

TECHNIQUE D'AGREGATION DE ZONES EN PLANIFICATION DES TRANSPORTS

par
K.G. Baass, Ph.D.
Ecole Polytechnique
Campus de l'Université de Montréal
Case Postale 6079, Succursale "A"
Montréal, Qué. CANADA H3C 3A7

RESUME

Les études de transport ont pour but de représenter 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 de zones qui ont des caractéristiques semblables au point de vue génération des déplacements. Jusqu'ici ces zones ont été déterminées par le planificateur de manière empirique, ce qui ne produit pas nécessairement de systèmes optimaux. Une nouvelle méthode a été développée, dont le nom est ZODEAG pour ZOnal DEsign AGregation and analysis package, qui permet d'obtenir de bons systèmes de zones en utilisant des concepts statistiques d'analyse de données, comme l'analyse factorielle et l'analyse taxinomique. Une fonction-objectif et des contraintes, choisies par le planificateur, permettent un découpage de zones répondant aux besoins de l'étude de transport. La méthode a été appliquée aux données de la région de Montréal et des résultats satisfaisants ont été obtenus.

TECHNIQUE D'AGREGATION DE ZONES EN PLANIFICATION DES TRANSPORTS

par
 Karsten G. BAASS
 Ecole Polytechnique
 Campus de l'Université de Montréal
 Case Postale 6079, Succursale "A"
 Montréal, Qué. CANADA H3C 3A7

INTRODUCTION

Le transport urbain est une activité humaine reliée à l'espace et au temps; or ces deux dimensions ne sont qu'imparfaitement représentées par nos 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. Ce n'est pas seulement l'acquisition des données qui empêche l'exécution d'une telle étude, mais également l'élaboration et l'utilisation de modèles mathématiques permettant de simuler ces mouvements en détail. Nous sommes obligés de faire en partie abstraction de 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.

Nous n'avons actuellement que très peu de connaissances quant aux caractéristiques désirables d'un bon système de zones, et quant aux liens unissant les modèles utilisés dans la procédure classique de planification à ces systèmes de zones. Baass (1980) donne une revue de la littérature à ce sujet. Des recherches récentes, par exemple par Openshaw (1977), indiquent que ces relations sont intriquées et encore très mal comprises et que le choix du système de zones a une influence considérable sur les résultats de l'étude de transport.

Jusqu'ici la délimitation géométrique de ces systèmes de zones a été effectuée de manière empirique par le planificateur, qui choisissait le nombre de zones à utiliser, donc le détail spatial représenté par les modèles, en faisant un compromis qualitatif entre la précision des résultats et le budget disponible pour l'étude.

LA PROBLEMATIQUE

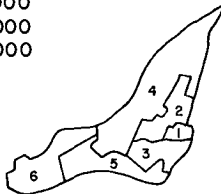
Une analyse mathématique montre que le problème du choix d'un système contenant m zones agrégées et formé à partir d'un système initial de n zones est hautement combinatoire et laisse entrevoir que la manière empirique d'aborder sa solution n'est guère satisfaisante. En effet, si à partir d'un système initial et détaillé à n zones on veut élaborer un système de zones agrégées, les décisions devront être prises à deux niveaux. Premièrement, on doit décider du nombre de zones m à utiliser, c'est à dire du niveau d'agrégation, ce qui revient à un com-

SYSTEMES DE ZONES

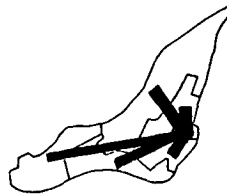
par: K. G. Baass

promis entre précision et coût de l'étude. Et deuxièmement, lorsque cette décision est prise, il s'agit de déterminer de quelle manière ces zones initiales vont être groupées afin de produire un système de m zones. Si l'on veut s'assurer de choisir le système optimal par rapport aux critères que l'on s'est fixés, on doit énumérer et évaluer tous les systèmes possibles. Un exemple simple permet d'illustrer cette problématique. (voir figure 1)

| <u>ZONE</u> | <u>VARIABLE</u> |
|-------------|-----------------|
| 1 | 1000 |
| 2 | 3000 |
| 3 | 6500 |
| 4 | 5000 |
| 5 | 7000 |
| 6 | 7000 |



VARIABLE
SOCIO-ÉCONOMIQUE



DÉPLACEMENTS

Fig 1 - Le problème de l'agrégation des zones

La question est d'agrèger un système de six zones initiales et de déterminer le niveau d'agrégation de même que la configuration spatiale des zones agrégées à ce niveau. Une variable socio-économique décrit la population dans chacune des zones initiales et la distribution des déplacements illustre l'interaction entre les zones. On analysera donc tous les systèmes de zones possibles ayant $n-1 \dots 1$ zones, afin d'en trouver le système optimal.

Ce problème peut être décomposé en deux problèmes mathématiques d'énumération; pour cela l'analyse combinatoire sera une aide indispensable. Le premier problème est celui de déterminer toutes les partitions des n zones initiales en $n-k$ groupes où k va de $1 \dots n-1$. Le deuxième problème consistera à énumérer toutes les combinaisons de membres dans ces zones agrégées. Le nombre total de partitions, ainsi que les partitions elles-mêmes peuvent être déterminés à l'aide d'un algorithme d'énumération. Il est également possible de dénombrer toutes les combinaisons de zones initiales à l'intérieur des zones agrégées.

Dans l'exemple ci-haut, la partition possible au niveau d'agrégation cinq est de (1,1,1,1,2) et si nous imposons la contrainte de n'agrèger que des zones adjacentes, nous avons à étudier neuf systèmes distincts de zones. Dans le cas où l'objectif serait de maximiser l'homogénéité de la population dans la nouvelle zone et en même temps de perdre un minimum de déplacements entre les zones, lors de la création d'une nouvelle zone, on grouperait les zones 5 et 6. L'agrégation des zones 5 et 6 s'avère la meilleure, car c'est elle qui nous fait perdre un

minimum d'information. Deux partitions sont possibles au niveau 4 de l'agrégation, à savoir la partition (1,1,1,3) avec 12 systèmes distincts et la partition (1,1,2,2) avec 32 systèmes distincts de zones.

On peut donc déterminer le meilleur groupement à un niveau d'agrégation donné, en tenant compte de certains objectifs et contraintes. On peut également évaluer la perte en information causée par ce groupement. Plus on agrège, plus on perd d'information et ceci 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 on n'en a qu'une seule, on devra trouver un niveau d'agrégation satisfaisant selon les buts de l'étude de transport. La détermination de ce niveau d'agrégation pourrait se faire en examinant, par exemple, le graphique mettant en relation le pourcentage de déplacements représentés par le système agrégé (la perte en déplacements cumulée) avec le niveau d'agrégation. (figure 2)

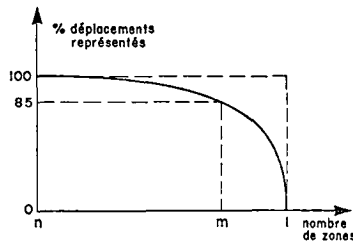


Fig 2 - Perte d'information par rapport au niveau d'agrégation

Si par exemple on se basait sur le critère formulé par Broadbent (1970) qui fixe à 85% le pourcentage de déplacements nécessaires pour une bonne représentation d'un modèle de distribution des déplacements, on pourrait déterminer le niveau d'agrégation m à choisir. Ceci n'est évidemment qu'un exemple de critère.

Le grand nombre de combinaisons à étudier, pour lesquelles le deuxième nombre de Stirling donne une borne supérieure, suggère qu'une solution empirique ne sera probablement pas optimale.

En conséquence, une méthode systématique a été développée dont le but est de produire automatiquement de bons systèmes de zones qui remplissent les conditions nécessaires pour la planification des transports.

DEFINITION D'UN BON SYSTEME DE ZONES

Les systèmes de zones servent de base aux modèles de planification, c'est à dire au modèle de génération des déplacements, au modèle de partage entre les modes, au modèle de distribution et finalement au modèle d'affectation des déplacements. Chacun des modèles a ses propres critères pour déterminer le système

de zones, et on peut dégager les conditions suivantes comme étant les plus importantes.

- 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 le modèle de partage entre les modes.
- conserver un maximum d'interaction entre les zones, condition importante à tous les niveaux, surtout pour le modèle d'affectation des déplacements.
- limiter le nombre de déplacements attirés et produits par la nouvelle zone, afin d'éviter une surcharge des rues adjacentes, ce qui est particulièrement important au niveau de l'affectation des déplacements.
- respecter les limites naturelles, administratives et historiques.
- éviter la formation de zones ayant une configuration inacceptable à tous les niveaux, c'est à dire en forme d'anneau, allongée etc.
- grouper uniquement des zones adjacentes pour ne constituer que de zones connexes.
- éviter 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 ne pas avoir 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.

Ces conditions sont réalisées dans les programmes, soit par l'intermédiaire de contraintes, soit par la fonction-objectif.

REPRESENTATION GEOGRAPHIQUE DES ZONES

Les zones du système initial sont généralement délimitées par des limites curvilignes qui ne peuvent pas facilement être décrites mathématiquement. Cependant, une procédure informatisée nécessite une description mathématique pour des fins de calcul de superficie, de périmètre et de centroïde des zones.

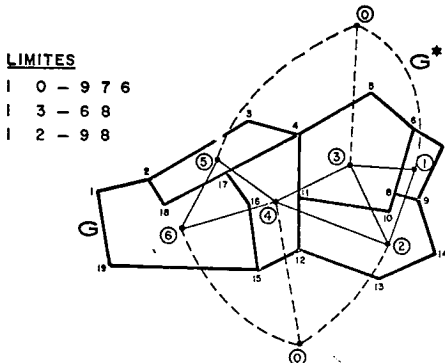


Fig 3 - Représentation des zones

On peut, sans perdre trop de précision, simplifier ces limites, et les remplacer par des polygones ou des chaînes d'arcs dont les sommets sont relevés par géocodage de leurs coordonnées x et y . Ces polygones forment le graphe connexe G . On peut dessiner un graphe dual G^* de G dont les sommets correspondent aux centroïdes des zones en G . Les arcs reliant ces sommets La description la plus compacte du système de zones et de ses zones adjacentes est donnée par la codification des arcs du graphe G^* ainsi que par la chaîne d'arcs en G coupée par l'arc du graphe G^* , comme illustré à la figure 3. Dans le cas de Montréal, le nombre de sommets nécessaires à la description du graphe G est d'approximativement 2400 pour 1000 zones.

L'ALGORITHME DE GROUPEMENT

Il s'agit d'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 après avoir dénombré chaque partition et chaque combinaison à tous les niveaux d'agrégation.

Une énumération, cependant, 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 de zones a donc été adoptée. Cette méthode heuristique suit de près l'algorithme proposé par Ward (1963).

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 des deux zones qui ont produit la meilleure valeur de la fonction-objectif. Le groupement de ces deux zones ne sera plus reconsidéré 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 certaine méthode. Ceci est important, notamment dans le cas de la contrainte sur la forme géométrique de la zone. Bien qu'il s'agisse d'un algorithme heuristique, des applications dans d'autres domaines indiquent que les groupements ainsi produits sont bons.

LA FONCTION-OBJECTIF

Les groupements produits dépendent beaucoup de la fonction-objectif adoptée. Celle qui a été programmée et testée comporte deux composantes. Une première, dont le but est de maximiser l'homogénéité de la population dans la nouvelle zone, ce qui est atteint par une minimisation de la variance intrazonale calculée sur plusieurs variables socio-économiques qui

décrivent la population, ou sur des facteurs obtenus par une analyse factorielle. Une faible variance intra-zonale indique une grande homogénéité de la population dans cette zone. La deuxième composante de la fonction-objectif tient compte de la maximisation de l'interaction entre les zones, ce qui est atteint par la minimisation de l'accroissement des déplacements intra-zonaux lorsque deux zones sont groupées. Les deux termes de la fonction-objectif peuvent être pondérés par l'analyste. Les détails mathématiques de l'algorithme, des contraintes ainsi que de la fonction objectif sont donnés par Baass (1979).

LE LOGICIEL "ZODEAG"

Un organigramme général (voir figure 4) 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 central étant celui du groupement. L'ensemble de ces programmes s'appelle ZODEAG, sigle provenant de l'anglais qui signifie ZOnal DESign AGregation and analysis package. L'organigramme de la figure 5 montre l'enchaînement des programmes qui y sont représentés par un rectangle. 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 des points décrivant ces 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 CARTLIB) 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 pour 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 afin d'accélérer les calculs. Les données socio-économiques qui servent à décrire la population sont généralement normalisées afin d'éviter qu'une variable ne prenne plus d'importance qu'une autre; il peut être également avantageux de réduire le nombre de variables socio-économiques par une analyse factorielle à trois ou quatre facteurs significatifs. Cette analyse est faite à l'aide du logiciel BMDP (1979), mais reste facultative.

Ayant préparé les données pour la région à étudier, il peut être important et même nécessaire de n'en étudier qu'un sous-ensemble, par exemple une municipalité. Pour faciliter la tâche de l'analyste, un programme peut servir à préparer les données pour ce sous-ensemble de la région. Pour l'évaluation de certaines contraintes et notamment pour la contrainte de la forme, il s'agit de calculer la surface, le périmètre, le centroïde et le rayon de la zone agrégée, résultat du groupement de deux zones. On calcule d'abord ces valeurs pour chaque zone initiale grâce à un programme, et on effectue des rectifications des zones inacceptables au départ, et enfin on recal-

culer ces valeurs pour les zones agrégées.

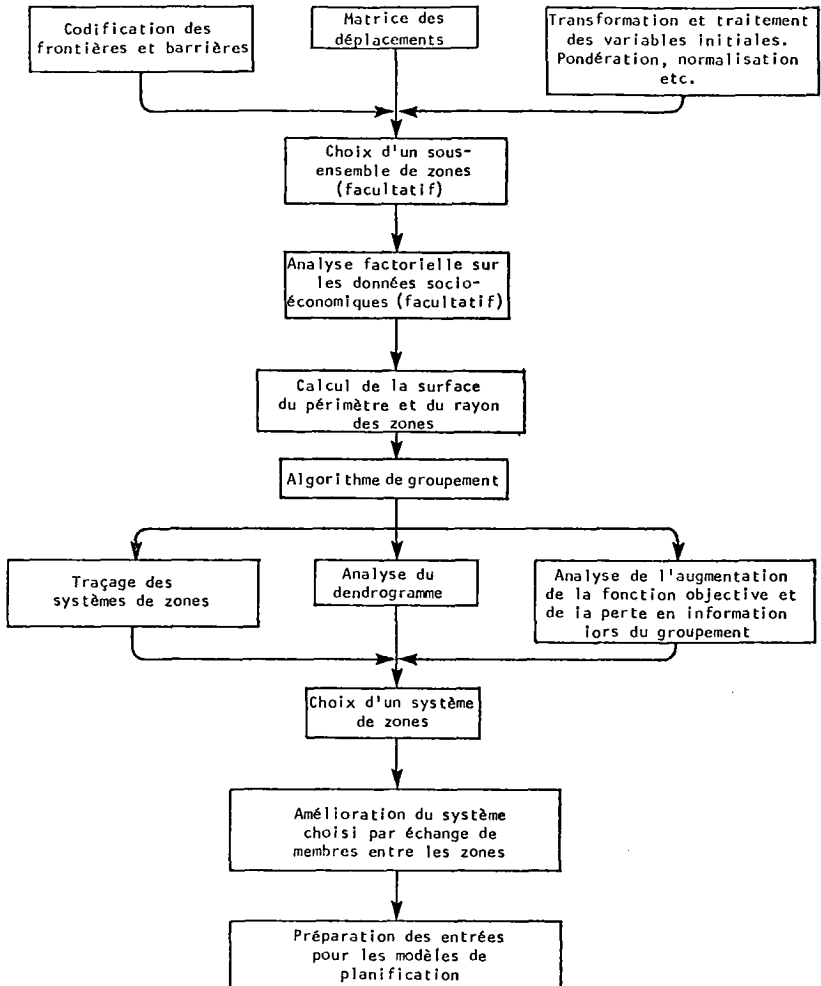


Fig 4 - Organigramme général

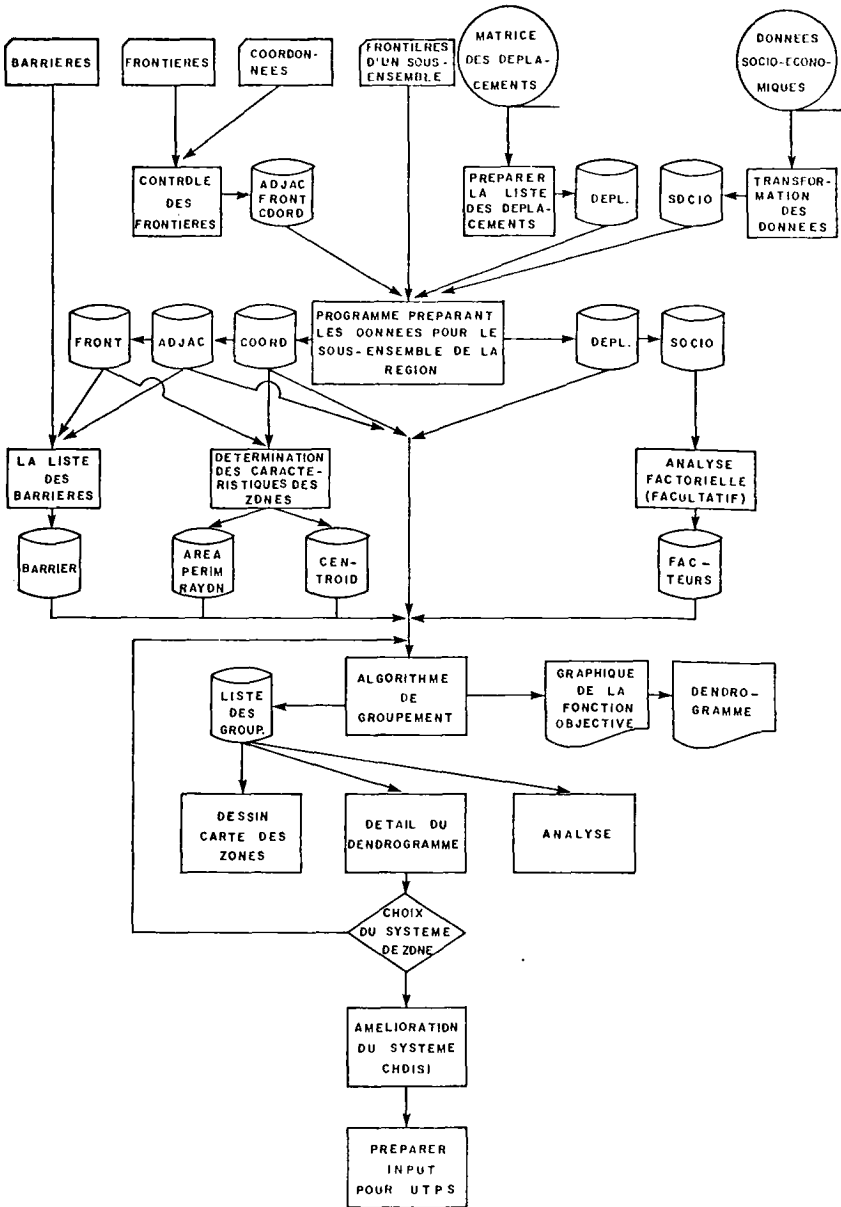


Fig 5 - Le logiciel ZODEAG

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

Lorsqu'on étudie un système ayant un grand nombre de zones initiales, l'analyse des résultats est difficile et nécessite d'autres modules, notamment celui qui dessine les systèmes de zones soit de manière interactive graphique sur écran cathodique, soit sur traceur de courbes. Le dendrogramme produit par un autre module spécial qui se sert d'une sous-routine donnée par Anderberg (1973) permet de visualiser les groupements effectués à chacun des niveaux d'agrégation. Les dendrogrammes, cependant, deviennent difficiles à interpréter lorsque le nombre de zones est élevé. L'étude détaillée des résultats à l'aide des modules d'analyse peut nécessiter des changements de paramètres dans les contraintes et dans le modèle de groupement, avant de produire un système satisfaisant de zones agrégées.

On peut tenter d'améliorer le système choisi, grâce à un module de post-optimisation étant donné que l'algorithme utilisé ne produit pas nécessairement un système globalement optimal. L'analyste peut vouloir changer l'appartenance de certaines zones initiales aux zones agrégées pour en améliorer la forme géométrique ou pour toute autre raison. Le module de post-optimisation étudie le changement proposé et l'effectue uniquement si une amélioration de la fonction objectif est atteinte ou si son augmentation ne dépasse pas une limite spécifiée par l'analyste.

Finalement, le dernier module, prépare les données socio-économiques et celles des déplacements correspondant au système choisi pour les modèles de planification des transports.

ILLUSTRATION DE LA METHODE

La méthodologie a été appliquée à la ville de Montréal, Canada, en utilisant les données recueillies lors de l'enquête origine-destination qui est effectuée tous les quatre ans. Pour mieux illustrer la méthode ZODFAG et ses résultats, l'exemple part des 42 secteurs illustrés en figure 6 qui constituent un système déjà agrégé des 1024 zones initiales de l'enquête. Ce système de 42 secteurs est utilisé à des fins de planification par la communauté urbaine de Montréal. La méthodologie a été appliquée à la matrice origine destination pour le motif travail, qui est la plus significative. Des données socio-économiques 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 travail, magasinage, loisir et autres. Après normalisation, ces variables ont été soumises à une analyse factorielle afin d'éliminer les variables redondantes et de résumer aussi bien que possible le contenu de ces variables. Quatre facteurs ont été retenus, qui représentent 90% de la variation contenue dans les variables initiales (tableau 1 et 2). L'étude de la relation entre les variables initiales et les facteurs a permis de constater que le premier facteur est relié au statut familial, le deuxième au statut

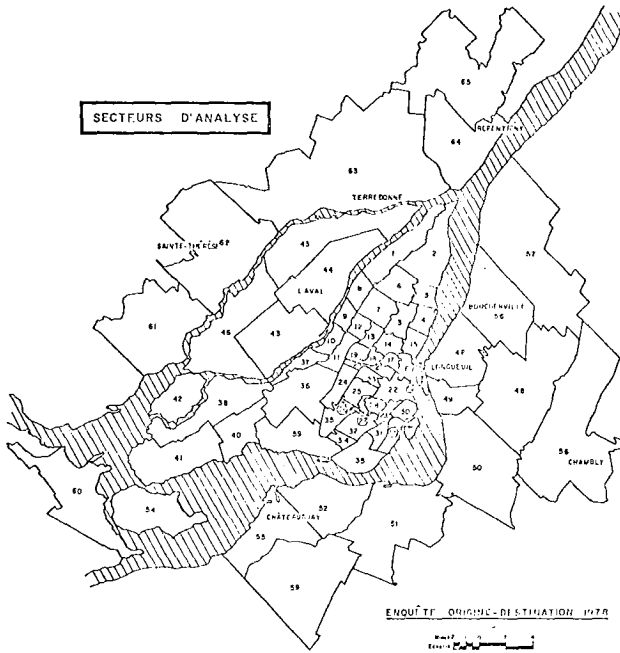


Fig 6 - Les 42 secteurs de l'étude

socio-économique et les deux autres au comportement de déplacement, notamment aux déplacements loisir, travail et magasinage. L'analyse de la distribution spatiale des acteurs (voir figures 7 et 8) constitue une partie intéressante du problème et de nombreuses conclusions peuvent en être tirées.

Cette analyse, aussi utile qu'elle soit, n'est cependant pas nécessaire car dans la méthode ZODEAG on utilise l'analyse factorielle comme moyen de résumer efficacement les variables et d'en éliminer toute redondance.

L'algorithme de groupement a été appliqué à ces données en utilisant différentes contraintes. Quelques résultats suivent: La figure 9 illustre trois niveaux d'agrégation sans contraintes. Aux étapes initiales de groupement, les zones ayant une population similaire sont groupées, à condition que l'interaction entre ces zones soit faible. On remarque donc surtout un groupement dans les banlieues. Les zones agrégées 1 et 38 sont de bons exemples, car la population y est très semblable, phénomène que l'on peut constater en étudiant la distribution spatiale des facteurs. D'autre part, la zone 22, le centre ville, se distingue nettement des autres zones, car c'est elle qui attire le plus grand pourcentage de déplacements





Tableau 1 - Proportion de la variance totale expliquée par les facteurs

| Facteur | Variance expliquée | Proportion cumulative |
|---------|--------------------|-----------------------|
| 1 | 6.112 | 0.509 |
| 2 | 3.174 | 0.774 |
| 3 | 1.046 | 0.861 |
| 4 | 0.502 | 0.903 |
| 5 | 0.400 | 0.936 |
| 6 | 0.261 | 0.960 |
| 7 | 0.209 | 0.978 |
| 6 | 0.133 | 0.989 |
| 9 | 0.066 | 0.995 |
| 10 | 0.044 | 0.998 |
| 11 | 0.020 | 1.000 |
| 12 | 0.002 | 1.000 |

Tableau 2 - Relation entre variables et facteurs

| Variable Initiale | | Facteur 1 | Facteur 2 | Facteur 3 | Facteur 4 |
|----------------------|----|--------------|--------------|--------------|--------------|
| PERSHH | 3 | 0.941 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| AGE18HH | 1 | 0.924 | 0. | 0.0 | 0.0 |
| AGE65HH | 2 | 0.912 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| MASCPop | 4 | 0.875 | 0.0 | 0.0 | 0. |
| STUDYTHH | 9 | 0.819 | 0. | 0.0 | 0.0 |
| WORKTHH | 8 | 0.803 | 0.0 | 0.0 | -0.456 |
| CAR2HH | 5 | 0.0 | 0.928 | 0.0 | 0.0 |
| CARADU | 7 | 0. | 0.902 | 0.0 | 0.0 |
| CAR3HH | 6 | 0. | 0.872 | 0.0 | 0.0 |
| SHOPTHH | 11 | 0.0 | 0.745 | 0.0 | 0.493 |
| LE1STHH | 10 | 0.0 | 0.0 | 0.942 | 0.0 |
| OTPERTHH | 12 | 0.0 | 0. | 0.497 | 0.697 |

ANALYSE FACTORIELLE 42 SECTEURS

-  -1.0 and less
-  0.0 to -1.0
-  0.0 to +1.0
-  +1.0 and more

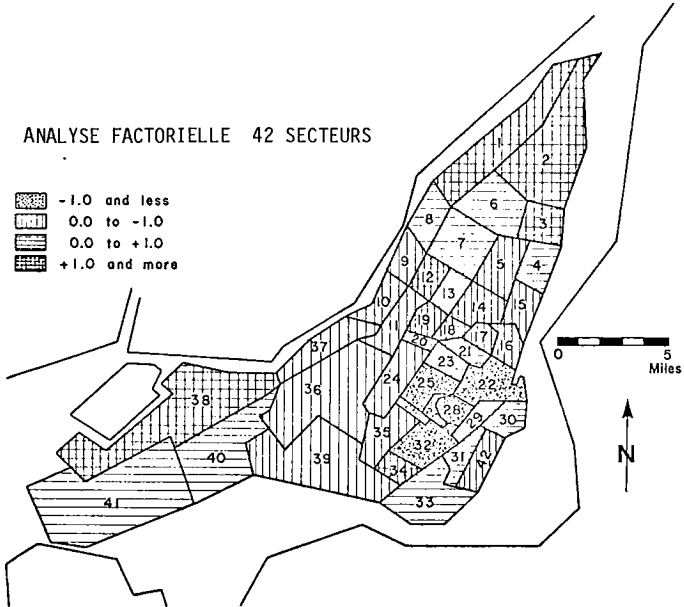


Fig 7 - Facteur 1: Statut familial

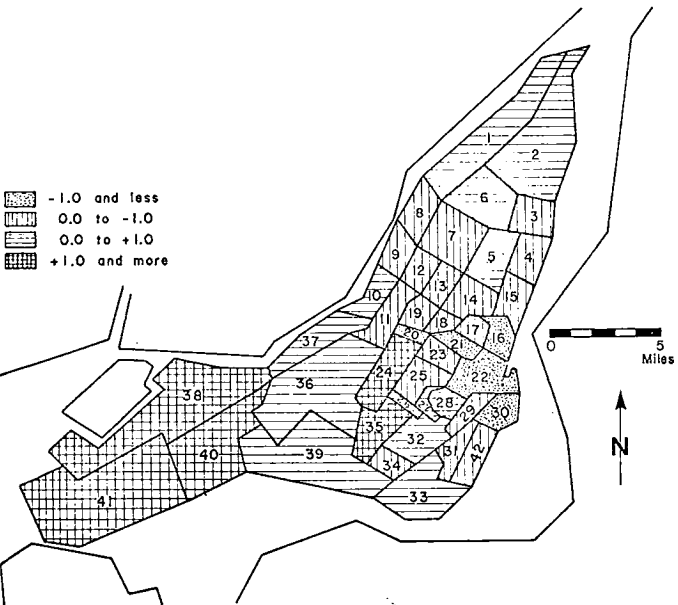


Fig 8 - Facteur 2: Statut socio-économique

SYSTEMES DE ZONES

par: K. G. Baass

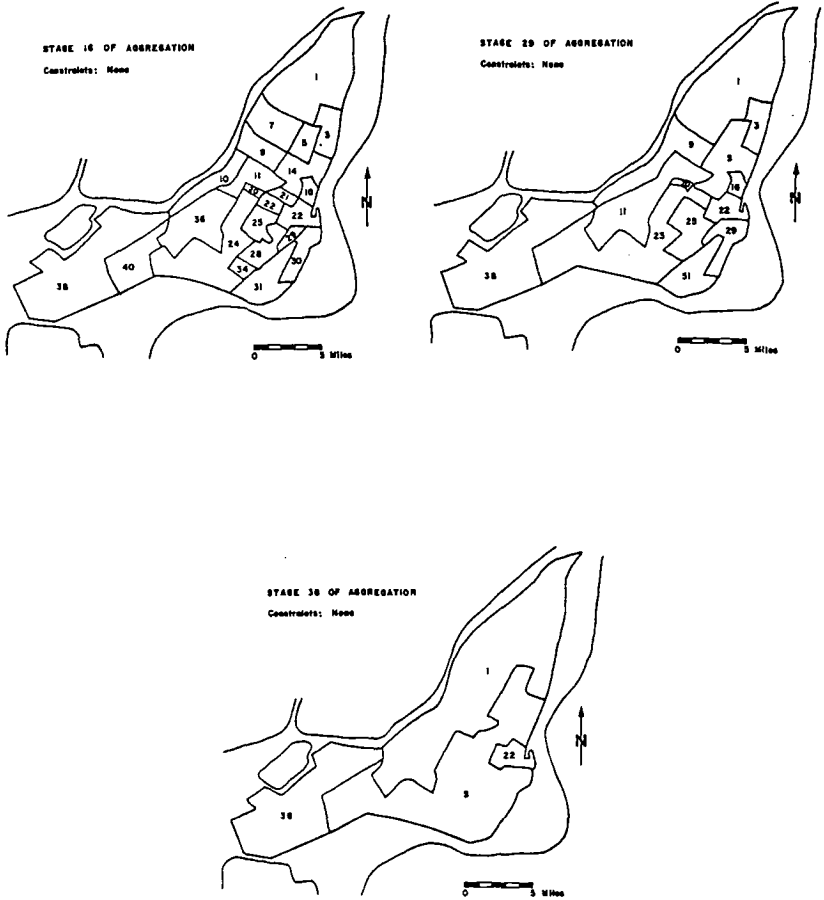


Fig 9 - Trois niveaux d'agrégation: Aucune contrainte
42 zones initiales

SYSTEMES DE ZONES

par: K. G. Baass

pour le motif travail. A l'étape d'agrégation 38, on remarque une séparation nette entre centre-ville, zone de bordure du centre et banlieue. A cette étape, ces 4 zones conservent encore 55% des déplacements initiaux. Lorsque l'agrégation progresse, des zones de moins en moins similaires sont groupées et la variance intra-zonale ainsi que les déplacements intra-zonaux augmentent rapidement. La figure 10 illustre bien cet effet.

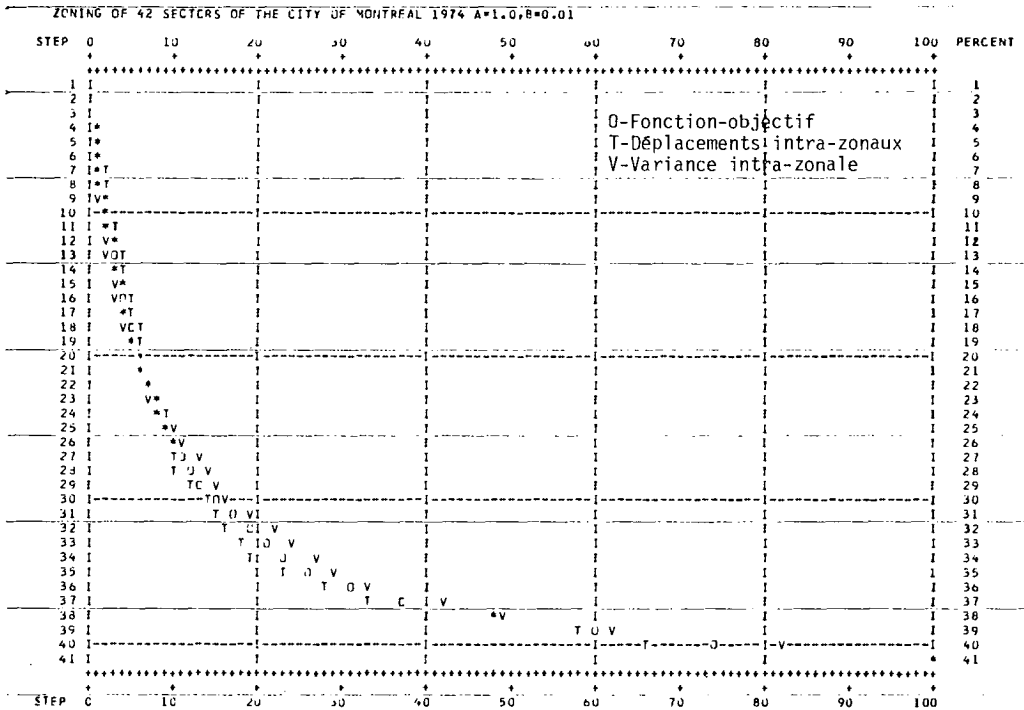


Fig 10 - Fonction-objectif par rapport au niveau d'agrégation

L'ordonnée y représente le niveau d'agrégation tandis que l'abscisse indique l'accroissement en pourcentage de la fonction objectif et de ses deux composantes. Au niveau 41 de l'agrégation, 100% de la variation est intra-zonale et 100% des déplacements se font à l'intérieur de la zone qui reste. Le dendrogramme de la figure 11 illustre les groupements et indique à quel niveau quelles zones ont été agrégées. A l'étape 38, on distingue les 4 zones de la figure 9 et on peut aisément relever les zones initiales, membres de ces zones agrégées. L'analyste connaissant la ville appréciera l'utilité de cette représentation.

| ZONE NAME | ID NO | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|-----------------------|-------|-----|----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|----|----|----|-----|----|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| STAGE | | 13 | 19 | 24 | 27 | 30 | 32 | 33 | 35 | 35 | 36 | 37 | 37 | 38 | 38 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 39 | 40 | 40 | 40 | 40 | 41 |
| MTL RIVIERE PRAIRIES | 1 | --- | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MTL EST PTE ALX TREM | 2 | --- | I | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ANJOU | 6 | --- | I | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ST LEONARD | 7 | --- | I | --- | I | --- | | | | | | | I | | | | | | | | | | | | | |
| MONTREAL-NORD | 8 | --- | I | --- | | I | --- | | | | | | I | | | | | | | | | | | | | |
| MTL TSTRAULTVILLE | 3 | --- | I | --- | | I | --- | | | | | | I | | | | | | | | | | | | | |
| ST JEAN DE DIEU | 4 | --- | I | --- | | I | --- | | | | | | I | | | | | | | | | | | | | |
| MTL AHUNTSIC | 10 | --- | I | --- | | I | --- | | | | | | I | | | | | | | | | | | | | I |
| MTL SARAGUAY | 37 | --- | I | --- | | I | --- | | | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | I |
| MTL ST MICHEL | 12 | --- | I | I | --- | | | | | | | | I | | | | | | | | | | | | | I |
| MTL ROSEMONT | 13 | --- | I | I | --- | I | --- | | | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | I |
| MONTREAL NORD | 9 | --- | I | --- | | I | --- | | | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | I |
| MTL GRENATZIE | 11 | --- | I | --- | | I | --- | | | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | I |
| MTL VILLERAY | 19 | --- | I | --- | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | I |
| MTL BERGAIEN | 18 | --- | I | --- | I | --- | | | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | | I |
| ST-LAURENT | 36 | --- | I | --- | I | --- | | | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | | I |
| MTL ACADIE | 20 | --- | I | --- | | I | --- | | | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | I |
| PIERREFRANCOIS | 38 | --- | I | --- | | I | --- | | | | | | | | | I | --- | | | | | | | | | I |
| KIRKLAND, REACCNSFIEL | 41 | --- | I | --- | | I | --- | | | | | | | | | I | --- | | | | | | | | | I |
| WESTMOUNT | 28 | --- | I | --- | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | I |
| MTL NOU | 32 | --- | I | I | --- | | | | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | | I |
| OUTREMONT-MTL | 25 | --- | I | I | --- | | | | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | | I |
| MTL DECAPIE | 26 | --- | I | I | --- | | | | I | --- | | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| MTL SAGUEN | 27 | --- | I | --- | | I | --- | | | I | --- | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| MTL PTE-ST CHARLES | 30 | --- | I | --- | | I | --- | | | I | --- | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| VERDUN | 42 | --- | I | --- | | I | --- | | | I | --- | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| MTL ST-HENRI | 29 | --- | I | --- | | I | --- | | | | | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| MTL PARC LAFONTAINE | 14 | --- | I | --- | | I | --- | | | | | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| MTL MAISONNEUVE HOCH | 15 | --- | I | --- | | I | --- | | | | | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| MTL BELDORVIER | 17 | --- | I | I | --- | I | --- | | | | | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| MTL JAR, PCTANIQUE | 5 | --- | I | --- | I | --- | | | I | --- | | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| MTL LAURIER | 21 | --- | I | --- | I | --- | | | I | --- | | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| MTL ST-JACQUES | 16 | --- | I | --- | | I | --- | | | | | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| MTL PARC ANGRIGNON | 31 | --- | I | --- | | I | --- | | | I | --- | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| LASALLE | 33 | --- | I | --- | | I | --- | | | I | --- | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| MOUNT ROYAL | 24 | --- | I | --- | | I | --- | | | I | --- | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| COTE ST-LUC, PAMPSTEA | 35 | --- | I | --- | I | --- | | | I | --- | | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| LACHINE DORVAL | 39 | --- | I | --- | | I | --- | | | I | --- | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| ST-PIERRE MTL-WEST | 34 | --- | I | --- | I | --- | | | I | --- | | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| POINTE-CLAIRE | 40 | --- | I | --- | I | --- | | | I | --- | | | | I | --- | | | | | | | | | | | I |
| OUTREMONT | 23 | --- | I | --- | | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | I |
| MTL CENTRE | 22 | --- | I | --- | | I | --- | | | | | | | | | | | | | | | | | | | I |

Fig 11 - Dendrogramme illustrant l'agrégation

Pour éviter la formation de zones en forme d'anneau ou de zones allongées ou d'autres zones aberrantes, on peut appliquer la contrainte sur la forme géométrique. Dépendant du paramètre choisi pour cette contrainte, on obtient des résultats différents. La figure 12 en montre une application, tandis que la figure 13 montre la mise en oeuvre de toutes les contraintes. Enfin la figure 14 donne une comparaison entre les différentes expériences du point de vue des déplacements représentés. On y distingue clairement les étapes où les contraintes ont été relaxées.

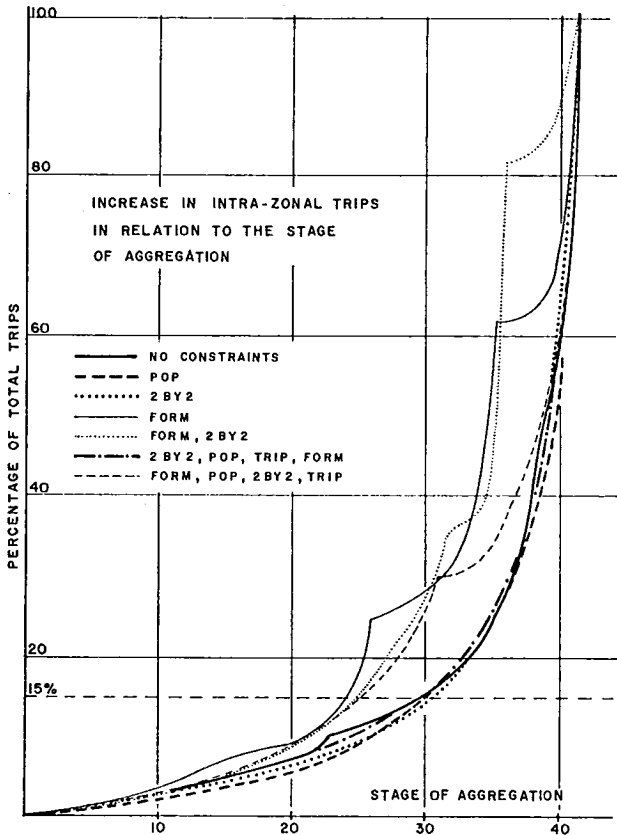


Fig 14 - Déplacements intra-zonaux aux différents niveaux d'agrégation pour différentes contraintes

SYSTEMES DE ZONES

par: K. G. Baass

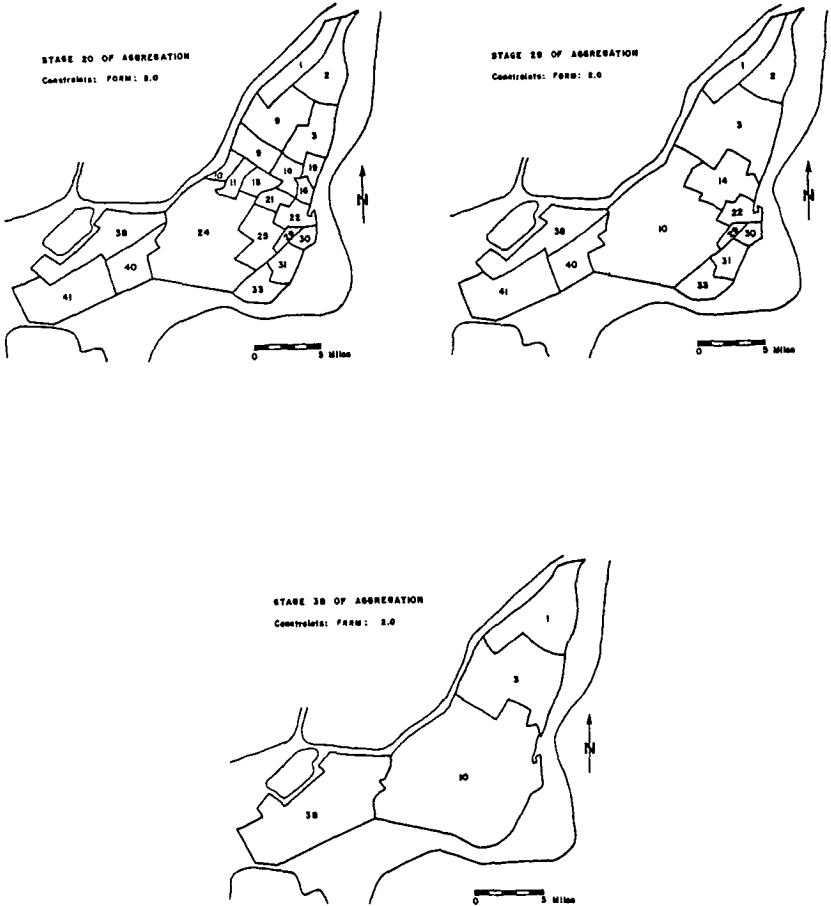


Fig 12 - Trois niveaux d'agrégation: Contrainte sur la forme
42 zones initiales

SYSTEMES DE ZONES

par: K. G. Baass

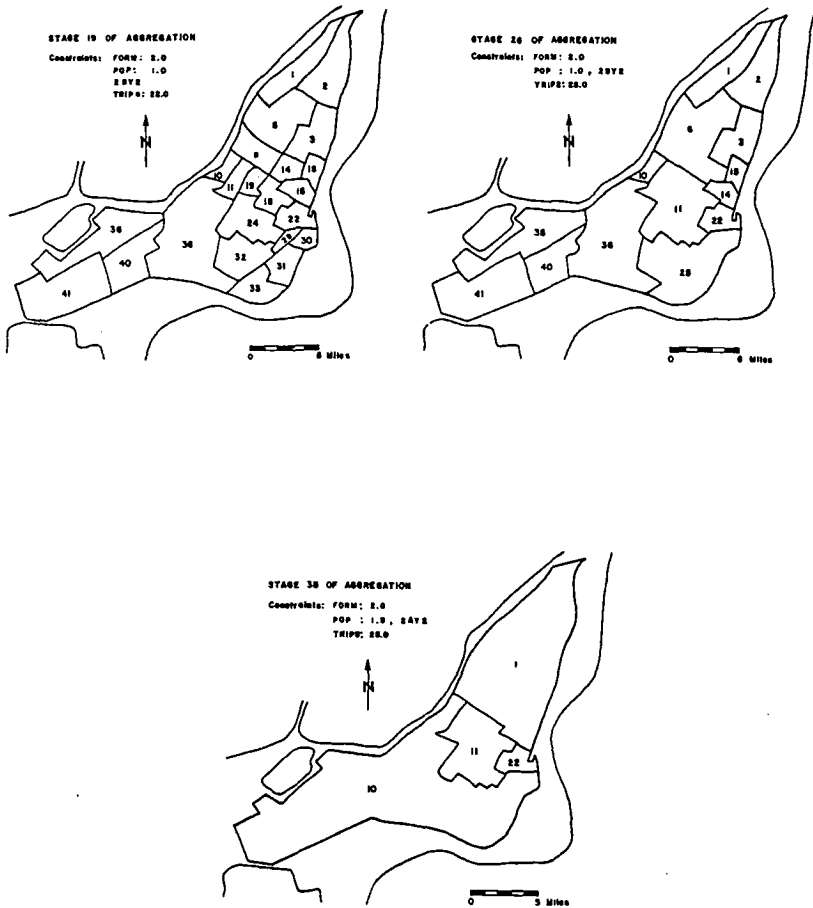


Fig 13 - Trois niveaux d'agrégation: Toutes les contraintes
 42 zones initiales

CONCLUSIONS

Les méthodes empiriques utilisées actuellement pour l'établissement d'un système agrégé de zones sont insuffisantes et donnent lieu 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 méthodologie ZODEAG, basée sur des méthodes statistiques, permet de dériver des systèmes de zones agrégées d'une manière systématique.

Elle est rapide et efficace du point de vue de l'utilisation, du temps, de l'exécution et de l'espace-mémoire et minimise les efforts de codification et de traitement des données. Elle est applicable à un nombre élevé d'unités spatiales initiales et peut être exécutée sur tout sous-ensemble de données initiales sans efforts supplémentaires de retraitement des données. Elle permet l'utilisation flexible de différentes fonctions objectif et de différentes contraintes et inclut des outils d'analyse ainsi qu'un module permettant la post-optimisation afin d'aider l'analyste dans le choix du système à adopter. Finalement, elle prépare pour le système choisi, des données agrégées compatibles avec les modèles de planification des transports. La méthode constitue également une contribution à une meilleure compréhension des relations entre le système spatial et les modèles utilisés en planification.

REFERENCES

- ANDERBERG, M. R. (1973) Cluster Analysis for Applications. Academic Press, New York.
- BAASS, K. G. (1979) A Procedure to Determine a Good Zonal System in the Transportation Planning Process. Ph.D. thesis, Univ. of Waterloo, Ontario, Canada.
- BAASS, K. G. (1980) The Problem of Zonal Systems Design for Aggregate Transportation Models. Centre de recherche sur les transports, Publication No 165. 29 pages.
- BAASS, K. G. (1981) Design of Zonal Systems for Aggregate Transportation Planning Models. Transp Res Rec 807, Transportation Research Board, Wash. D.C. p 1-6.
- BMDP (1979) Biomedical Computer Programs. Univ. of California Press, Berkeley. 792 pages.
- BROADBENT, I. A. (1970) Notes on the Design of Operational Models. Environment and Planning 2, p 469-476.
- OPENSHAW, S. (1977) Optimal Zoning Systems for Spatial Interaction Models. Environment and Planning A, Vol 9. p 169-184.
- STATISTIQUE CANADA (1976) CARTLIB 1976 Bibliothèque cartographique des limites des secteurs de recensement de 1976. Ottawa, Canada août 1979.
- WARD, J. H. (1963) Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. American Statistical Association Journal, p 236-244.