

# LA MODELISATION DE LA DEMANDE DE TRANSPORT URBAIN AVEC UNE APPROCHE TOTALEMENT DESAGREGEE

Robert CHAPLEAU  
Professeur de Transport Urbain  
Ecole Polytechnique de Montréal  
Montréal - Canada

## INTRODUCTION

La Chaîne Globale Transport, appelée aussi Procédure Séquentielle Classique, développée dans les années '60 et '70, constitue toujours le noyau des méthodes et modèles synthétiques utilisés dans les grands logiciels de planification de transport urbain, tels que UTPS (Etats-Unis), NOPTS (Suisse), DAVIS (France), TRANSEPT (Angleterre), EMME/2 (Canada). Cette approche analytique s'appuie sur un découpage territorial plus ou moins grossier n'autorisant qu'un traitement agrégé de la demande, où la spatialisation est prise en compte par une matrice de distribution des déplacements dite Origine-Destination.

Le présent projet décrit une approche méthodologique alternative fondée sur le traitement informationnel de données individuelles de déplacement, avec toutes ses variables associées, plutôt que de s'en tenir à la notion de FLOT anonyme, tel qu'exprimé par la valeur  $T_{ij}$  d'une cellule de la matrice O-D. Dans ce contexte, la notion de DÉPLACEMENT DESAGREGÉ se caractérise sous deux aspects:

- l'affranchissement des systèmes de découpage en zones, par l'utilisation de coordonnées x-y pour la localisation des points d'origine et de destination des déplacements (désagrégation spatiale),
- le traitement du déplacement individuel en intégrant distinctement dans l'analyse et la modélisation les éléments de l'itinéraire ainsi que les caractéristiques socio-économiques de la personne (traitement individuel des itinéraires).

Avec l'approche désagrégée, l'étape d'affectation des déplacements se base sur une codification classique du réseau de transport collectif multimodal ainsi que sur le calage d'une fonction d'impédance prenant en compte tarifs, temps de marche, d'attente, en véhicule et pénalités de correspondance. A partir des points d'origine et de destination des déplacements, une procédure de génération automatique des points d'accès les plus probables s'applique préalablement au calcul des chemins les plus courts, permettant ensuite, selon les besoins, une répartition mono ou multichemin suivant diverses techniques de diversion. En outre, la technique désagrégée autorise, par rétroaction, le traitement des déplacements multi-modes (combinaison auto-transport collectif).

Pour l'étape de répartition modale, les déplacements individuels, typiquement auto et transport en commun, sont soumis à une même caractérisation de réseau, d'où, est tiré par simulation, le vecteur d'attributs considérés. Une analyse catégorielle permet de dégager, à partir d'un comportement observé, un modèle explicatif. Celui-ci, au moment de l'examen de nouvelles variantes de réseau, est réintroduit au niveau de chaque déplacement pour en estimer le nouveau poids. La technique peut être du type incrémental à seuil, ou du type continu.

Pour l'étape de distribution des déplacements, appliquée dans des contextes de prévision à moyen terme de la demande, l'approche désagrégée bénéficie de l'application d'un modèle parallèle à facteur de croissance, de type Furness, réalisé à un niveau intermédiaire d'agrégation. Les valeurs obtenues sont réinjectées comme multiplicateurs des poids associés aux déplacements désagrégés.

La méthode analytico-informationnelle décrite ci-haut a été expérimentée dans divers contextes canadiens de planification, pour les agglomérations de Montréal, Québec et Toronto où des données provenant d'enquêtes-ménages régionales, collectées à un niveau de 5%, étaient disponibles. Le traitement informatique était assuré par le système MADITUC (Modèle d'Analyse Désagrégée des Itinéraires de Transport Urbain Collectif).

Parmi les applications les plus pertinentes, les études de prolongement de métro ou de modernisation de ligne ferroviaire exigent l'intégration des dimensions suivantes dans l'analyse: considération de l'attraction des autres modes de transport, prévision de la demande à moyen terme, intégration des besoins de stationnement pour les stations intermodales, etc... L'aptitude de l'approche totalement désagrégée à faire suivre toutes les variables et à rétroagir à toute étape permet, avec les modèles adaptés ci-haut décrits d'affectation, de part modale et de distribution, de construire des représentations plus réalistes des comportements de transport anticipés.

Compte tenu du peu d'espace disponible, le présent document présente les éléments essentiels de la modélisation selon une approche totalement désagrégée, à savoir: la structure du modèle articulée autour des notions de processeur et de déplacement, la description des principaux processeurs et l'illustration des capacités analytiques.

## 1. STRUCTURE DU MODELE DESAGREGE

Le schéma méthodologique traditionnel de la planification des transports urbains s'appuie sur la notion d'équilibre demande-offre qui exige la caractérisation préalable d'une **matrice "spatialisée" de déplacements** -dite Origine-Destination- ainsi que d'un réseau, espace de manoeuvre des usagers et des véhicules. Dans ce cadre, illustré à la figure 1, par référence grossière -agrégée- au territoire découpé en zones, une procédure de simulation -affectation des déplacements-, par application d'une règle comportementale, détermine essentiellement la charge du réseau. Les informations résultantes sont de nature cardinale, donc anonymes. Seuls les flots et les coûts sur les liens sont ainsi déterminés, l'information résultante ne s'avérant juste qu'à la condition que la totalité des données d'origine et des hypothèses de comportement soient valides.

En outre, dans l'approche classique, la matrice des déplacements constitue une synthèse agrégée a priori des déplacements alors que la définition du réseau dépend aussi du degré de résolution du découpage zonal.

Dans le contexte d'une enquête-ménage où la référence spatiale des points de localisation de l'origine et de la destination des déplacements est très fine (adresse de résidence, côté d'îlot, code postal ou coordonnées cartésiennes) et où l'on dispose d'une panoplie de variables à caractère socio-économico-démographique, une approche informationnelle désagrégée se caractérise par:

- des fichiers d'information sur les éléments spatialisés -territoriaux- qui peuvent être évoqués comme référence spatiale (monuments, aires désignées, générateurs-attracteurs, aires géopolitiques);
- des fichiers d'information sur l'exploitation du système de transport, tant dans ses dimensions géométriques (voies de circulation, carrefours, lignes, terminus) que dans la caractérisation de son niveau de service;
- des fichiers sur les déplacements déclarés par les personnes enquêtées d'un ménage, comportant les spécifications spatio-temporelles, les motifs et les modes de transport utilisés.

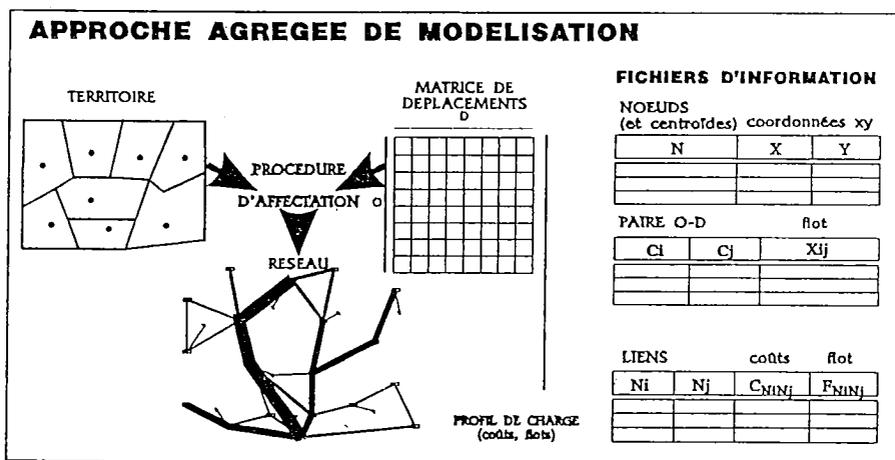


Figure 1 Schéma classique de modélisation d'un réseau de transport

1.1 Notion de modèle: processeur

Par rapport à la méthode classique qui utilise des modèles algébriques synthétiques selon une procédure INPUT-OUTPUT, l'approche désagrégée se détermine autour de systèmes d'information -bases de données- sur lesquels s'opèrent des transformations ou des projections qui en modifient l'état. Ainsi, les modèles de simulation seront plutôt perçus comme des OPERATEURS qui ajoutent, à partir d'un savoir dérivé de relations connues a priori, de nouvelles informations aux bases de données originales. Pour expliquer ces concepts, la notion de DEPLACEMENT est présentée, suivie des principaux types de PROCESSEURS qui s'appliquent à l'exercice de planification d'un réseau de transport urbain: processeurs de réseau, de simulation des déplacements, d'analyse, d'infographie interactive et de prévision de la demande.

1.2 Notion de déplacement désagrégé

Informationnellement, un système de transport peut se définir à partir de l'ensemble des déplacements individuels qui s'y exercent. La richesse de cette caractérisation dépend des dimensions-variables qui sont simultanément considérées. Strictement, le DEPLACEMENT établit un système RELATIONNEL avec d'autres systèmes d'information qui sont concernés logiquement (ou socio-économiquement) avec la fonction transport. La liste des VARIABLES directement impliquées, telles que puisées dans une enquête-ménage, est explicite des fonctions perçues comme pertinentes.

Le tableau qui suit décrit quelques-uns des liens fonctionnels.

DEPLACEMENT DESAGREGÉ		
variable	dimension équivalente	FONCTIONS ASSOCIEES
Zone d'Origine	x-y centroïde	calcul automatique d'accès, agrégation spatiale, analyse d'accessibilité
Zone de Destination	x-y centroïde	
FLOT	poids (facteur)	prévision (génération, rép. modale)
MOTIF	travail, études,...	activité-destination, occupation
MODE de transport	T.C., autoC, autoP	affectation, dépl. multimodaux
temps de DEPART	var. temporelle	période de simulation
temps d'ARRIVEE	dest., stations	étude dynamique des arrivées
Zone de Résidence	secteur géopolitique	effets redistributifs du réseau
AGE	cohorte de 5 ans	prévision démographique
SEXE	catégorie activité	typologie de la mobilité
poss. auto (revenu)	permis conduire	effet de la motorisation (revenu)
MENAGE (type)	typologie associée	activités du ménage (chaînage)
mobilité personnelle	chaînage déplac.	autres déplacements quotidiens
TRAJET déclaré	lignes, autoroutes	validation-calibration des modèles
Attributs déplacement	tarif, temps (accès, att., véhic.)	dérivés du calcul de chemin à impédance minimale
Autres...	indice relationnel	indexage avec autres bases de données territoriales (graphisme)

Les deux aspects remarquables de ce système informationnel demeurent l'affranchissement d'une référence spatiale (zone) a priori -désagrégation spatiale- ainsi que le traitement mathématique et statistique des déplacements individuels selon toutes ses dimensionnalités socio-économico-spatio-temporelles en sus de sa trajectoire sur le réseau de transport.

## 2. MODALITES FONCTIONNELLES TERRITOIRE-RESEAU-DEMANDE

Les diverses fonctions analytiques qui peuvent être élaborées à partir de cette approche concernent un vaste ensemble de préoccupations propres au planificateur d'un réseau de transport urbain. Parmi les besoins les plus souvent exprimés, on distingue:

- la **perspective géopolitique**, soutenue par un système élaboré d'agrégation spatiale des résultats d'offre ou de demande de transport,

- la préoccupation de la productivité, selon la vision de l'exploitant qui a responsabilité du déploiement et de l'allocation optimale des ressources,
- l'examen de la capacité du réseau de transport, tant dans sa dimension d'accessibilité à la clientèle que dans sa charge (déterminée par simulation),
- l'étude des effets redistributifs de l'organisation (structure et niveau de service) du réseau de transport sur les bénéficiaires directs (originants, destinants-motifs), tant selon la spatialisation que la stratification de la demande de transport,
- l'analyse interactive graphique des impacts des interventions sur le système de transport, ainsi que la vérification systématique des données de base,
- la prévision à moyen terme de la demande de transport, par une prise en compte des aspects multidimensionnels et informationnels de la caractérisation de la mobilité.

La figure 2 illustre sommairement la structure de modélisation du déplacement ainsi que l'articulation des divers processeurs qui contribuent à l'enrichissement du système informationnel. Le système MADITUC remplit ces tâches par le biais d'une gamme de modèles-modules qualifiés de processeurs.

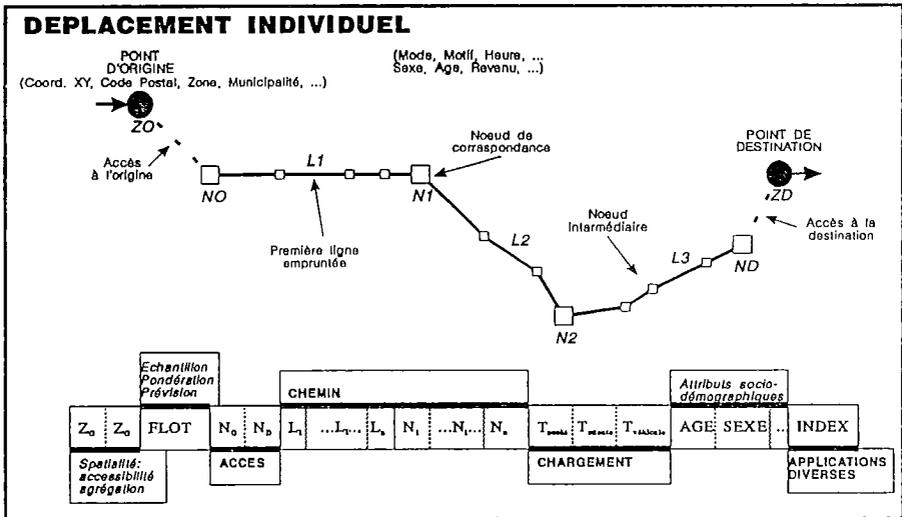


Figure 2 Déplacement désagrégé et processeurs associés

## 2.1 Processeur territorial

Les points d'origine et de destination (et de résidence du ménage) du déplacement sont caractérisés par une référence spatiale qui peut être très fine: les coordonnées x-y dans le système UTM. Au Canada, tel qu'illustré à la figure 3, la référence s'opère fréquemment selon le Code Postal (centroïde du côté d'îlot), lequel est adjacent au Fichier Principal de Région (fichier de rues et d'adresses), ou encore selon un inventaire d'aires désignées et d'équipements structurants préalablement numérisés.

Lors de l'enquête-ménage, la référence, d'abord alphanumérique, est automatiquement codifiée en fonction des utilisations ultérieures. Par le biais de dictionnaires de conversion élaborés par Statistique Canada et autres organismes, de nombreux recouvrements territoriaux peuvent être engendrés ou agrégés par le traitement de polygones de délimitation zonale. Ainsi, les résultats toujours élaborés à un niveau désagrégé peuvent faire l'objet d'agrégation spatiale ultérieure. Cette fonction est particulièrement puissante pour l'identification et l'évaluation des avantages et des coûts associés à un réseau de transport.

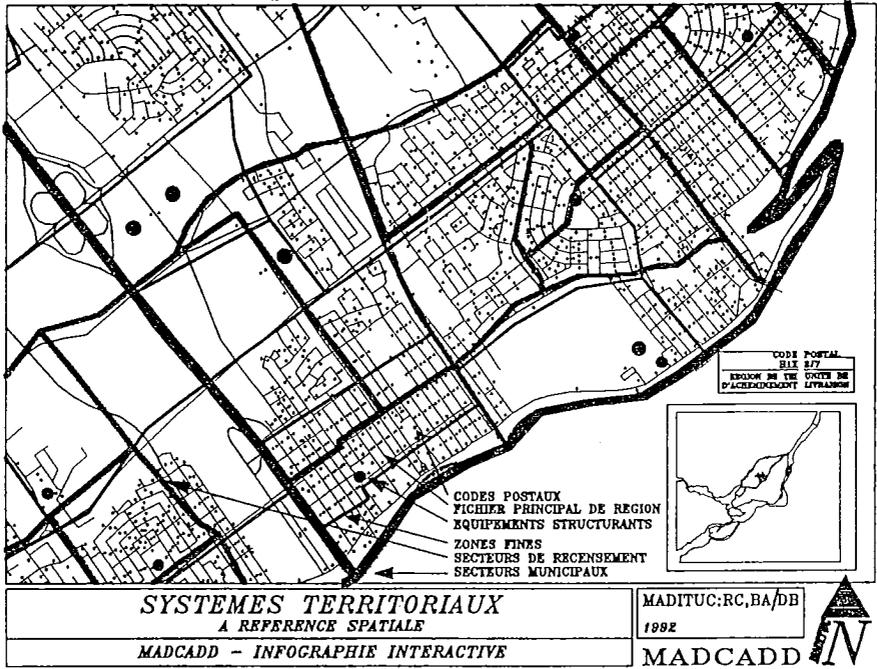


Figure 3 Systèmes territoriaux à référence spatiale véhiculés dans MADITUC.

## 2.2 Processeur de réseau de transport collectif

Dans MADITUC, la définition du réseau de transport urbain collectif s'effectue pour un jour moyen de semaine. Les aspects géométriques des tracés des lignes sont décrits de manière spatialisée (typiquement, par codification interactive des arrêts et des itinéraires sur fichier de rue), tandis que les niveaux de service appréhendés sont spécifiés en termes de vitesse commerciale et intervalles pour diverses périodes. La codification des lignes est illustrée à la figure 4. Les principaux objectifs poursuivis par le module RESEAU résident en l'évaluation sommaire des ressources impliquées (flotte, véhicules-kilomètres et véhicules-heures productifs et effectifs) tout en assurant une plateforme informationnelle pour l'évaluation de la fonction d'impédance nécessaire à l'affectation des déplacements (temps de marche, temps d'attente, temps de transport, tarifs inter-modes).



sur les NOEUDS, les LIGNES, les LIENS, les DEPOTS, les SECTEURS d'agrégation spatiale (origine, destination, matrice O-D).

## 2.4 Processeurs multiples d'analyse des composantes du système

Les processeurs ci-haut décrits ont pour fonction d'enrichir la base de données sur les déplacements. Par RETROACTION, le fichier résultant peut être consulté, analysé et faire l'objet de requêtes de sélection et d'extraction particulières. Les entités les plus couramment examinées demeurent:

- les **NOEUDS**, pour l'étude des mouvements à une station de métro ou en terminus: accessibilité par la marche, importance du "kiss-and-ride" et du "Park-and-ride" (capacité du stationnement), débits et composition des correspondances, types de clientèle (personnes âgées), distribution temporelle des arrivées, etc...
- les **LIGNES** et les **LIENS**, pour l'analyse de la composition du trafic par l'examen des faisceaux de déplacements désagrégés (provenance des usagers, catégorie socio-démographique, répartition des motifs de déplacement), et la production de statistiques sur les modes et les distances d'accès; en outre, l'analyse peut s'enrichir du calage simultané de modèles d'estimation de la matrice O-D d'une ligne à partir d'enquêtes Montées-Descentes.
- les **SECTEURS territoriaux** pour lesquels la mobilité est analysée avec grande ampleur, sous la perspective des déplacements d'ORIGINE, de DESTINATION, faits par les RESIDANTS et selon une DECOMPOSITION complète des MODES de transport. Pour un territoire géopolitique, un tel compte-voyageur appliqué aux résidents autorise l'étude des distorsions tarifaires ou financières amenées par les réseaux ou les infrastructures de transport.
- les **PERSONNES**, par l'étude des corrélations entre les taux de déplacement pour chaque mode de transport, selon leur catégorie socio-démographique, leur occupation, le lieu de résidence ou leur revenu.

## 2.5 Processeurs d'infographie interactive

Le soutien des activités d'entrée, de saisie et de vérification des divers types de données bénéficie de facilités interactives graphiques assurées sur une plateforme micro-informatique (i386) AutoCAD. Dans cet environnement appelé MADCADD, dont le menu est illustré à la figure 5, on retrouve les fonctions essentielles nécessaires à la réalisation des tâches suivantes:

- digitalisation et codification des réseaux de transport ainsi que des entités territoriales (frontières et centroïdes de zones, agrégation)
- validation interactive des données d'enquête-ménage, dans leurs dimensions à référence spatiale (points d'origine et destination, itinéraires déclarés quant à leur connexité, distances raisonnables d'accès au réseau);
- comparaison de comportements réels et simulés, sur une base désagrégée, pour fins de calibration de modèles;
- comparaison de comportements simulés sur différentes variantes d'offre, afin d'assurer un suivi des clientèles affectées par un projet;
- visualisation des divers types d'analyses décrites précédemment.

En guise d'illustration de quelques-unes de ces aptitudes, les figures 6, 7 et 8 montrent respectivement un calcul d'accessibilité territoriale depuis les stations d'un réseau de métro (cas de Montréal), un profil de charge désagrégé selon les motifs de déplacements (cas de Toronto), la répartition spatiale des origines et destinations des trains de banlieue (Ouest de Montréal) avec leur distribution temporelle quotidienne.

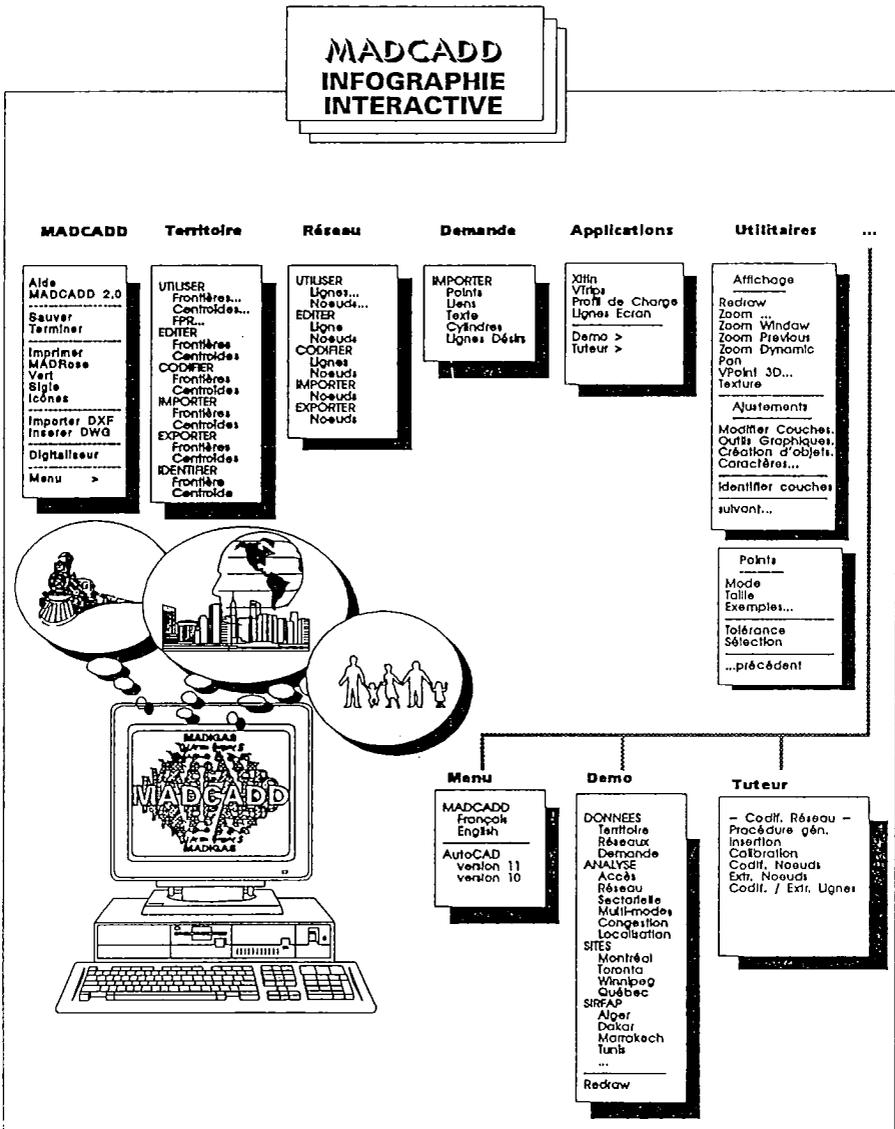


Figure 5 Illustration du menu MADCADD de MADITUC

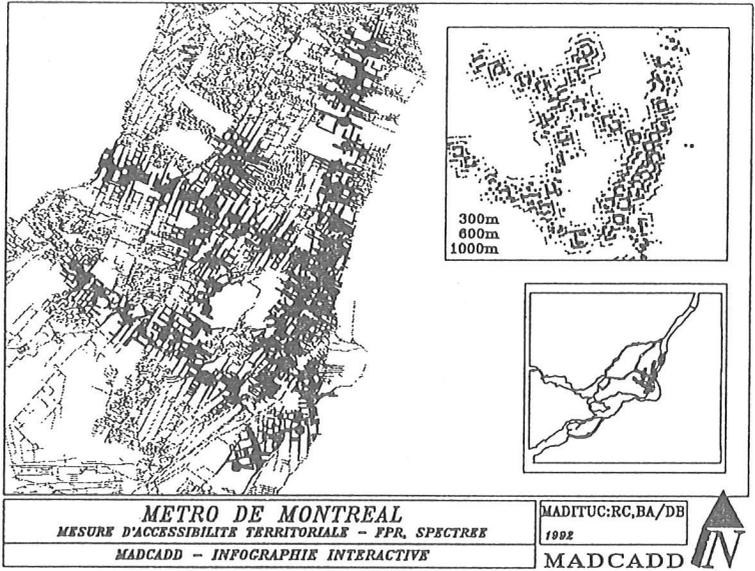


Figure 6 Chemins d'accès les plus courts aux stations du METRO de Montréal

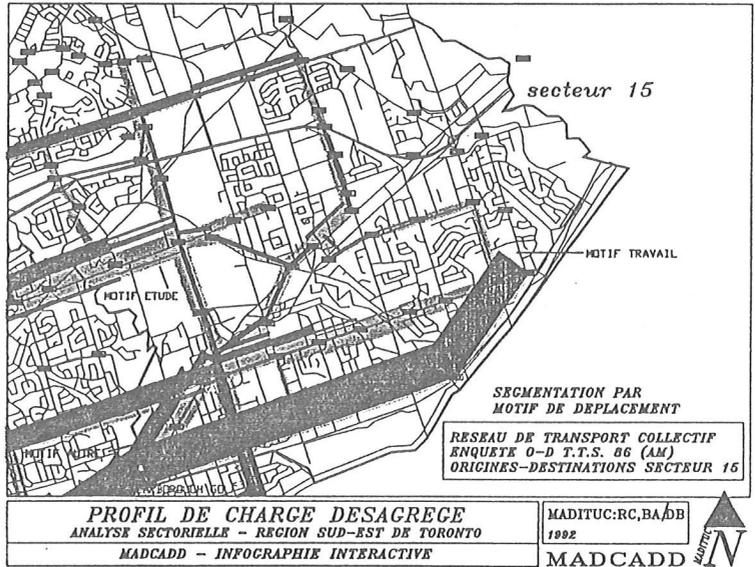


Figure 7 Profil de charge désagrégé par itinéraire (Toronto)

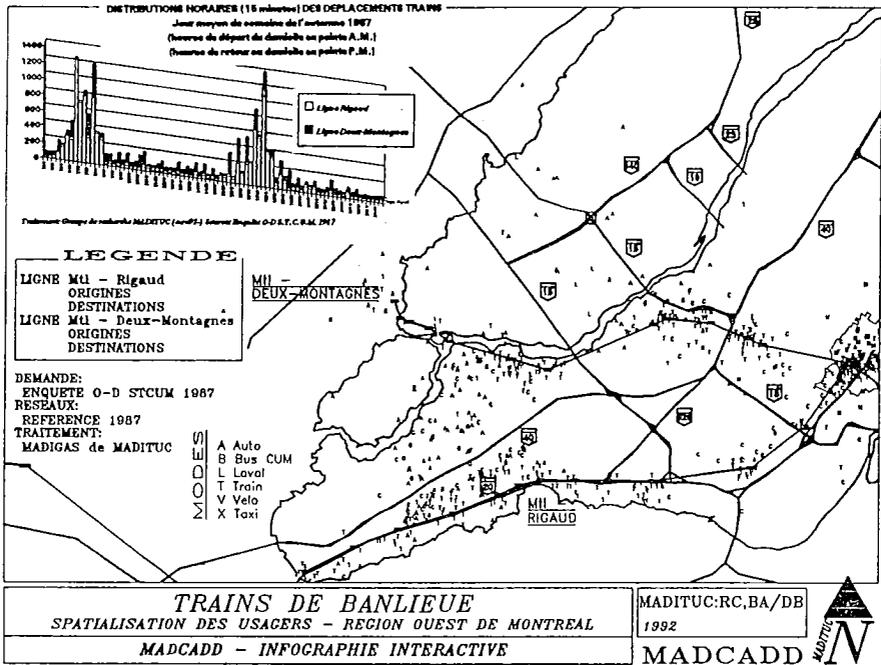


Figure 8 Répartition spatialisée des usagers des trains de banlieue, selon le mode d'accès, et selon la distribution temporelle

2.6 Processeurs de prévision de la demande

Pour un horizon de planification de moyen ou de long terme, des procédures-modèles de génération et de distribution des déplacements peuvent être adaptées au schéma d'information précédemment décrit. Dans le contexte montréalais des enquêtes Origine-Destination de la Société de Transport de la Communauté urbaine de Montréal, une investigation des dérives temporelles et spatiales des taux de déplacements et d'utilisation modale, selon diverses catégories socio-démographiques, a permis un certain nombre d'extrapolations qui sont utilisées comme valeurs d'extrémités de déplacements pour un découpage territorial donné. Ensuite, on procède à l'application d'une méthode classique de distribution à facteur de croissance -en utilisant une matrice de référence comme semence-. La matrice résultante est alors constituée de nouveaux facteurs de pondération à appliquer sur les déplacements désagrégés pour en dériver un fichier actualisé à l'année horizon.

Le traitement de la répartition modale, dans un schéma désagrégé, s'opère par analyse détaillée de la clientèle automobile déclarée, pour laquelle les attributs tant socio-démographiques que ceux associés à l'alternative T.C. sont bien spécifiés. Lors de l'examen d'une variante de réseau T.C., les nouveaux attributs de transport sont calculés et permettent d'identifier, pour chaque déplacement, les différences de coût généralisé. Alors, un modèle "incrémental à seuil" de CHANGEMENT MODAL peut être appliqué à chaque enregistrement du fichier de déplacements original.

### 3. CONCLUSION

De manière très succincte, les principes fondamentaux de l'approche totalement désagrégée du système MADITUC ont été présentés afin d'insister sur les actuelles potentialités disponibles avec un système informationnel de modélisation. Tel que démontré, il devient possible d'élaguer les divers modèles synthétiques classiques ou, du moins, de les intégrer à la démarche désagrégée comme méthode de dernier recours.

L'approche, technologiquement plus exigeante, reflète mieux l'évolution récente des besoins de planificateurs mieux formés, plus conscients, selon Lefèvre et Offner (1990), des enjeux procéduraux et des stratégies mobilisatrices des décideurs.

### REMERCIEMENTS

Il est essentiel de souligner le soutien continu de recherche de la part de quelques organismes canadiens de transport au développement du système MADITUC: S.T.C.U.M. (Montréal), T.T.C. (Toronto), W.T.D. (Winnipeg), M.T.Q. (Transport Québec), S.T.L. (Laval), C.T.C.U.Q. (Québec). Des travaux fondamentaux périphériques bénéficient du soutien du C.R.S.N.G. Finalement, quelques proches collaborateurs doivent être mentionnés pour leur contribution technique: B. Allard (systèmes informatiques et réseaux), D. Bergeron (infographie), P. Lavigne (demande de transport).

### BIBLIOGRAPHIE

Lefèvre, Christian, et Offner, J.-M.. Les Transports urbains en question, Usages - Décisions - Territoires. Paris: Editions Celse. 1990.

Chapleau, Robert. Transit Network Analysis and Evaluation with a Totally Disaggregate Approach. Compte rendu, Conférence Mondiale sur la Recherche dans les Transports (WCTR), vol. 2. Vancouver, 1986. pp.1427-1442.

Chapleau, Robert. La Planification et l'Analyse des Systèmes de Transport Urbain: un bilan des méthodes et modèles disponibles avec l'approche désagrégée. Exposé des communications, 25ième congrès A.Q.T.R.. Montréal, 1990. pp.200-225.

Allard, Bruno, et Chapleau, R. MADIGAS: Système d'Analyse Interactif-Graphique de MADITUC. Exposé des communications, 26ième congrès A.Q.T.R.. Québec, 1991. pp.218-237.

Allard, Bruno, et Chapleau, R.. Méthodes Interactives sur micro-ordinateur de Codification et de Validation d'une Enquête Origine-Destination. Exposé des communications, 23ième congrès A.Q.T.R.. Montréal, 1988. pp.25-49.

Société de Transport de la Communauté urbaine de Montréal. Mobilité des personnes dans la région de Montréal - Enquête origine-destination régionale 1987. Montréal, 1989.