des réponses claires et précises. Les modèles de planification utilisés sont les mêmes pour les trois niveaux de planification, mais chacun demande un niveau de précision différent et par conséquent, l'information recherchée peut être plus ou moins agrégée. La planification à court terme demande un niveau d'information plus désagrégé que la planification à moyen ou à long terme. Entre le niveau le plus désagrégé et le niveau le plus agrégé, on peut proposer alors un schéma de stratification de groupement des zones ayant le niveau de précision souhaité en terme de coût d'acquisition des données et le coût de leur traitement.

Dans le processus de planification des transports, ce n'est pas seulement l'acquisition des données qui empêche la considération de ces deux aspects importants mais également l'élaboration et l'utilisation de modèles mathématiques permettant de simuler ces mouvements en

détail. Il faut donc faire abstraction des détails concernant le déroulement de ces activités de transport dans le temps et dans l'espace, en effectuant un regroupement des données et en utilisant des modèles macroscopiques ou agrégés. Dans le contexte spatial, ce regroupement se traduit par la délimitation géométrique d'ensembles spatiaux, c'est-à-dire de systèmes de zones, qui répondent à certains critères importants en planification des transports.

Jusqu'à récemment, la détermination des systèmes spatiaux à utiliser comme base des modèles de planification ne constituait pas un aspect important dans les prévisions des déplacements. En fait, les systèmes zonaux n'étaient développés que de façon empirique. En se basant sur une carte géographique de la région d'étude, le planificateur divise le territoire d'une façon visuelle, en un ensemble de zones qui vont constituer le système de base des modèles de prévision.

L'élaboration de modèles mathématiques sophistiqués pour la prévision des déplacements a nécessité la révision de l'approche utilisée pour le choix d'un découpage zonal. La recherche d'un système zonal optimal devient alors

importante et l'approche subjective de choix de zone est loin d'être suffisante. Le besoin d'une approche systématique et mathématiquement valable s'est fait alors sentir.

2.2 : CARACTERISTIQUES D'UN BON SYSTEME ZONAL DANS LE PROCESSUS DE PLANIFICATION DES TRANSPORTS :

Il n'y a actuellement que très peu de connaissances quant aux caractéristiques souhaitables d'un bon système de zones ainsi que les liens unissant les modèles utilisés dans la procédure classique de planification, à ces systèmes de zones. Les recherches effectuées par Openshaw (1977) indiquent que ces relations sont imbriquées et encore mal comprises et que le choix du système de zones a une influence considérable sur les résultats de l'étude en transport.

Quelques indications sont fournies par la littérature en ce qui concerne les systèmes zonaux à utiliser dans le processus de planification des transports. Chacun des modèles mathématiques utilisés dans la procédure séquentielle classique possède ses propres critères quant aux choix des systèmes à utiliser. Les paragraphes qui

suivent résument les principaux critères à retenir pour obtenir un système zonal satisfaisant pour ces modèles mathématiques.

- Génération des déplacements et répartition modale: La génération des déplacements fait reférence à la notion de production et d'attraction des déplacements. La production des déplacements est fortement liée aux caractéristiques de la population qui habite une zone ou un secteur de la région d'étude. Quant à l'attraction des déplacements, elle est fonction de la nature de l'utilisation du sol dans la zone ou le secteur en question. La production et l'attraction des déplacements sont tributaires du profil socio-économique des populations qui habitent le secteur d'étude. Cette notion est mieux connue, dans le processus de planification des transports, sous l'appellation d'homogénéité. Les modèles de génération des déplacements nécessitent des systèmes zonaux dont l'homogénéité des populations à l'intérieur des zones doit être au maximum.

La répartition modale dépend grandement des attributs du système de transport existant, des caractéristiques socio-économiques ainsi que du niveau d'homogénéité de la population à l'intérieur des zones.

- distribution des déplacements : Les éléments de la diagonale de la matrice Origine-Destination représentent les déplacements intra-zonaux. Le nombre de ces déplacements grandira à chaque fois qu'on augmentera la taille de la zone. Autrement dit, plus on augmente la superficie des zones, plus les déplacements intra-zonaux sont nombreux. Ceci occasionne une perte d'information puisque d'une façon générale, les déplacements intra-zonaux ne sont pas comptabilisés dans le processus de planification des transports. Un bon système zonal pour les modèles de distributions des déplacements devrait donc minimiser les déplacements intra-zonaux.

- Affectation des déplacements : L'affectation des déplacements à l'intérieur des zones doit satisfaire la capacité du réseau existant. Ignorer cette condition aboutirait à des résultats non réalistes. Il faut alors limiter le nombre de déplacements attirés et produits par les zones de manière à ne pas surcharger le réseau de transport.

D'autres exigences qui ne sont pas reliées à la procédure séquentielle classique, doivent être prises en considération si on veut obtenir un bon système zonal:

- Il faut respecter les frontières physiques, administratives et historiques.

- Eviter la formation de zones avec des formes non désirables comme une zone à l'intérieur d'une autre, une zone en forme de fer à cheval, une zone très allongée.

CHAPITRE III

L'AGREGATION ZONALE DANS LA PLANIFICATION DES TRANSPORTS

Le système zonal contenant m zones est produit à partir d'un système de n zones où n > m. On appelle "entité zonale de base" chaque zone constituant le système initial. Chaque zone étant décrite par une série de variables, le problème consiste à trouver une manière de classifier ces zones pour que chaque groupement soit le plus homogène possible , et aussi, le plus différent possible des autres groupements zonaux. En d'autres termes, il s'agit de réduire une matrice de n zones ayant p caractéristiques à une matrice de m zones et les mêmes caractéristiques.

$$X_n = \begin{matrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ & & & \\ x_{n1} & x_{n2} & \cdots & x_{np} \end{matrix} \qquad X_m = \begin{matrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1p} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2p} \\ & & & \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mp} \end{matrix}$$

La réduction de la matrice X_n à X_m se fait selon deux méthodes: la mesure de la similarité ou de la distance (EVERITT 1980).

- Mesure de la similarité : Elle consiste à

déterminer un coefficient de ressemblance pour chaque caractéristique entre deux zones. Ces coefficients peuvent prendre des valeurs comprises entre 0 et 1. Cette méthode offre comme principal avantage la possibilité de mesurer la similarité pour ou entre des variables qualitatives aussi bien que quantitatives (GOWER 1971).

- Mesure de la distance : La plus couramment utilisée est la distance euclidienne qui s'exprime de la façon suivante :

$$d_{ij} = \left(\sum_{k=1}^{p} (X_{ik} - x_{jk})^2 \right)^{1/2}$$

où dij : la distance entre i et j
Xik , xjk : les valeurs normalisées de la $K^{ième}$ caractéristique pour les zones i et j respectivement.

Afin d'éviter les erreurs d'échelle des variables, les caractéristiques X_{ij} et X_{jk} devront être normalisées de la façon suivante:

$$X_{ik} = \frac{X_{ik} - X_{ik}}{S_k}$$

où X_{ik} : valeur normalisée de la $K^{ième}$ caractéristique pour la zone i.

x_{ik} : valeur de la $k^{ième}$ caractéristique de la zone i.

x_k : la moyenne de la Kième caractéristique.

S_k : l'écart-type de la Kième caractéristique.

3.1 : DEFINITION DE LA FONCTION-OBJECTIF :

L'agrégation de deux zones doit suivre une stratégie qui reflète l'objectif recherché par le planificateur. La mesure du niveau de similarité et la mesure de la distance entre deux zones constituent alors des indicateurs permettant d'évaluer si le groupement peut se faire. C'est à partir du calcul de l'une ou l'autre de ces deux mesures qu'une décision, relative au groupement ou au non groupement de deux zones, peut se prendre.

La formulation mathématiques de ces deux mesures consiste essentiellement à établir une fonction-objectif qui reflète la désirabilité du groupement. Cette dernière est le critère qui justifie la décision d'agréger ou non les deux zones.

3.2 : LES DIFFERENTS TYPES DE FONCTION-OBJECTIF :

Différentes fonctions-objectifs qui ont été

utilisées dans les études traitant l'agrégation zonale dans la planification des transport, dépendent de la nature du problème. Un bref aperçu de chacune d'elles aidera à la compréhension et à la différenciation de leur utilité dans le processus d'agrégation.

- L'approche de l'analyse de la variance a été utilisée par ZOBLER (1958) pour justifier l'agrégation de deux zones. Cette méthode consiste à calculer le WSS (within sum of squares) et le BSS (between sum of squares) des zones en respectant certains attributs. La valeur de la statistique de Fisher (F) est déterminée par le ratio de BSS et WSS sur leurs degrés de liberté respectifs (α). Si la valeur F calculée excède la valeur tabulée, il existe alors une différence statistiquement significative entre les zones créées. L'inconvénient de cette approche est le nombre élevé de comparaisons qu'elle requiert.

- La fonction-objectif basée sur le calcul de la variance intra-zonale consiste à déterminer l'augmentation de la variation totale intra-zonale pour chaque groupement possible. Le groupement se fait entre les deux zones qui offrent le minimum d'augmentation de la variation intra-zonale. Cela revient alors à maximiser la différence entre

les zones ou à minimiser les différences intra-zonales (théorème de la variance) en respectant certaines variables descriptives choisies en relation avec l'étude.

- Un autre type de fonction-objectif est basé sur la théorie de l'information. Dans le contexte de la planification urbaine, cette mesure est utilisée pour évaluer la perte d'information encourue par le groupement de deux ou plusieurs zones. Elle consiste à minimiser la perte d'information pendant le processus de groupement des zones. Considérant un espace urbain constitué de N zones dont la taille de la population est la variable descriptive. Si on groupe les N zones pour n'en former qu'une seule, on ne peut déterminer comment la population est distribuée à l'intérieur du territoire et, par conséquent, on perd toute l'information relative à cette distribution. Entre le système le plus désagrégé à N zones (100% de l'information) et le système le plus agrégé à 1 zone (0% de l'information), il y a moyen de proposer un ensemble de systèmes zonaux ayant un nombre de zones inférieur à N mais dont l'information restante n'est pas nulle. Cela revient à minimiser le nombre de zones tout en gardant un maximum d'information relative à la distribution de la population dans la région d'étude.

Le plus important à retenir à ce niveau est la nécessité, pour tous les types de fonction-objectif, de retenir une ou plusieurs variables descriptives décrivant les objectifs recherchés par le planificateur dans le processus d'agrégation des zones. Généralement, ces variables sont accompagnées de facteurs de pondérations qui reflètent le degré d'importance accordé à chacune d'elles dans le processus de groupement. Le planificateur peut alors changer, selon les besoins et les objectifs recherchés dans son étude, l'importance d'une ou plusieurs variables dans la procédure d'agrégation.

3.3 : LES DIFFERENTES TECHNIQUES D'AGREGATION :

Il existe principalement trois approches distinctes pour réduire n entités zonales de base en m zones: les techniques d'agrégation hiérarchiques et les techniques d'optimisation.

- Les techniques d'agrégation hiérarchiques permettent de constituer un système de zones par une succession de regroupements. Chaque regroupement est irrévocable et est décrit à l'intérieur d'un arbre de regroupement appelé dendogramme. Les groupes formés à un

niveau d'agrégation constituent une partition de n en m zones.

A la première étape d'agrégation, l'algorithme devra évaluer au maximum n(n-1) possibilités de groupements, à la deuxième (n-1)(n-2)...etc. En agrégeant un système de n à une seule zone, l'algorithme aura évalué au maximum (n^3 - n / 6) combinaisons.

Les regroupements s'effectuent à partir d'une matrice de similarité ou de distance entre les entités zonales de base. Les techniques hiérarchiques diffèrent entre elles par la fonction-objectif définissant la distance ou la similarité entre les zones.

Ces techniques ont comme principal désavantage, l'irrévocabilité des groupements antérieurs. Ainsi, les partitions initiales retenues sont déterminantes en ce qui a trait à la qualité des groupements zonaux obtenus ultérieurement dans le processus d'agrégation. Cet handicap peut être partiellement contourné par l'application de barrières empêchant le groupement des zones de part et d'autre de celle-ci.

- Les techniques d'optimisation diffèrent de celles décrites précédemment par la possibilité de révoquer les groupements déjà réalisés. En d'autres termes, le problème revient à énumérer et à évaluer toutes les combinaisons de zones possibles à chaque niveau d'agrégation.

Il s'agit dans un premier temps d'énumérer toutes les partitions de n entités zonales de base en n-k zones, où k représente le niveau d'agrégation qui peut varier entre 0 et n-1. Dans un second temps, l'algorithme utilisé doit évaluer toutes les combinaisons possibles pour chaque partition et retenir la combinaison qui minimise la distance ou maximise la similarité.

Le nombre de partitions de n en m zones s'exprime de la façon suivante:

$$p_m(n) = p_m(n-m) + p_{m-1}(n-m) + \ldots\ldots + p_1(n-m)$$

Le nombre total de partitions, si k varie de 0 à n-1 s'exprime ainsi:

$$p(n) = \sum_{i=1}^{n} pi\ (n)$$

L'inconvénient majeur de cette technique se résume dans le fait que le nombre de combinaisons possibles s'accroît drastiquement si on augmente le nombre de zones. Par exemple, si on désire obtenir 30 groupements de deux zones pour un système de 60 entités zonales, il faudra évaluer 2.92×10^{40} combinaisons.

- Technique d'agrégation par segmentation: HAMERSLAG ET SCHELTES (1986) ont developpé un nouvel algorithme de groupement appelé algorithme de groupement par segmentation. Il est basé principalement sur la mesure de la distance entre les observations qui constituent la base de données de la région d'étude. Il utilise la loi de Fisher pour calculer la fonction de densité (fonction de fréquence) d'une série de variables socio-économiques des zones condidates à un éventuel groupement. La base de données est subdivisée en différentes catégories de variables où chacune d'elles contient un certain nombre d'observations. Des caractéristiques relatives à ses catégories de variables sont calculées (exemple : nombre d'observations dans chaque catégorie, la moyenne de chaque catégorie etc...). La formule de distance est dérivée à partir de la fonction de densité de chaque catégorie de variables. On établi ainsi une mesure de dissimilitude de chacune des différentes

catégories. Celle qui présente la plus grande valeur est la catégorie la plus discriminante. On retire cette catégorie de variables de la base de données et on refait la même analyse avec les autres catégories. En fin de compte, on obtient une liste hiérarchique de variables discriminantes. Cette liste permettra de grouper des zones qui possèdent une similarité de leurs listes de variables discriminantes.

Les résultats obtenus ont démontré que ce nouvel algorithme présente certains avantages dont les principaux sont:

- Il n'y a pas de restrictions quant au nombre d'observations qu'on peut utiliser. Aussi, il n'y a pas de limite dans la quantité de variables à utiliser.

- Cette nouvelle technique de groupement est basée sur la théorie de vraisamblance qui permet de justifier son utilisation contrairement aux deux autres méthodes. Ceci est dû principalement au fait que chaque fonction de densité possède ses propres mesures de similitude et de dissimilitude.

- La mesure de dissimilitude dans ce nouvel

algorithme peut être analysée sous un aspect multidimensionnel. Comme exemple, on peut citer la possibilité d'étudier la mobilité d'une population suivant différents modes de transport (autobus, voiture etc..)

- La dépendance entre les variables peut être détectée en utilisant le test de ratio de vraisamblance.

Bien que quelques algorithmes d'optimisation (Hand (1979) et Baass (1979)) décrivant chaque partition et garantissant l'obtention d'un optimum pourraient être adaptés au domaine du découpage zonale, il s'avère, en pratique, impossible d'analyser toutes les combinaisons d'une seule partition et ce, même pour un système ne contenant qu'une quarantaine de zones (Everitt 1980).

Des études réalisées par Milligan (1981), Morey et al. (1983) démontrent que parmi plusieurs méthodes de groupements, outre celles d'optimisation, les méthodes hiérarchiques de Ward (1963) sont celles qui ont fourni les meilleurs résultats. C'est selon les balises de ces méthode que Baass (1979) a élaboré un logiciel d'agrégation zonale appelé ZODEAG.

CHAPITRE IV

LA PROCEDURE DE GROUPEMENT ZODEAG

K.BAASS (1979) a développé une méthode systématique dont le but est de produire automatiquement des systèmes de zones efficaces.

Pour qu'une procédure de groupement soit jugée satisfaisante, il faut qu'elle réponde à un certain nombre de critères utiles dans la planification des transports. Sachant que les systèmes zonaux servent de base aux modèles de planification des transports (génération, répartition modale, distribution et affectation), ils doivent répondre aux exigences des modèles de planification. La procédure ZODEAG a établi une série de critères qui seront pris en considération lors du processus d'agrégation. Ces critères sont :

- Obtenir un maximum d'homogénéité de la population à l'intérieur des zones, ce qui est essentiel pour les modèles de génération des déplacements et pour les modèles de partage modal.

- Conserver un maximum d'interaction entre les zones, condition importante à tous les niveaux, surtout pour les modèles d'affectation des déplacements.

- Limiter le nombre de déplacements attirés et produits par les zones nouvellement créées afin d'éviter une surcharge des rues adjacentes aux centroides, ce qui est particulièrement important au niveau de l'affectation des déplacements.

- Respecter les limites naturelles, administratives et historiques.

- Eviter la formation d'îlots ou de zones complètement contenues dans une autre zone.

- Minimiser la variation de certaines variables importantes comme la population par zone, le nombre de déplacements attirés et produits par zone etc, pour éviter la coexistence de zones très agrégées et d'autres qui restent à l'état initial.

- Rendre les limites conformes aux limites du recensement afin de pouvoir effectuer plus

facilement des comparaisons entre les études et d'utiliser les données du recensement.

L'algorithme de groupement proposé par Baass (1979) consiste à étudier tous les systèmes de zones possibles afin de déterminer celui qui serait optimal. Tel que décrit précédemment, la meilleure méthode serait de retenir les systèmes optimaux à chaque niveau d'agrégation après avoir dénombré chaque partition et chaque combinaison à tous les niveaux d'agrégation.

Cependant, une énumération n'est plus possible à partir du moment où le nombre initial de zones dépasse 10, même avec des ordinateurs très puissants. Une méthode heuristique de génération de systèmes zonaux a donc été adoptée. Cette méthode heuristique suit de près l'algorithme proposé par WARD (1963).

4.1 : ALGORITHME DE GROUPEMENT :

Cet algorithme commence à l'état le plus désagrégé. On calcule la valeur de la fonction-objectif pour un groupement hypothétique de toute paire de zones qui satisfait aux contraintes d'adjacence, de barrières

naturelles, du nombre total de déplacements etc... On effectue ensuite le groupement de deux zones qui ont produit la meilleure valeur de la fonction-objectif. Le groupement des deux zones ne sera plus considéré à une étape ultérieure, c'est à dire qu'un groupe une fois formé, ne peut plus être séparé. A l'étape suivante, on continue avec n-1 zones etc...On considère donc au début un maximum de n(n-1)/2 groupements et au deuxième niveau d'agrégation (n-1)(n-2)/2 groupements etc... Ainsi, on aura à étudier au maximum un total de (n*3-n)/6 combinaisons. L'algorithme s'arrête lorsqu'une seule zone est produite ou lorsqu'une ou plusieurs des contraintes ne sont plus respectées. Les contraintes qui sont d'ailleurs toutes facultatives dans leur application, sauf celle de l'adjacence des zones, peuvent être relaxées selon une méthode prédéfinie. Ceci est important notamment dans le cas de la contrainte sur la forme géométrique de la zone.

L'avantage d'avoir retenu un algorithme heuristique provient du fait qu'on peut traiter un nombre élevé de zones dans la procédure de groupement. Cette approche offre aussi la possibilité d'intégrer n'importe quelle fonction-objectif qui répond aux objectifs de l'étude. Quant aux contraintes, elles peuvent être appliquées le long du processus

d'agrégation selon les besoins et les objectifs recherchés. Cependant, comme tout algorithme heuristique, les résultats obtenus ne peuvent être considérés comme étant des résultats optimaux.

L'algorithme est décrit en termes généraux dans les paragraphes suivants, quant à l'organigramme général de la procédure, les explications nécessaires à sa compréhension seront fournies par la suite.

(i) Calculer et enregistrer :

- donnée socio-économique X_{ijk} ou normalisée Z_{ijk} ensemble avec leurs poids W_{ijk}.
- matrice de déplacement.
- matrice d'adjacences.
- matrice des barrières.
- caractéristiques zonales (surface, périmètre, rayon, coordonnées X,Y).

(ii) Calculer TSS (total sum of squares) pour toutes les variables.

$$TSS = \sum_i \left\{ \sum_j \sum_k X_{ijk}^2 W_{ijk} - \frac{\left(\sum_j \sum_k X_{ijk} W_{ijk} \right)^2}{\sum_j \sum_k W_{ijk}} \right\}$$

Calculer le nombre de déplacements totaux.

$$T = \sum_{i}^{n} \sum_{j}^{n} T_{ij}$$

avec i = origine j = destination.

(iii) Pour toutes les valeurs non-nulles de la matrice d'adjacences. Si toutes les valeurs sont étudiées, aller à (vi).

(iv) Vérifier la contrainte des barrières (s'il y en a). Si les barrières interdisent le groupement, continuer avec la paire de zones suivante.

(V) Vérifier les contraintes relaxables dans l'ordre spécifié par le planificateur. Par exemple:

- Vérifier la forme (s'il y en a). Si elle est rejetée, continuer avec la paire de zones suivantes

etc.

.

.

Si toutes les contraintes sont satisfaites, calculer la fonction-objectif et mettre sa valeur dans une matrice. Aller à (iii).

(vi) Choisir le minimum dans la matrice de la

fonction-objectif. Les zones qui correspondent à cette valeur sont groupées. Sauver l'information dans la liste de groupement pour retrouver les groupements à chaque étape.
aller à (viii)

(vii) Si le groupement devient impossible à cause d'une ou plusieurs contraintes non-satisfaites, relaxer la ou les contraintes selon les conditions du planificateur et aller à (iii).

(viii) - Mise à jour des données socio-économiques.
- Mise à jour de la matrice de déplacements.
- Mise à jour de la matrice des barrières.
- Mise à jour de l'information restante.

réduire le nombre de groupement de 1, s'il ne reste qu'un seul groupement, aller à (ix), sinon, répéter les étapes (iv),(v) et (vi) seulement pour les zones adjacentes à celles qui viennent de subir le groupement.

(ix) Sortir la liste de groupement, les graphiques du pourcentage de la variation intra-zonale, déplacements intra-zonaux, variation totale,

entropie inter-zonale et le dendogramme.

4.2 : DESCRIPTION GENERALE DES MODULES DE ZODEAG :

ZODEAG est constitué de six modules principaux. La description détaillée de chacun de ces modules a été fournie par K.BAASS (1979) mais on se contentera d'une description assez générale, surtout des modules que nous avons utilisés et qui sont au nombre de quatre.

L'organigramme général décrit les étapes à suivre dans l'étude de l'agrégation des zones. Un programme d'ordinateur modulaire a été conçu pour chacune des étapes de cet organigramme, le programme principal étant celui du groupement. L'organigramme de la figure 3.1 montre l'enchaînement des programmes qui y sont reprérésentés par un rectangle. La figure 3.2 montre les différents modules qui constituent ZODEAG. Chaque module utilise certains fichiers de données et produit de nouveaux fichiers utilisés par les modules subséquents. On distingue trois types de modules: des modules de préparation et validation des données, des modules effectuant le groupement et des modules d'analyse. Les données initiales sont constituées par les limites des zones, les coordonnées (x,y) décrivant ces

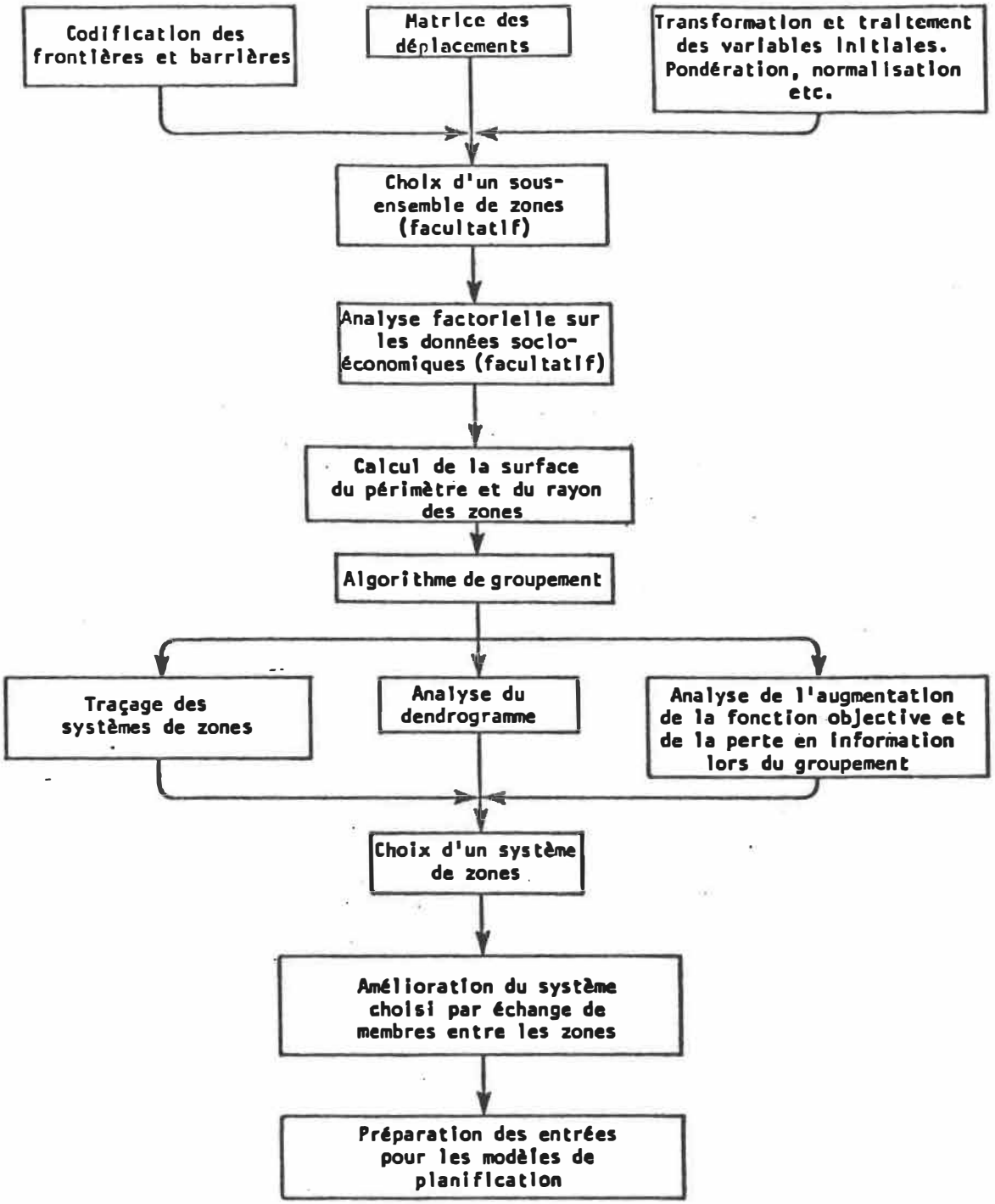
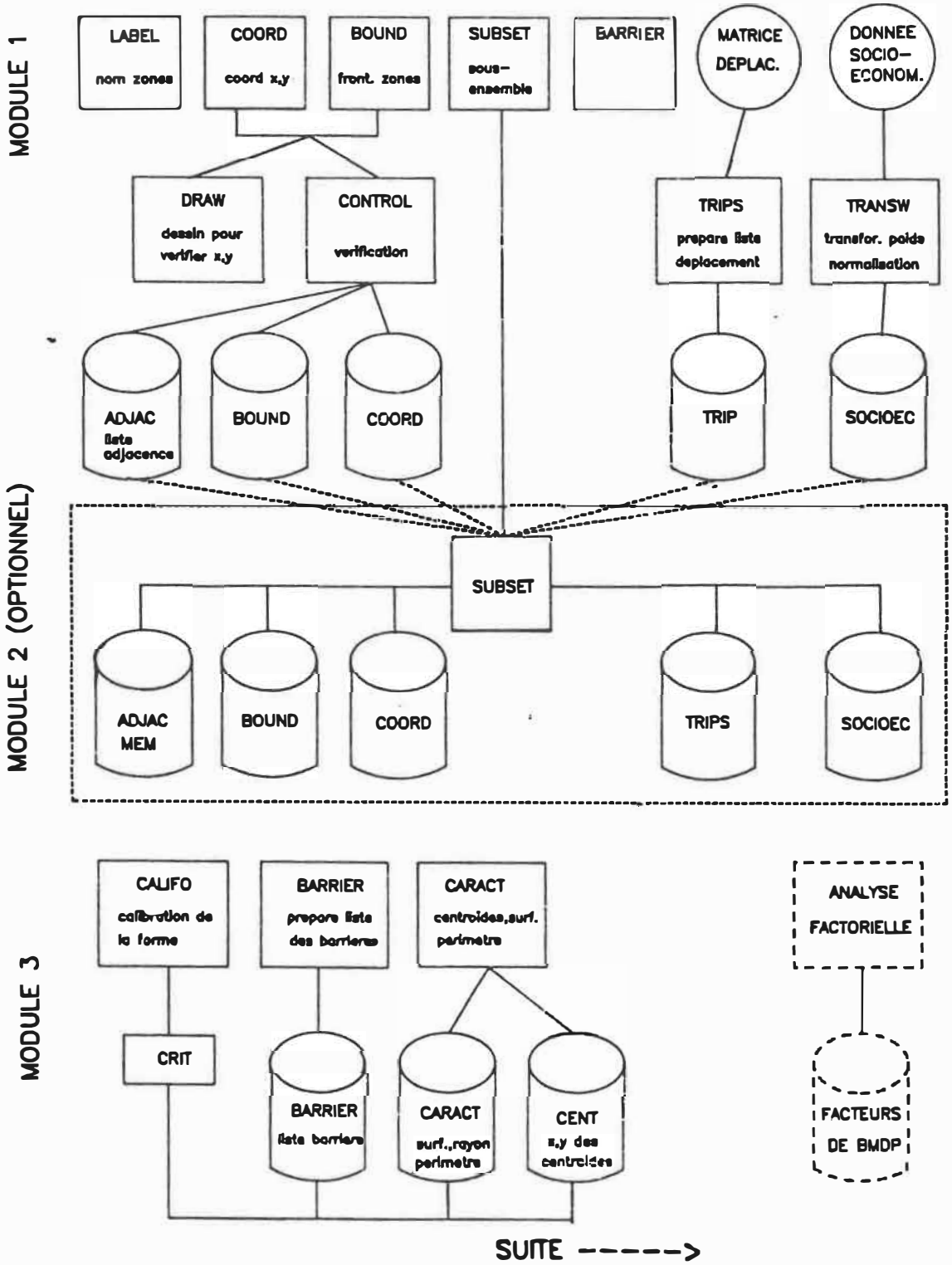
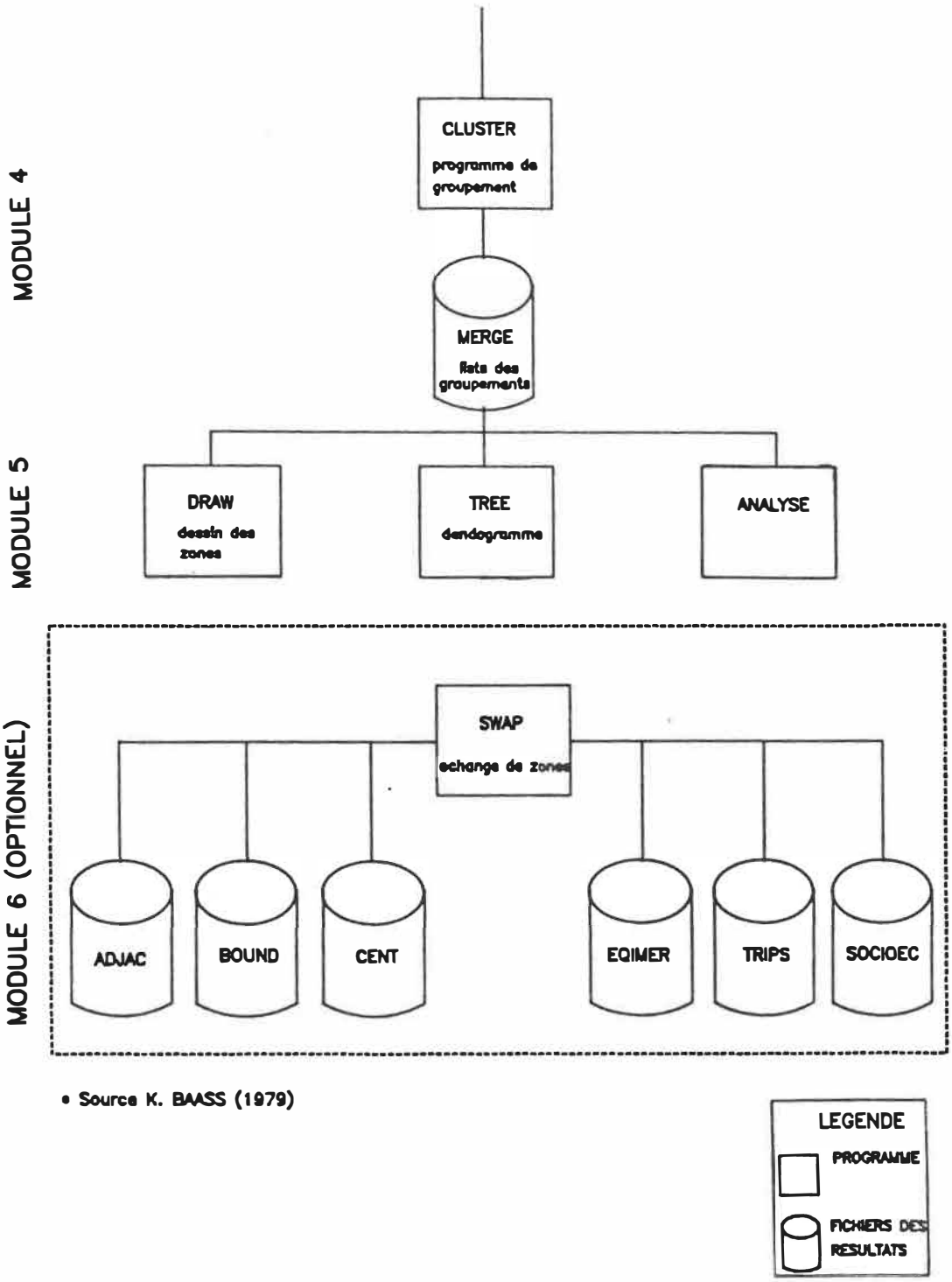


FIGURE 3.1 : ORGANIGRAMME GENERAL DE ZODEAG.


MODULE 1
LABEL
nom zones
COORD
coord x,y
BOUND
front. zones
SUBSET
sous-ensemble
BARRIER
MATRICE DEPLAC.
DONNEE SOCIO-ECONOM.
DRAW
dessin pour verifier x,y
CONTROL
verification
TRIPS
prepare liste deplacement
TRANSW
transfor. poids normalisation
ADJAC
liste adjacence
BOUND
COORD
TRIP
SOCIOEC
MODULE 2 (OPTIONNEL)
SUBSET
ADJAC MEM
BOUND
COORD
TRIPS
SOCIOEC
MODULE 3
CALIFO
calibration de la forme
BARRIER
prepare liste des barrieres
CARACT
centroides,surf. perimetre
ANALYSE FACTORIELLE
CRIT
BARRIER
liste barriere
CARACT
surf.,rayon perimetre
CENT
x,y des centroides
FACTEURS DE BMDP
SUITE ----->
FIGURE 3.2 : LES MODULES DE ZODEAG.



• Source K. BAASS (1979)

FIGURE 3.2 (SUITE) : LES MODULES DE ZODEAG.

limites, les barrières formées par des obstacles naturels ou artificiels, la matrice des déplacements origine-destination et les données socio-économiques associées aux zones initiales. Un programme préliminaire permet de rendre les zones géocodées par Statistique Canada (1976 CARTLIOB) compatibles avec ZODEAG, rendant ainsi les données du recensement accessibles à la méthode.

Le programme de contrôle des limites sert à la validation et produit également une liste des adjacences, essentielle à la vérification de la contrainte d'adjacence. La matrice origine-destination est transformée par un autre module en matrice triangulaire et est stockée en forme de liste liée afin d'économiser de l'espace mémoire et d'accélérer les calculs. Les données socio-économiques qui servent à décrire la population sont généralement normalisées pour éviter qu'une variable ne prenne plus d'importance qu'une autre et pour réduire leur nombre par une analyse factorielle. Cette analyse est faite avec l'aide du logiciel BMDP et reste optionnelle.

Pour l'évaluation de certaines contraintes et notamment pour la contrainte de forme, il s'agit de calculer la surface, le périmètre, le centroide et le rayon

de toutes les zones initiales. Les mêmes caractéristiques sont calculées pour les zones nouvellement créées par le processus de groupement.

Le module central de groupement utilise les fichiers des adjacences, des coordonnées, des barrières, des caractéristiques des zones, des déplacements et des données socio-économiques pour produire les systèmes de zones agrégées.

Le troisième module de ZODEAG effectue l'étude détaillée des résultats nécessitant des changements de paramètres dans les contraintes et dans le modèle de groupement, avant de produire un système satisfaisant de zones agrégées. On peut alors tenter d'améliorer le système choisie grâce à un module de post-optimisation étant donné que l'algorithme utilisé ne produit pas nécessairement un système globalement optimal.

Finalement, le dernier module prépare les données socio-économiques et celles des déplacements correspondant au système choisi pour les modèles de la procédure séquentielle classique.

4.3 : LA FONCTION-OBJECTIF DE ZODEAG :

La procédure de groupement ZODEAG possède une fonction-objectif composée de deux éléments. Le premier consiste à maximiser l'homogénéité des populations à l'intérieur des zones, le deuxième cherche à minimiser les déplacements intra-zonaux dans les zones nouvellement créées.

- **HOMOGENEITE :** Une zone formée est dite homogène si les entités zonales qui la composent sont semblables. La ressemblance des zones est mesurée par le calcul de la "somme des carrés" intra-zonale sur certaines variables socio-économiques. Par la suite, la moyenne zonale des entités zonales de base configurant la zone est calculée et ce, pour chaque variable socio-économique. Le résultat obtenu est la somme des différences entre chaque entité et la moyenne zonale. Elle s'exprime de la façon suivante:

$$SSW_{ij} = \sum_{k=1}^{n_j} (X_{ijk} - X_{ij})^2$$

où SSW_{ij} : la somme des carrés de la variable i pour la zone j

X_{ijk} : La valeur de la variable i de l'entité de base k, dans la zone j

et X_{ij} : La moyenne de la variable i dans la zone j

Il va sans dire que la zone j est homogène si l'augmentation de la variation totale dans la zone formée est nulle ou près de 0.

Les variables étant exprimées dans des unités différentes, elles doivent être normalisées afin d'éviter une erreur de sur-représentation. Chaque variable est normalisée de la façon suivante:

$$Z_{ijk} = \frac{X_{ijk} - X_i}{S_{xi}}$$

où S_{xi} : l'écart-type

Les variables socio-économiques utilisées sont exprimées sous forme de taux (ex: nombre de personnes par ménage par zone). De ce fait, il devient important que la moyenne de chaque variable dans la zone formée soit pondérée par un facteur exprimant la dimension de la zone. Le facteur de dimension peut être relié au nombre de ménages, à la population ou à la superficie de la zone. On calcule alors

la moyenne pondérée de la variable i dans la zone formée j de la façon suivante:

$$X_{ij} = \frac{\sum_{k} X_{ijk} \cdot W_{ijk}}{\sum_{k} W_{ijk}}$$

La somme des carrés pondérée de la variable i dans la zone formée j s'exprime alors ainsi :

$$SSW_{ij} = \sum_{k=1}^{n_j} (X_{ijk} - X_{ij})^2 \; W_{ijk}$$

où W_{ijk} : Le poids attribué à la variable i de l'entité de base k, dans la zone formée j.

Pour chaque étape d'agrégation, l'algorithme calcule la somme des carrés pondérée (SSW) pour les zones adjacentes et retient la paire de zones pour laquelle la fonction-objectif est minimale.

En développant et en appliquant la formule précédente, l'accroissement de la somme des carrés pondérée pour deux zones adjacentes 1 et 2 s'exprime comme suit :

$$\text{Var (SSW)} = \sum_{i} \frac{W_{i1}\ W_{i2}}{W_{i1} + W_{i2}} \left(X_{i1} - X_{i2} \right)^2$$

L'algorithme prévoit l'avènement d'un cas particulier, celui où un des poids serait égal à 0. Ce cas peut être rencontré lorsque le poids représente la population ou le nombre de ménages. L'algorithme regroupe ces zones dès les premières étapes d'agrégation. Notons par ailleurs, l'importance des variables de pondération dans le processus d'agrégation. Dans le cas où les variables socio-économiques pour chaque paire de zones sont très semblables. l'algorithme tend à regrouper les zones ayant des facteurs de pondération moindre. Ceci contribue à la formation d'un système zonal équilibré quant aux facteurs de pondération.

- **INTERACTION** : Dans le domaine de la planification des transports, tout le monde s'accorde pour dire qu'il existe des zones qui produisent des déplacements et des zones qui en attirent. Cette notion est mieux connue sous l'appellation d'attraction et de production des déplacements. Une zone qui attire des déplacements produit par une autre zone fait appel au principe d'interaction. En faite, ces deux même zones s'attirent entre elles.

Pour mieux illustrer ce principe fondamental de la planification des transports, on aura besoin de variables qui nous donnerons une idée précise sur le nombre de déplacements produits et attirés par chaque zone du système étudié. Ce qu'il faut préciser c'est que les variables qui décrivent l'interaction sont différentes de celles qui décrivent la production des déplacements. Mais d'une façon très générale, on peut dire que c'est la nature de l'utilisation du sol qui fait qu'une zone attire et qu'une autre produit des déplacements.

L'interaction inter-zonale se révèle être le facteur le plus important dans l'analyse des systèmes de transport. Cette interaction prend forme dans le nombre de déplacements entre deux points, le premier de production et le deuxième d'attraction. Si les deux points sont repérés dans la même zone, les déplacements sont alors considérés comme intra-zonaux et par conséquent ne peuvent être pris en considération. Le nombre total de déplacements dans le système peut être décomposé en déplacements inter-zonaux et déplacements intra-zonaux.

ZODEAG ne prend alors en considération que les déplacements inter-zonaux et la notion d'interaction des

zones constitue alors la deuxième composante de la fonction-objectif du logiciel.

Le groupement de deux zones A et B se fait seulement s'il n'existe pas d'autres zones qui possèdent un pourcentage de déplacements inter-zonaux moins élevé que celui de B. Autrement dit, on doit calculer les déplacements inter-zonaux pour toutes les paires de zones possibles (ΔT), on choisit par la suite la valeur minimale (min ΔT).

L'algorithme calcule pour chaque paire de zones adjacentes l'accroissement du nombre de déplacements intra-zonaux et regroupe les deux zones pour lesquelles la valeur de la fonction-objectif est minimale.

4.4 : LES CONTRAINTES :

L'agrégation des zones se fait principalement avec l'aide de la fonction-objectif. Toutefois, cette dernière est sujette à quelques contraintes, qui dans ZODEAG, peuvent être divisées en deux catégories. La première catégorie fait référence à ce qu'on peut appeler les contraintes intégrées à la procédure. Le deuxième type fait appel à des contraintes optionnelles qui peuvent être intégrées ou non

par l'opérateur.

a) CONTRAINTE INTEGREE : ZODEAG n'en possède qu'une seule. Elle est appelée contrainte d'adjacence. On l'appelle contrainte intégrée du fait que la procédure de groupement en tient compte quels que soient les paramètres qu'on accorde aux autres variables de groupement. Cette contrainte stipule que deux zones A et B ne peuvent être agrégées sauf si elles sont adjacentes. Une procédure de groupement qui ignore cette contrainte produit un système inutilisable dans la planification des systèmes de transport.

ZODEAG vérifie la satisfaction de cette contrainte avant même le calcul de la valeur de la fonction-objectif. De cette façon, le calcul de cette dernière ne se fait que pour les zones qui ont déjà satisfait cette contrainte.

b) CONTRAINTES FACULTATIVES : Se sont des contraintes que l'opérateur peut utiliser selon les besoins de ses recherches. Elles sont au nombre de cinq et ZODEAG peut accepter différentes combinaisons dans le processus d'agrégation.

- **Contrainte BARRIER :** L'un des aspects important

à retenir dans le processus de groupement est la possibilité de retenir certaines barrières. Ces barrières peuvent être physiques comme la présence d'une montagne, autoroute, chemin de fer ou artificielles comme le respect des limites administratives d'une municipalité. Ces barrières seront considérées comme des obstacles au groupement de zones situées de deux côtés de la barrière.

- Contrainte FORME : L'algorithme de groupement sans cette contrainte ne nous garantit pas l'obtention de système de zones satisfaisant pour être utilisé par les modèles de planification des systèmes de transport urbains. Pour pallier à cet inconvénient, ZODEAG a prévu l'intégration d'une contrainte optionnelle appelée contrainte de forme. Cette contrainte a pour objectif principal l'obtention, lors du processus d'agrégation, d'un système zonal dont les composantes soient le plus compact possible. Toutefois, cette contrainte fait référence à un indice de forme que le planificateur doit choisir à partir d'une calibration. Cette calibration se fait à l'aide d'un module prévu pour cette fin dans ZODEAG. L'opérateur n'a qu'à choisir 60 groupements possibles dont 30 sont acceptables et 30 non acceptables. Le programme calcule alors le niveau de désaccord entre l'indice calculé par le programme et celui souhaité par

l'opérateur. Le programme génère un graphique représentant le désaccord entre la valeur calculée par le programme et celle souhaitée part l'analyste. La valeur du critère de forme à retenir est celle qui génère le minimum de désaccord entre l'indice calculé et l'indice souhaité par l'analyste.

- **Contrainte 2BY2** : Cette contrainte fait en sorte que les systèmes zonaux à générer à partir des groupements possèdent approximativement le même nombre de zones. Elle est surtout utilisée dans les régions d'étude qui ne présentent pas de différence entre le centre-ville et la banlieue. Elle permet d'éviter la concentration des groupements dans des secteurs particuliers de la ville.

- **Contrainte sur TSS** (total sum of squares) : En planification de systèmes de transport urbain, la variation d'une variable descriptive d'une zone à une autre ne doit pas être grande. L'idéal est d'avoir la même valeur de la variable descriptive (population à l'intérieur de chaque zone, nombre de ménage, nombre de déplacements etc...) dans chacune de zones qui forment le système. Cette contrainte, par son application, garantit le minimum de variation de la ou des variables descriptives dans les zones.

- Contrainte sur les déplacements totaux : Avant chaque groupement, la valeur des déplacements totaux produits et attirés dans la zone est comparée à la capacité du réseau routier près des centroides. L'utilité de cette contrainte est d'empêcher la création de zones dont les déplacements attirés et produits dépassent la capacité du réseau, ce qui résulte en une solution irréaliste.

4.5 : LES FACTEURS DE PONDERATION :

Les deux composantes de la fonction-objectif répondent aux objectifs d'homogénéité et d'interaction formulés dans les chapitres précédents. Toutefois, l'intégration de ces deux dimensions à la fonction-objectif ne peut refléter la volonté d'un planificateur qui désire donner plus d'importance à l'une ou à l'autre des deux dimensions. Pour pallier à cet inconvénient, ZODEAG associe à chacune des deux dimensions un facteur de pondération qui, par la valeur qu'on lui accorde, peut donner plus ou moins d'importance à la dimension qui s'y associe dans la fonction-objectif.

Le facteur de pondération associé à l'homogénéité est α et celui associé à l'interaction est β. Avec cette approche, on s'assure que le planificateur possède un choix quant à l'ordre d'importance qu'il veut donner à une dimension par rapport à l'autre.

4.6 : FORMULATION MATHEMATIQUE :

La fonction-objectif ci-dessous exprime les deux dimensions retenues pour qu'elle soit calculée dans la procédure de groupement utilisée par ZODEAG.

$$Z_1 = \min\left(\alpha \frac{\Sigma \frac{W_{1a}\, W_{1b}}{W_{1a}+W_{1b}} (X_{1a} - X_{1b})^2}{SST} + \beta \frac{T_{Ab} + T_{Ba}}{T} \right)$$

avec SST = variation totale (somme des carrés) dans le système

T = la somme des déplacements dans le système zonal

α et β = les facteurs de pondération

Si par exemple $\alpha=\beta$, le même ordre d'importance sera accordé à l'homogénéité et à l'interaction dans le processus

de groupement. Dans ce cas, une augmentation de 1% dans la variation intra-zonale équivaut à une variation de 1% dans les déplacements intra-zonaux. α et β peuvent recevoir des valeurs nulles si on désire étudier des groupements résultant d'une fonction-objectif basée uniquement soit sur l'homogénéité, soit sur l'interaction.

CHAPITRE V

PROBLEMATIQUE ET OBJECTIFS

Les systèmes zonaux utilisés pour représenter les propriétés spatiales d'un espace urbain constituent la base de tous les modèles agrégés de planification des transports. Leur utilisation influence grandement la précision des résultats obtenus.

Chacun de ces modèles possède ses propres critères définissant les caractéristiques spécifiques souhaitées dans le système zonal à adopter (voir chapitre II). On peut générer une multitude de systèmes utilisables par ces modèles de planification. Toutefois, il est préférable de n'en utiliser qu'un seul. Il faut donc choisir le meilleur système zonal répondant aux exigences exprimées par les modèles de génération des déplacements, de répartition modale, de distribution et d'affectation des déplacements.

La première difficulté qui se pose devant les planificateurs est de trouver le meilleur système zonal qui satisfait un ensemble de critères définis par les modèles de planification. Ces critères se traduisent généralement par

l'adoption de variables qui expriment les conditions que le système zonal doit satisfaire. Ces variables ne possèdent pas le même ordre d'importance. Autrement dit, elles sont accompagnées de facteurs de pondération qui donnent l'opportunité aux planificateurs de définir un ordre d'importance qu'il faut associer à ces variables.

Les planificateurs ne disposent pas d'une méthodologie bien détaillée permettant d'effectuer le choix du meilleur système zonal tout en considérant une série de variables généralement accompagnées de facteurs de pondération.

L'utilisation de la procédure de groupement ZODEAG pose le même type de problème. La maximisation de l'homogénéité des populations à l'intérieur des zones et la minimisation des déplacements intra-zonaux constituent les objectifs principaux recherchés par la fonction-objectif de la procédure. Ces deux objectifs traduisent en partie les exigences des modèles de la procédure séquentielle classique dans les systèmes zonaux à adopter.

Toutefois, il existe des cas où l'importance qu'on veut accorder à un élément de la fonction-objectif n'est pas

identique à celle de l'autre. ZODEAG a alors intégré les deux facteurs de pondération qui vont permettre aux utilisateurs de la procédure de pondérer l'importance de chacune des deux dimensions de la fonction-objectif.

Cette pondération fait ressortir des difficultés quant aux limites des valeurs à accorder aux deux facteurs de pondération. L'utilisateur ne peut déterminer les valeurs limites à accorder à ces deux facteurs. Il ne sait pas comment le modèle va réagir à différentes variations de ces deux facteurs. Une étude de sensibilité reliée aux deux facteurs de pondération devient alors nécessaire. Elle nous permettra de connaître dans un premier lieu les valeurs limites à accorder aux deux facteurs de pondérations, c'est à dire à α et β. Ensuite, elle peut aider les futurs utilisateurs à savoir comment la procédure de groupement réagira à différentes variations des deux poids dans la fonction-objectif.

Ces différentes variations vont produire des systèmes zonaux utilisables comme base aux modèles mathématiques de planification. Or, tout processus de planification répond à un besoin de prédiction visant trois horizons : le court, le moyen et le long terme.

Chaque niveau de planification demande un niveau de précision différent et par conséquent, un niveau d'information différent. Il faut donc associer à chaque type de planification un système zonal qui répond à ses besoins au point de vue précision et quantité d'information retenue. ZODEAG ne peut nous fournir cette association, ce qui nous a incité à développer une méthode pour atteindre cet objectif.

En résumé, la présente recherche tente d'atteindre deux objectifs principaux :

- Déterminer comment la procédure de groupement va réagir à différentes variations des deux facteurs de pondération, associés aux deux dimensions de la fonction-objectif de ZODEAG.

- Développer une procédure permettant aux futurs utilisateurs de ZODEAG d'associer un système zonal à chaque niveau de planification: court, moyen et long terme.

CHAPITRE VI

METHODOLOGIE

La méthodologie qu'on propose de suivre pour atteindre les objectifs fixés sera formuler en quatre parties. On exposera, dans les paragraphes qui suivent chacune d'elles, et on présentera les résultats obtenus dans le dernier chapitre.

1ière PARTIE : Définition du cadre géographique de l'étude et des variables à utiliser : Après avoir pris connaissance des limites et des possibilités du logiciel ZODEAG, la première étape consiste à implanter l'ensemble des modules qui le compose, à partir d'un groupe de fichiers de base déjà disponible et validé. Ces fichiers représentent un sous-ensemble de quelques 1024 zones formant l'île de Montréal et sont issus des données recencées lors de l'enquête Origine-Destination effectuée par la Société de Transport de la Communauté urbaine de Montrèal (STCUM) en 1974.

Il s'agit donc de définir le cadre géographique de l'étude ainsi que les variables utilisées.

2ième PARTIE : étude de sensibilité des deux facteurs de

pondération: On débutera par une étude de sensibilité des deux facteurs de pondération associés à l'homogénéité et à l'interaction dans la fonction-objectif. Ceci nous permettra de connaître les réactions du modèle face à différentes variations des deux facteurs de pondération et de localiser les valeurs maximales à partir desquelles le modèle ne réagit plus à une variation de ces deux facteurs. Nous pourrons ainsi déterminer l'intervalle dans lequel la variation des deux facteurs de pondération occasionne le plus de variation du pourcetage d'accumulation de la fonction-objectif.

3ième PARTIE : Le nombre de zones à associer à chaque niveau de planification : Cette partie essayera de clarifier le processus permettant aux planificateurs de connaître de quelle façon ils peuvent associer un stade d'agrégation (nombre de zones) à chacun des trois niveaux de planification. Ce qui importe, c'est que la détermination de ce nombre de zones devra se faire en concordance avec les objectifs recherchés par l'étude et en satisfaisant les contraintes propres aux modèles de la procédure séquentielle classique enumérées dans les chapitres précédents. Il faut donc établir des critères précis qui permettent de définir le nombre de zones exactes à retenir pour chaque niveau de

planification. On peut, par exemple, évaluer la perte d'information causée par le processus de groupement et ainsi fixer des seuils, pour chaque niveau de planification, exprimant le maximum acceptable de perte d'information. La figure 6.1 représente l'évolution du niveau de perte d'information en fonction des stades d'agrégation.

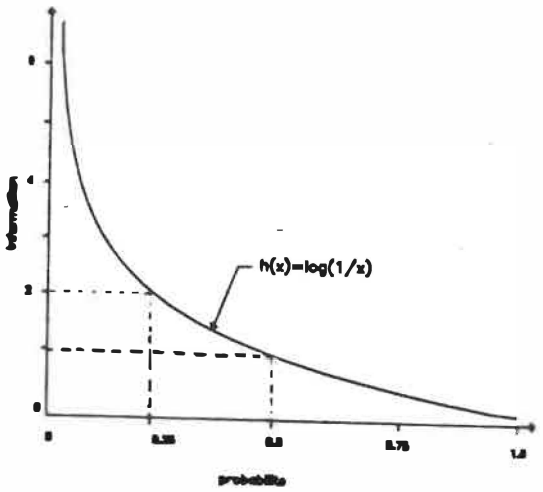


FIGURE 6.1 : PERTE D'INFORMATION EN FONCTION DES STADES D'AGREGATION.

Plus on agrège, plus on perd d'information jusqu'au niveau où il n'existe qu'une seule zone et où 100% de l'information utile est perdue. Entre l'étape où l'on dispose de n zones et celle où il n'en existe qu'une seule, on devra trouver un niveau d'agrégation qui occasionne un pourcentage de perte d'information en bas du seuil fixé et qui répond aux objectifs recherchés par l'étude.

Un autre critère, fixé par Broadbent (1970), propose de retenir 85% des déplacements pour une bonne représentation d'un modèle de distribution des déplacements (il faut se rappeler que seul les déplacements inter-zones sont comptabilisés). La figure 6.2 montre que le système initial à n zones représente 100% des déplacements.

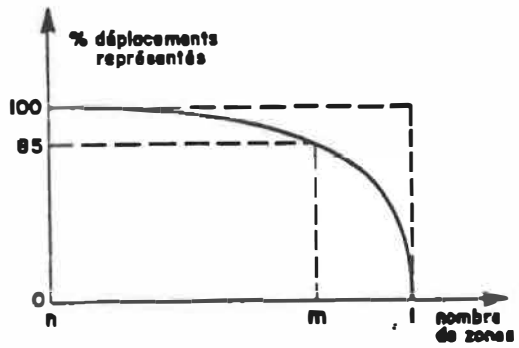


FIGURE 6.2 : PERTE D'INFORMATION SUR LES DEPLACEMENTS PAR RAPPORT AU NIVEAU D'AGREGATION.

Plus on agrège, plus on aura de déplacements intra-zonaux, donc plus de déplacements perdus. Le système à retenir est celui qui occasionne une perte maximale de 15% des déplacements totaux. On ne peut certes pas généraliser l'application de ce critère aux autres modèles de la procédure séquentielle classique. La revue de littérature ne nous a pas permis de définir des critères précis pour déterminer le nombre optimum de zones constituant un système zonal et offrant un degré de précision acceptable pour

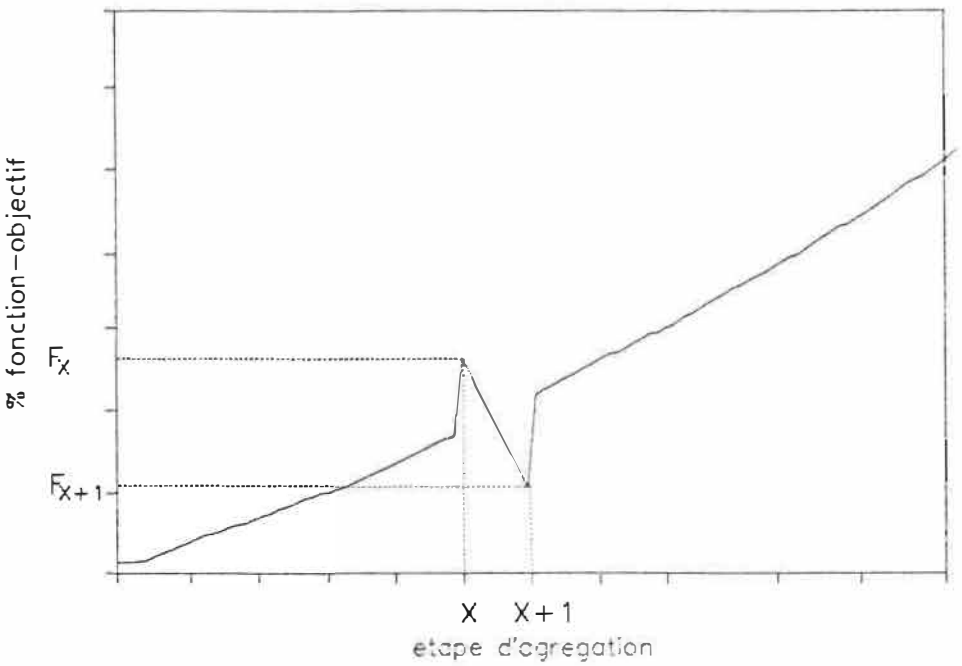


FIGURE 6.3 : EVOLUTION NON-UNIFORME DE LA FONCTION-OBJECTIF

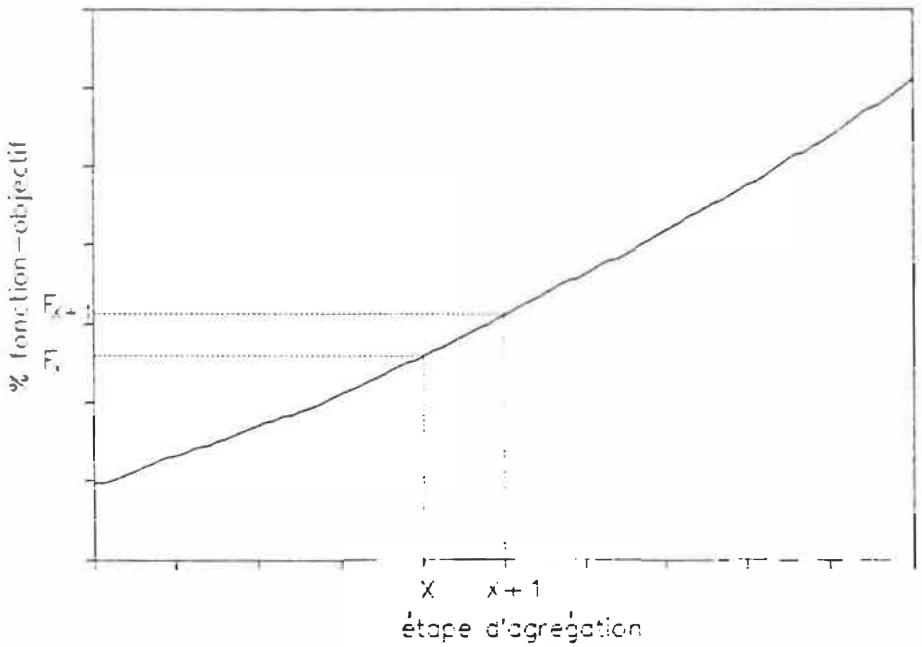


FIGURE 6.4 : EVOLUTION UNIFORME DE LA FONCTION-OBJECTIF

chaque niveau de planification.

Toutefois, la manière dont la fonction-objectif évolue le long du processus d'agrégation peut nous aider à associer un stade d'agrégation à un niveau de planification. D'une façon générale, cette évolution peut suivre deux tendances: la première est uniforme et la deuxième est non-uniforme. La difficulté de choix du stade d'agrégation diffère dans les deux cas.

Evolution non-uniforme de la fonction-objectif: Avec une évolution non-uniforme de la fonction-objectif, choisir entre l'étape X et X+1 ne peut causer de difficultés d'interprétation. La figure 6.3 montre bien que le passage de l'étape X à l'étape X+1 produit une diminution du niveau de perte d'information encourue par le groupement. Dans ces conditions, le choix est plus facile du fait qu'on retiendra le stade d'agrégation qui présente le niveau de perte d'information le moins élevé.

Evolution uniforme de la fonction-objectif: Dans le cas d'une évolution uniforme, le passage de l'étape X à l'étape X+1 engendre une augmentation du niveau de perte d'information. La figure 6.4 montre que le niveau de perte d'information croît d'une manière uniforme avec les stades

d'agrégation, ce qui rend plus difficile le choix entre les deux étapes X et X+1. Dans ces conditions, le choix devra prendre en considération le nombre de zones que le planificateur veut associer à chaque niveau de planification pour atteindre les objectifs fixés par l'étude.

La détermination du niveau d'agrégation à associer à chaque niveau de planification constitue la première étape à franchir, on obtiendra alors :

- Planification long terme-----> stade x
- Planification moyen terme-----> stade y
- Planification court terme-----> stade z

4ième PARTIE : Evaluation et différentiation des systèmes de zones: Pour pouvoir évaluer les systèmes de zones, Zodeag dispose d'un module spécial appelé DRAW, capable de traduire les fichiers de groupement (résultats du processus d'agrégation) en cartes représentant la configuration géographique des systèmes de zones. L'opérateur n'a qu'à choisir la ou les étapes à tracer et le module se charge de les traduire, avec l'aide du logiciel CALCOMP, en cartes géographiques.

Cette partie consiste donc à soumettre au module

DRAW, les étapes d'agrégation choisies afin d'obtenir les systèmes zonaux qui correspondent à chaque combinaison de α et ß retenue par l'étude de sensibilité.

Les systèmes ainsi obtenus seront analysés en trois étapes distinctes.

ANALYSE VISUELLE : Une fois tous les systèmes tracés, l'étape suivante procède à une première sélection des systèmes zonaux aptes à une future utilisation dans le processus de planification. Cette analyse se fera d'une façon visuelle. Le planificateur éliminera tous les systèmes zonaux qui possèdent des configurations géométriques ayant des anomalies au point de vue compacité. Cette première sélection permettra alors de ne retenir que les systèmes zonaux possédant un potentiel quant à une future utilisation comme système de base dans la planification des systèmes de transport urbain.

Les systèmes zonaux ainsi retenus seront soumis à deux critères de sélection, ce qui permet d'aboutir à la suggestion d'un système zonal et cela pour chaque niveau de planification. Ces deux critères font directement référence au niveau de perte d'information et au niveau de compacité.

MESURE DU NIVEAU DE PERTE D'INFORMATION : Ce critère est directement relié à la fonction-objectif de ZODEAG. Comme on l'a déjà expliqué, la fonction-objectif de ZODEAG est composée de deux éléments. Le premier mesure le niveau d'homogénéité des populations à l'intérieur des zones et le deuxième, le niveau d'interaction entre les zones. A son état initial, l'information dans le système est complète. Mais, plus on agrège, plus la quantité d'information restante diminue. Lorsqu'on atteint le stade d'agrégation le plus avancé du processus de groupement, c'est-à-dire lorsque le système n'est composé que d'une seule zone, la perte d'information est totale. Cette mesure est traduite par le pourcentage d'accumulation de la fonction-objectif lors du processus de groupement. A chaque étape d'agrégation, ZODEAG nous donne le pourcentage d'accumulation de la fonction-objectif et par conséquent, nous renseigne sur le niveau de perte d'information encourue par ce groupement. Chaque combinaison de α et β produit un système différent et par conséquent, cause une perte d'information différente. On compare alors le niveau de perte d'information encourue par chaque système. Celui qui occasionne le minimum de perte d'information est celui qui répond le mieux à ce critère.

MESURE DU NIVEAU DE COMPACITE : Un système zonal est composé de plusieurs zones. Chaque zone possède un

indice de forme qui reflète son niveau de compacité. Le calcul de l'indice de forme d'une zone se fait par le biais de la formule suivante :

$$F = \frac{R}{2} \quad \frac{Per}{A} \qquad \text{(formule 1)}$$

avec :
- **R** ------> rayon de la zone.
- **Per** ------> périmètre de la zone.
- **A** ------> surface de la zone.

Le module DRAW de la procédure ZODEAG nous fourni la surface, le périmètre et la circonférence de chaque zone. Pour pouvoir calculer l'indice de forme de chaque zone, il nous manque la valeur de R (rayon). Pour la trouver, il faut déterminer le plus long segment à l'intérieur de la zone. Cela se calcule suivant la formule mathématique suivante :

$$d^2_{max} = \max \{ (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \}$$

$i = 1.....(n-1)$ et pour chaque i, choisir j $\quad j=(i+1).....n$

avec
- **x,y** : coordonnées cartésiennes.
- **i** : un point donné du polygone (zone).
- **j** : tout les autres points du polygone (zone).

Une fois d^2_{max} trouvé, le rayon se calcule

de la façon suivante :

$$R_{min} = (d^2_{max})^{1/2} / 2$$

On remplace R par sa valeur dans la formule 1 et on en mesure de déterminer l'indice de forme de la zone est en question.

Pour déterminer le degré de compacité de tout le système, il faut appliquer une sommation sur tous les indices de forme des zones qui le compose.

$$DC = \sum_{i=1}^{n} F_i$$

où n est le nombre de zones dans le système.

Le meilleur système est celui qui offre le degré de compacité DC le plus bas.

La combinaison des deux critères nous donnera une idée du meilleur système à utiliser pour le type de planification en question. L'idéal est d'avoir un système qui génère le minimum de perte d'information tout en ayant le meilleur degré de compacité. Cette constatation n'est cependant pas toujours vraie et il peut arriver que le

système qui offre le minimum de perte d'information ne soit pas le plus compact. Dans cette situation, le planificateur porte son choix en concordance avec les objectifs recherchés par son étude.

CHAPITRE 7

LES DONNEES

ZODEAG utilise différents types de données. Elles sont divisées en deux catégories. La première définit le cadre géographique de l'étude et la deuxième présente les paramètres propres au modèle de groupement.

7.1 : DONNEES DU SYSTEME DE ZONES A L'ETUDE :

7.1.1 : CADRE GEOGRAPHIQUE : La méthodologie a été appliquée à la ville de Montréal, CANADA, en utilisant les données recueillies lors de l'enquête Origine-Destination effectuée par la Société de Transport de la Communauté Urbaine de Montréal (STCUM) en 1974. Le système est constitué de 522 zones, un sous-ensemble des 1024 zones initiales de l'enquête (figure 7.1). La structure des données du découpage zonal comporte quatre niveaux: un premier définissant chaque zone par des polygones, un second définissant chaque polygone par des segments, un troisième définissant chaque segment par des points et le dernier définissant chaque point par des coordonnées cartésiennes.

7.1.2 : Les déplacements : La matrice de

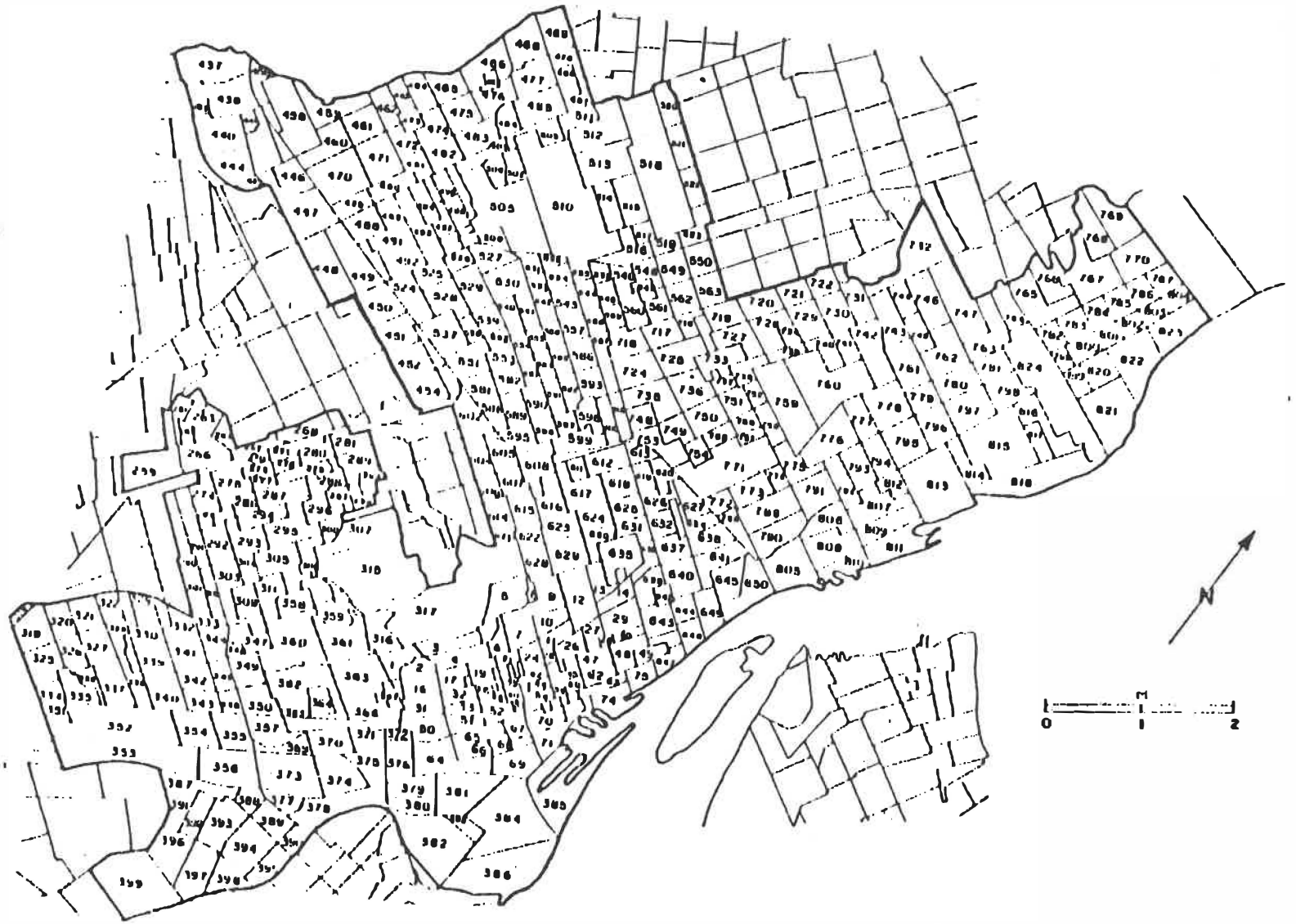


FIGURE 7.1 : LES 522 ZONES DE LA VILLE DE MONTREAL.

déplacements retenue pour l'étude est celle des déplacements effectués en automobile pour motif de travail aux heures de pointe. Ces informations sont nécessaires pour le calcul du deuxième élément de la fonction-objectif: le pourcentage de déplacements intra-zonaux et aussi pour le calcul du nombre de déplacements induits et produits par zone lors de l'application optionnelle de la contrainte sur les déplacements.

7.1.3 : Les données socio-économiques : Les données socio-économiques sont extraites de la banque de données constituée à partir de l'enquête O-D de 1974. Des données concernant les ménages ont été utilisées, à savoir le nombre de personnes par ménage, la distribution d'âge, le nombre d'automobiles par ménage et des informations concernant la fréquence des déplacements pour motif de travail, magasinage, loisir et autres. Après normalisation, ces variables ont été soumises à une analyse factorielle afin d'éliminer les variables sur-représentées et d'éliminer la redondance des variables entre elles.

Huit facteurs ont été retenus (tableau 7.1) qui représentent 92% de la variation contenue dans les variables initiales. L'étude de la relation entre les variables

initiales et les facteurs a permis de constater que :

- Le statut familial englobe trois facteurs reliés aux variables: AGE65HH[1], PERSHH et MASCPOP.
- Le statut socio-économique englobe deux facteurs reliés aux variables: CAR2HH et HHACRE.
- Le comportement de déplacement englobe trois facteurs reliés aux variables: WORKTHH, STUDYTHH et OTHERTHH.

TABLEAU 7.1 Proportion de la variation totale expliquée par les facteurs pour les 522 zones.

facteur	variation expliquée	% cumulatif
1	3.407	28.4 %
2	1.912	44.3 %
3	1.525	57.0 %
4	1.044	65.7 %
5	0.955	73.7 %
6	0.850	80.8 %
7	0.796	87.4 %
8	0.536	91.9 %
9	0.403	92.2 %
10	0.293	97.7 %
11	0.293	97.7 %
12	0.040	100. %

7.2 : LES PARAMETRES UTILISES PAR LE MODELE :

Zodeag utilise différents paramètres qui peuvent

[1] sens des abréviations disponible à l'annexe B.

avoir différentes valeurs dépendamment des objectifs recherchés par l'analyste. C'est la précision des valeurs à allouer à ces paramètres qui nous incite à inclure cette partie dans la présente recherche. On précisera dans un premier lieu les fichiers de données nécessaires au processus de groupement pour ensuite enchaîner avec le choix de ou des contraintes à intégrer au modèle.

7.2.1 : Les fichiers de données : ZODEAG utilise quatre fichiers principaux :

a) Fichier des frontières : Ce fichier définit les frontières des zones sous forme de segments liés entre eux pour former des polygones. Un segment est défini comme étant une frontière entre deux polygones ou entre un polygone et un littoral. Le fichier des frontières (FRONT) est structuré de la façon suivante :

Polygone A, Polygone B, nombre de points, liste des points (le nombre maximum de points ne devra cependant pas dépasser dix).

b) Fichier de coordonnées cartésiennes : Chaque point du fichier FRONT possède des coordonnées X,Y enregistrées dans un fichier appelé COORD.

c) fichier des déplacements : Le fichier du nombre de déplacements entre chaque paire de zones est produit sous forme de liste liée et enregistrée dans un fichier binaire appelé TRIP.

d) fichier des données socio-économiques: Appelé SOCIO, ce fichier est le résultat de l'analyse factorielle effectuée sur les données brutes et expliquée dans les paragraphes précédents.

7.2.2 : Contrainte(s) utilisée(s) : L'objectif de ce travail est en partie de mesurer la sensibilité des deux facteurs de pondération liés aux deux composantes de la fonction-objectif. L'utilisation des contraintes optionnelles (nombre limite des déplacements, égalité des dimensions et l'agrégation deux par deux) ne devrait pas influencer les résultats. Toutefois, l'effet de l'application de la contrainte de forme devra être testé afin de prendre une décision quant à son intégration au processus de groupement.

On a donc fourni à Zodeag deux cas : le premier cas est un système de zones dont le groupement sera basé sur une fonction-objectif sans contrainte de forme. Le deuxième cas

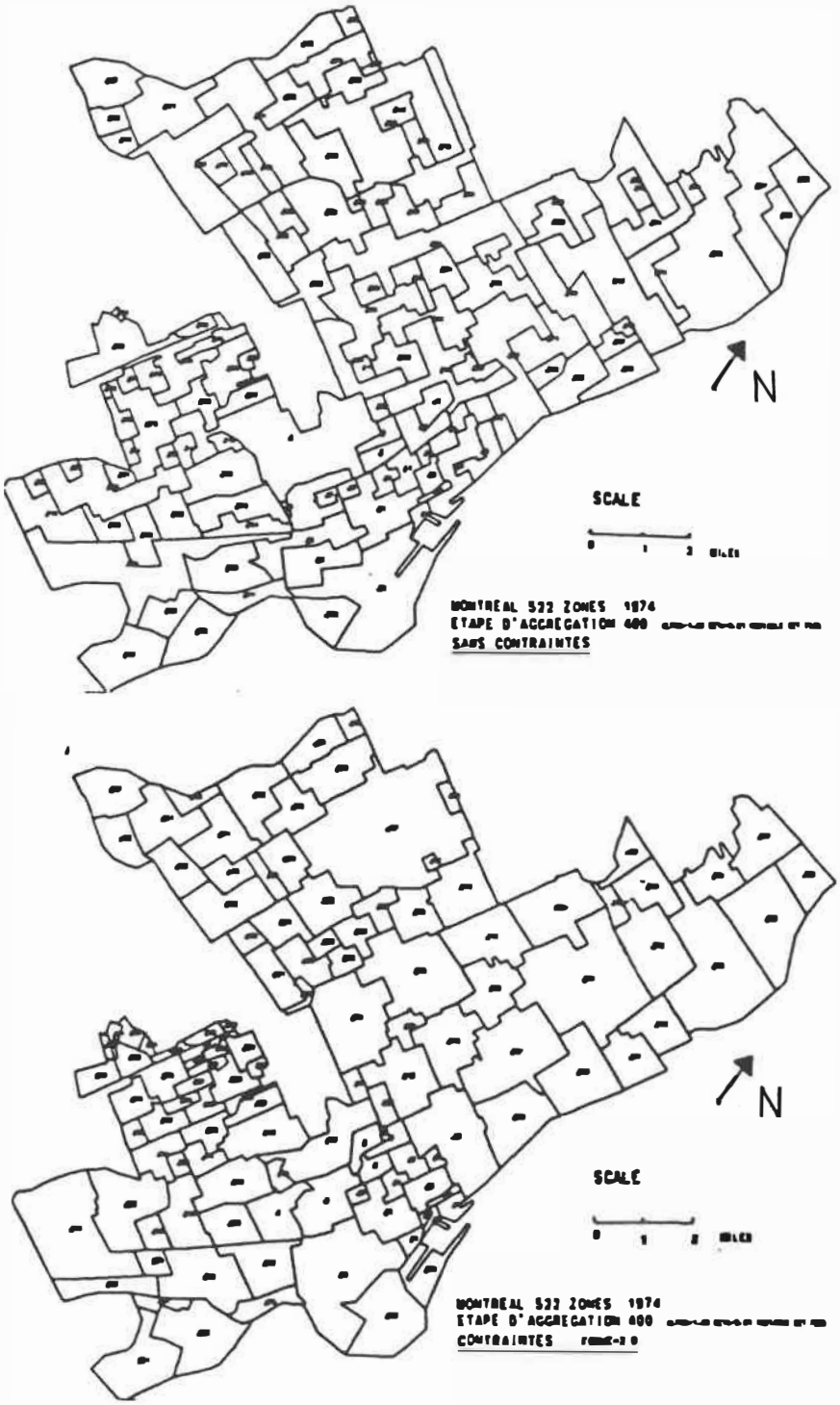


FIGURE 7.2 : ETAPE 400 AVEC ET SANS CONTRAINTE DE FORME.

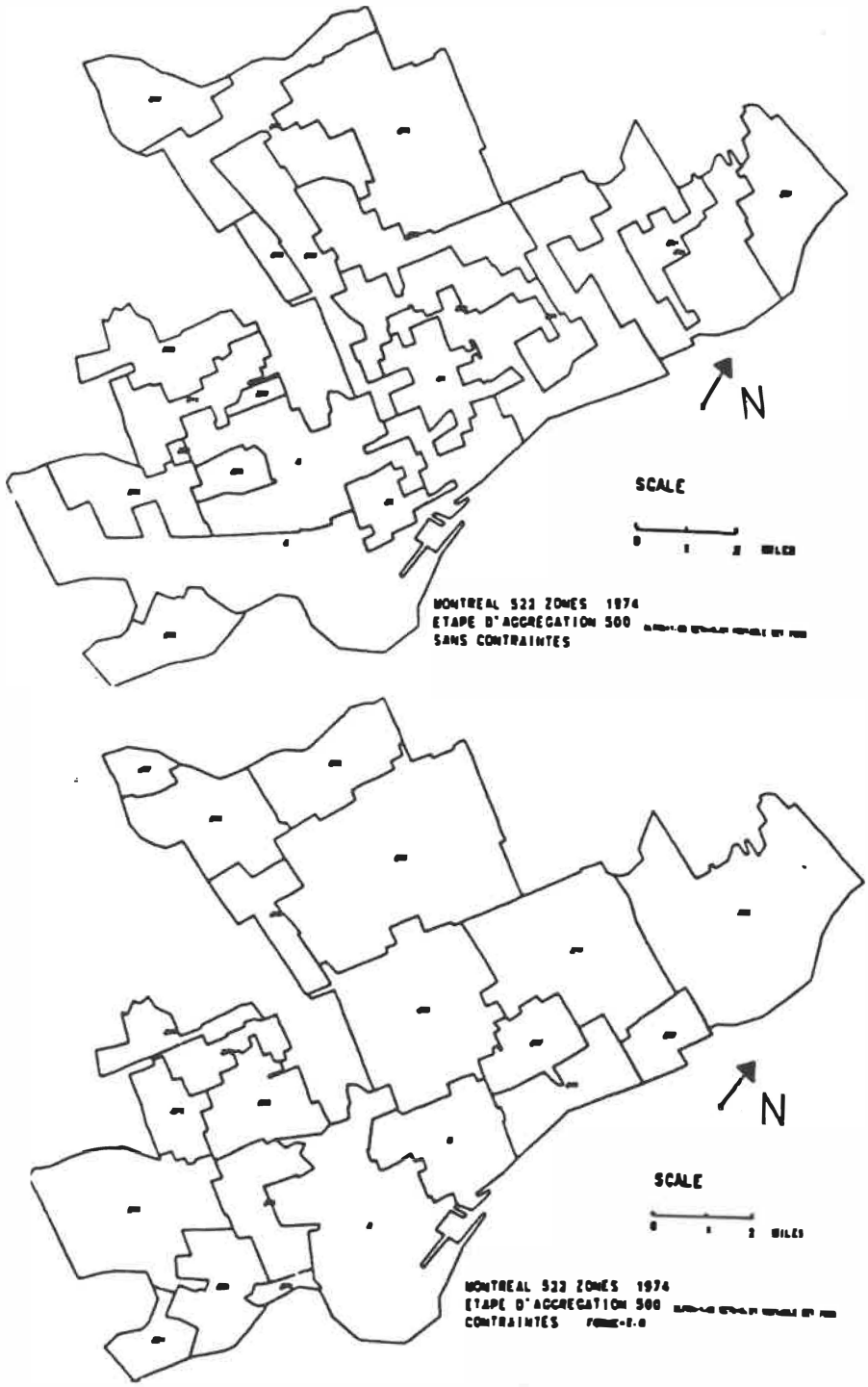


FIGURE 7.3 : ETAPE 500 AVEC ET SANS CONTRAINTE DE FORME.

est le même système de zones initial mais qui intègre une contrainte de forme à la fonction-objectif. Ceci nous permettra d'évaluer l'impact de l'utilisation de la contrainte de forme sur les résultats obtenus.

Les deux figures 7.2 et 7.3 nous montrent les systèmes de zones obtenus. Chaque figure est composée de deux cartes qui représentent la même étape d'agrégation avec et sans contrainte. La première figure représentant l'étape 400 montre deux systèmes de zones ayant des configurations géométriques très différentes. Le système sans contrainte montre des lacunes qui l'empêchent d'être considéré comme un système utile dans la planification des systèmes de transport urbain. On peut ainsi remarquer l'existence de plusieurs zones dont le centroide est en dehors de la zone. Cela génère de grandes difficultés pour son utilisation surtout par les modèles d'affectation des déplacements. De plus, la configuration géométrique de ces zones montre des handicaps au point de vue compacité. Par contre, l'intégration de la contrainte de forme corrige ces malformations, et génère par conséquent un système de zones assez compact. C'est ce qu'on peut remarquer dans les cartes au bas des deux figures 7.2 et 7.3 .

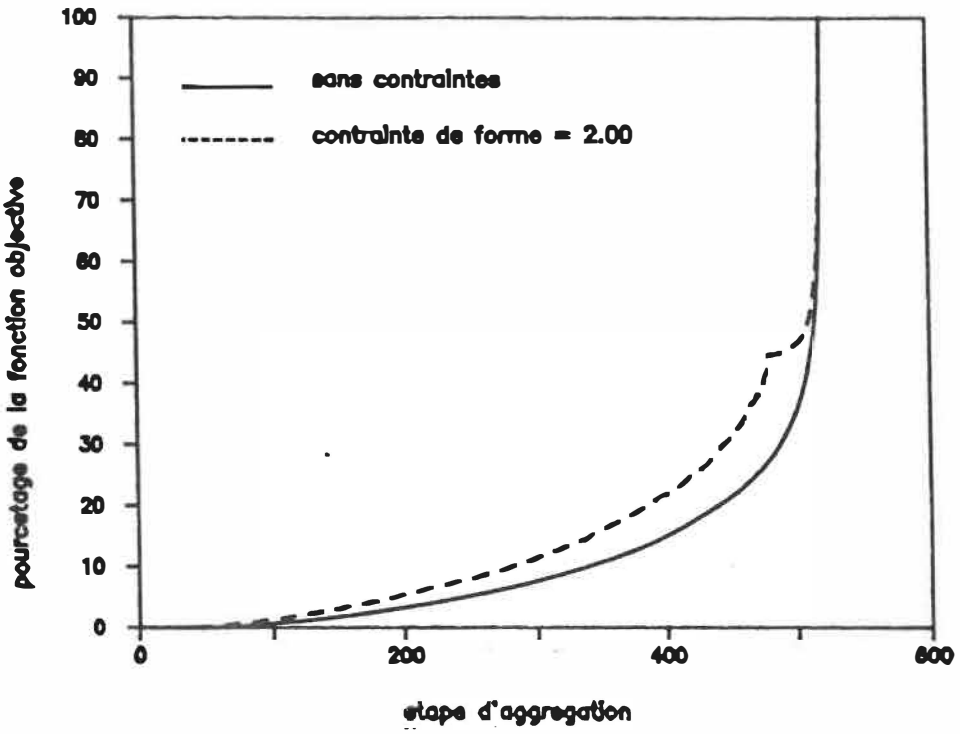


FIGURE 7.4 : ACCUMULATION DE LA FONCTION-OBJECTIF POUR LES SYSTEMES AVEC ET SANS CONTRAINTE DE FORME.

Les changements par rapport à la procédure sans contrainte sont très visibles; cette contrainte devrait donc être utilisée dans notre analyse. Mais l'intégration de la contrainte de forme cause une augmentation de la perte d'information. En analysant le graphique 7.4, on remarque que la fonction-objectif représentant le système sans contrainte occasionne moins de perte d'information que celle représentant le système avec contrainte. L'ajout d'une contrainte à la fonction-objectif restreint certains groupements ce qui occasionne une augmentation du niveau de perte d'information.

On remarque aussi, pour la courbe montrant l'évolution de la fonction-objectif avec contrainte de forme, une brisure dans son accroissement monotone. Cette brisure correspond au relâchement de la contrainte. Ce changement de pente montre que le modèle, à l'étape x, ne peut plus satisfaire la contrainte de forme et que le processus de groupement continuera mais en la relaxant.

La procédure de groupement sans aucune contrainte ne peut être utile pour mener à terme cette recherche et ne nous permettra pas d'atteindre nos objectifs. Ces résultats

confirment la discussion théorique abordée aux chapitres précédents selon lesquelles l'intégration d'une contrainte de forme est très importante dans le processus d'agrégation zonal.

La valeur de l'indice à associer à la contrainte de forme doit toutefois, subir une calibration. Il faut donc trouver une méthode appropriée pour effectuer cette calibration. Le module CALIFO de la procédure de groupement ZODEAG s'avère un outil efficace pour résoudre ce problème. Il détermine le critère reflétant la limite acceptable quant à la compacité de la forme des zones. Pour déterminer cette limite, appelée Fcrit, l'analyste choisit au hasard plusieurs paires de zones adjacentes. Cette selection peut se faire à l'aide du rapport du module CONTROL qui fournit la liste des zones adjacentes. Pour chaque paire de zones, l'analyste détermine si la forme qui découle du groupement de ces deux zones est acceptable ou non : elle est acceptable s'il considère que la nouvelle zone est suffisamment compact.

Exemple :

L'algorithme calcule alors la valeur de la forme appelé Fcalc et fixe la valeur Fcrit à 1.00 . Si la valeur de la forme Fcalc est supérieure à Fcrit, l'algorithme rejette cette forme quant à cette valeur de Fcrit sinon, il accepte la forme. La décision de l'analyste quant à l'acceptation de la forme de la paire de zones est comparée à celle de l'algorithme. Si elles sont différentes, le nombre de désaccord (MIS) pour cette valeur Fcrit est incrémenté de 1. Le processus est repris pour cette même paire de zones aprês avoir incrémenté Fcrit de 0.1, ainsi de suite jusqu'à 3.00, puis pour 999. Lorsque la valeur de la forme Fcalc sera inférieure ou égale à Fcrit, l'algorithme acceptera la forme.

Après avoir considéré toutes les paires de zones fournies par l'analyste, le programme imprime un graphique représentant le nombre de désaccords pour chaque valeur de Fcrit. La limite acceptable quant à l'indice à utiliser est représentée par le nombre minimum de désaccord.

En ce qui concerne notre expérimentation, le minimum de désaccord (figure 7.5) entre le Fcrit et le Fcalc se situe à 2.00. Cette valeur sera donc utilisée comme indice de forme dans la procédure de groupement Zodeag.

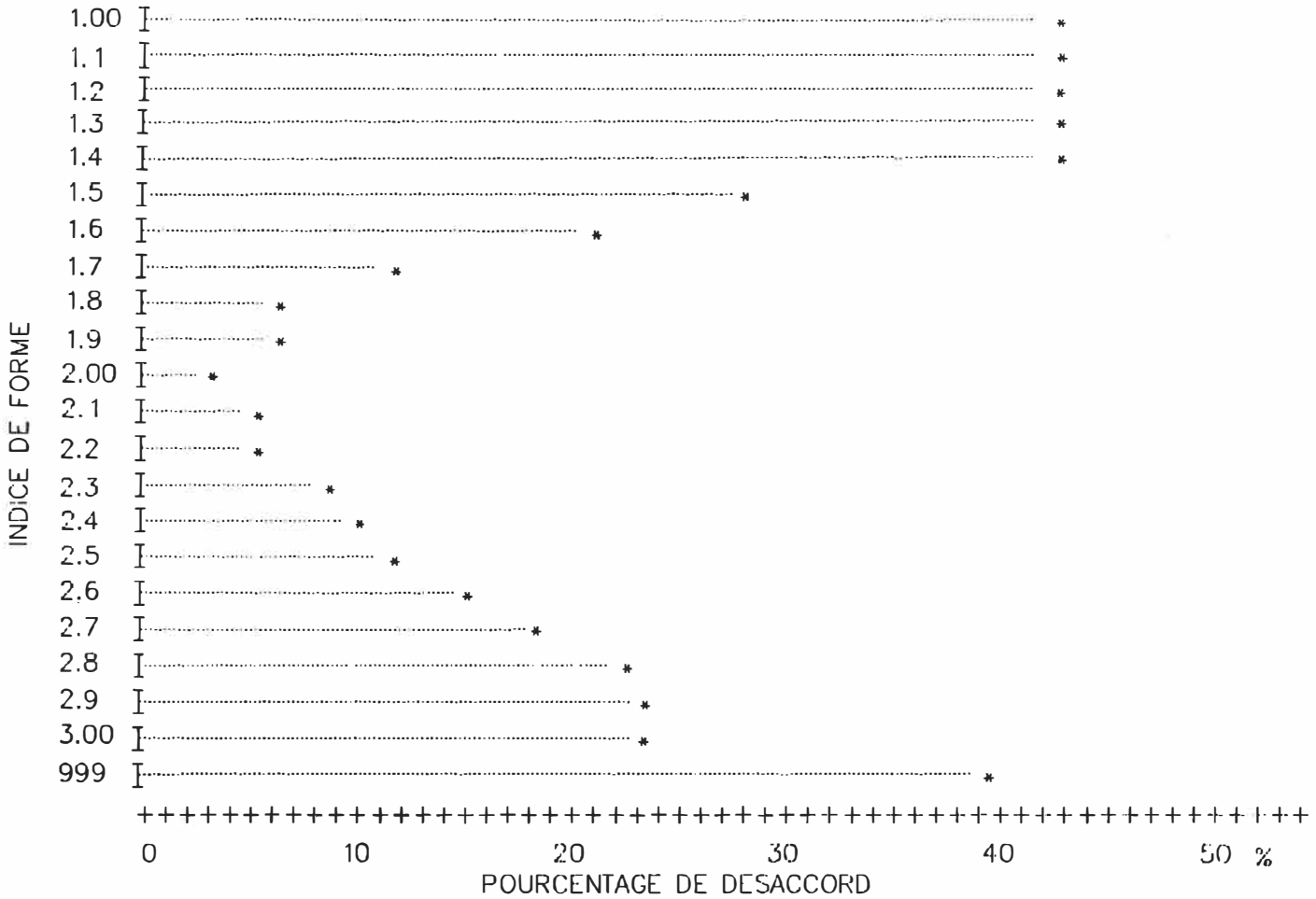


FIGURE 7.5 : LE POURCENTAGE DE DESACCORD ENTRE LA VALEUR CHOISIE ET LA VALEUR CALCULEE DE L'INDICE DE FORME

CHAPITRE VIII

APPLICATION DE LA METHODOLOGIE PROPOSEE ET ANALYSE DES RESULTATS

Dans le but d'illustrer la capacité de produire des groupements par le logiciel ZODEAG et d'analyser l'effet de la variation des paramètres utilisés par la fonction-objectif, on a utilisé un système de 522 zones tel que décrit dans les chapitres précédents. Les paramètres de bases (α et β) de la procédure de groupement sont reliés à la fonction-objectif et permettent d'allouer différents poids aux deux dimensions qui la composent. Les deux dimensions, comme on l'a déjà expliqué, font référence aux notions d'homogénéité et d'interaction. L'étude de sensibilité se fera en deux parties qui correspondent aux deux dimensions de la fonction-objectif. Avant d'effectuer cette étude de sensibilité, il serait intéressant de connaître les bornes supérieures et inférieures de l'intervalle d'étude de chaque composante.

8.1 : LES VALEURS LIMITES DE α ET β :

On doit établir les valeurs au delà desquelles une

variation du poids de chaque composante n'aura aucun effet sur le processus de groupement et principalement sur le niveau de perte d'information. Autrement dit, la variation du poids relatif à chaque composante sera étudiée avec des incréments prédéfinis afin de connaître d'une façon sommaire le comportement de la fonction-objectif. On analysera par la suite le niveau de perte d'information causée par ces variations pour ainsi connaître l'intervalle d'étude du facteur de pondération de la dimension en question.

8.1.1 : Le cas de ß : Pour déterminer la valeur maximale qu'on peut allouer à ß dans la fonction-objectif, on a suivi le processus décrit ci-dessous pour les trois valeurs de α soit 0.10, 1.00 et 2.00 :

(i) $\alpha_1 = 0.10$, $\alpha_2 = 1.00$, $\alpha_3 = 2.00$

(ii) ß = 0.01 , i = 0.01 (incrémentation)

(iii) exécution de ZODEAG avec α_1=0.01 et ß=0.01

" " " " " " ß=ß+i

On compare les deux courbes représentant l'évolution de la fonction-objectif. S'il n'y a pas de changement dans le niveau de perte d'information, on va à (iv) sinon on augmente ß par

i et on effectue une comparaison entre les fonctions-objectifs des deux dernières exécutions.

(iv) α_2=1.00

exécution de ZODEAG avec α_2=1.00 et β=0.01

" " " " " " $\beta=\beta+0.01$

on effectue le même test qu'en (iii)

(v) α_3=2.00

exécution de ZODEAG avec α_3=2.00 et β=0.01

" " " " " " $\beta=\beta+i$

on effectue le même test qu'en (iii).

Les résultats obtenus sont analysés à l'aide de l'évolution de la fonction-objectif. On a choisi quelques étapes d'agrégation au hasard pour pouvoir comparer l'évolution de la fonction-objectif. Le tableau 8.1 montre l'évolution de la fonction-objectif pour cinq différentes combinaisons de α et β.

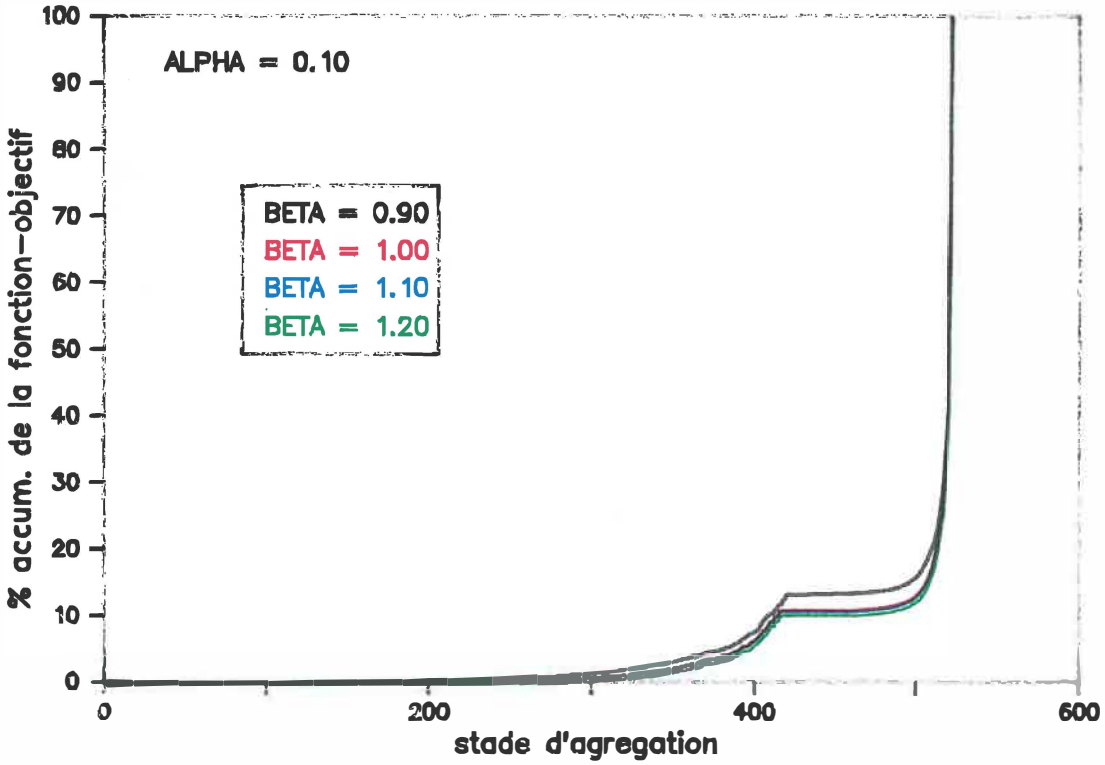


FIGURE 8.1 : EVOLUTION DE LA FONCTION-OBJECTIF POUR LES VALEURS EXTREMES DE BETA.

TABLEAU7 8.1 : Pourcentage d'accroissement de la fonction-objectif pour différentes combinaisons de α et ß (α =0.10 et ß varie de 0.9 à 1.30).

	α=0.10				
étape d'agrég.	ß=0.9	ß=1.00	ß=1.10	ß=1.20	ß=1.30
120	0.57	0.42	0.42	0.42	0.42
250	2.83	2.04	2.03	2.03	2.03
360	8.91	7.71	7.70	7.70	7.70
420	16.15	16.05	16.05	16.05	16.05

On observe que le passage de ß de 0.9 à 1.00 génère une diminution de la valeur de la fonction-objectif. Toutefois, la variation de ß de 1.00 à 1.30 n'a aucun effet sur le pourcentage d'accumulation de la fonction-objectif. La variation de la valeur de α (0.10 à 1.00 et à 2.00, voir tableaux A.1 et A.2 de l'annexe A), produit le même effet. L'analyse de l'évolution de la fonction-objectif le long des 521 étapes d'agrégation (figure 8.1) montre que le niveau de perte d'information occasionné par ß=0.90 n'est pas identique aux autres courbes, qui elles, sont superposées. Cela démontre que la valeur maximale qu'on peut allouer à ß dans le processus d'agrégation ne doit pas dépasser 1.00 et que toute valeur qui lui est supérieure ne produit pas d'effet sur le niveau de perte d'information lors du processus de groupement.

8.1.2 : Le cas de α : La même procédure est appliquée pour connaître la valeur limite à accorder à α. On a alors retenu trois valeurs pour β soit 0.01, 0.10 et 1.00

(i) $\beta_1 = 0.01$, $\beta_2 = 0.10$, $\beta_3 = 1.00$

(ii) $\alpha = 0.10$, i = 0.1 (incrément)

(iii) exécution de ZODEAG avec α=0.10 et β_1=0.01

" " " " α=0.10+i et β_1=0.01

On compare l'évolution des deux fonctions-objectifs. S'il n'y a pas de changement, on va à (iv) sinon on augmente α de i et on effectue une comparaison entre les fonctions-objectifs des deux dernières exécutions.

(iv) β_2=0.10

exécution de ZODEAG avec α=0.10 et β_2=0.10

" " " " α=0.10+i et β_2=0.10

on effectue le même test qu'en (iii)

(v) β_3=1.00

exécution de ZODEAG avec α=0.10 et β_3=1.00

" " " " α=0.10+i et β_3=1.00

on effectue le même test qu'en (iii).

Le tableau 8.2 montre l'évolution de la fonction-objectif à cinq étapes d'agrégation choisie au hasard et

ceci pour quatre différentes combinaisons de α et β.

On remarque alors qu'une variation de α de 1.90 à 2.00 produit une augmentation du pourcentage d'accumulation de la fonction-objectif. Toutefois, le passage de α de 2.00 à 2.3 n'a aucun effet sur la fonction-objectif et la variation dans la configuration des zones est minime. Même un changement de la valeur de β (voir tableaux A.3 et A.4 de l'annexe A) n'affecte en rien cette observation. Si on

TABLEAU 8.2 : Pourcentage d'accumulation de la fonction-objectif pour différentes combinaisons de α et β (β=0.01 et α varie de 1.9 à 2.30).

	β=0.01				
étape d'agrég.	α=1.9	α=2.00	α=2.10	α=2.20	α=2.30
135	1.50	1.39	1.39	1.39	1.39
260	6.85	6.70	6.70	6.70	6.70
310	11.06	9.54	9.53	9.53	9.53
412	21.99	19.90	19.90	19.90	19.90

analyse l'évolution de la fonction-objectif tout au long des 521 étapes d'agrégation, on peut voir dans la figure 8.2 que la courbe représentant α=1.90 se détache des autres. Ces dernières sont pratiquement superposées, ce qui nous conduit à conclure que la valeur limite à accorder à α dans le processus de groupement ne doit pas dépasser 2.00.

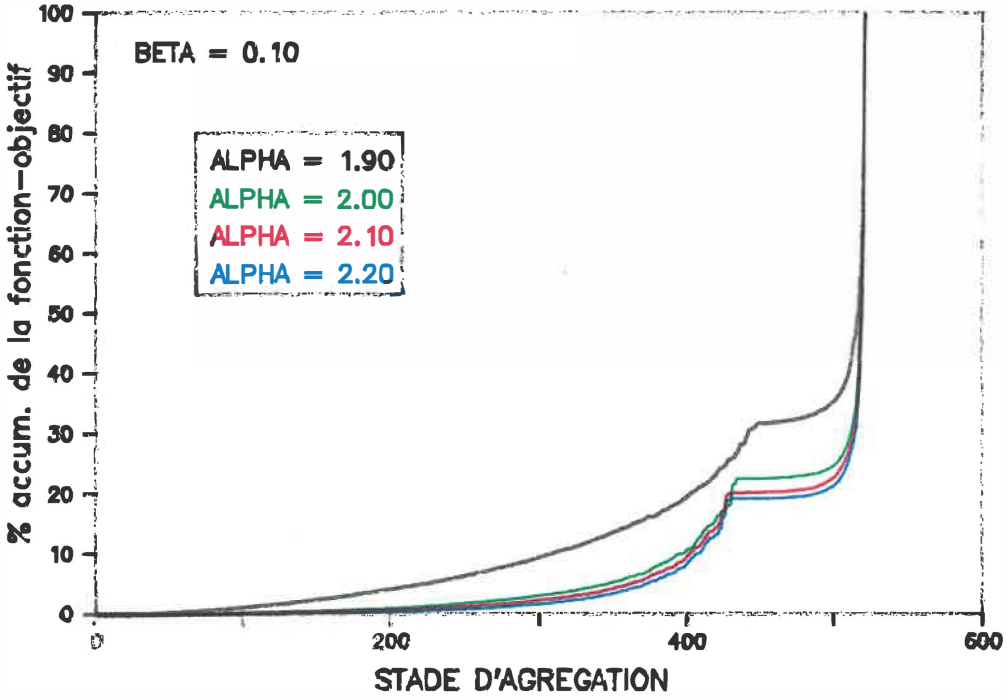


FIGURE 8.2 : EVOLUTION DE LA FONCTION-OBJECTIF POUR LES CAS EXTREMES DE ALPHA.

8.2 : LA SENSIBILITE DES DEUX FACTEURS DE PONDERATIONS α ET ß :

La détermination des valeurs limites des deux facteurs de pondération nous a permis de produire le tableau III qui présente les valeurs retenues pour l'étude de sensibilité des deux facteurs de pondérations. Ainsi, on aura à exécuter une centaine de combinaisons avec différentes valeurs de α et ß pour mieux connaître l'effet de la variation de chaque facteur de pondération sur la procédure de groupement ZODEAG.

Toutefois, l'analyse des résultats obtenus suite à ces exécutions ne tiendra compte que de trois valeurs de chaque facteur de pondération, ceci dans le but de mieux visualiser le comportement des deux facteurs de pondération le long du processus d'agrégation.

8.2.1 : La sensibilité de α : L'intervalle d'étude de cette composante de la fonction-objectif est [0.1 , 2.00]. L'incrément se fera par pas de 0.1, ce qui nous donne une vingtaine de valeurs à étudier. On étudiera le comportement du poids de l'homogénéité dans deux intervalles,a savoir l'intervalle [0.10,1.00] et l'intervalle [1.00,2.00]. L'analyse de la variation de la

valeur de α dans chaque intervalle se fera avec l'aide de trois valeurs de β : 0.01 , 0.10 et 1.00 .

La figure 8.3 montre que lorsqu'on fixe β à une des trois valeurs mentionnées ci-haut, la variation de α a pour principal effet une distribution non-proportionnelle du niveau de perte d'information. Autrement dit, le niveau de perte d'information encourue lorsqu'on fait varier α de 0.10 à 1.00 n'est pas identique à celui découlant d'une variation de α de 1.00 à 2.00. Les figures 8.3, 8.4 et 8.5 montrent effectivement que le niveau de perte d'information est plus grand lorsqu'on fait varier α de 0.1 à 1.00 que celui découlant de la variation de α de 1.00 à 2.00. Le changement de la valeur de β n'affecte pas la validité de cette constatation. Ceci nous permet de dire que l'homogénéité est plus sensible à une variation de son poids dans l'intervalle [0.1,1.00] que dans l'intervalle]1.00,2.00].

La variation du poids accordé à l'homogénéité dans la fonction-objectif a un effet sur les systèmes de zones produits par la procédure de groupement. On a retenu deux étapes d'agrégation qui vont nous permettre de visualiser les conséquences de cette variation. Ces comparaisons nous ont permis de constater que :

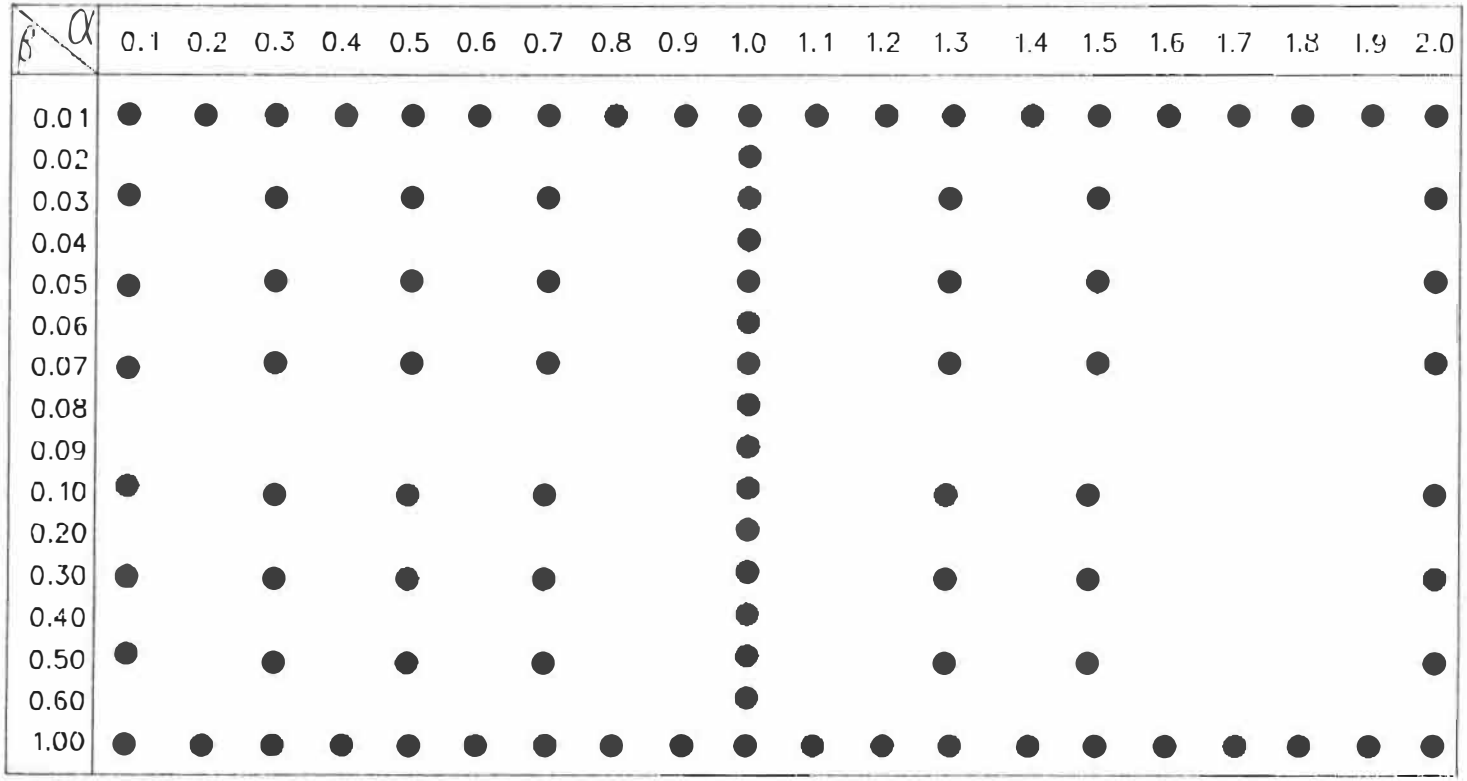


TABLEAU III : VALEURS RETENUES POUR L'ETUDE DE SENSIBILITE DES DEUX DIMENSIONS DE LA FONCTION-OBJECTIF

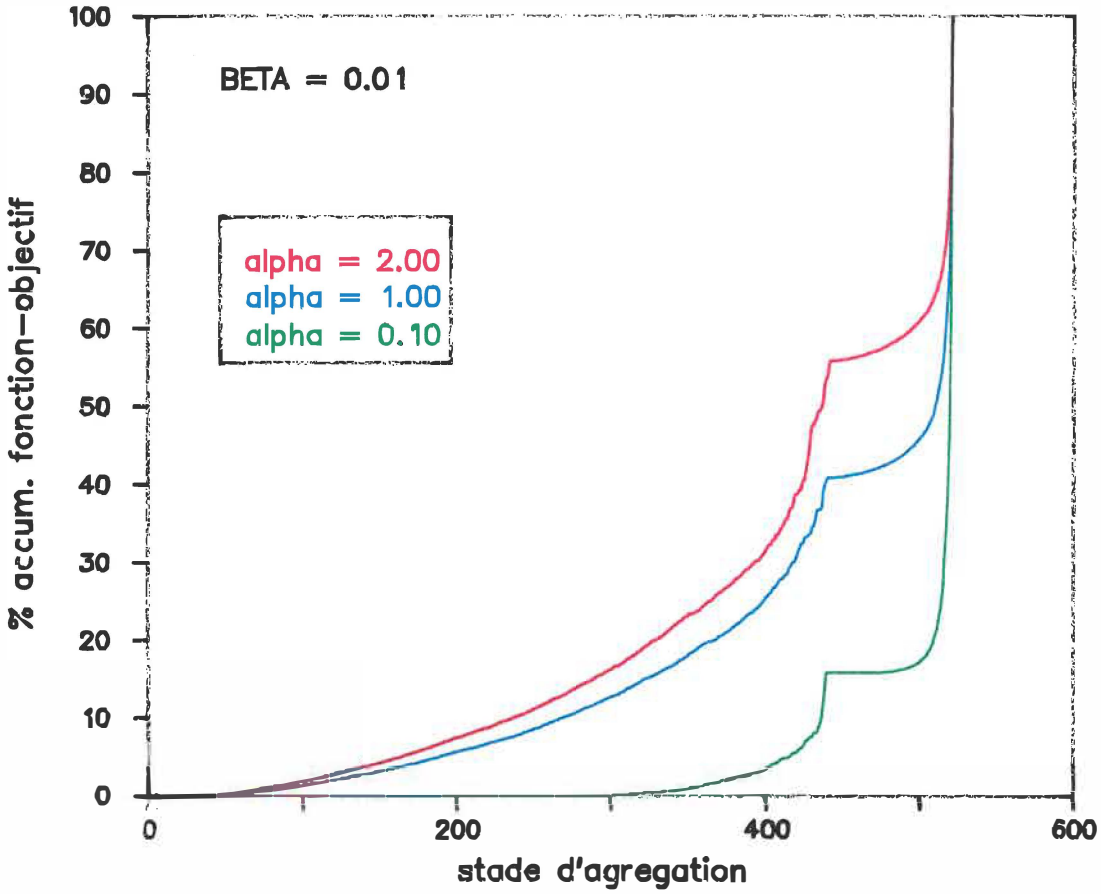


FIGURE 8.3 : EVOLUTION DE LA FONCTION-OBJECTIF AVEC BETA=0.01 ET ALPHA=2.00, 1.00 ET 0.10

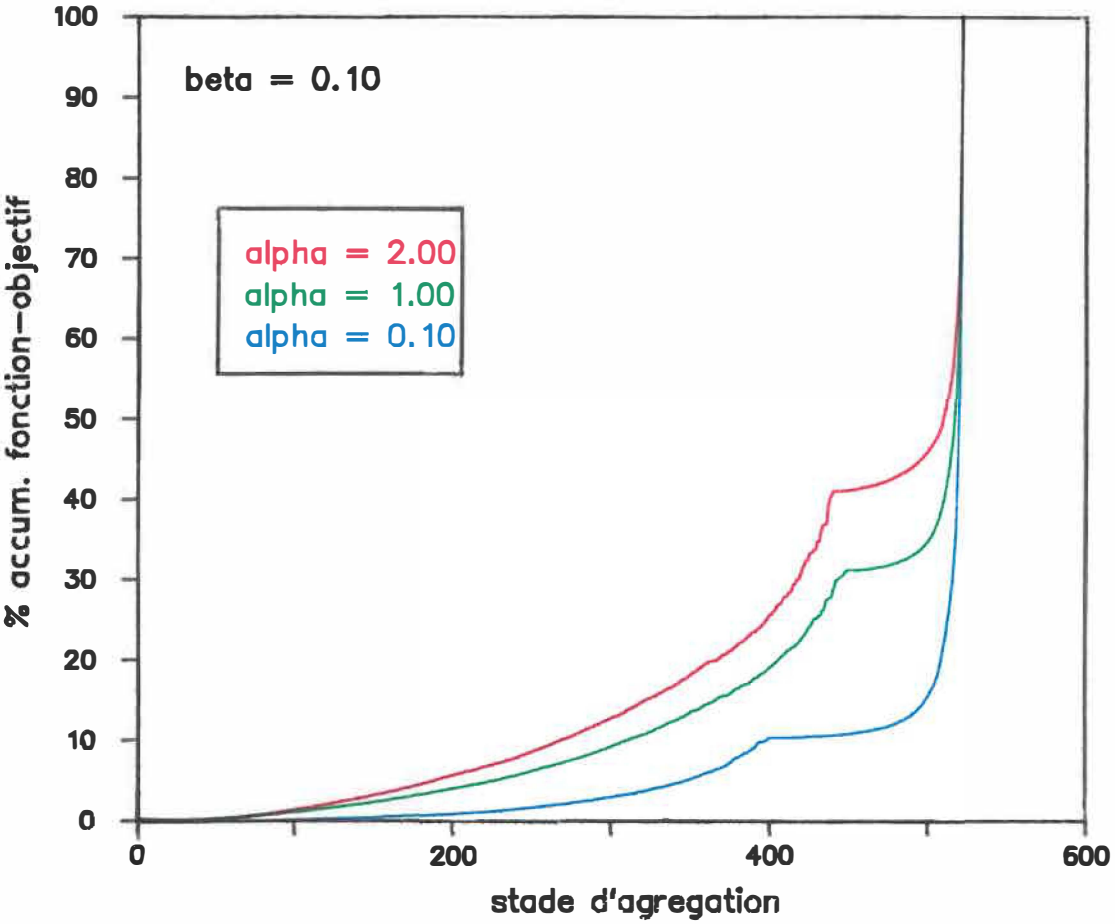


FIGURE 8.4 : EVOLUTION DE LA FONCTION-OBJECTIF AVEC BETA=0.10 ET ALPHA=2.00, 1.00 ET 0.10

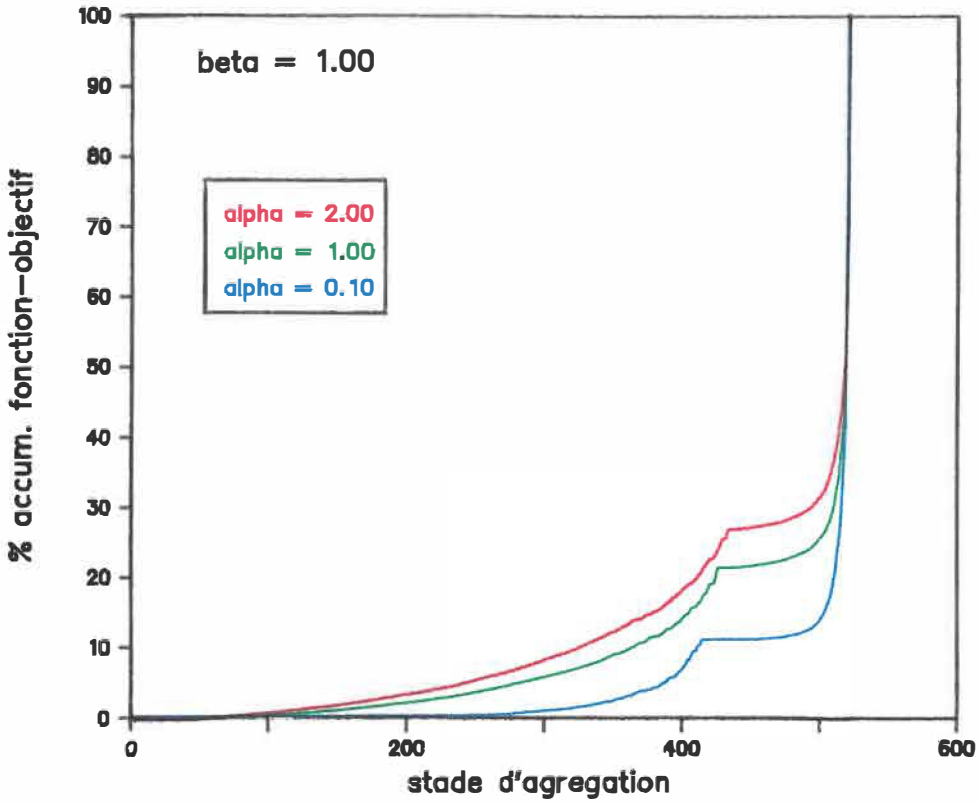
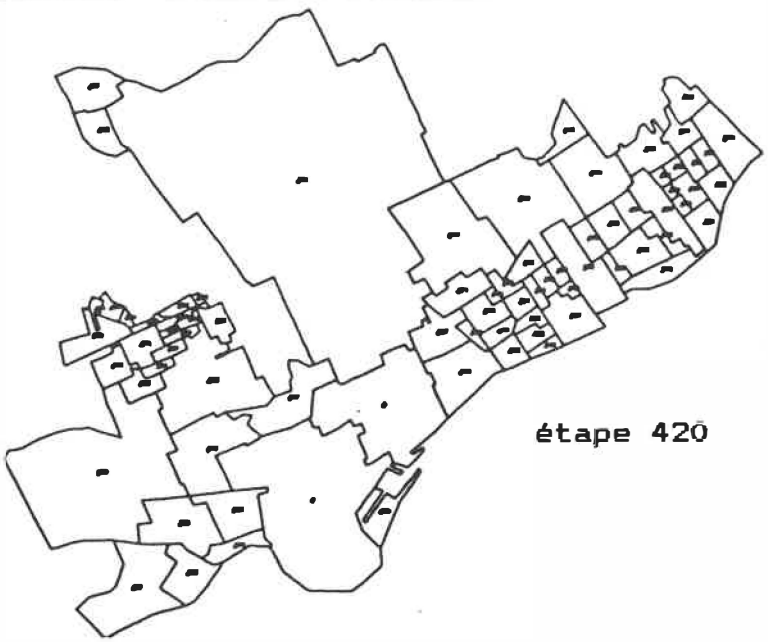


FIGURE 8.5 : EVOLUTION DE LA FONCTION-OBJECTIF AVEC BETA= 1.00 ET ALPHA=2.00, 1.00 ET 0.10



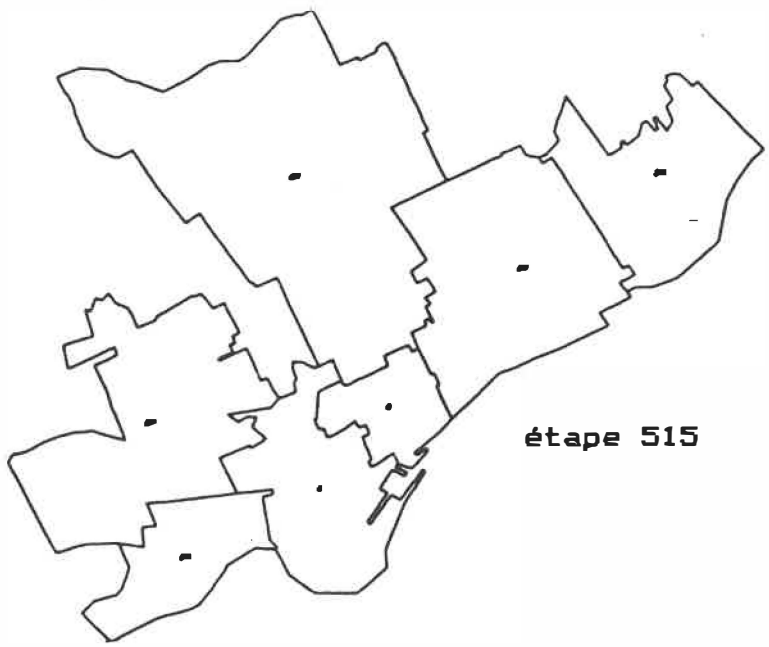
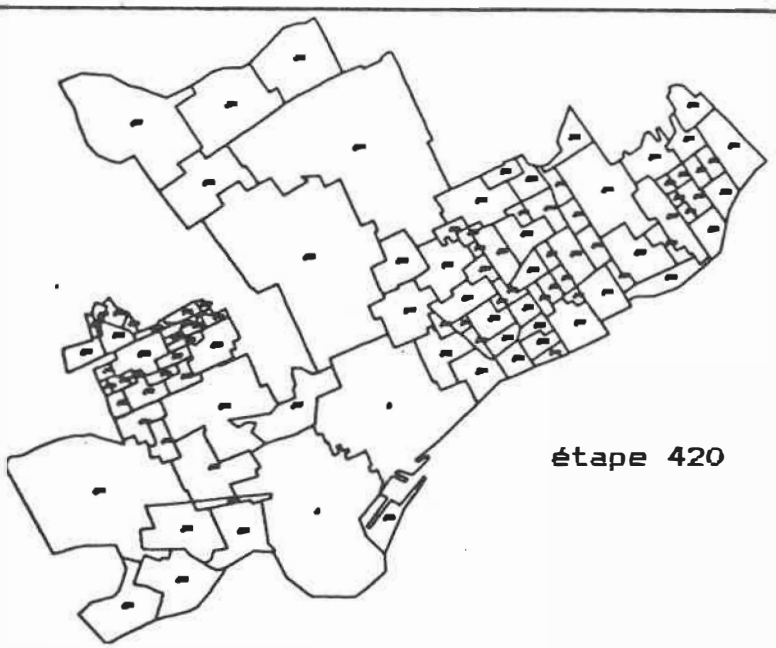
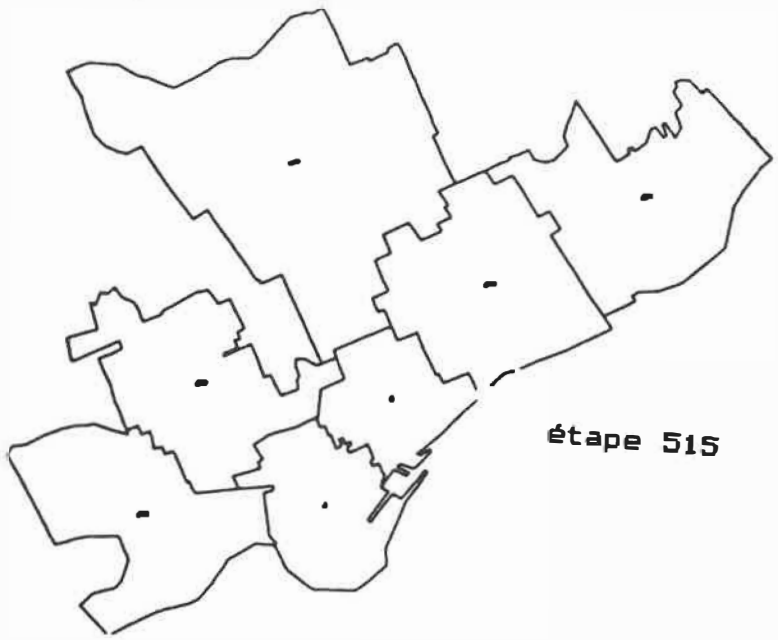


FIGURE 8.6 : SYSTEMES ZONAUX OBTENUS AVEC
ALPHA=0.10 BETA=0.01



étape 420



étape 515

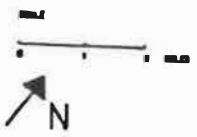


FIGURE 8.7 : SYSTEMES ZONAUX OBTENUS AVEC
ALPHA=1.00 BETA=0.01

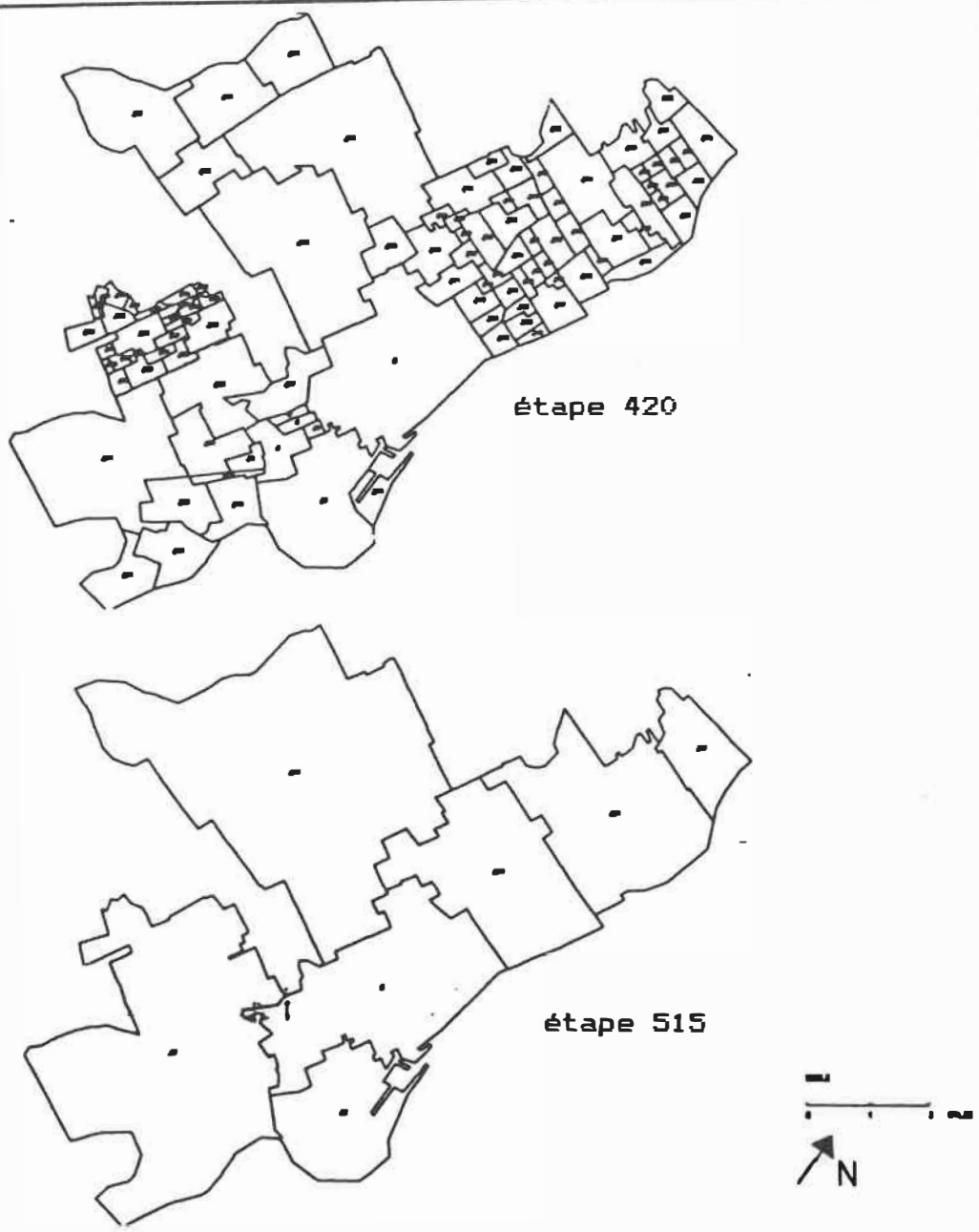


FIGURE 8.8 : SYSTEMES ZONAUX OBTENUS AVEC
ALPHA=2.00 BETA=0.01

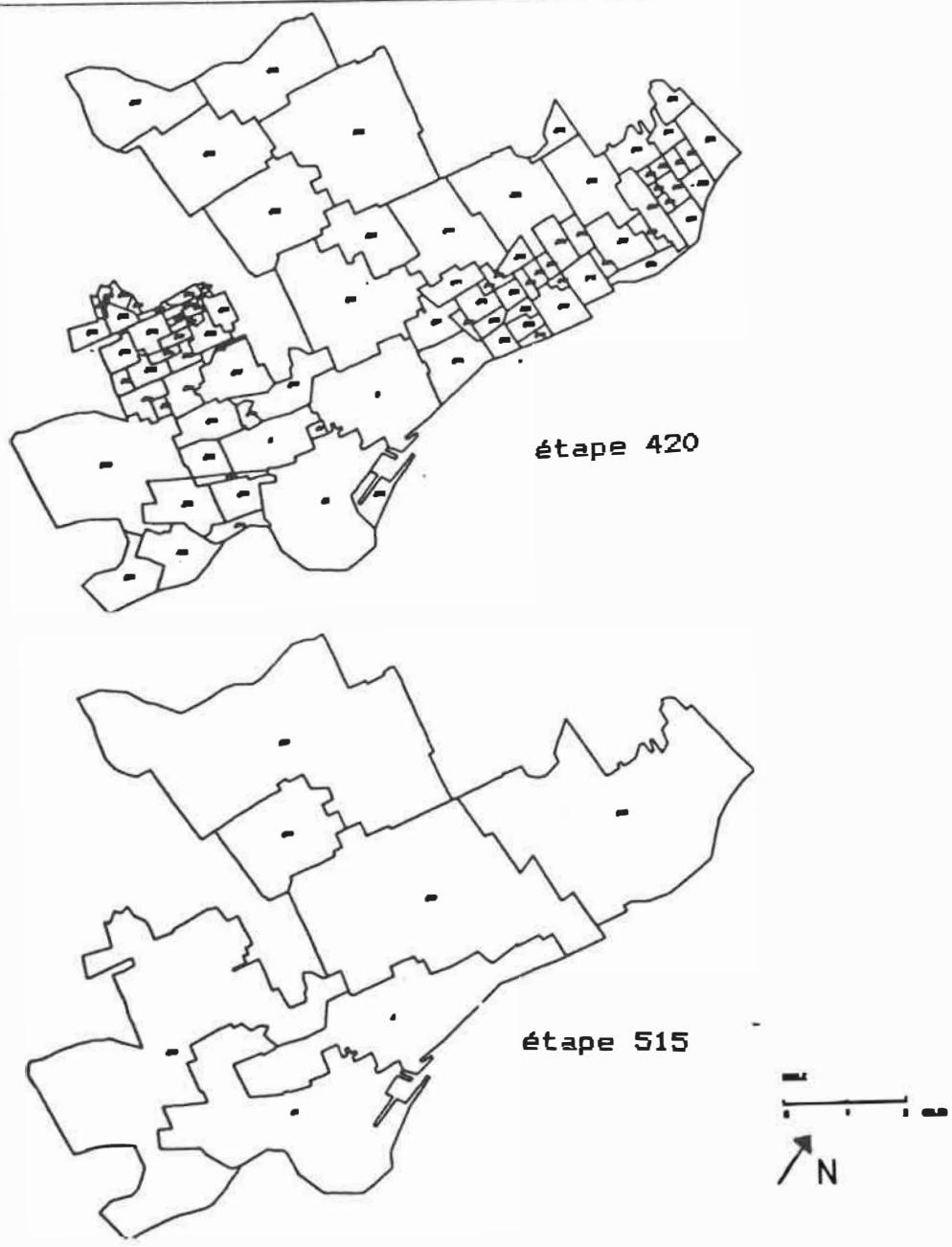


FIGURE 8.9 : SYSTEMES ZONAUX OBTENUS AVEC
ALPHA=0.10 BETA=0.10

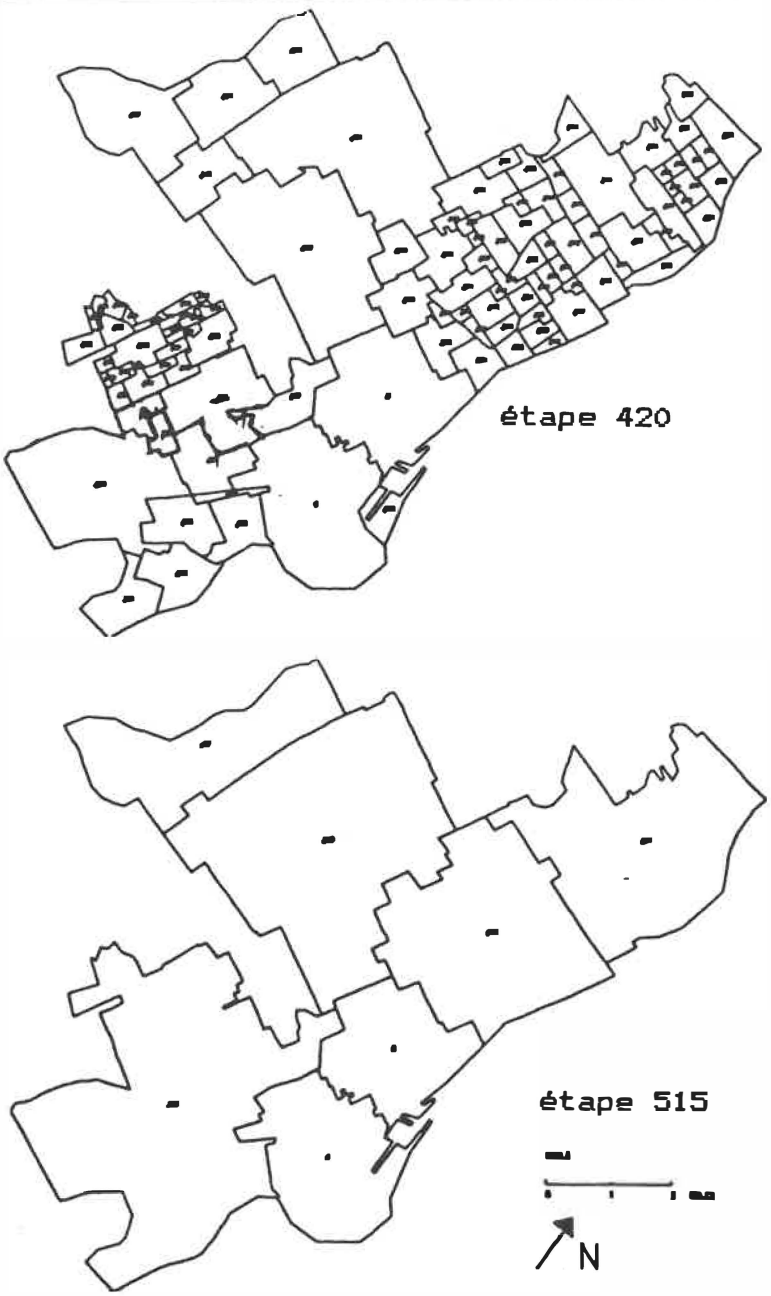
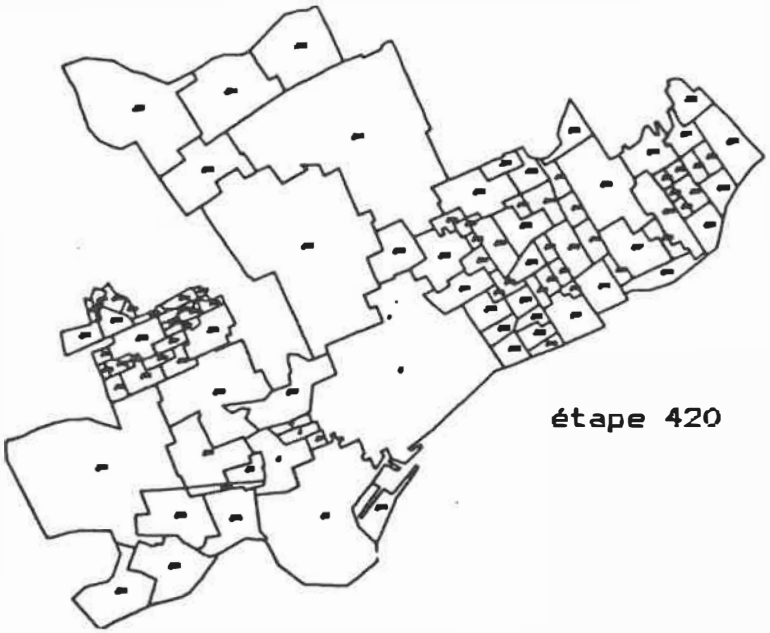


FIGURE 8.10 : SYSTEMES ZONAUX OBTENUS AVEC
ALPHA=1.00 BETA=0.10



étape 420



étape 515

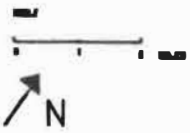


FIGURE 8.11 : SYSTEMES ZONAUX OBTENUS AVEC
ALPHA=2.00 BETA=0.10

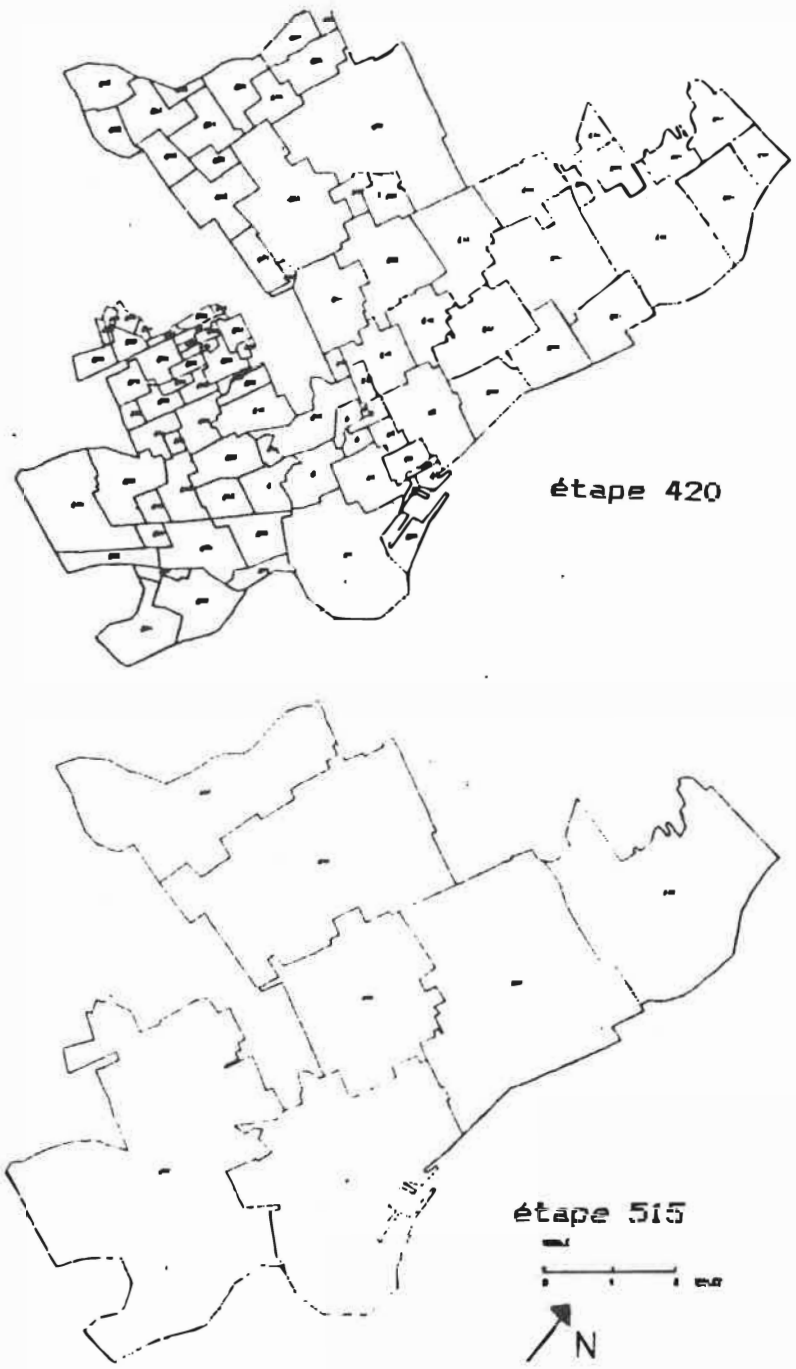
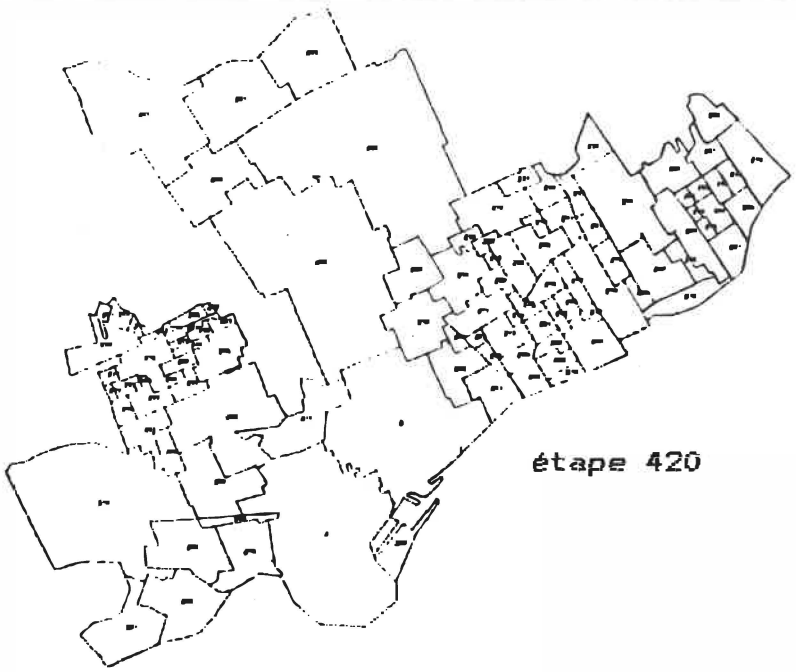


FIGURE 8.12 : SYSTEMES ZONAUX OBTENUS AVEC
ALPHA=0.10 BETA=1.00



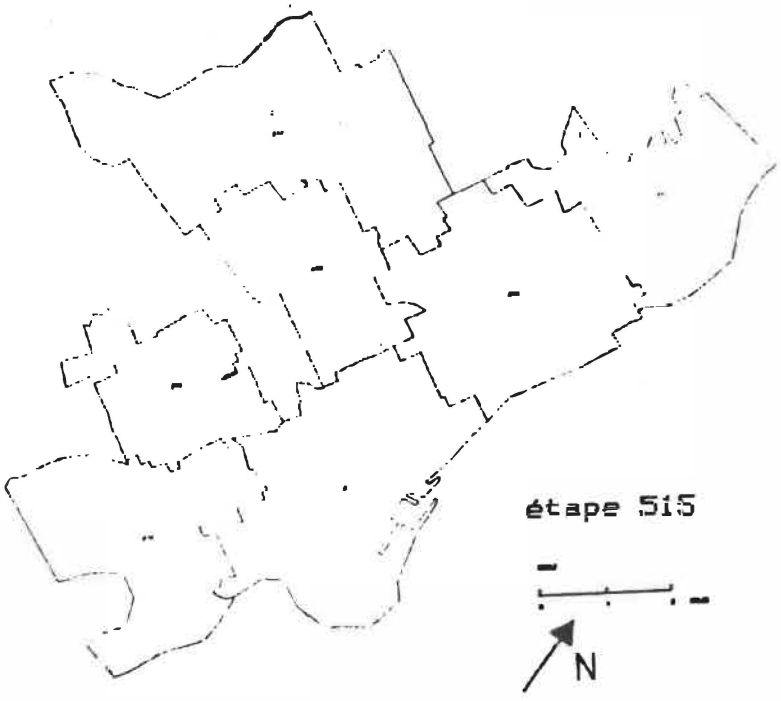
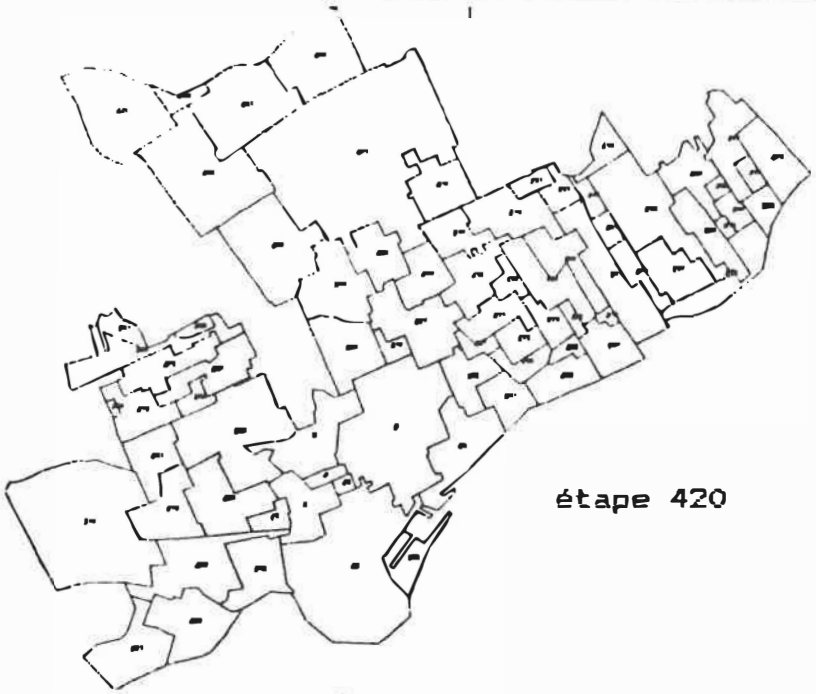


FIGURE 8.13 : SYSTEMES ZONAUX OBTENUS AVEC ALPHA=1.00 BETA=1.00



étape 420

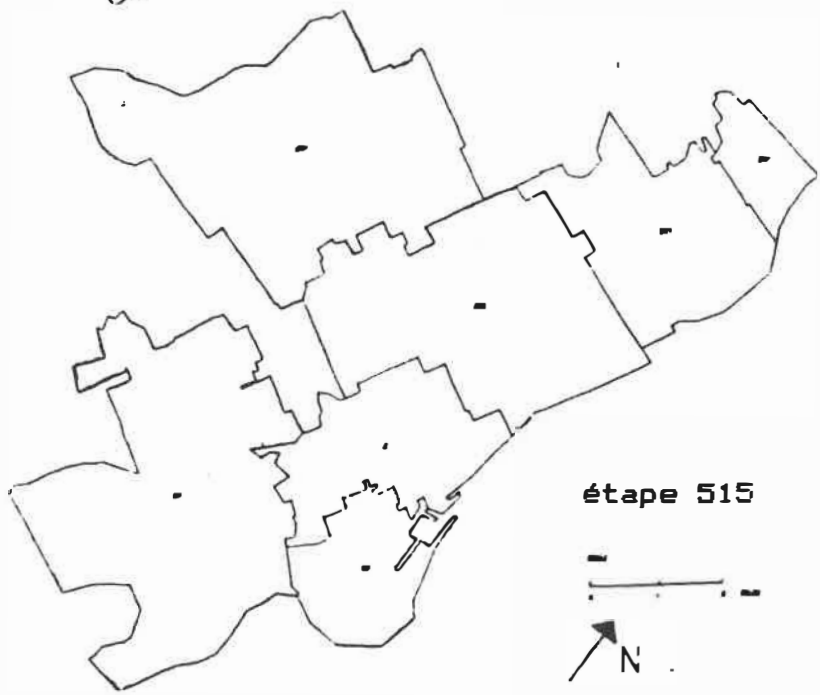


FIGURE 8.14 : SYSTEMES ZONAUX OBTENUS AVEC ALPHA=2.00 BETA=1.00

avec ß = 0.01

- Si on compare l'étape 420 pour α=0.10 (figure 8.6) et α=1.00 (figure 8.7), on remarque que les systèmes de zones résultants ont subi des modifications remarquables. Ainsi, les secteurs Nord et Nord-Est de la région d'étude subissent plus de groupements lorsqu'on fait varier α de 0.10 à 1.00. La comparaison des figures 8.6 et 8.7, 8.9 et 8.10 ainsi que 8.12 et 8.13 appuie cette constatation.

- Quand on fait varier α de 1.00 à 2.00, les systèmes obtenus ne démontrent pas beaucoup de changements. La comparaison des figures 8.7 et 8.8, 8.10 et 8.11 ainsi que 8.13 et 8.14 nous permet de constater que les systèmes sont presque identiques.

L'analyse des systèmes de zones arrive aux mêmes conclusions même en faisant varier les valeurs de ß de 0.01 à 0.10 et 1.00 .

Si on combine ces remarques avec celle relatant le fait que le passage de α de 0.1 à 1.00 engendre plus de perte d'information que lorsque α passe de 1.00 à 2.00 (voir figures 8.3,8.4 et 8.5), on peut dire d'une façon générale que l'homogénéité est plus sensible à une variation de son

poids dans l'intervalle [0.1,1.00] que dans l'intervalle [1.00,2.00] et cela quelle que soit la valeur qu'on accorde au poids de la deuxième dimension de la fonction-objectif. Par conséquent, l'analyste devra allouer à α une valeur comprise dans l'intervalle [0.1 , 1.00].

8.2.2 : La sensibilité de ß : Pour pouvoir étudier comment la procédure ZODEAG réagit à de successives variations du poids accordé à l'interaction dans la fonction-objectif, on doit fixer une valeur à α et faire varier la valeur ß du poids de l'interaction. Comme on l'avait démontré ci-haut, l'intervalle dans lequel l'étude de sensibilité de cette composante sera portée est [0.01,1.00] avec un incrément de 0.01. La variation de ß dans cet intervalle sera effectuée avec trois valeurs de α qui sont 0.1, 1.00 et 2.00.

Les figures 8.15, 8.16 et 8.17 traduisant l'évolution du pourcentage d'accumulation de la fonction-objectif, montrent que la variation de ß dans l'intervalle d'étude engendre une perte d'information uniforme. Toutefois, lorsqu'on augmente la valeur de ß, on constate que le niveau de perte d'information diminue. Cette remarque nous permet de dire que plus le poids associé à

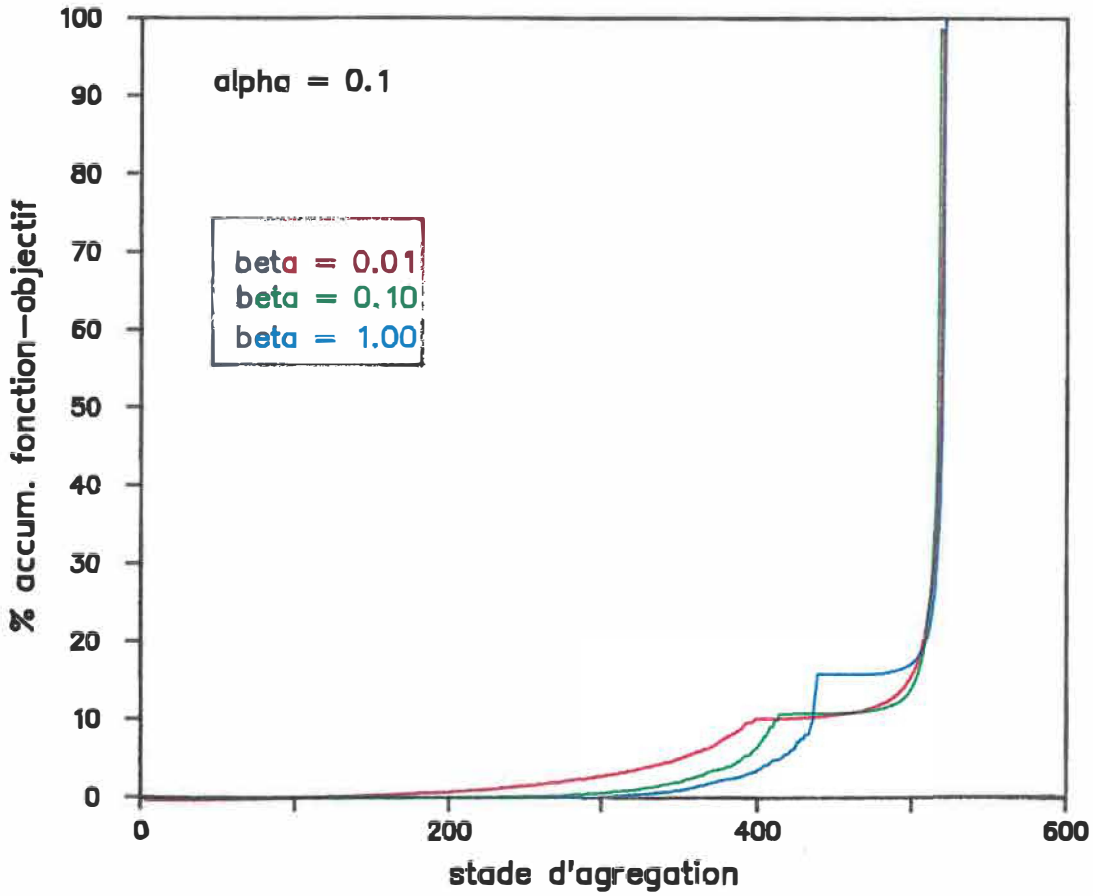


FIGURE 8.15 : EVOLUTION DE LA FONCTION-OBJECTIF AVEC ALPHA=0.1 ET BETA=0.01,0.10 ET 1.00

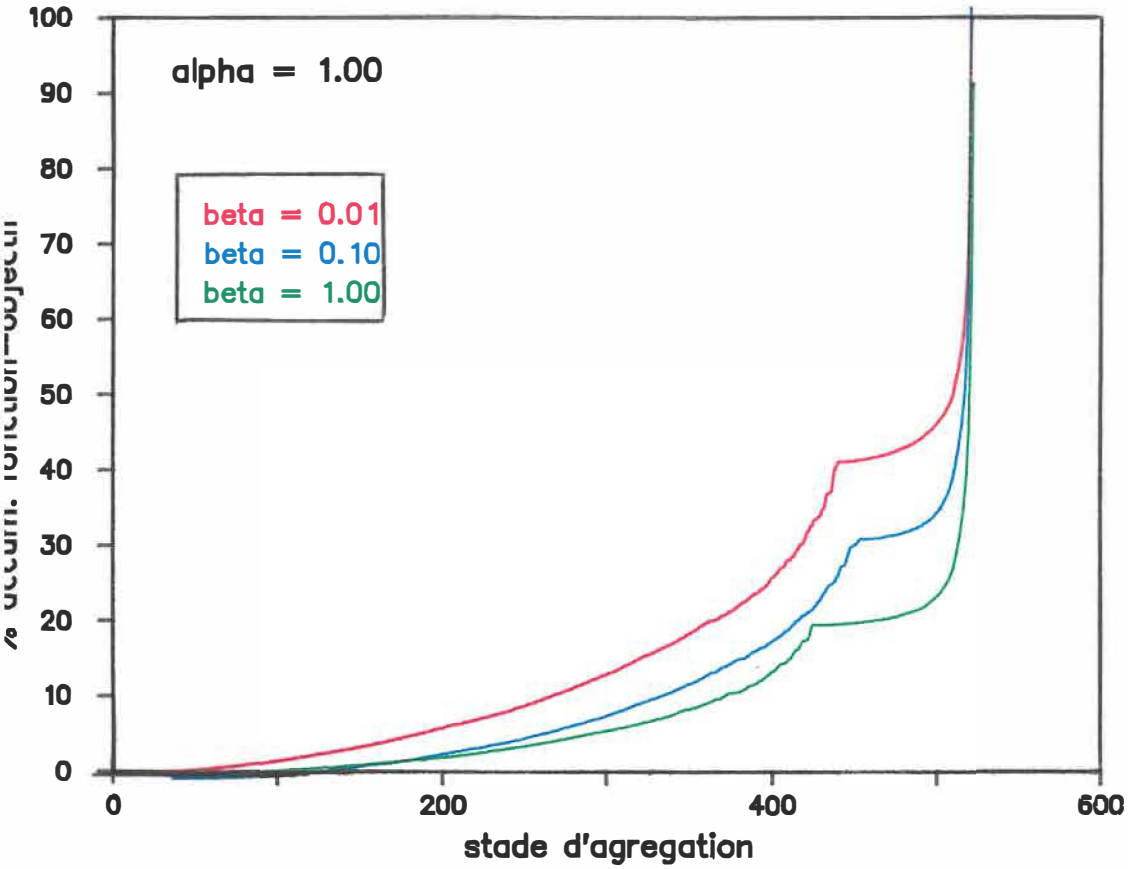


FIGURE 8.16 : EVOLUTION DE LA FONCTION-OBJECTIF AVEC ALPHA=1.00 ET BETA=0.01,0.10 ET 1.00

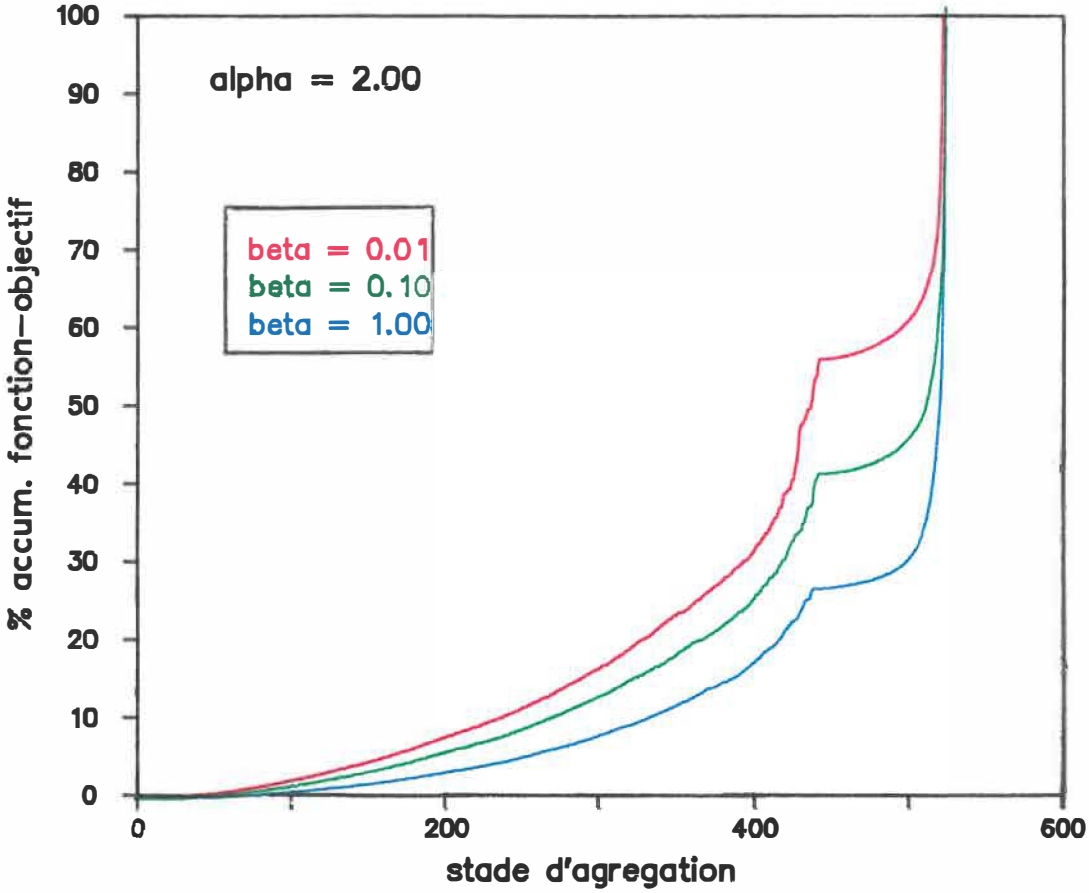


FIGURE 8.17 : EVOLUTION DE LA FONCTION-OBJECTIF AVEC ALPHA=2.00 ET BETA=0.01,0.10 ET 1.00

l'interaction est grand, moins il y a perte d'information. Lorsqu'on accorde plus d'importance à l'interaction, ZODEAG donnera plus d'importance au fait qu'il faut grouper les zones qui possèdent le moins de déplacements inter-zonaux. Cela lui permet de minimiser le nombre de déplacements inter-zonaux qui vont devenir intra-zonaux une fois les deux zones groupées. Sachant que ZODEAG comptabilise les déplacements intra-zonaux comme étant une perte d'information, cette dernière diminue à chaque fois qu'on augmente la valeur de ß.

Les systèmes zonaux obtenus sont représentés par les figures 8.6 à 8.14. La comparaison des mêmes niveaux d'agrégation pour différentes valeurs de ß ne nous permet pas de dégager une tendance remarquée dans l'ordre de groupement des zones. On ne remarque pas non plus de concentration des groupements dans des secteurs particuliers de la région d'étude.

L'analyse des étapes 515 des figures 8.6 à 8.14 montre qu'il existe des différences mineures dans la configuration géomètrique des zones constituant le système. Ces changements n'influencent que peu le degré de perte d'information comme le montre les figures 8.15, 8.16 et

8.17. Ces derniers indiquent que le niveau de perte d'information diminue à chaque fois qu'on augmente la valeur de ß. Cette variation n'est pas limitée dans un sous-intervalle précis mais elle reste presque uniforme dans le grand intervalle [0.01,1.00].

L'analyste devra donc allouer à ß une valeur comprise entre 0.01 et 1.00. La variation de ß à l'intérieur de cet intervalle ne produit que peu d'effet sur l'ordre de groupement des zones mais engendre une variation du niveau de perte d'information.

8.3 : LES SYSTEMES ZONAUX AUX TROIS NIVEAUX DE PLANIFICATION:

Le problème du choix d'un système contenant m zones agrégées et formées à partir d'un système initial de n zones est hautement combinatoire et laisse entrevoir que la manière empirique d'aborder sa solution n'est guère satisfaisante. BAASS (1983), a déterminé deux critères importants à retenir si à partir d'un système initial et détaillé à n zones, on veut élaborer un système de zones agrégées. Premièrement, on doit décider du nombre de zones m à utiliser, c'est à dire du niveau d'agrégation, ce qui

revient à un compromis entre le niveau de précision désiré et le coût de l'étude. Deuxièmement, il s'agit de déterminer de quelle manière ces zones initiales vont être groupées afin de produire un système à m zones. L'algorithme de groupement développé par K.BAASS (1979) a été adopté, toutefois, il faudra associer à chaque niveau de planification, une étape d'agrégation qui reflète les exigences de précision souhaitées dans le processus de planification.

8.3.1 : Choix du nombre de zones pour chaque niveau de planification : Comme on l'a déjà expliqué dans les chapitres précédents, la recherche du nombre de zones optimum à utiliser pour chaque niveau de planification est un problème difficile à résoudre. La revue de littérature ne nous a pas permis de trouver une procédure détaillée capable de déterminer le nombre de zones à utiliser pour la planification à long, moyen et court terme. Toutefois, il est important de connaître la façon dont la fonction-objectif évolue le long du processus d'agrégation. La technique d'agrégation utilisée par ZODEAG est une technique de groupement hiérarchique. Les groupements ne sont pas défaits le long de ce processus. Une fois qu'une zone est combinée à une autre, leur séparation n'est plus possible.

La caractéristique principale de cette technique est l'évolution uniforme du pourcentage d'accumulation de sa fonction-objectif. Autrement dit, le passage d'un stade d'agrégation x au stade suivant x+1 ne peut occasionner une diminution du niveau de perte d'information. Si on choisit le stade x, on est certain que les stades de groupement suivants ne peuvent générer moins de perte d'information. Dans le contexte de la présente étude, le choix du niveau de groupement à associer à chaque type de planification devra prendre en considération le niveau de précision désirée et le coût de l'étude.

En analysant les graphiques montrant l'évolution de la fonction-objectif par rapport au stades d'agrégation, on observe d'une façon générale que la perte d'information n'est pas considérable au dessous du stade 300 (moins de 5%). Autrement dit, en diminuant le nombre de zones de 55% (300), on ne risque pas de perdre une quantité d'information suffisante qui justifierait l'utilisation d'un système de zones se composant de plus de 220 zones. Ceci nous a incité à considérer l'étape 300 du processus d'agrégation comme étant la plus souhaitable pour satisfaire les exigences de la planification à court terme. Quant à la planification à moyen et long terme, elles seront respectivement associées

aux étapes 400 et 500. En résumé, on aura :

- La planification à court terme sera associée au niveau 300. Le système à étudier sera composé de 220 zones, ce qui représente 45% du système initial.

- La planification à moyen terme aura un système de 120 zones. Le niveau de groupement retenu est 400 ce qui représente 25% du nombre de zones initiales.

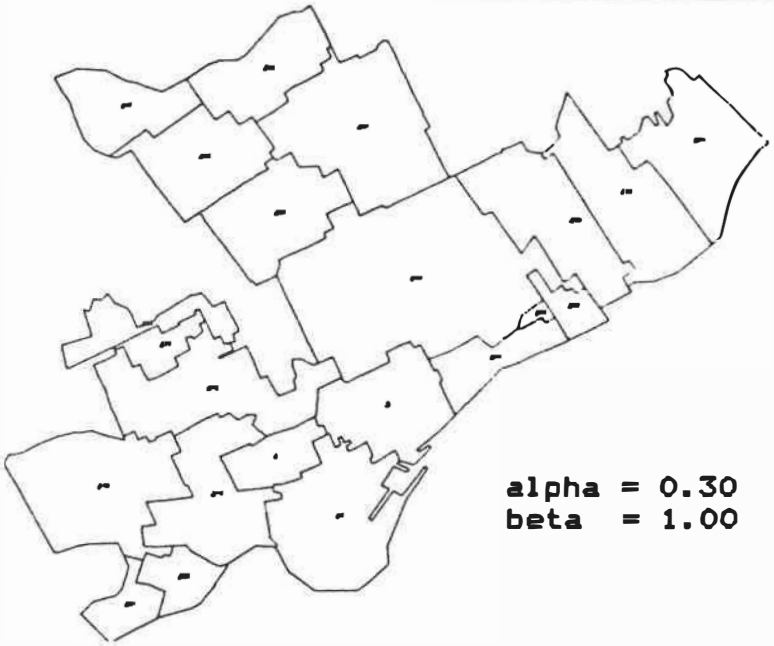
- La planification à long terme sera associée au niveau 500. Le système à étudier sera composer de 20 zones, ce qui constitue 5% des 521 zones initiales.

8.3.2 : Choix de la configuration spatiale pour chaque niveau de planification : Ayant décidé du nombre de zones à associer à chaque niveau de planification, cette partie analysera tous les systèmes zonaux résultant des combinaisons de α et β retenues par l'étude. Cette analyse sera faite avec le concours des trois critères d'analyse qui sont: l'analyse visuelle, le degré de compacité de chaque système ainsi que le niveau de perte d'information qu'il occasionne.

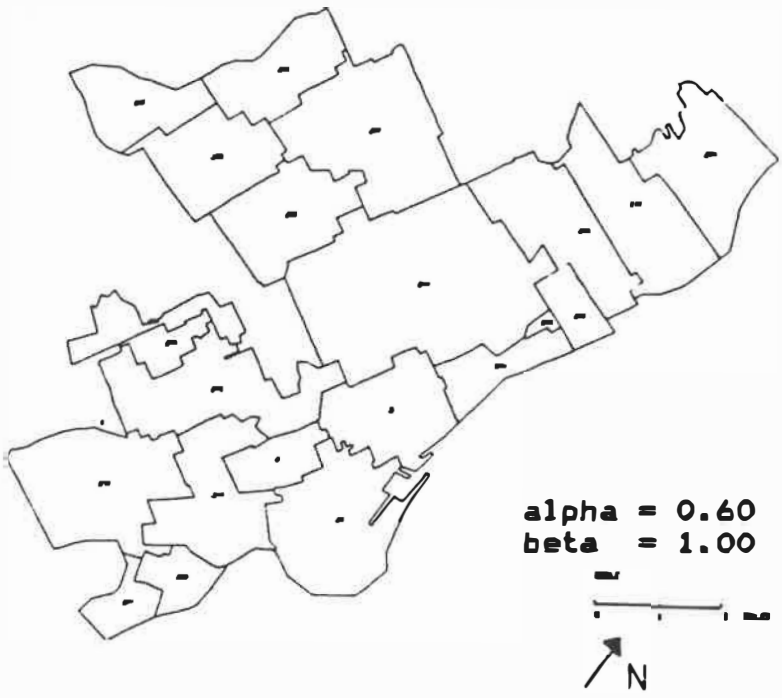
a) **LES SYSTEMES ZONAUX AU NIVEAU 500 :** L'objectif

relié à ce niveau de planification est d'obtenir un système de zones agrégées qui permettra aux planificateurs de projeter le comportement en déplacements à long terme. Il faut noter que le comportement du modèle de groupement à ce niveau diffère de celui des deux autres à cause de la contrainte de forme. Comme on l'a déjà précisé dans les chapitres précédents, la valeur allouée à l'indice de forme est 2.00. A un certain niveau d'agrégation, l'algorithme doit relâcher la contrainte pour que le groupement zonal se poursuive. Le modèle demande alors la possibilité de la relaxer, ce qui se traduit par une augmentation de la valeur accordée à l'indice de forme. Le modèle affiche l'étape à partir de laquelle il a débuté la relaxation. Cette dernière se produit généralement entre les étapes 420 et 450. Cette relaxation influence le degré de compacité du groupement au delà de l'étape de relaxation puisque le programme ne garantit plus la compacité des zones formées. Ceci affecte grandement les configurations zonales obtenues au niveau 500.

On remarque toutefois que les effets sur l'étape 500 varient dépendamment des valeurs allouées aux facteurs de pondération reliés à l'homogénéité et l'interaction dans la fonction-objectif. Cette variation est mesurée par



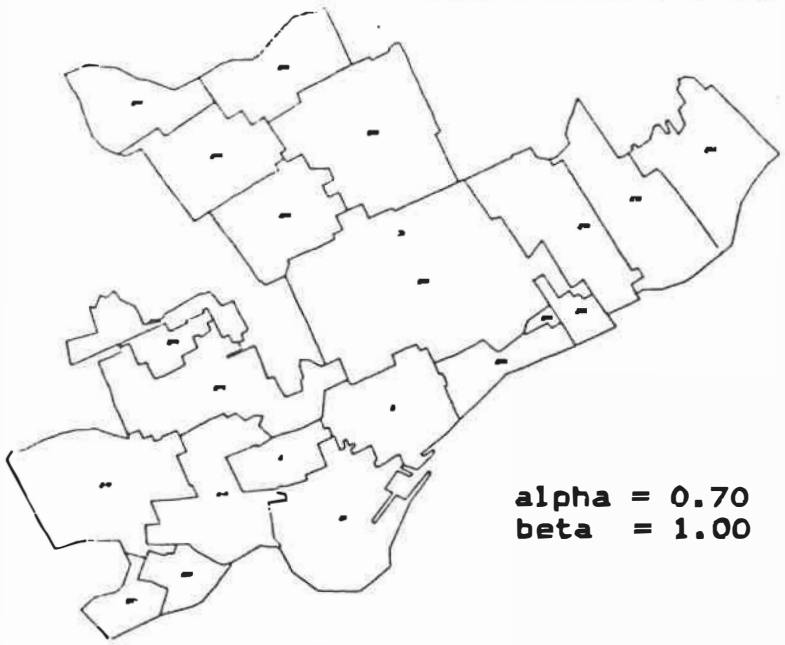
alpha = 0.30
beta = 1.00



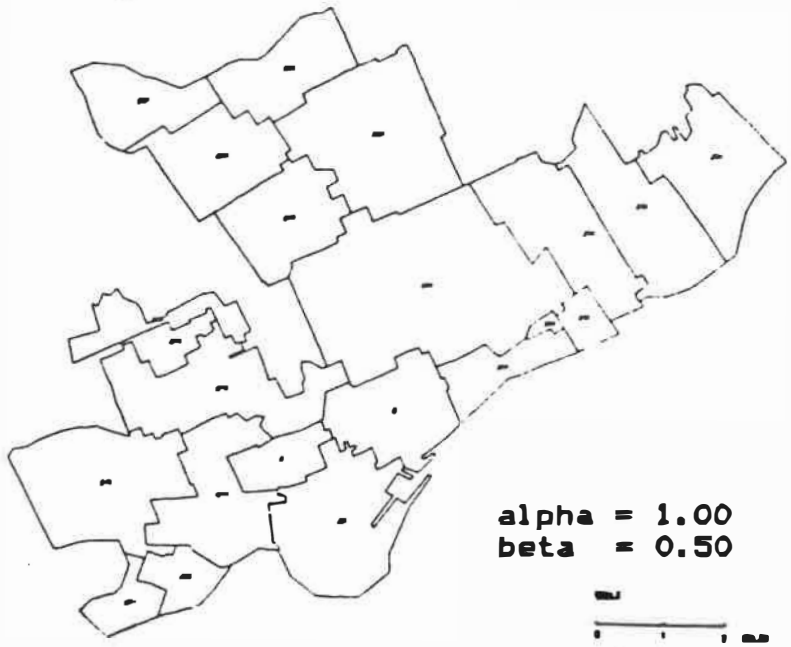
alpha = 0.60
beta = 1.00

N

FIGURE 8.18 (a) : SYSTEMES ZONAUX SATISFAISANT LE PREMIER CRITERE (NIVEAU 500).



alpha = 0.70
beta = 1.00



alpha = 1.00
beta = 0.50

N

FIGURE 8.18 (b) : SYSTEMES ZONAUX SATISFAISANT LE PREMIER CRITERE (NIVEAU 500).

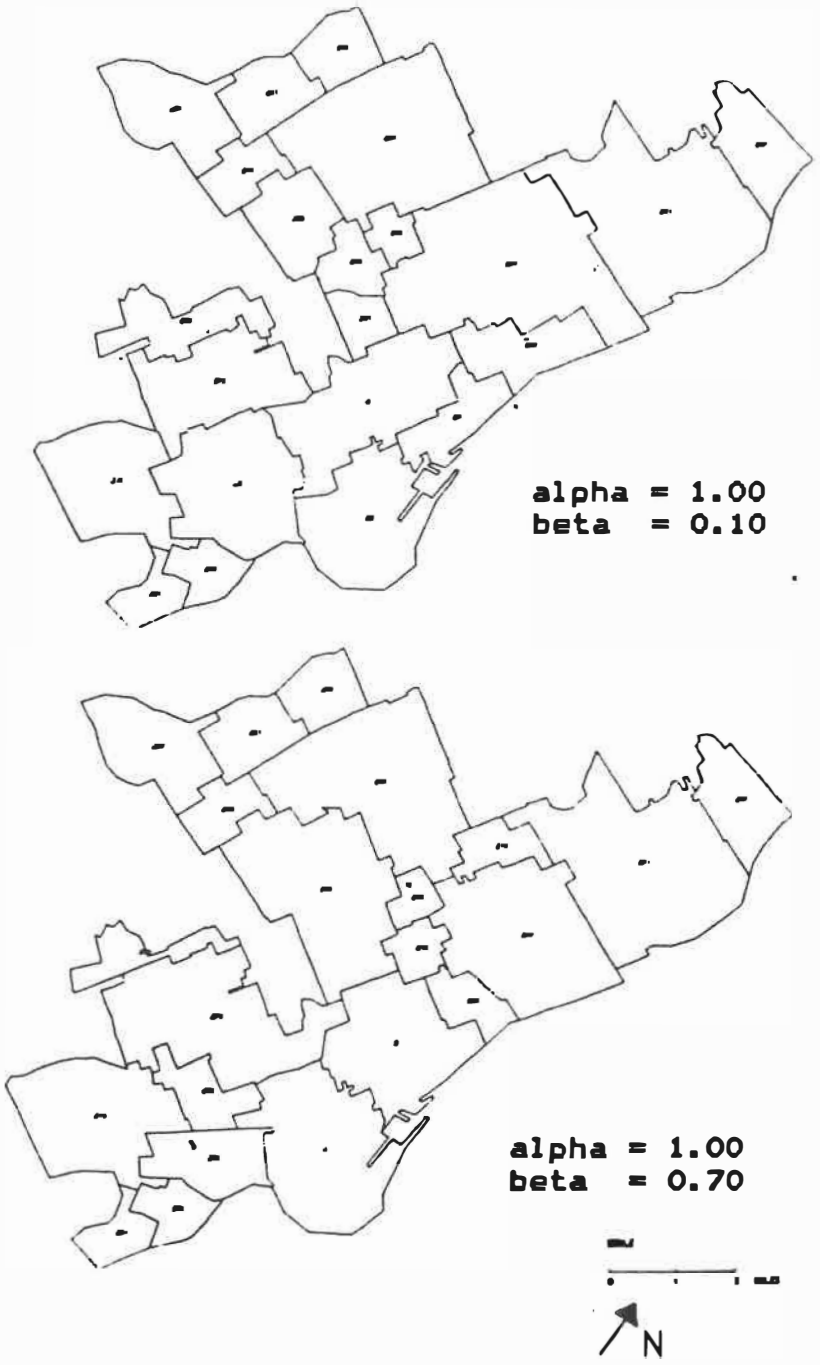
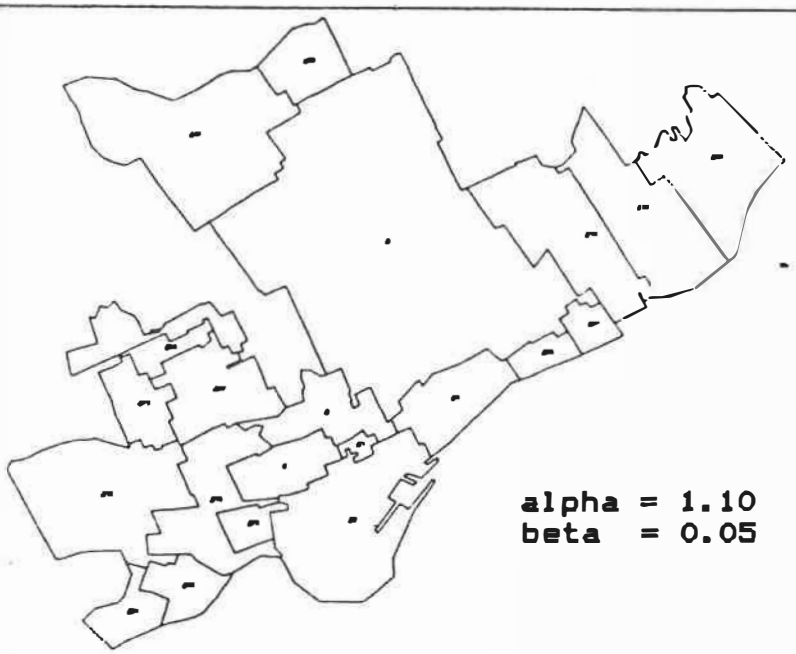


FIGURE 8.18 (c) : SYSTEMES ZONAUX SATISFAISANT LE PREMIER CRITERE (NIVEAU 500).



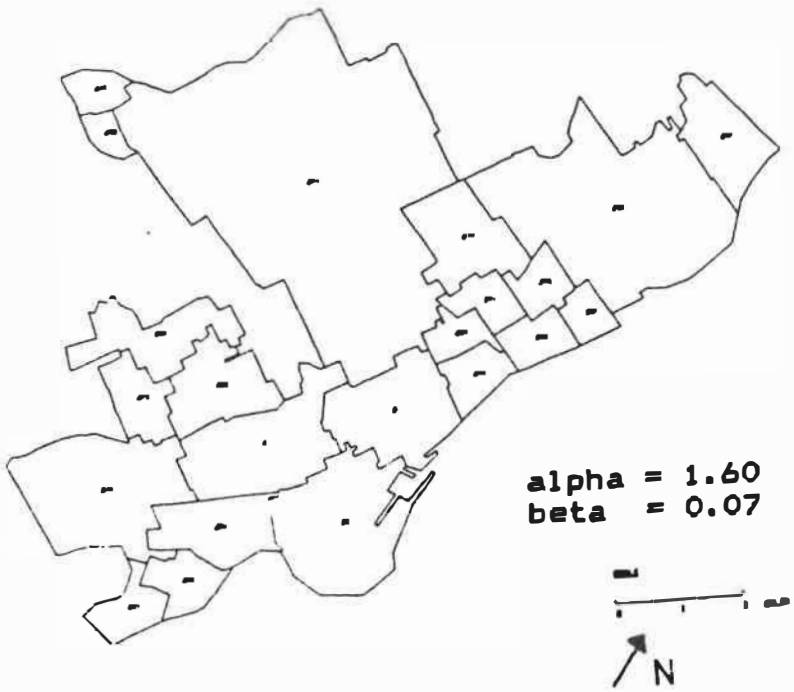


FIGURE 8.18 (d) : SYSTEMES ZONAUX SATISFAISANT LE PREMIER CRITERE (NIVEAU 500).

l'application des deux critères permettant ainsi la différenciation et l'évaluation des systèmes de zones. Ces deux critères font référence au niveau de perte d'information qu'occasionne le groupement ainsi que le niveau de compacité de l'ensemble des zones qui constituent le système.

- Meilleur niveau de compacité : L'application de ce critère à tous les systèmes obtenus se fera en deux étapes. La première consiste à éliminer les configurations géométriques qui présentent des déformations majeures au point de vue compacité. Cette élimination se fait à la suite d'une analyse visuelle détaillée de l'ensemble des systèmes zonaux. Cela a pour effet d'apporter une première sélection, groupant les systèmes zonaux qui peuvent constituer un choix acceptable pour la planification à long terme. Les systèmes zonaux ainsi retenus sont représentés dans les figures 8.18(a), 8.18(b), 8.18(c) et 8.18(d).

La deuxième étape étudie leurs valeurs de compacité respectives afin de connaître celui qui offre le meilleur niveau. Le tableau 8.4 montre la valeur du niveau de compacité de chaque système et la figure 8.22 les présente en histogramme pour mieux distinguer les différences. Le

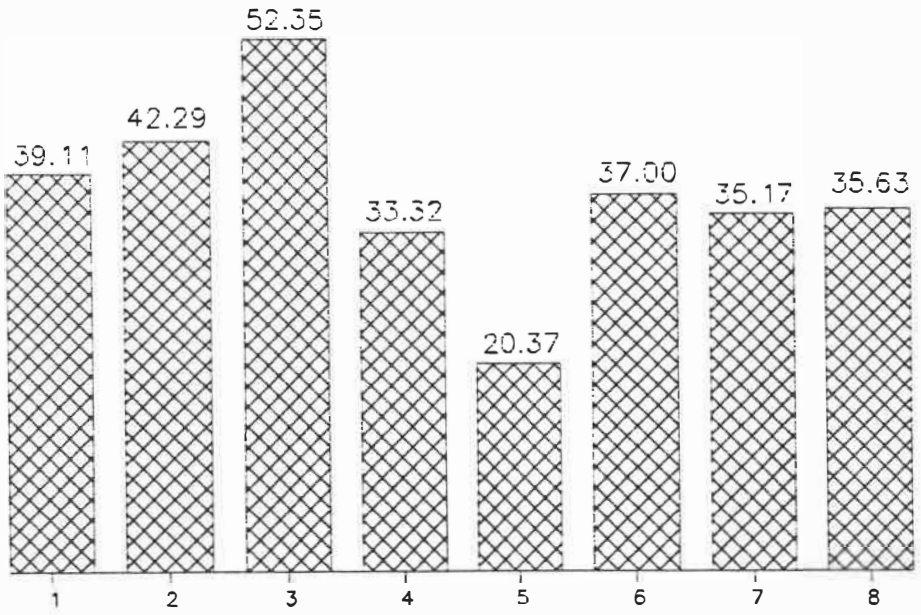


FIGURE 8.21 : PERTE D'INFORMATION DES SYSTEMES RETENUS AU NIVEAU 500

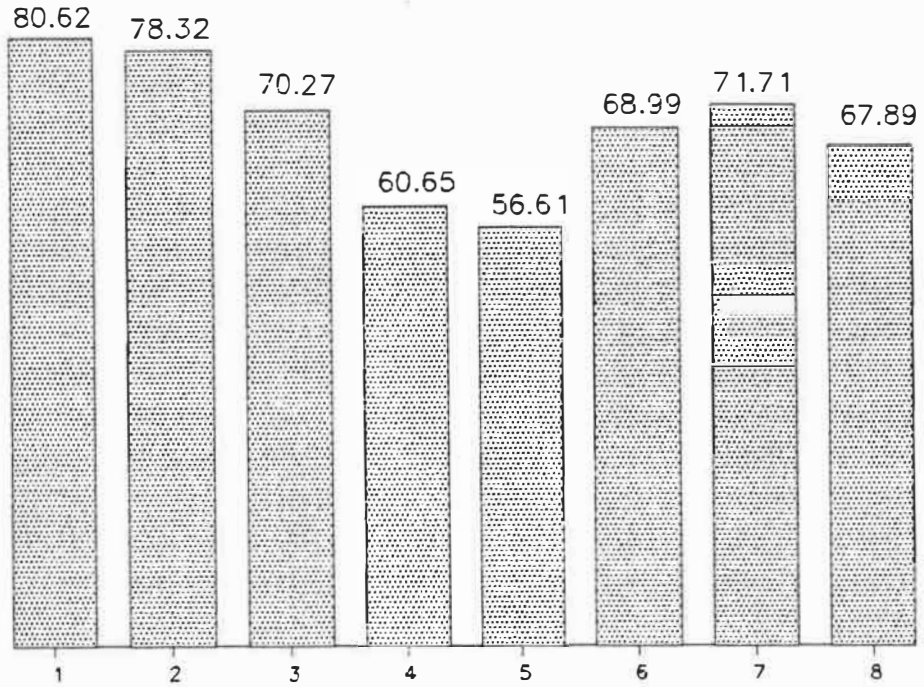


FIGURE 8.22 : NIVEAU DE COMPACITE DES SYSTEMES RETENUS AU NIVEAU 500

TABLEAU 8.4 : VALEURS DE COMPACITE ET DE PERTE D'INFORMATION DES SYSTEMES RETENUS AU NIVEAU 500

systeme	alpha	beta	compacite	% perte information
1	0.30	1.00	80.620	39.11 %
2	0.60	1.00	78.320	42.29 %
3	0.70	1.00	70.272	52.35 %
4	1.00	0.50	60.650	33.32 %
5	1.00	0.10	56.610	20.37 %
6	1.00	0.70	68.992	37.00 %
7	1.10	0.05	71.712	35.17 %
8	1.60	0.07	67.890	35.63 %

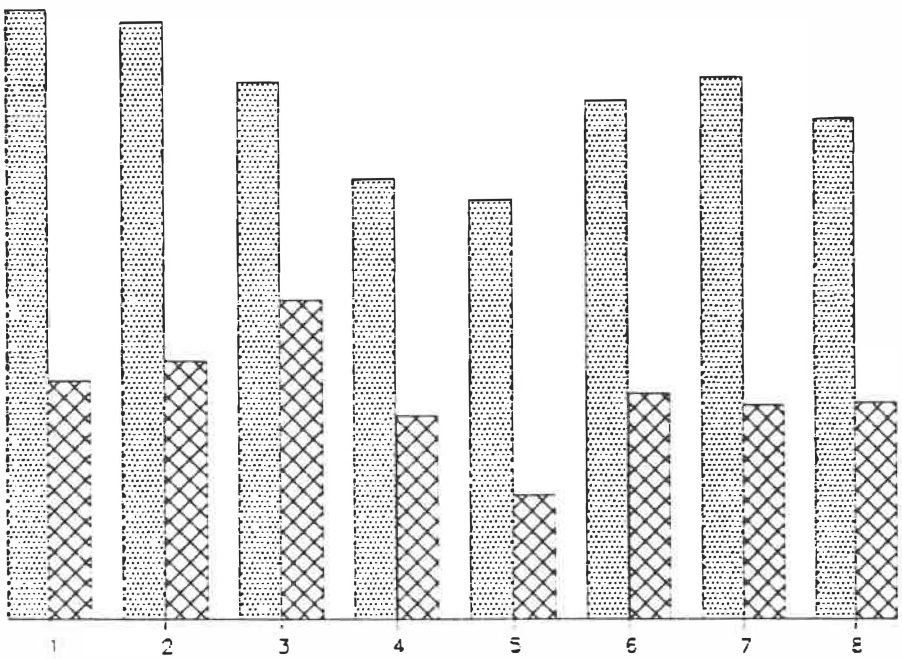


FIGURE 8.23 : HISTOGRAMME DES VALEURS DE COMPACITE ET DE PERTE D'INFORMATION DES SYSTEMES AU NIVEAU 500

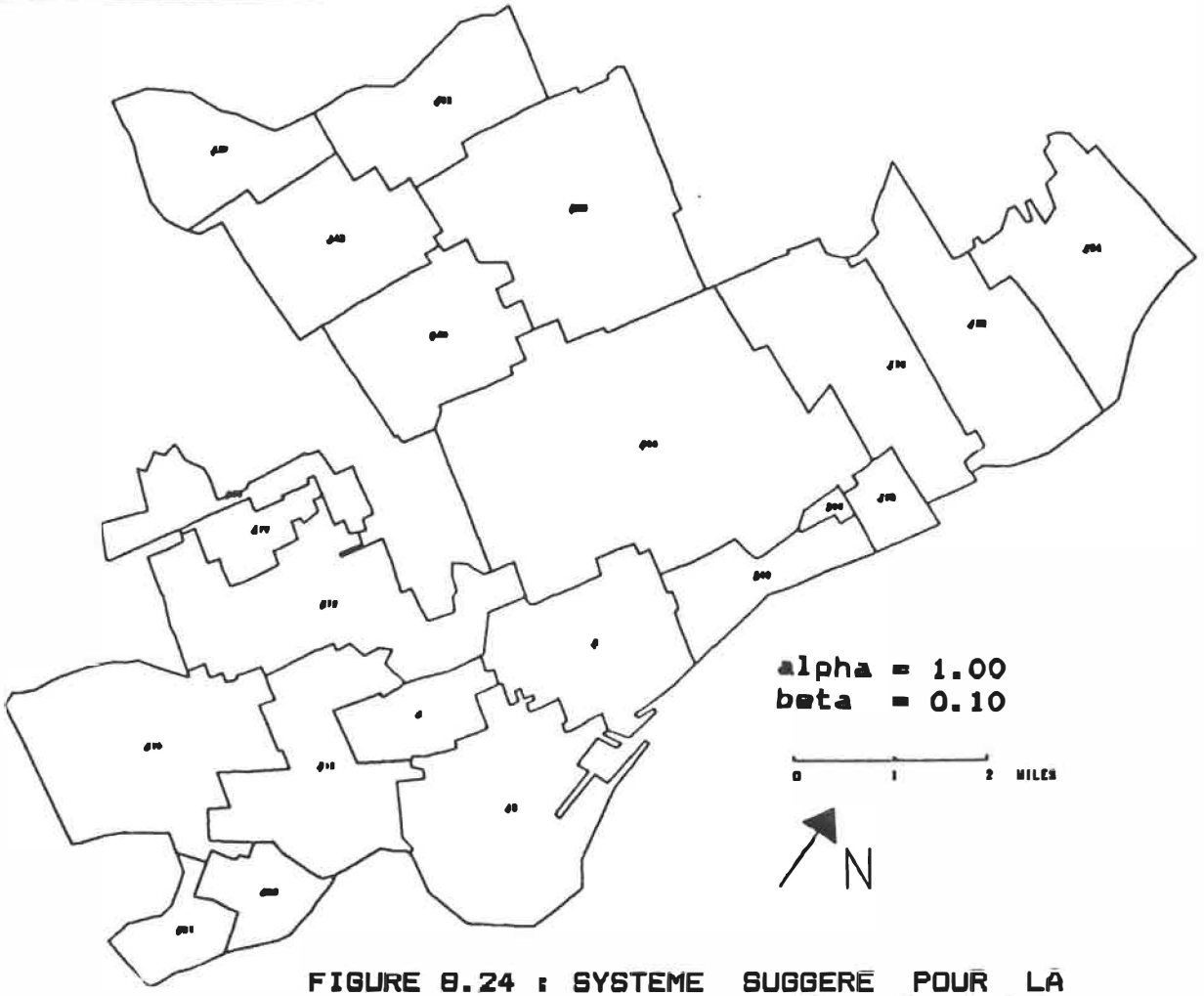


FIGURE 8.24 : SYSTEME SUGGERE POUR LA PLANIFICATION A LONG TERME.

système qui offre l'indice de compacité le plus bas est le système composé des paramètres α= 1.00 et β=0.10. Son indice de forme global est 56.61 et sachant que le système possède 21 zones, l'indice de forme moyen par zone se situe à 2.6 . Son plus proche concurrent possède un indice de forme global de 60.65, ce qui lui confie une moyenne de 2.9 par zone. On remarque alors que le passage du premier système au deuxième diminue l'indice moyen de forme par zone de 0.3 .

- Niveau de perte d'information : Le groupement de zones cause la perte d'une certaine quantité d'information. Cette perte d'information est mesurée par le pourcentage d'accumulation de la fonction-objectif et elle varie d'une étape à une autre et d'un système à un autre. Le deuxième critère consiste donc à choisir le système qui occasionne le niveau de perte d'information le moins élevé. Le tableau 8.4 relate ces niveaux pour chacun des systèmes retenus et la figure 8.21 les reproduit sous forme d'histogramme. On constate que le système qui occasionne le minimum de perte d'information est le système 5 avec les paramètres α=1.00 β=0.10. Si on adopte par exemple ce système, on aura perdu 20.37% du niveau d'information initial. Il faut noter que le système qui le suit engendre une perte d'information évaluée à 33.32%, ce qui donne une différence de 13% .

La combinaison des deux critères nous conduira à prendre une décision relative au système qui offre le meilleur niveau de compacité avec un minimum de perte d'information. Le tableau 8.4 montre les valeurs de perte d'information ainsi que le niveau de compacité des huit systèmes retenus, quant à la figure 8.23, elle présente ces valeurs sous forme d'histogramme. L'analyse de cet histogramme montre que le système composé des paramètres α=1.00 et ß=0.10 constitue la meilleur combinaison à retenir puisqu'il offre le minimum de perte d'information soit 20.37% et le meilleur niveau de compacité soit 56.61 pour l'ensemble des zones. La figure 8.24 nous présente cette configuration zonale sur une échelle plus grande.

b) LES SYSTEMES ZONAUX AU NIVEAU 400 :

L'analyse visuelle des différents systèmes obtenus à ce niveau nous a permis de retenir six découpages zonaux qu'on va soumettre aux deux critères d'analyse. Ces systèmes sont représentés graphiquement dans les figures 8.25(a), 8.25(b) et 8.25(c). A cette étape, le choix de l'un ou l'autre des systèmes peut constituer un système acceptable pour une éventuelle utilisation en planification à moyen terme. Mais l'application des deux critères nous aidera à déterminer celui qui offre les meilleures caractéristiques de compacité

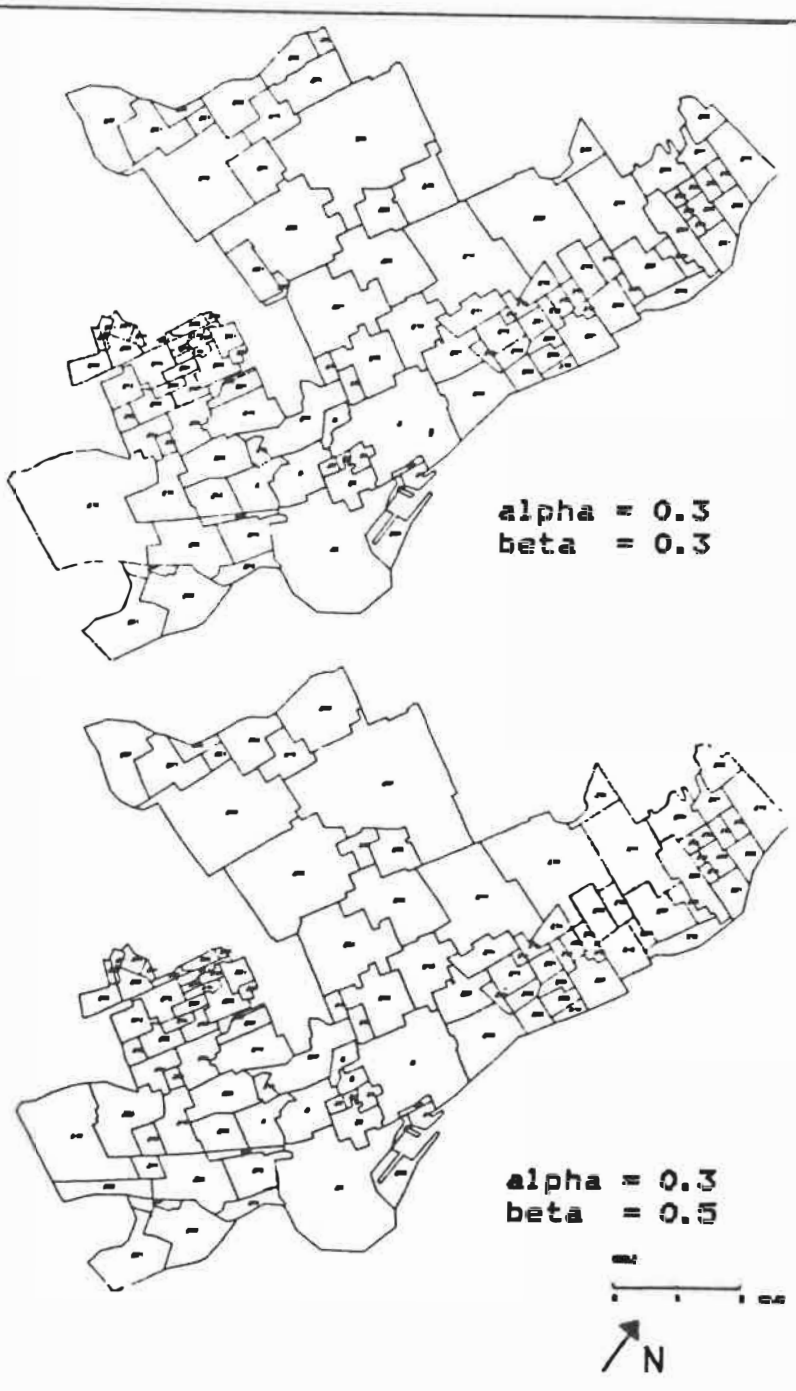


FIGURE 8.25 (a) : SYSTEMES ZONAUX SATISFAISANT LE PREMIER CRITERE (NIVEAU 400).

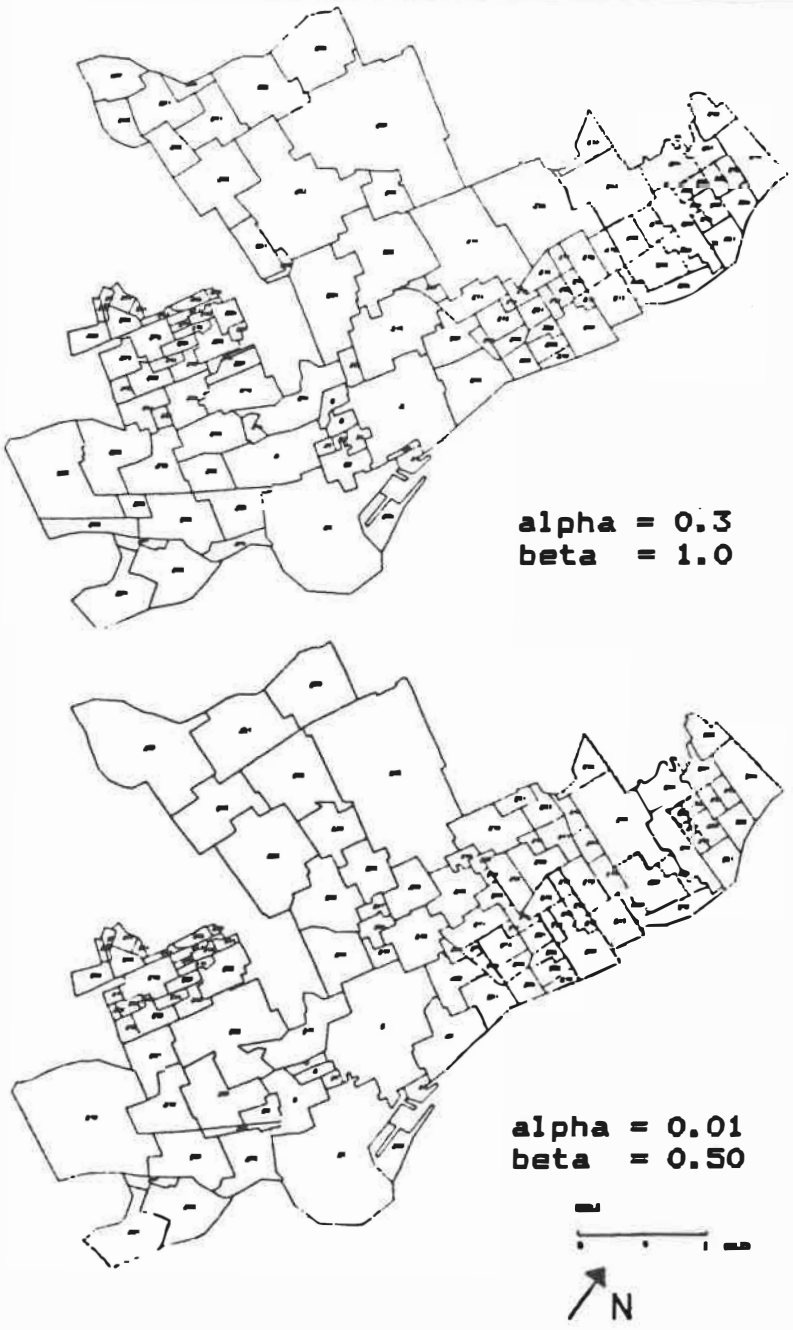


FIGURE 8.25 (b) : SYSTEMES ZONAUX SATISFAISANT LE PREMIER CRITERE (NIVEAU 400).

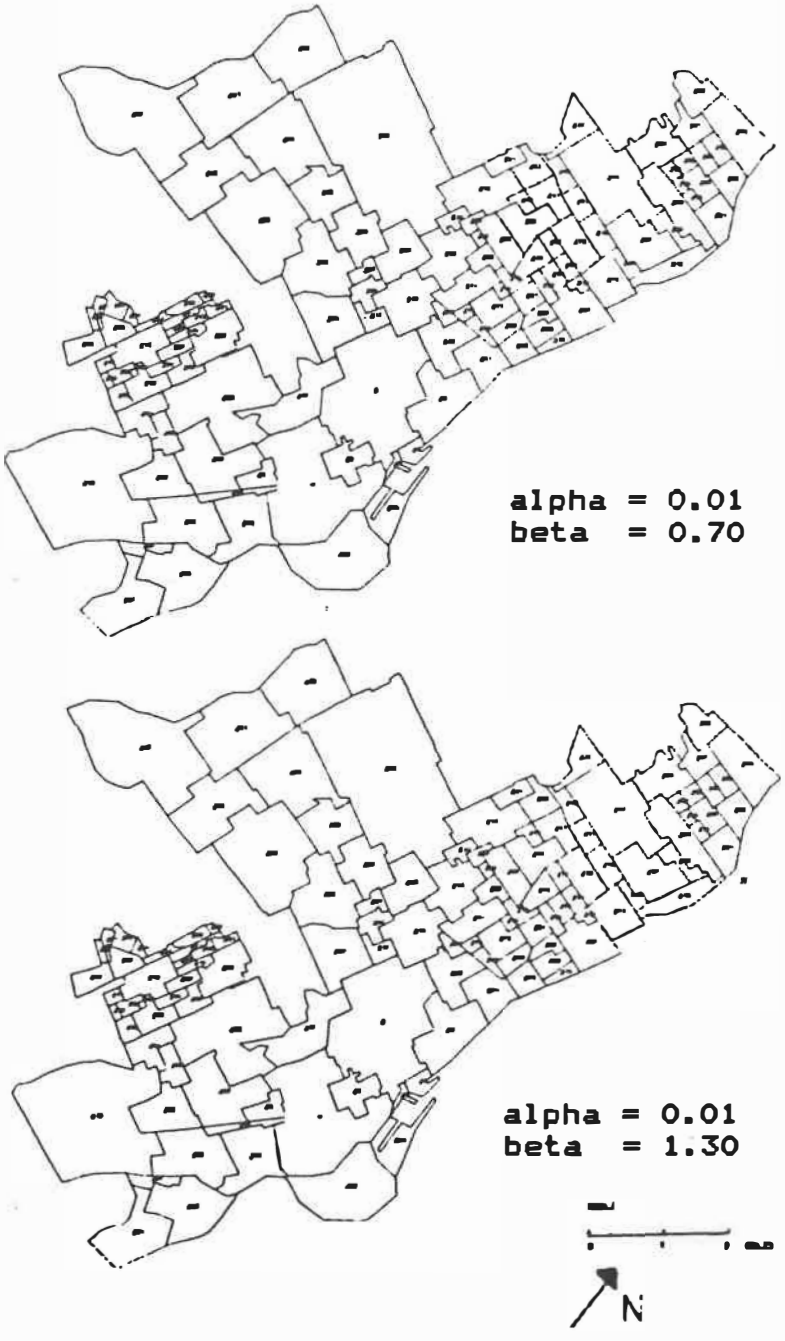


FIGURE 8.25 (c) : SYSTEMES ZONAUX SATISFAISANT LE PREMIER CRITERE (NIVEAU 400).

et qui occasionne moins de perte d'information.

- Meilleur niveau de compacité : En analysant le tableau 8.2, on peut remarquer que le système 5 offre le meilleur niveau de compacité. Ce niveau est évalué à 244.42, ce qui constitue un indice de forme moyen par zone de 2.02 . Le système qui le suit de près possède un indice de forme moyen par zone équivalent à 2.13 .

- Niveau de perte d'information : Le deuxième critère se basera sur le niveau de perte d'information encourue par chacun des six systèmes obtenus. Le tableau 8.5 illustre le niveau de perte d'information occasionnée par chaque système lors du groupement. La figure 8.27 montre que le système composé des paramètres α=0.01 et β=0.50 offre le minimum de perte d'information soit 6.04% suivi du système ayant le paramètres α=0.01 et β=0.70 avec 6.15% de l'information perdue.

La combinaison des deux critères, illustrée par la figure 8.29, montre que le système α=0.01 β=0.70 offre le meilleur niveau de compacité tandis que le système α=0.01 β=0.05 offre le minimum de perte d'information. En examinant les deux systèmes au point de vue compacité, on peut dire

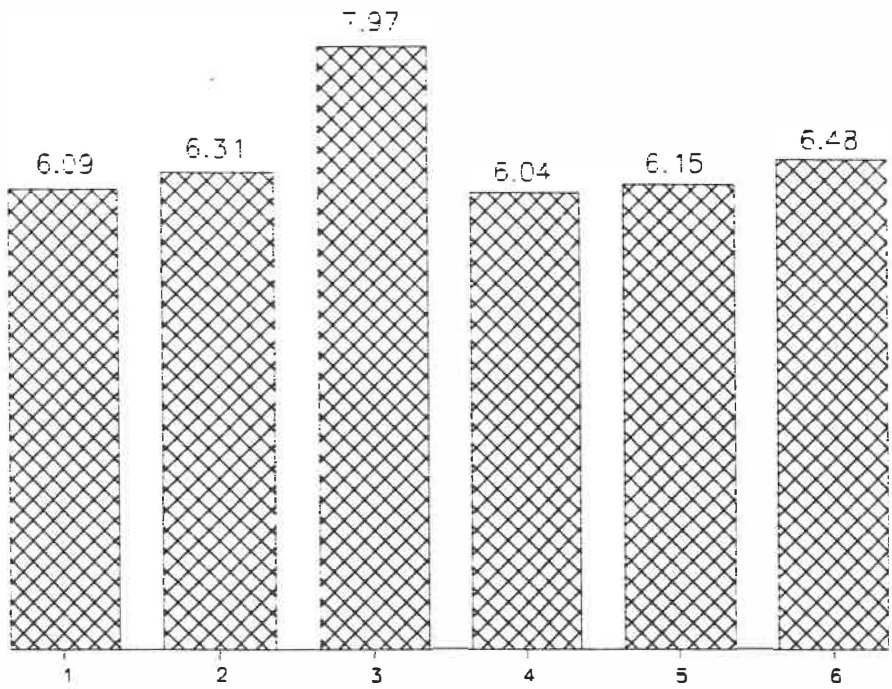


FIGURE 8.27 : PERTE D'INFORMATION DES SYSTEMES RETENUS AU NIVEAU 400

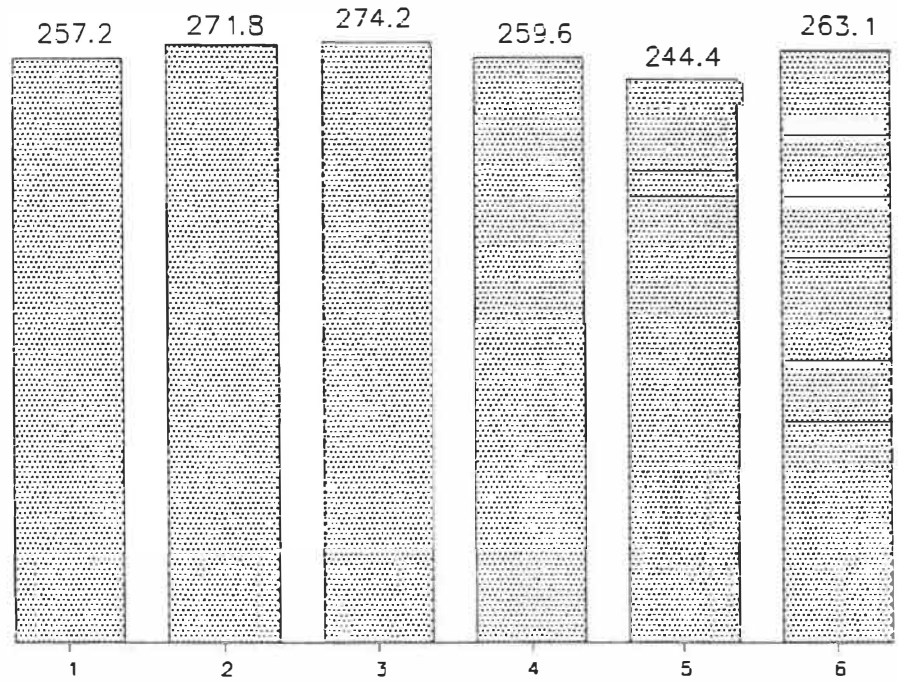


FIGURE 8.28 : NIVEAU DE COMPACITE DES SYSTEMES RETENUS AU NIVEAU 400

TABLEAU 8.5 : VALEURS DE COMPACITE ET DE PERTE D'INFORMATION DES SYSTEMES RETENUS AU NIVEAU 400

systeme	alpha	beta	compacite	% perte information
1	0.30	0.30	257.20	6.09
2	0.30	0.50	271.83	6.31
3	0.30	1.00	274.20	7.97
4	0.01	0.50	259.67	6.04
5	0.01	0.70	244.42	6.15
6	0.01	1.30	263.13	6.48

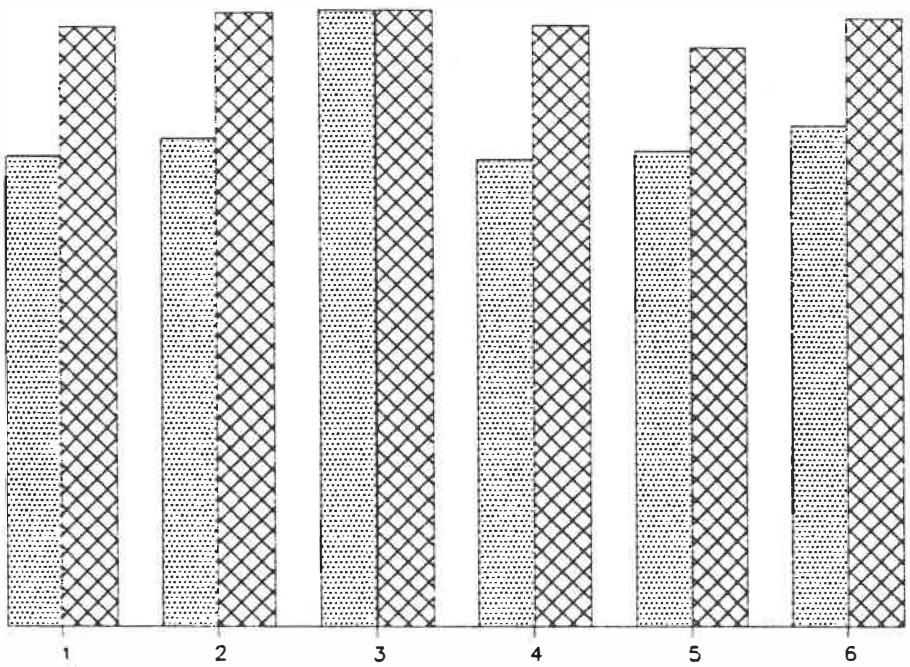


FIGURE 8.29 : HISTOGRAMME DES VALEURS DE COMPACITE ET DE PERTE D'INFORMATION DES SYSTEMES AU NIVEAU 400

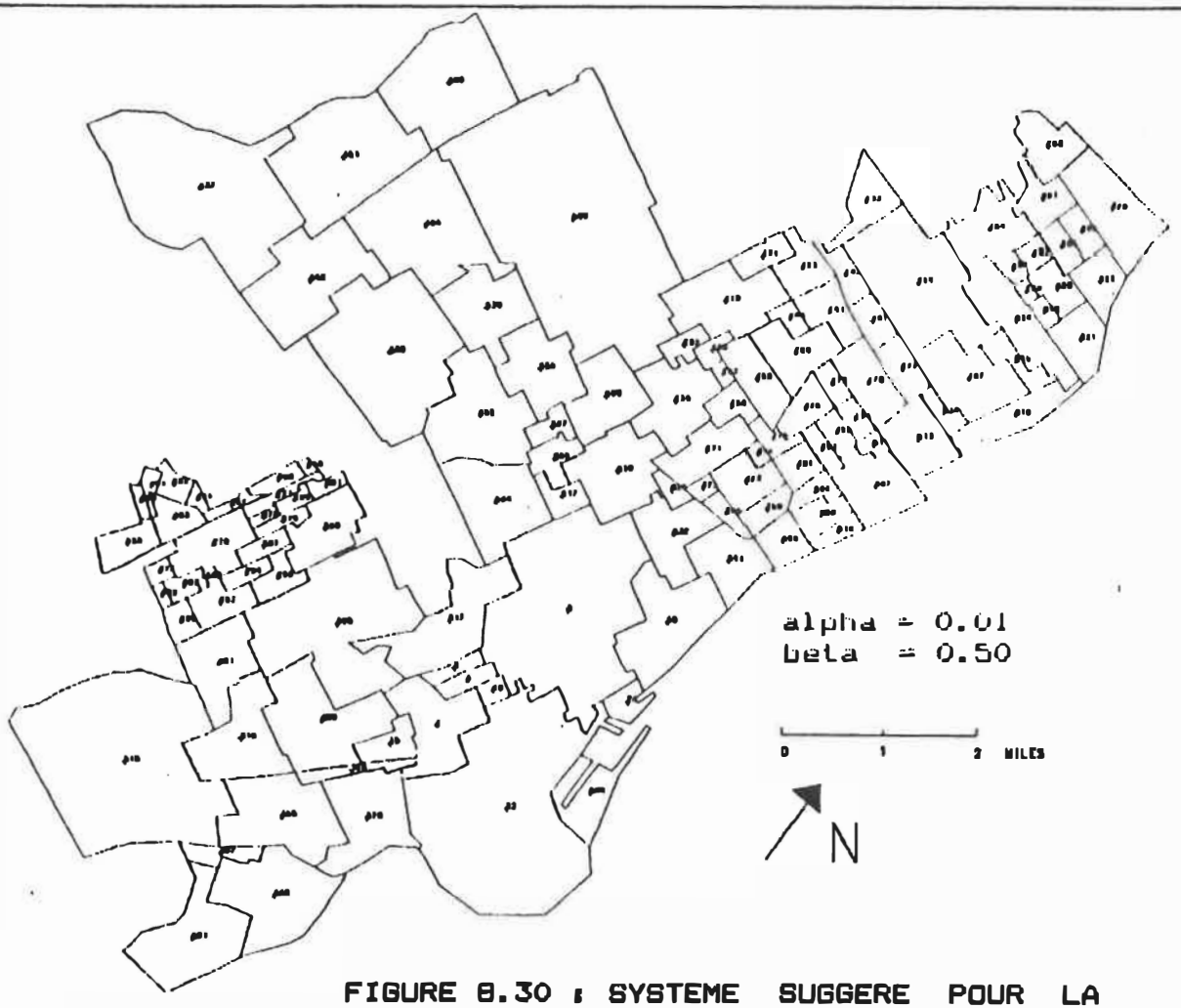


FIGURE 8.30 : SYSTEME SUGGERE POUR LA PLANIFICATION A MOYEN TERME.

que la configuration géométrique des deux est bonne tout en ayant une différence de perte d'information de 1.11%. Pour les besoins de la planification à moyen terme, le système illustré par la figure 8.27 (α=0.01 β=0.50) présente un niveau de compacité acceptable tout en gardant un niveau de perte d'information de 17.04%. C'est alors cette combinaison qu'on suggère d'adopter pour les fins de planification à moyen terme des systèmes de transport urbain.

c) LES SYSTEMES ZONAUX AU NIVEAU 300 : Etant donnée que le nombre de zones à ce niveau est relativement grand (220), une analyse visuelle des systèmes zonaux devient difficile à faire. Toutefois, les résultats obtenus montrent que les systèmes produits diffèrent les uns des autres dépendamment des valeurs allouées aux deux facteurs de pondération associés à l'homogénéité et l'interaction dans la fonction-objectif.

Les figures de l'annexe C montrent les systèmes de zones de l'étape 300. Les priorités de groupement sont différentes suivant les valeurs de α et de β. Le niveau de perte d'information ne varie pas beaucoup d'un système à un autre et par conséquent, le choix de l'un ou l'autre de ces systèmes nécessite une analyse plus approfondie.

On peut donc déterminer le meilleur groupement au niveau d'agrégation 300, en tenant compte des objectifs propres à l'étude et en intégrant d'autres critères d'analyse adaptés à la planification opérationnelle. On peut également évaluer la perte d'information causée par ce groupement afin d'évaluer les conséquences du choix sur le degré de précision des résultats mais, il reste que la variation du degré de perte d'information est relativement insuffisant à ce niveau de planification. Même l'indice de forme des systèmes ne subit pas beaucoup de variation. Ainsi, l'indice le plus bas se situe à 444.21 pour une moyenne de 2.01 par zone et le plus haut est à 451.77 pour une moyenne de 2.04. Quant au niveau de perte d'information, la plus haute quantité d'information perdue par un système se situe à 6.55% tandis que la plus basse est à 3.74%. On voit alors que la différentiation entre les systèmes zonaux à ce niveau d'agrégation est difficile à établir.

Ces constatations constituent des barrières empêchant l'adoption d'un système zonal avec des paramètres précis. La planification à court terme nécessite l'établissement de critères de choix de systèmes de zones qui reflètent le mieux les objectifs de l'étude. Ce n'est qu'à partir de ce choix qu'on peut déterminer un système zonal satisfaisant.

Il est donc difficile de suggérer un système zonal à ce niveau de planification sachant que les objectifs peuvent différer d'une étude à une autre.

CHAPITRE IX

METHODOLOGE GENERALE PROPOSEE

Aprés avoir expérimenté la méthode à l'aide des données spécifiques à la ville de Montréal, on présente dans ce chapitre la version générale de la méthodologie proposée. Le but est de donner aux planificateurs une procédure susceptible d'être appliquée dans différents contextes géographiques. La figure 9.1 montre l'organigramme générale de la méthode. Comme on peut le constater, elle est subdivisée en cinq modules distincts. Il faut noter que les modules traitant de la cueillette des données initiales, la préparation des fichiers de base ainsi que la procédure de groupement sont le fruit des travaux de K.BAASS (1979). Les modules restants sont les résultats de la présente recherche.

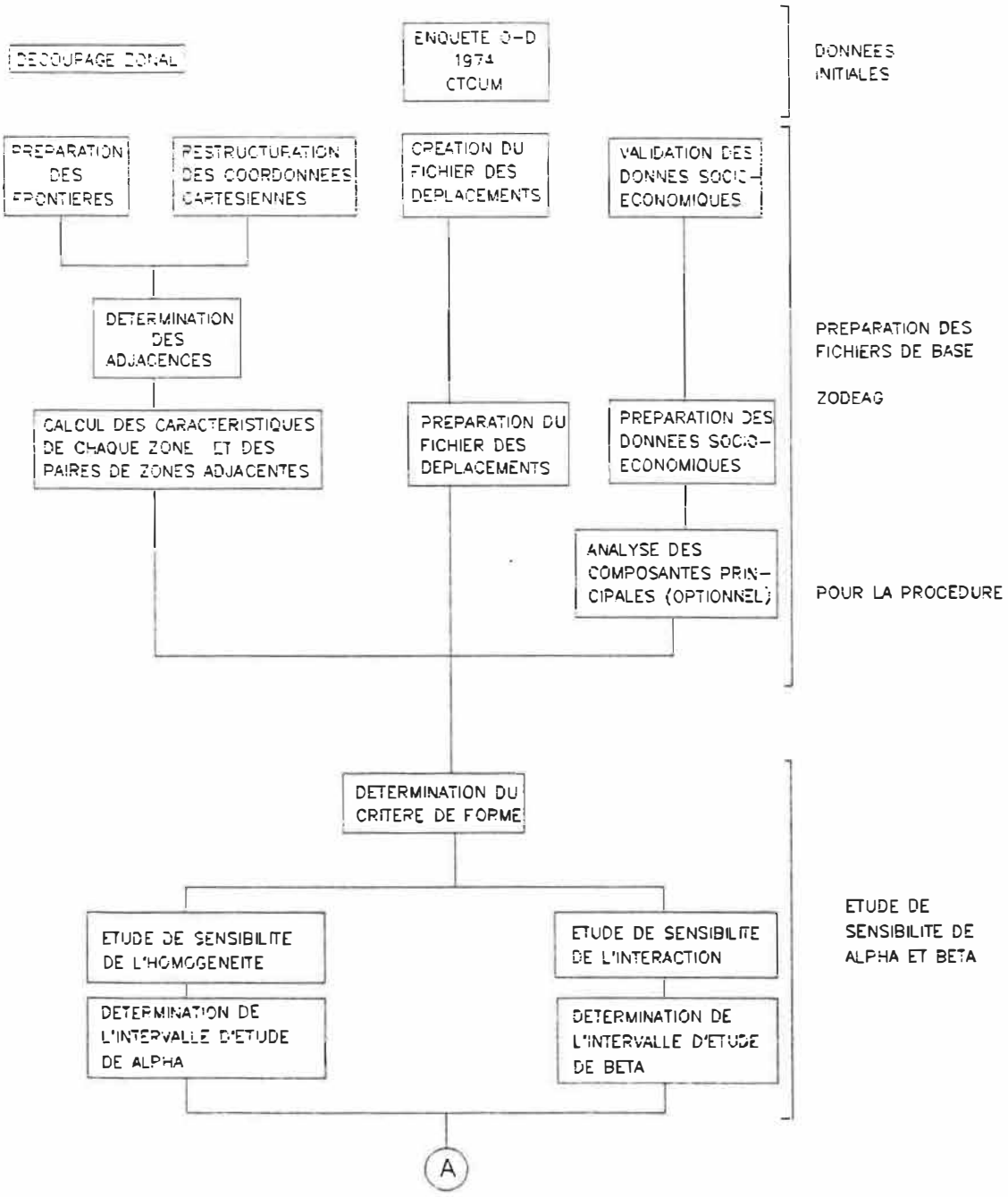


FIGURE 9.1 : ORGANIGRAMME DE LA METHODE PROPOSEE.

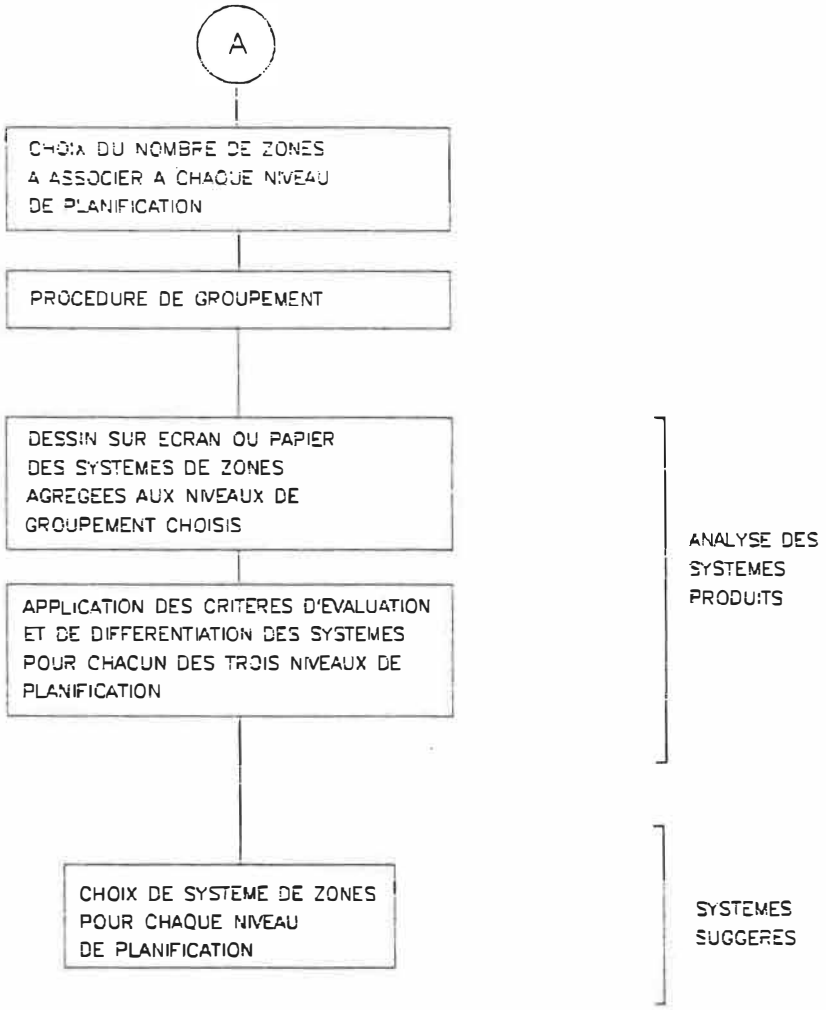


FIGURE 9.1 (SUITE)

CHAPITRE X

CONCLUSION ET RECOMMANDATIONS

Le but de la présente étude était de mesurer l'effet de l'utilisation d'une multitude de variables pondérées sur les systèmes zonaux agrégés, en vue de suggérer aux planificateurs le meilleur découpage zonal à utiliser pour la planification à court, moyen et long terme.

Pour atteindre ce but, il fallait en premier temps, faire une revue de littérature pour bien saisir la problématique de l'agrégation des données. Celle-ci nous révéla que l'algorithme heuristique de WARD présente une technique judicieuse pour effectuer le regroupement de zones. L'utilisation du logiciel ZODEAG s'avérait donc tout indiqué pour parvenir au but de la recherche puisque sa fonction-objectif est composée de deux variables pondérées qui sont l'homogénéité de la population à l'intérieur des zones et l'interaction inter-zonale.

Le premier objectif fut d'étudier la sensibilité des deux facteurs de pondération α et β associés aux deux composantes de la fonction-objectif. Il a été atteint en

considérant principalement l'évaluation de la perte d'information pour chaque niveau d'agrégation. Les résultats obtenus nous ont permis de cerner les valeurs minimales et maximales à partir desquelles ZODEAG ne réagit plus à une variation des deux facteurs de pondération.

Par le deuxième objectif, on a cherché à développer une méthodologie détaillée permettant aux planificateurs d'associer un système zonal à chacun des trois niveaux de planification. Les résultats obtenus nous ont permis d'évaluer un ensemble de systèmes zonaux produits à partir de différentes combinaisons des deux facteurs de pondération. Cette évaluation s'est faite sur la base de trois critères principaux qui font référence à une analyse visuelle, à la mesure du degré de compacité de chaque système ainsi qu'à la mesure du niveau de perte d'information encourue par chaque système lors du processus d'agrégation.

Si les résultats sont satisfaisants pour les systèmes utilisables dans un processus de planification à moyen et long terme, il reste que la procédure suggérée présente des failles au point de vue de l'évaluation des systèmes zonaux utilisables dans la planification à court

terme. Ceci est dû principalement au nombre élevé de zones qui rend l'analyse visuelle des systèmes difficile. Il y aurait moyen d'améliorer le processus d'analyse et d'évaluation des systèmes composés d'un grand nombre de zones en adoptant, par exemple, des critères basés sur l'intégration d'autres contraintes optionnelles à la fonction-objectif (exemple : contrainte sur les barrières, contrainte sur les déplacements). La méthode peut aussi être améliorée si on intègre à la procédure des outils infographiques permettant d'une part, de regrouper ou de diviser des zones du système agrégé puis d'autre part, d'en évaluer l'effet sur la fonction-objectif. Ceci ne peut qu'aider le planificateur à porter un choix judicieux pour l'adoption d'un système zonal approprié pour la planification à court terme.

BIBLIOGRAPHIE

- BAASS, Karsten.G (1979) A Procedure to Determine a good Zonal System in the Transportation Planning Process. Ph.D. Thesis, Univertité de Waterloo, Waterloo, ONTARIO, 280 p.

- BAASS, Karsten.G (1983) " Techniques d'Agrégation de Zone en Planification des Transports ", Conférence mondiale sur la recherche dans les transports, Hambourg, 18 p.

- Biomedical Computer Programms BMDP (1975), University of California Press

- BROADBENT, T.A (1979), " Notes on the Design of Operationnel Models ". Environment and Planning 2, 8, 469-476

- EVERITT, Brian (1980) " Cluster Analysis ", Second Edition, Halsted Press, New York. 136 p.

- EVERITT, Brian (1980) " Cluster Analysis ", Quality and Quantity, 14, 57-100.

- GOWER, J.C (1971) " A General Coefficient of Similarity and some of its Properties ", Boimetrics, 857-871

- HAND, D.J (1979) " Branch and Bound in Statistical Data Analysis ", The Statistician, 1-30

- HAMERSLAG, R et SCHELTES, W.H (1986) " New algorithm for grouping observations from a large transportation data base " Transportation research record #1090, 52-60.

- MILLIGAN, G.W (1981) " A Review of Monte Carlo Tests of

Cluster Analysis ", Multivariate Behavioral Research, 16, 379-407

- MOREY, C.L, BLASHFIELD, R.K et H.A SKINNER (1983) " A Comparaison of Cluster Analysis Techniques Within a Sequential Validation Framework ", Multivariate Behavioral Research, 18, 309-329

- OPENSHAW, S. (1977), " Optimal Zonning System for Spatial Interaction Models ", Environment and Planning A, Vol 9, 16, 169-184

- STATISTICS CANADA (1976), " Population and Housing Characteristics Montreal 1976 ", Publication #95-811, 1976, piv,xvii, Census of Canada

- STCUM (1974), " Mobilité des Montrèalais " Enquête Origine-Destination

- WARD, J.M (1963) " Hierarchical Groiping to Optimize an Objective Fonction ", Journal of American Statistical Association, 236-244

- ZOBLER, L. (1958), " Decision Making in Regional Construction ", Annals of Association of American Geographers 48, 9, 140-148

ANNEXE A

TABLEAU A - 1 : Pourcentage d'accumulation de la fonction-objectif pour différentes combinaisons de α et ß (α = 1.00 et ß varie de 0.9 à 1.30).

	α=1.0				
étape d'agrég.	ß=0.9	ß=1.00	ß=1.10	ß=1.20	ß=1.30
120	3.50	3.39	3.39	3.39	3.39
250	11.85	11.70	11.70	11.70	11.70
360	17.06	16.54	16.53	16.53	16.53
420	31.99	29.90	29.90	29.90	29.90

TABLEAU A - 2 : Pourcentage d'accumulation de la fonction-objectif pour différentes combinaisons de α et ß (α = 2.00 et ß varie de 0.9 à 1.30).

	α=2.00				
étape d'agrég.	ß=0.9	ß=1.00	ß=1.10	ß=1.20	ß=1.30
120	4.22	4.35	4.36	4.36	4.36
250	12.16	12.23	12.23	12.23	12.23
360	17.73	17.78	17.79	17.79	17.79
420	33.06	33.12	33.22	33.22	33.22

TABLEAU A - 3 : Pourcentage d'accumulation de la fonction-objectif pour différentes combinaisons de α et ß (ß=1.00 et α varie de 1.9 à 2.30).

	ß=1.00				
étape d'agrég.	α=1.9	α=2.00	α=2.10	α=2.20	α=2.30
135	1.41	1.33	1.33	1.33	1.33
260	6.72	6.60	6.60	6.60	6.60
310	10.55	10.01	10.00	10.00	10.00
412	21.87	19.97	19.95	19.95	19.95

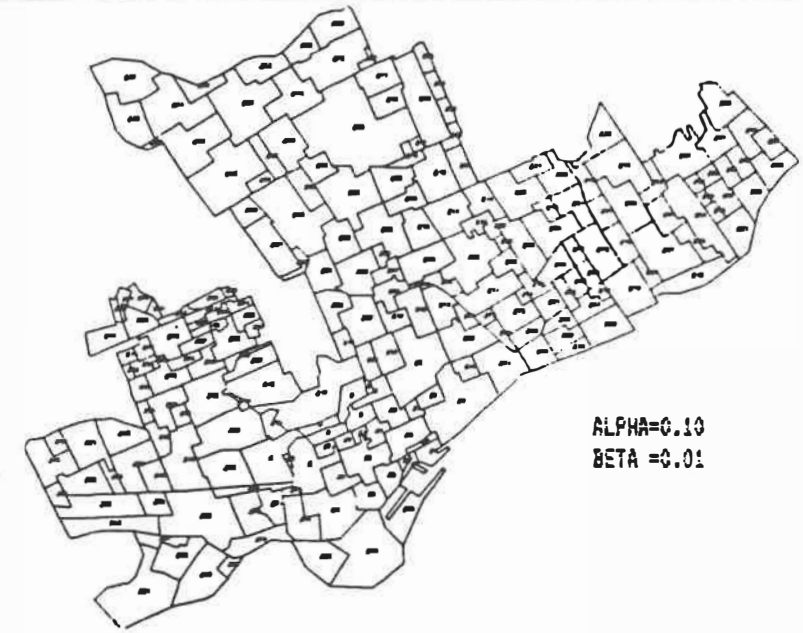
TABLEAU A - 4 : Pourcentage d'accumulation de la fonction-objectif pour différentes combinaisons de α et ß (ß=0.10 et α varie de 1.9 à 2.30).

	ß=0.10				
étape d'agrég.	α=1.9	α=2.00	α=2.10	α=2.20	α=2.30
135	1.49	1.36	1.34	1.34	1.34
260	6.79	6.63	6.58	6.58	6.58
310	10.97	10.11	10.11	10.11	10.11
412	21.90	20.03	19.97	19.97	19.97

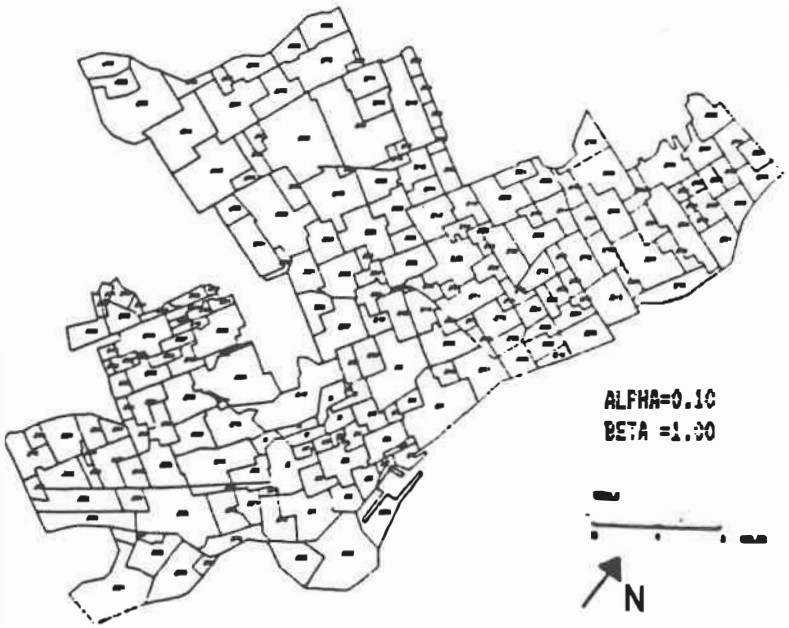
ANNEXE B

VARIABLE	SIGNIFICATION
AGE18HH	personnes agées moins de 18 ans / ménage
AGE65HH	personnes agées entre 18 et 65 / ménage
AGE90HH	personnes agées plus de 65 ans / ménage
PERSHH	personnes par ménage
MASCPOP	pourcentage de la population masculine
POPACRE	population par acre
HHACRE	ménages par acre
CAR1HH	ménages avec 1 voiture
CAR2HH	ménages avec 2 voitures
CAR3HH	ménages avec 3 voitures
CARADU	voitures par adultes
WORKTHH	déplacements-travail par ménage
STUDYHH	déplacements-étude par ménage
LEISTHH	déplacements-loisir par ménage
NOTRHH	non-déplacements par ménage
SHOPTHH	déplacements-magazinage par ménage
OTHETHH	déplacements-autres par ménage

ANNEXE C



ALPHA=0.10
BETA =0.01



ALPHA=0.10
BETA =1.00

N

FIGURE C.1 : CONFIGURATION ZONALE DE L'ETAPE 300
DU PROCESSUS D'AGREGATION.

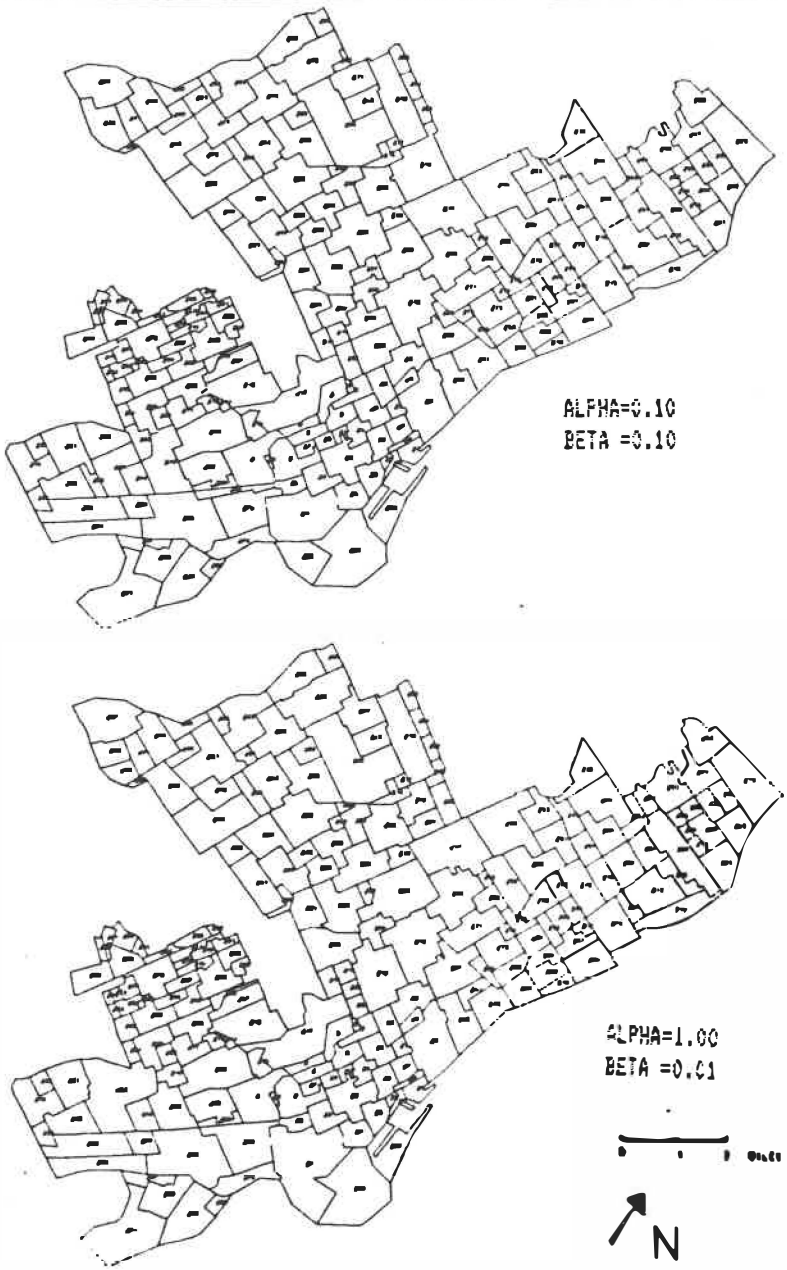


FIGURE C.2 : CONFIGURATION ZONALE DE L'ETAPE 303
DU PROCESSUS D'AGREGATION.

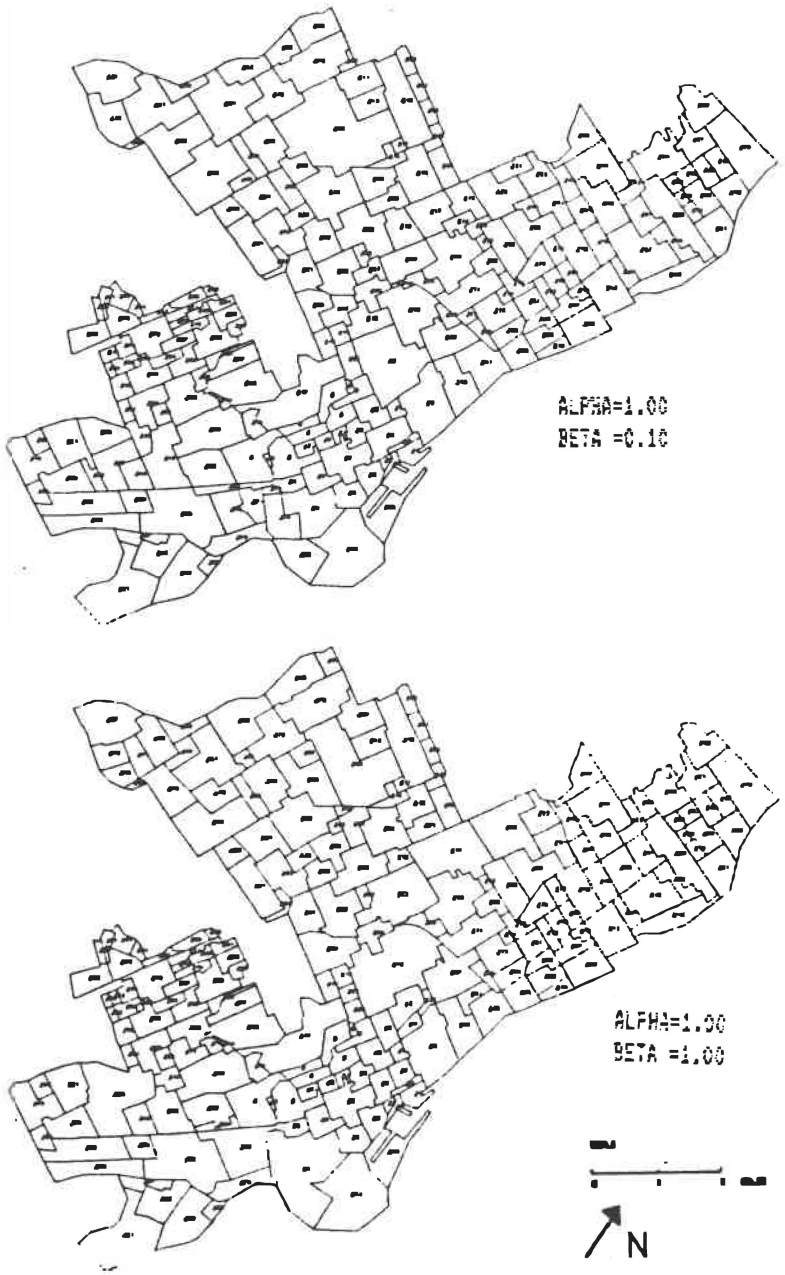


FIGURE C.3 : CONFIGURATION ZONALE DE L'ETAPE 300
DU PROCESSUS D'AGREGATION.

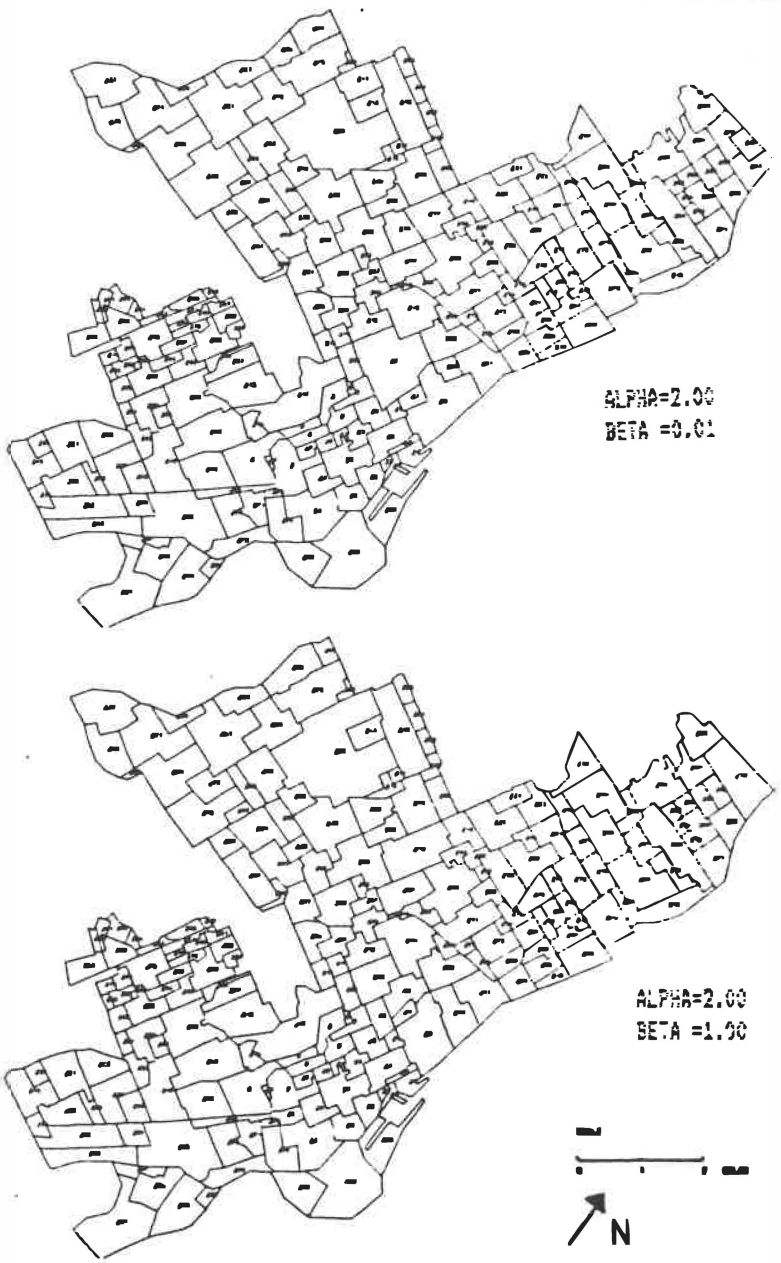


FIGURE C.4 : CONFIGURATION ZONALE DE L'ETAPE 300
DU PROCESSUS D'AGREGATION.

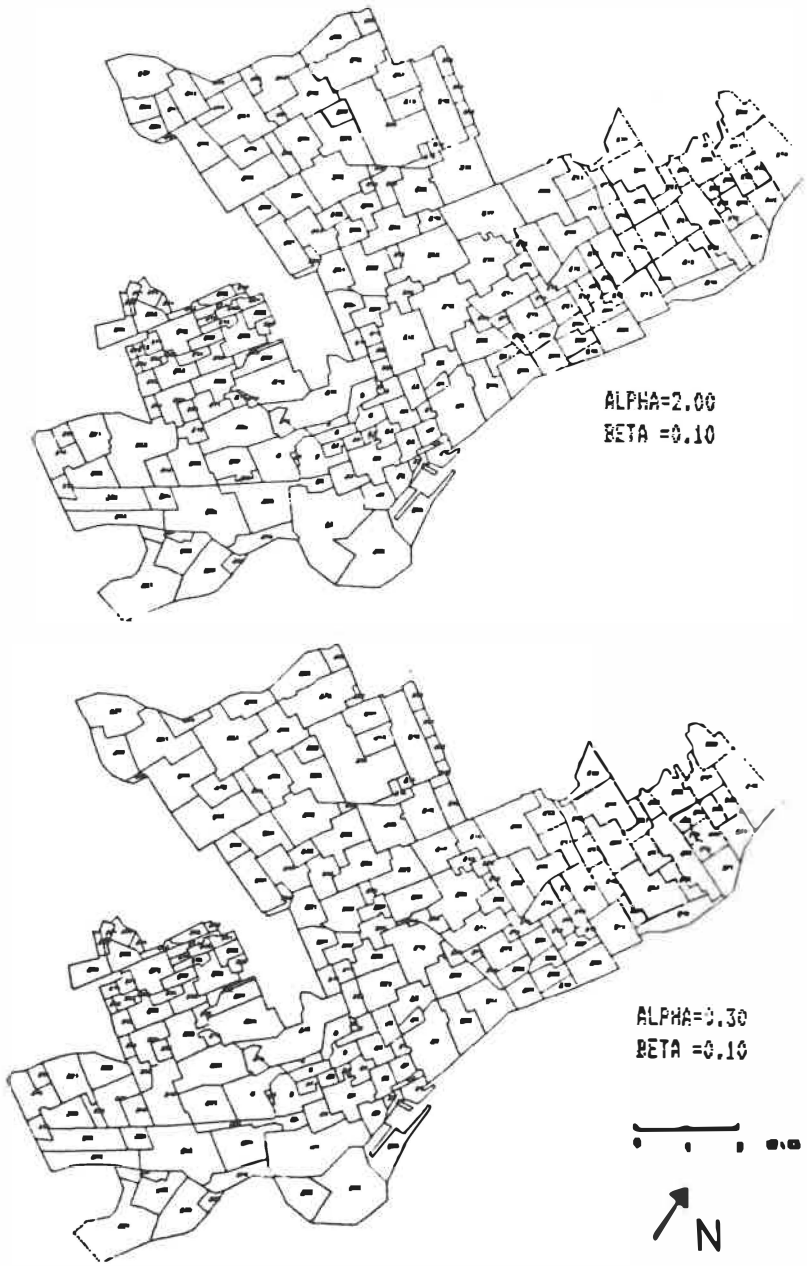


FIGURE C.5 : CONFIGURATION ZONALE DE L'ETAPE 300
DU PROCESSUS D AGREGATION.

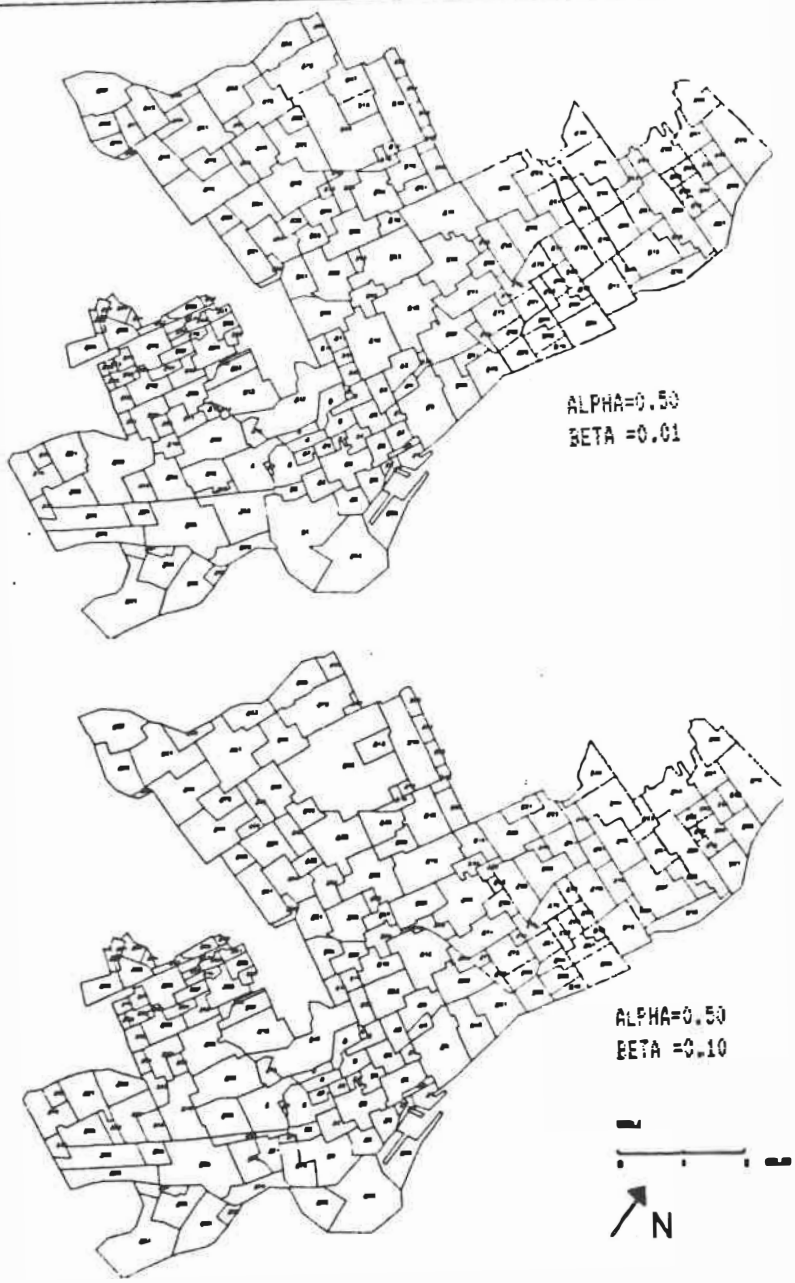


FIGURE C.6 : CONFIGURATION ZONALE DE L'ETAPE 300
DU PROCESSUS D'AGREGATION.

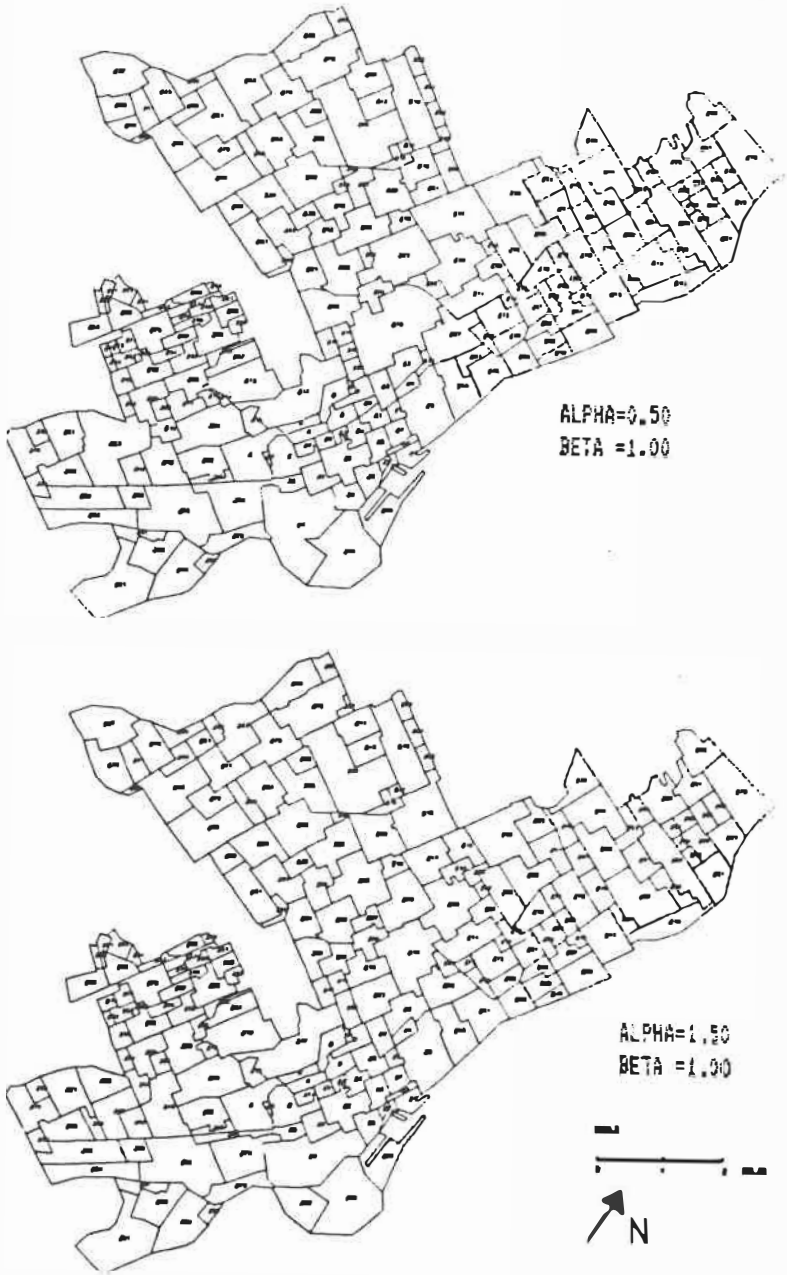


FIGURE C.7 : CONFIGURATION FINALE DE L'ETAPE 300
DU PROCESSUS D'AGREGATION.

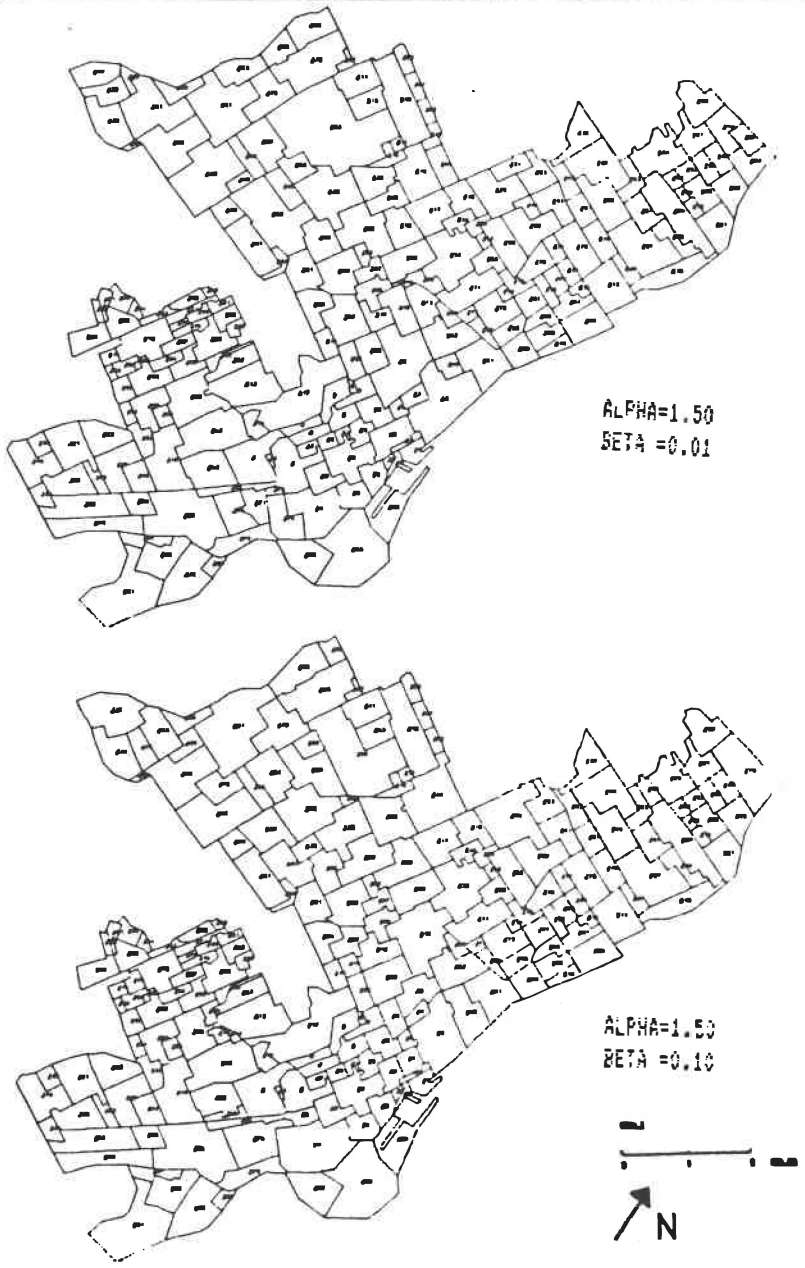


FIGURE 3.9 : CONFIGURATION ZONALE DE L'ETAPE 300
DU PROCESSUS D'AGREGATION.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL
3 9334 00290897 6