

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT ET DU LOGEMENT  
Services des Affaires Economiques et Internationales

---

ETUDE SUR LE CHOIX ENTRE  
LES MODES DE TRANSPORTS URBAINS (BUS ET VOITURES)  
A MARSEILLE

---

Rapport de Synthèse

SOCIETE D'ECONOMIE ET DE MATHEMATIQUE APPLIQUEES  
P A R I S

Novembre 1967

---

P L A N

	Pages
INTRODUCTION	1
1 - CONSTITUTION DU FICHER	4
2 - PRINCIPE ET MISE EN OEUVRE DE L'ANALYSE STATISTIQUE	7
2.1 - Méthode ELISEE	7
2.2 - Analyse discriminante	9
3 - RESULTATS ET CONCLUSIONS	12
3.1 - Résultats obtenus par la méthode ELISEE	12
3.2 - Résultats obtenus par l'analyse discriminante	14
3.3 - Comparaison des résultats du point de vue de la construction de règles d'affectation	17
ANNEXES	
1. LISTE DES RENSEIGNEMENTS RECUEILLIS POUR CHAQUE DEPLACEMENT	22
2. LISTE DES CARACTERISTIQUES UTILISEES COMME FACTEURS SEPARANTS POUR LA METHODE ELISEE	26

INTRODUCTION

Le service des Affaires Economiques et Internationales du Ministère de l'Equi-  
pement et du logement a confié à la SEMA, une étude sur ces choix entre les  
modes de transports individuels et collectifs pour les déplacements en milieu  
urbain.

Cette étude a pour but d'analyser par des méthodes statistiques, la possibilité  
de reconstituer les choix individuels par des règles d'affectation basées non  
seulement sur les notions de temps et de coût de trajet mais également sur des  
caractéristiques qualitatives relatives au trajet et à la personne qui l'ef-  
fectue.

L'étude comporte deux aspects :

- sélection, recueil, élaboration et mise en forme des données  
nécessaires pour étudier le choix entre modes de transports,
- traitement statistique sur ordinateur des données ainsi re-  
cueillies en utilisant les méthodes de l'analyse discriminante  
et la méthode ELISEE.

Deux notes de travail (août 1967-Octobre 1967), présentent de façon détaillée  
les travaux effectués et les résultats obtenus en ce qui concerne ces deux  
aspects. Ce rapport a pour but d'en présenter la synthèse.

La recherche de règles d'affectation entre modes de transports individuels et collectifs pour les déplacements en milieu urbain, s'effectue en général à partir d'un découpage en quartiers et de la comparaison des coûts et des temps entre les modes concurrents. Un tel découpage en quartiers est évidemment nécessaire pour l'utilisation des règles d'affectation car il faut pouvoir agréger les déplacements élémentaires des individus. Mais en ce qui concerne la détermination de ces règles à partir de résultats d'enquêtes, il est préférable de conserver l'individualité des déplacements élémentaires et de mesurer les temps et les coûts avec le maximum de précision. On obtient ainsi des règles qui reproduisent mieux la réalité lorsqu'elles sont ensuite appliquées à des déplacements agrégés entre quartiers. Quelques études ont déjà été effectuées dans cette optique en considérant comme unité le déplacement individuel. En effet, à partir d'un échantillon de déplacements élémentaires pour lesquels sont connus d'une part le choix de l'individu, et d'autre part les temps et coûts du trajet pour chacun des modes, on peut rechercher par des méthodes statistiques les règles d'affectation les meilleures d'un point de vue assez général. L'analyse discriminante constitue l'une de ces méthodes mais, sous sa forme actuelle, ne peut être utilisée que pour établir des règles basées sur des caractéristiques quantitatives.

Or, il serait intéressant de connaître l'importance relative des facteurs de temps et coût et d'autres facteurs qualitatifs concernant non seulement les conditions de trajet suivant les modes concurrents, mais également les caractéristiques de la personne effectuant le déplacement, et du ménage auquel elle appartient.

L'objectif de cette étude était d'effectuer une première tentative dans cette voie en utilisant une technique statistique, la méthode ELISEE, analogue à l'analyse discriminante mais permettant de traiter des caractéristiques qualitatives.

L'analyse statistique a été effectuée sur un échantillon de déplacements tiré d'une enquête du SERC faite en 1966 sur les déplacements dans une ville dont la population était de 780.000 habitants en 1962.

Elle ne concerne que le choix entre le bus et la voiture.

L'échantillon comporte 1 817 déplacements dont 1 269 effectués en voiture et 548 en bus. Pour chaque déplacement dont les extrémités sont connues avec précision par l'adresse correspondante, on a noté 54 renseignements concernant le trajet proprement dit, la personne l'ayant effectué et le ménage auquel elle appartient.

Pour pouvoir comparer les règles d'affectation habituelles basées sur les temps et les coûts et celles que l'on pourrait construire avec d'autres caractéristiques, nous avons effectué deux types d'analyses. Le premier type d'analyse porte sur les caractéristiques autres que les temps et les coûts et utilise la méthode ELISEE. Le deuxième ne prend en compte que les temps et coûts et utilise l'analyse discriminante.

1 - CONSTITUTION DU FICHLER

La principale source de renseignements dont nous disposions était l'enquête par sondage du SERC auprès des ménages marseillais. Un échantillon de l'ordre de 2 000 déplacements tiré de cette enquête devait permettre d'obtenir des résultats significatifs.

L'échantillon a été constitué en deux temps. Dans un premier temps, on a procédé à un tirage au hasard de ménages disposant d'au moins une voiture. Dans un deuxième temps, on a sélectionné les déplacements effectués par les personnes du ménage satisfaisants aux conditions suivantes :

- le déplacement doit avoir donné lieu effectivement à un choix entre le bus et la voiture, c'est-à-dire :
  - . avoir été effectué soit en bus, soit en voiture,
  - . avoir été effectué par une personne âgée d'au moins dix huit ans,
  - . si le mode choisi est le bus, avoir été effectué à une période de la journée où une des voitures du ménage était disponible,
  - . si le mode choisi est la voiture, être praticable en bus.
  
- le questionnaire doit fournir avec une bonne précision, les adresses des extrémités de déplacement.

La liste des renseignements recueillis pour chaque déplacement fait l'objet de l'Annexe 1. Outre les renseignements figurant sur les questionnaires, nous avons considéré les caractéristiques objectives du trajet, suivant les deux modes concurrents de façon à permettre une comparaison sur des bases homogènes.

a) Caractéristiques objectives du trajet en voiture

Pour un trajet donné, l'itinéraire le plus vraisemblable a été déterminé en tenant compte de la carte des sens interdits, de la carte donnant les résultats de mesures de vitesses effectuées par le SERC et de quelques mesures complémentaires que nous avons exécutées.

La longueur du trajet a été mesurée au curvimètre et la durée a été déterminée en tenant compte de l'heure de départ. Le coût a été calculé à partir de normes faisant intervenir la longueur du trajet et la puissance de la voiture.

b) Caractéristiques du trajet en bus

Le point de départ et le point d'arrivée de la personne ayant été repérés sur le plan, on choisit l'itinéraire en bus le plus direct qui relie ces deux points. On en déduit simplement :

- le nombre de correspondances,
- la distance totale parcourue à pied,
- le coût.

Pour déterminer les temps d'attente et la durée du trajet, nous avons utilisé des renseignements fournis par la Régie Autonome des Transports de la Ville de Marseille (RATVM), et les résultats d'enquêtes que nous avons effectuées sur trois lignes aussi représentatives que possible de l'ensemble du réseau.

Le principe de l'enquête était de relever les heures de passage dans chaque sens et les numéros des bus aux terminus et en un point intermédiaire pour chacune de ces lignes, ce qui permettait d'étudier la fréquence des bus et leur vitesse moyenne de propagation.

La détermination de la durée d'attente (départ et correspondances éventuelles) pour un parcours donné, s'effectue au moyen de normes qui dépendent de la ligne utilisée et de la tranche horaire de départ. Les normes sont établies de la façon suivante : On détermine, à partir des plannings théoriques de marche de la RATVM, des intervalles moyens théoriques entre départs. Le dépouillement des enquêtes fournit d'autre part des intervalles moyens réels, d'où un coefficient correcteur.

En ce qui concerne les durées de trajet en bus, on a cherché à obtenir une précision du même ordre de grandeur que pour le trajet en auto.

La détermination des normes relatives au temps moyen de trajet entre stations consécutives s'effectue suivant un principe analogue à celui utilisé par les temps d'attente. Ces normes permettent de déterminer la durée du trajet en bus en fonction de la ligne utilisée, de l'heure de départ et du nombre d'intervalles interstations parcourus dans la partie centrale et dans la périphérie de l'agglomération.

Les éléments de temps ainsi calculés ont été comparés aux déclarations des enquêtes pour le mode choisi. On a pu constater ainsi des différences importantes entre temps objectifs et temps perçus et déclarés en faisant appel à la mémoire. Les désaccords les plus importants, qui peuvent atteindre 300 % à 500 % de la valeur calculée, semblent provenir de déclarations erronées, voire fantaisistes.



## 2 - PRINCIPE ET MISE EN OEUVRE DE L'ANALYSE STATISTIQUE

Nous décrirons successivement les principes et les modalités de mise en oeuvre de la méthode ELISEE et de l'analyse discriminante.

### 2.1 - METHODE ELISEE

La méthode ELISEE<sup>(\*)</sup> a été conçue initialement pour étudier l'influence d'un ensemble de facteurs sur une variable endogène. Elle est caractérisée par le fait qu'aucune hypothèse ne spécifie à priori la structure des liaisons et que la variable et les facteurs peuvent être qualitatifs, ordonnés ou non. Elle peut être utilisée également pour rechercher les caractéristiques (facteurs) ou combinaisons de caractéristiques qui permettent de différencier le mieux deux populations distinctes d'unités statistiques. La variable est alors le numéro de population. C'est dans cette deuxième optique qu'elle nous intéresse ici, puisqu'elle permet de remplacer l'analyse discriminante classique dans le cas où les facteurs ne sont pas continus et gaussiens mais discrets et qualitatifs.

#### 2.1.1 - Principe de la méthode

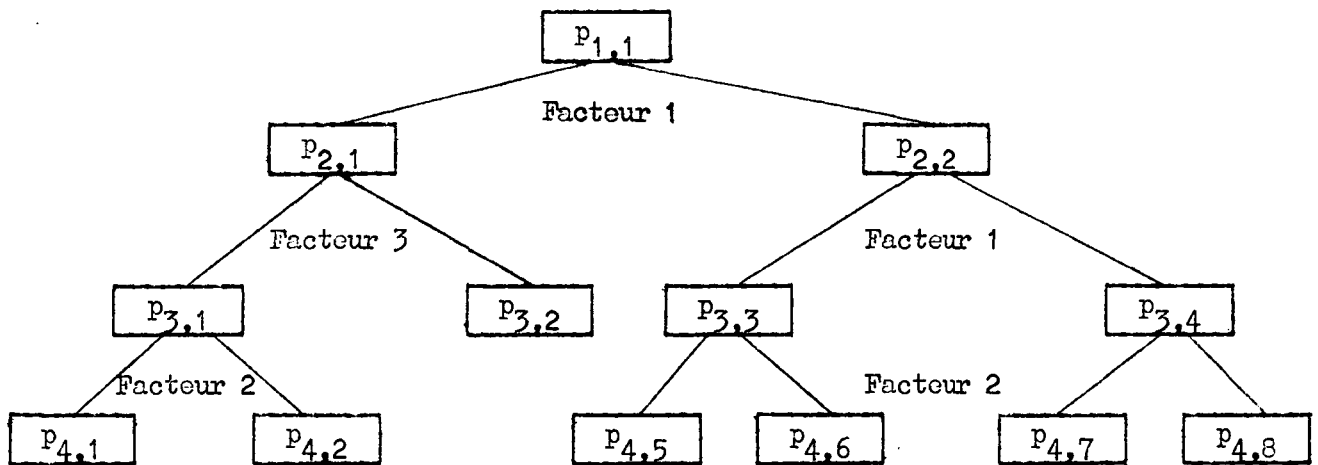
La méthode ELISEE est basée sur un processus général de segmentation qui consiste à effectuer, sur des ensembles d'unités statistiques, une opération élémentaire de partition d'un ensemble, à l'aide d'un facteur choisi parmi les facteurs étudiés, en deux sous-ensembles aussi différents que possible vis-à-vis de la variable (numéro de population).

---

(\*) = Exploration des Liaisons et Interactions par Segmentation d'un Ensemble Expérimental.

Ce processus permet d'isoler à chaque étape le facteur assurant la différenciation maxima (donc celui ayant la plus grande liaison résiduelle avec la variable) et de mesurer l'importance de cette différenciation.

Les dichotomies successives conduisent à une structure arborescente analogue à celle de la figure ci-dessous où  $p_{1,1}$  représente l'ensemble des unités statistiques ;  $p_{2,1}$  et  $p_{2,2}$  les deux sous-ensembles d'unités statistiques, les plus distincts possibles du point de vue de la variable, que l'on puisse obtenir avec un seul facteur et une dichotomie des états de ce facteur ;  $p_{3,1}$  et  $p_{3,2}$  les deux sous-ensembles les plus distincts possibles que l'on puisse obtenir à partir de  $p_{2,1}$  en prenant en compte soit un nouveau facteur, soit une nouvelle dichotomie du facteur précédent, et ainsi de suite.



Le coefficient de liaison utilisé est le "carré de contingence" proposé par K Pearson sous la forme  $\phi^2 = \frac{\chi^2}{n}$  et valable pour les tables de contingence 2 x 2 (caractères qualitatifs).

Pour la segmentation d'un groupe donné, les facteurs non encore complètement utilisés sont dichotomisés de telle sorte que  $\phi$  soit maximum (dichotomie optimale). Lorsque les états pris par un facteur sont ordonnés, la dichotomie s'obtient en effectuant une ou deux coupures dans la suite ordonnée des états.

Ceci permet de prendre en compte non seulement les liaisons "linéaires", mais également les liaisons "en U". Le facteur sélectionné est celui dont la dichotomie optimale donne la valeur de  $\phi$  la plus grande. La dichotomie optimale de ce facteur détermine les deux sous-groupes.

### 2.1.2 - Mise en oeuvre

La méthode ELISEE ne peut prendre en compte les caractéristiques continues que si on les discrétise par un découpage en classes. Un tel découpage en classes, même s'il est bien choisi, entraîne une perte d'information. Nous avons donc préféré traiter les caractéristiques de temps et de coût par l'analyse discriminante et ne pas les introduire dans le traitement par la méthode ELISEE. Certaines des caractéristiques figurant dans le fichier sont utiles pour comprendre et décrire les choix mais mal adaptées à la construction de règles d'affectation car difficiles à mesurer. Nous avons donc fait une sélection et retenu quinze caractéristiques comme facteurs séparants pour l'analyse, la liste de ces caractéristiques figure en Annexe 2.

## 2.2 - ANALYSE DISCRIMINANTE

L'analyse discriminante a pour but, étant donné plusieurs groupes d'unités statistiques, de les différencier au mieux au moyen de caractéristiques mesurées sur les unités statistiques qui les composent. Elle tient compte des liaisons entre ces caractéristiques. Elle conduit à élaborer une règle d'affectation basée sur l'utilisation de "fonctions discriminantes" et permettant de classer une unité statistique dont le groupe d'origine est inconnu. Les caractéristiques doivent être des variables continues, mesurables. Leur distribution d'ensemble sur chacun des groupes doit être de LAPLACE-GAUSS de matrice de variance identique pour tous les groupes et non dégénérée.

### 2.2.1 - Principe de la méthode

Nous décrivons le principe de la méthode dans le cas de deux groupes qui nous intéresse seul ici. Soient :

X l'ensemble des caractéristiques,

$p_1(X) dX$  et  $p_2(X) dX$  les densités de probabilité de X dans les deux groupes,

$q_1$  et  $q_2$  les probabilités à priori qu'un individu appartienne aux groupes 1 et 2 respectivement,

$c_{21}$  et  $c_{12}$  les coûts d'erreurs de classement d'un individu du groupe 1 (classé dans le groupe 2) et d'un individu du groupe 2 (classé dans le groupe 1) respectivement.

Le principe de la méthode consiste à séparer l'espace des caractéristiques en deux régions  $R_1$  et  $R_2$  telles que la règle d'affectation, selon laquelle un individu est classé dans le groupe 1 si son point représentatif tombe dans  $R_1$  et dans le groupe 2 dans le cas contraire, minimise l'espérance mathématique du coût d'erreur :

$$c_{21} q_1 \int_{R_2} p_1(X) dX + c_{12} q_2 \int_{R_2} p_2(X) dX \text{ minimum}$$

Cette condition est vérifiée, quand  $p_1$  et  $p_2$  sont des lois de LAPLACE-GAUSS de vecteurs moyenne  $M_1$  et  $M_2$  et de matrice de covariance  $\Sigma'$  si on définit  $R_1$  et  $R_2$  de la façon suivante :

$$R_1 \text{ (affectation au groupe 1) } z \geq z_0$$

$$R_2 \text{ (affectation au groupe 2) } z < z_0$$

où :

$$z = X' \sum^{-1} (M_1 - M_2)$$

$$z_0 = \log \frac{c_{12}}{c_{21}} \frac{q_2}{q_1} + \frac{1}{2} (M_1 + M_2)' \sum^{-1} (M_1 - M_2)$$

Si  $q_1 = q_2$  et  $c_{12} = c_{21}$  cette règle d'affectation minimise, pour l'échantillon étudié, le nombre ou la proportion totale de maïs classés T :

		Population d'origine		
		1	2	Total
Affectation	1	a	b	$M_1$
	2	c	d	$M_2$
Total		$n_1$	$n_2$	n

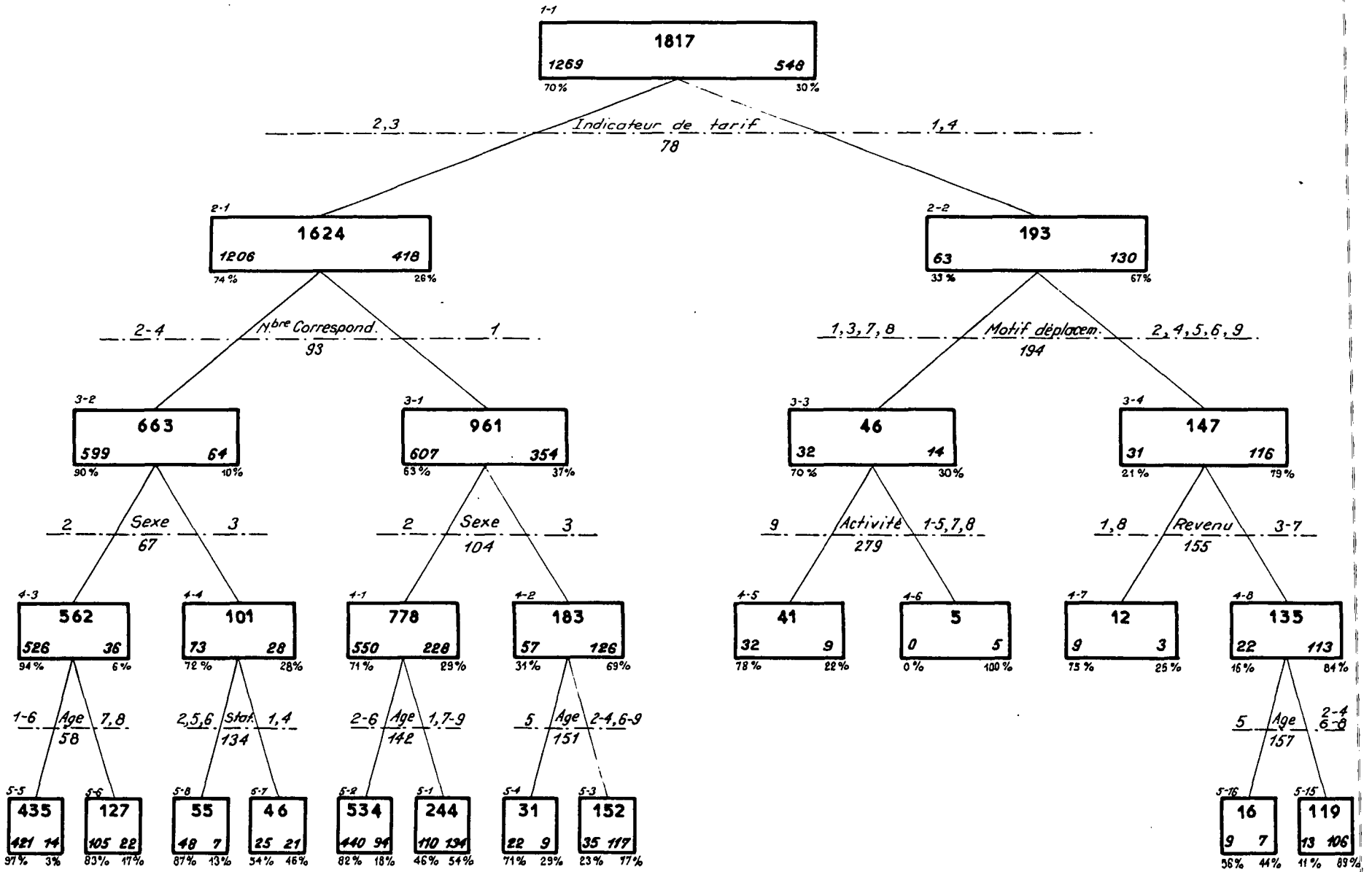
$$T = \frac{c + b}{n}$$

### 2.2.2 - Mise en oeuvre

L'analyse discriminante sur les temps et les coûts a été réalisée en deux étapes comprenant chacune un certain nombre d'applications des programmes de calcul sur ordinateur. Dans un premier temps, un grand nombre de formules de calculs et de comparaison des temps et des coûts selon les deux modes concurrents ont été essayées pour éliminer celles qui semblaient les moins intéressantes.

Dans un deuxième temps, on a réalisé l'ajustement des fonctions discriminantes utilisant les meilleures d'entre elles, d'une part sur l'ensemble des déplacements, et d'autre part sur les sous-groupes obtenus par la méthode ELISEE.

# ARBORESCENCE DE DISCRIMINATION



### 3 - RESULTATS ET CONCLUSIONS

Nous analyserons rapidement les principaux résultats obtenus séparément par la méthode ELISEE et l'analyse discriminante, puis nous les comparerons du point de vue de leur utilisation pour la prévision.

#### 3.1 - RESULTATS OBTENUS PAR LA METHODE ELISEE

Le graphique 2, qui donne l'arborescence de discrimination résultant de la segmentation progressive de l'ensemble du fichier, résume les principaux résultats obtenus.

Chaque sommet correspondant à un groupe de déplacements, est représenté par un rectangle dans lequel figure l'effectif total du groupe. Le numéro d'identification du groupe est porté au-dessus de ce rectangle. Il est composé du numéro de niveau horizontal et d'un numéro d'ordre à l'intérieur du niveau. Dans chaque rectangle figurent également le nombre de déplacements effectués en voiture (à gauche) et le nombre de déplacements effectués en bus (à droite). Sous le rectangle figurent les pourcentages correspondants calculés par rapport à l'effectif total du groupe.

Chaque groupe donne naissance à deux sous-groupes auxquels il est relié par deux arcs. Les deux sous-groupes sont obtenus au moyen du facteur indiqué entre les deux arcs. Les états de ce facteur, qui définissent chacun des deux sous-groupes, figurent au-dessus de leurs rectangles représentatifs. La valeur du coefficient de liaison entre le facteur et le choix du mode ( $\phi^2 \times 1\ 000$ ) est porté sous le nom du facteur.

La segmentation a été arrêtée sur les différentes branches soit lorsque l'effectif des groupes devenait trop faible pour que la portée statistique de la séparation en sous-groupes soit suffisante, soit lorsqu'aucun facteur n'assurait une discrimination significative (test du  $\chi^2$ ).

Sur l'ensemble des déplacements, l'indicateur de tarif en bus présente la plus forte liaison avec le choix du mode et permet de séparer les déplacements qui peuvent être effectués gratuitement en bus. Pour ces derniers, le motif du déplacement joue un rôle important : 70 % des déplacements pour "affaires personnelles" sont effectués en voiture malgré la gratuité du bus, 79 % des déplacements concernant le travail sont effectués en bus.

Dans les cas où le bus n'est pas gratuit, le nombre de correspondances en bus, le sexe et l'âge sont les facteurs les plus explicatifs.

Pour les hommes, qu'il y ait correspondance ou non, l'âge est donc le facteur qui "explique" le mieux le choix du mode. La dichotomie trouvée est presque la même dans les deux cas, et la coupure à 50 ans semble correspondre à une réalité assez nette.

Pour les femmes au contraire, on constate des différences importantes suivant qu'il y a correspondance ou non en bus. L'âge permet encore d'expliquer, en grande partie, le choix quand il n'y a pas correspondance, mais avec une dichotomie différente : les femmes ayant entre 30 et 40 ans effectuent 71 % de leurs déplacements en voiture, alors que les autres n'en effectuent que 23 %. Quand il y a correspondance, le mode de stationnement la nuit semble constituer le facteur prépondérant, mais dans les deux cas, un grand nombre d'autres facteurs présentent également des liaisons importantes avec le choix et il semble bien que le comportement de choix des femmes soit plus complexe, et fasse intervenir un plus grand nombre de facteurs que celui des hommes.



D'une façon générale, on remarquera que si l'on trouve des sous-groupes de déplacements nettement typés du point de vue de la proportion de trajets effectués en voiture (97 %, 87 %, 83 % ...) il n'en est pas de même pour le bus, les seuls groupes extrêmes, 5.3 et 3.4, ne faisant apparaître que des proportions de 77 et 79 % au profit du mode de transport collectif. La dissymétrie entre le nombre de déplacements suivant les deux modes dans l'échantillon total étudié ne peut expliquer à elle seule une telle différence et il semble bien que les circonstances où le bus serait systématiquement utilisé soient beaucoup plus rares et difficiles à mettre en évidence que celles où le choix de la voiture est quasiment automatique.

Il est possible que d'autres facteurs, non pris en compte dans la présente analyse, permettent d'améliorer ces résultats, soit en expliquant d'avantage que ceux mis en évidence aux différents niveaux étudiés, soit en complétant la segmentation à partir des sous-groupes extrêmes obtenus. Cependant, les facteurs sélectionnés présentent l'avantage d'être très facilement mesurables et utilisables pour des projections ou des tests de modifications concernant les modes de transport urbain. Nous reviendrons sur ce point lorsque nous rapprocherons ces résultats de ceux obtenus par analyse discriminante sur les temps et les coûts.

### 3.2 - RESULTATS OBTENUS PAR L'ANALYSE DISCRIMINANTE

Les quantités élémentaires suivantes ont été calculées pour chaque déplacement :

- TV durée de trajet en voiture,
- TB1 durée de trajet totale en bus (y compris marche à pieds et attente),
- TB2 durée de trajet en bus proprement dit,
- CV coût du trajet en voiture,
- CB coût du trajet en bus.

A partir de ces quantités élémentaires, la comparaison entre les deux modes peut s'effectuer de multiples façons. Nous avons envisagé comme variables dans cette première étape les rapports, les différences absolues, et les différences relatives de temps et de coûts. En outre on a considéré les logarithmes de certaines de ces variables pour tenter de réduire les écarts de variance dans les deux populations.

D'une façon générale, nous avons constaté que les variables faisant intervenir le temps de trajet total en bus, TB1, discriminent mieux les deux modes que celles faisant intervenir TB2. Le rapport de temps (RT1 ou RT2) est beaucoup plus dispersé dans la population des déplacements effectués en voiture que dans celle des déplacements en bus, et donc peu utilisable.

En ce qui concerne les coûts, le rapport et la différence semblent constituer les seules formules intéressantes. Nous avons donc sélectionné pour les analyses définitives, les variables suivantes :

$$DRT1 = \frac{TB1 - TV}{TB1 + TV} : \text{différence relative de temps}$$

$$\text{Log DT1} = \log (TB1 - TV + 50) : \text{logarithme de la différence absolue de temps}$$

$$DRT2 = \frac{TB2 - TV}{TB2 + TV} : \text{différence relative de temps}$$

$$RC = CB / CV : \text{rapport de coûts}$$

$$DC = CB - CV : \text{différence absolue de coûts.}$$

Nous avons recherché sur l'ensemble de l'échantillon, et sur différents sous-groupes obtenus par ELISEE, la meilleure fonction discriminante qu'il soit possible d'ajuster avec une caractéristique de coût et une ou deux caractéristiques de temps.

Les résultats obtenus sont rassemblés dans le tableau ci-dessous :

QUALITE DE LA DISCRIMINATION POSSIBLE SUR LES DIFFERENTS GROUPEES  
A PARTIR DE LA MEILLEURE FONCTION DISCRIMINANTE

Groupe	Variables intervenant dans la meilleure fonction discriminante	Pourcentage d'erreurs total T
1-1	DC, DRT1, DRT2	33
2-1	DRT1, DRT2	38
3-2	DC, log DT1, DRT2	45
3-1	DC, DRT1, DRT2	41
4-3	DC, DRT1, DRT2	37
4-4	RC, DRT1	46
4-1	Log DT1, DRT2	40
4-2	DC, DRT1	33

On constate que le pourcentage d'erreurs total T n'est jamais inférieur à 33 %, et que sur certains sous-groupes, la discrimination est très mauvaise. Le facteur coût est important pour la discrimination sur l'ensemble des déplacements, mais joue un rôle très faible sur les autres groupes. La différence absolue (DC) semble la façon la moins mauvaise de prendre en compte ce facteur.

DRT2 ne permet pas d'effectuer moins de 33 % d'erreurs. Il semble donc que d'une façon générale les temps et coûts objectifs, tels qu'ils ont été calculés, ne puissent rendre compte du comportement de choix avec une précision satisfaisante. Quoiqu'il en soit, nous examinerons maintenant la forme sous laquelle pourraient être utilisés les résultats les plus significatifs pour la construction de règles d'affectation et nous comparerons de ce point de vue les résultats des deux analyses.

### 3.3 - COMPARAISON DES RESULTATS DU POINT DE VUE DE LA CONSTRUCTION DE REGLES D'AFFECTATION

Avant d'examiner la construction de règles d'affectations à partir des résultats obtenus, nous remarquerons qu'il existe deux façons très différentes de répondre à la question "quel sera le mode utilisé pour effectuer tel déplacement". La première consiste à désigner un mode sans ambiguïté mais avec une certaine probabilité de se tromper, la deuxième, plus nuancée, consiste à donner des probabilités pour les différentes réalisations possibles. La différence essentielle provient du fait que la probabilité de se tromper dans le premier cas n'a rien de commun avec les probabilités de choix qui constituent la réponse dans le deuxième cas. Cette remarque est importante car la méthode ELISEE est conçue pour préparer une réponse du deuxième type, alors que l'analyse discriminante a pour but de rechercher une réponse du premier type. Certes les résultats des deux analyses peuvent être utilisés en pratique pour donner les deux types de réponses, ce que nous ferons, mais il faut être conscient que pour l'une des deux dans chacun des cas on a changé d'optique chemin faisant et traité un problème pour lequel elle n'est pas parfaitement adaptée.

Nous envisagerons d'abord la réponse cartésienne qui permet une comparaison plus simple des résultats des deux analyses du point de vue des probabilités d'erreur, puis nous examinerons la façon de construire des règles d'affectation probabilistes.

L'analyse discriminante nous a donné, par principe, des règles d'affectation du premier type : pour un déplacement donné la comparaison de la valeur de la fonction discriminante  $z$  à une constante  $z_0$  détermine le mode. L'application des règles trouvées aux déplacements étudiés nous a donné une estimation de la probabilité d'erreur  $T$  (tableau page 16).

L'arborescence obtenue par la méthode ELISEE peut être utilisée pour construire des règles analogues, à condition de faire correspondre un mode à chaque sous-groupe. Par exemple, l'indicateur de tarif permet de construire la règle d'affectation suivante :

Indicateur de tarif	Mode affecté
Bus gratuit	Bus
Bus payant	Voiture

A une telle règle correspond, pour l'ensemble des déplacements étudiés, le tableau d'affectation ci-dessous :

		Mode réellement utilisé		
		Voiture	Bus	Total
Affectation	Voiture	1 206	418	1 624
	Bus	63	130	193
Total		1 269	548	1 817

$$T = \frac{481}{1817} = 26$$

Ce tableau permet de calculer la probabilité d'erreur T. Les probabilités associées à toutes les règles simples (ne faisant intervenir qu'un facteur) sur chacun des sous-groupes figurent dans le tableau ci-après :

Groupe	Facteur	T %
1 - 1	Indicateur de tarif	26
2 - 1	Nombre de correspondances	41
2 - 2	Motif de déplacement	23
3 - 2	Sexe	16
3 - 1	Sexe	30
4 - 3	Age	21
4 - 4	Stationnement	32
4 - 1	Age	26
4 - 2	Age	24

La comparaison avec les probabilités d'erreur obtenues pour les règles basées sur les temps et les coûts est à l'avantage des facteurs traités par ELISEE bien que cette méthode ne soit pas conçue pour minimiser T et que les règles considérées ne fassent intervenir qu'un seul facteur dichotomisé. Seul le groupe 2-1 (ensemble des déplacements payants en bus) révèle une légère supériorité des temps et des coûts pour reproduire le choix entre modes. Pour l'ensemble des déplacements la meilleure fonction discriminante qui fait intervenir DC, DRT1 et DRT2 sous la forme :

$$z = 0,13263 \text{ DC} + 4,57074 \text{ DRT1} - 2,50581 \text{ DRT2}$$

avec :

$$z_0 = 1,5034$$

conduit à une proportion d'erreurs de 33 % alors que l'indicateur de tarif à lui seul ne donne que 26 % d'erreurs et que la meilleure règle possible utilisant l'ensemble de l'arborescence donne moins de 20 % d'erreurs :

REGLE LA MEILLEURE SUR L'ENSEMBLE DES DEPLACEMENTS

Catégorie de déplacement	Mode affecté
Bus payant : au moins une correspondance	Voiture
" " : pas de correspondance, hommes moins de 50 ans	
" " : pas de correspondance, femmes 30 - 40 ans	
Bus gratuit : motif autres que travail	
Bus payant : pas de correspondance, hommes plus de 50 ans	Bus
" " : pas de correspondance, femmes moins de 30 ou plus de 40 ans	
Bus gratuit : déplacements liés au travail	

		Mode réellement utilisé		
		Voiture	Bus	Total
Affectation	Voiture	1 068	160	1 228
	Bus	201	388	589
	Total	1 269	548	1 817

T = 0,198

Cependant, une telle règle utilise mal l'information obtenue par la méthode ELISEE. La décomposition du groupe 3.2 au moyen du sexe et de l'âge, par exemple, n'y est pas utilisée car elle augmenterait la proportion d'erreur. D'autre part, ce type de règle est mal adapté pour l'affectation de groupes de déplacements entre quartiers. Il est donc préférable de rechercher des règles probabilistes. Pour l'établissement de telles règles l'arborescence constitue, dans le domaine qualitatif, l'équivalent des modèles analytiques classiques utilisés pour les phénomènes quantitatifs : elle définit une segmentation de l'ensemble des déplacements en sous-groupes pour lesquels on dispose immédiatement des probabilités d'utilisation de la voiture ou du bus. Cependant, l'utilisation des résultats sous cette forme présente deux inconvénients : le premier provient de ce que l'on utilise toute l'information, sans hypothèse de structure et qu'il est par conséquent impossible de connaître la qualité de l'ajustement, et la marge d'erreur, sur la seule base de l'échantillon utilisé pour la segmentation. Le deuxième réside dans le fait que l'on ne peut rapprocher sous cette forme les résultats obtenus sur les facteurs qualitatifs et sur les temps et coûts : en effet, il est possible en pratique et bien que cela ne constitue vraisemblablement pas la meilleure solution de définir un modèle probabiliste d'affectation à partir des fonctions discriminantes, par exemple sous la forme :

$$p_a = \frac{e^{2(z - z_0)}}{1 + e^{2(z - z_0)}}$$

où  $p_a$  est la probabilité de choisir l'auto pour un déplacement caractérisé

par la valeur de la fonction discriminante  $z$ . Cependant les deux catégories de facteurs ne peuvent être utilisées simultanément et l'on ne peut apprécier leur importance respective pour la reproduction ou la prévision des comportements de choix. De toute façon, ces résultats obtenus sur la seule ville de Marseille devraient être confirmés et précisés sur d'autres villes avant leur application pour définir des règles d'affectation entre modes de transport individuels et collectifs.



ANNEXE 1

LISTE DES RENSEIGNEMENTS RECUEILLIS POUR CHAQUE DEPLACEMENT

Les renseignements relatifs à un déplacement se subdivisent de la manière suivante :

- renseignements concernant le ménage,
- renseignements concernant la personne,
- renseignements concernant le déplacement.

La première catégorie se répète identiquement pour tous les déplacements du ménage. La seconde catégorie se répète identiquement pour tous les déplacements d'une même personne. Seule la troisième catégorie est spécifique du déplacement.

Renseignements concernant le ménage :

- . Nombre de personnes dans le ménage,
  - . Nombre de personnes de plus de 18 ans dans le ménage,
  - . Ancienneté dans le logement,
  - . Nombre de voitures utilisées il y a deux ans,
  - . Nombre de voitures utilisées actuellement.
- Pour la plus puissante et la moins puissante de ces dernières :
- . Puissance,
  - . Age,
  - . Propriétaire (faisant partie ou non du ménage).
- . Tranche de revenu,
  - . Quartier de résidence,
  - . Nombre de personnes du ménage n'ayant pu disposer d'une voiture.

Pour les trois personnes se trouvant éventuellement dans ce cas, et ayant effectué le plus grand nombre de déplacements :

- . le sexe,
- . le lien avec le chef de famille,
- . le nombre de déplacements effectués.

Renseignements concernant la personne ayant fait le déplacement :

- . Sexe,
- . Lien avec le chef de famille,
- . Age,
- . Position actuelle,
- . Catégorie socio-professionnelle,
- . Activité économique,
- . Nature du stationnement la nuit,
- . Conditions souhaitées pour l'utilisation d'un parc de stationnement,
- . Nombre total de déplacements dans la journée.

Renseignements concernant le déplacement :

- . Quartier de départ,
- . Quartier d'arrivée,
- . Motif au départ,
- . Motif à l'arrivée,
- . Mode de transport utilisé.  
Si ce mode est la voiture :
  - . Nombre d'occupants,
  - . Lieu de stationnement,
  - . Nature du stationnement,
  - . Distance parcourue à pieds.
- . Heure de départ,
- . Durée déclarée.

L'ensemble de ces renseignements a pu être obtenu par transcription ou recodage d'informations figurant sur les questionnaires. Pour permettre une comparaison des deux modes, voiture et bus, sur des bases homogènes, nous avons déterminé en outre, par repérage sur un plan de la ville à grande échelle, les caractéristiques objectives du trajet suivant les deux modes concurrents :

- Trajet en voiture :

- . Longueur du trajet,
- . Durée du trajet en voiture,
- . Coût du trajet.

- Trajet en bus :

- . Nombre de correspondances,
- . Distance à pieds,
- . Indicateur de tarif (tarif normal, carte hebdomadaire, gratuité),
- . Coût du trajet,
- . Attente totale (départs et correspondances),
- . Durée du trajet en bus proprement dit.

ANNEXE 2

LISTE DES CARACTERISTIQUES UTILISEES COMME FACTEURS SEPARANTS

POUR LA METHODE ELISEE

Facteur et modalités	Code	Effectif
1 - Ancienneté dans le logement - 10 états - ordonné à 2 coupures.		
Non déterminée	1	13
De 0 à 1 an	2	202
De 1 à 2 ans	3	148
De 2 à 3 ans	4	181
De 3 à 4 ans	5	115
De 4 à 5 ans	6	85
De 5 à 10 ans	7	470
De 10 à 15 ans	8	168
De 15 à 20 ans	9	131
Plus de 20 ans	10	306
2 - Tranche de revenu annuel du ménage - 10 états - ordonné à 2 coupures		
Non déterminée	1	86
Moins de 3 000 francs	2	5
De 3 000 à 5 999 francs	3	39
De 6 000 à 9 999 francs	4	167
De 10 000 à 14 999 francs	5	432
De 15 000 à 19 999 francs	6	393
De 20 000 à 29 999 francs	7	460
De 30 000 à 49 999 francs	8	180
De 50 000 à 99 999 francs	9	57
Plus de 100 000 francs	10	-
3 - Sexe de la personne qui a fait le déplacement - 2 états - non ordonné		
Masculin	2	1 515
Féminin	3	304
4 - Lien avec le chef de famille - 7 états - non ordonné		
Chef de famille	2	1 347
Conjoint(e)	3	161
Ascendants	4	13
Enfants	5	281
Petits enfants	6	2
Domestiques et salariés logés	7	-
Autres	8	15

Facteur et modalités	Code	Effectif
5 - Age de la personne qui a fait le déplacement - 9 états - ordonné à 2 coupures		
Inconnu	1	10
De 18 à 20 ans	2	75
De 21 à 24 ans	3	164
De 25 à 29 ans	4	172
De 30 à 39 ans	5	432
De 40 à 49 ans	6	482
De 50 à 59 ans	7	348
De 60 à 69 ans	8	120
70 ans et plus	9	16
6 - Position actuelle - 7 états - non ordonné		
Actif	2	1 587
Retraité	3	37
Chômeur	4	-
Etudiant, élève	5	76
Sans profession, ménagères, etc.	6	102
Invalides, infirmes, longue maladie	7	-
Personnes travaillant à domicile	8	17
7 - Catégorie socio-professionnelle* - 9 états - non ordonné		
Indéterminés	1	2
Patrons de l'industrie et du commerce	2	239
Professions libérales et cadres supérieurs	3	237
Cadres moyens	4	241
Employés	5	398
Ouvriers	6	378
Personnel de service	7	6
Autres catégories	8	120
Personnes non actives	9	198

\* CSP agriculteurs non représentée dans l'échantillon

Facteur et modalités	Code	Effectif
<b>8 - Activité économique* - 9 états - non ordonné</b>		
Indéterminés - non actif	1	116
Industries extractives	2	5
Bâtiment et travaux publics	3	111
Production et première transformation des métaux	}	220
Industrie mécanique		
Articles métalliques divers		
Constructions électriques		
Réparations mécaniques et électriques		
Verre, Céramique, métaux de construction		
Pétrole et carburants		
Industrie chimique, tabacs, allumettes	}	211
Autres industries de transformation		
Transports	6	237
Commerces, banques, assurances	7	347
Services	8	163
Services publics, administrations, armée, etc.	9	409
<b>9 - Stationnement la nuit - 6 états - non ordonné)</b>		
Indéterminés	1	106
Chez vous	2	264
Chez votre employeur	3	24
Autre garage ou cour privé	4	661
En bordure de rue	5	581
Dans un garage ou parking public	6	183
<b>10 - Nombre total de déplacements effectués dans la journée - 9 états - ordonné à 2 coupures</b>		
1 déplacement	2	3
2 déplacements	3	188
3 déplacements	4	62
4 déplacements	5	582
5 déplacements	6	220
6 déplacements	7	261
7 déplacements	8	103
8 déplacements	9	96
9 déplacements et plus	10	304

\* Activités pêche, agriculture forêts non représentées dans l'échantillon



Facteur et modalités	Code	Effectif
11 - Motifs de déplacements - 9 états - non ordonné		
Autres	1	60
Domicile - Travail non fixe	2	187
Domicile - Affaires personnelles, courses, distractions	3	358
Domicile - Ecole	4	24
Travail fixe - Travail non fixe	5	125
Travail fixe - Affaires personnelles, courses, distractions	6	41
Travail non fixe - Affaires personnelles, courses, distractions	7	18
Affaires personnelles - Affaires personnelles	8	53
Domicile - Travail fixe	9	953
12 - Mode de transports utilisés - 2 états - non ordonné - critère		
Voiture	1	1 271
Bus	2	548
13 - Nombre de correspondances - 5 états - ordonné à 1 coupure		
Pas de correspondance	1	1 087
1 correspondance	2	638
2 correspondances	3	89
3 correspondances	4	5
Plus de 3 correspondances	5	-
14 - Distance à pied - 5 états - ordonné à une coupure		
De 0 à 50 mètres	2	46
De 50 à 150 mètres	3	119
De 150 à 300 mètres	4	519
De 300 à 500 mètres	5	559
Plus de 500 mètres	6	576
15 - Indicateur de tarif - 4 états - non ordonné		
Inconnu	1	3
Tarif normal	2	853
Tarif carte hebdomadaire	3	773
Tarif préférentiel	4	190

Facteur et modalités	Code	Effectif
16 - Attente totale trajet bus - 9 états - ordonné à 1 coupure		
3 ou moins de 3 minutes	2	80
4 ou 5 minutes	3	374
6 ou 7 minutes	4	395
8 ou 9 minutes	5	173
10 ou 11 minutes	6	222
12 ou 13 minutes	7	101
14 ou 15 minutes	8	183
De 16 à 20 minutes	9	171
21 minutes et plus	10	120