

ETUDES DES RESEAUX DE TRANSPORT EN COMMUN DE SURFACE  
DANS LES GRANDES AGGLOMERATIONS FRANCAISES

Etude effectuée pour la Mission de la Recherche  
dans le cadre de l'A.T.P. Socio-Economie des Transports

Marché n° 74 00 027 (du 20 mai 1975)

Service des Affaires Economiques	
D	CDAT
Ref. r	3862 A

N. SZTARKMAN  
J.L. BEAUSSART  
N. POLITIS  
C. IMHAUS

- octobre 1975 -

# sommaire

	pages
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE : ESSAI DE TYPOLOGIE DES RESEAUX A PARTIR DE DONNEES RECUEILLIES SUR UNE ANNEE DE REFERENCE	3
1. <u>Les données</u>	3
11. le recueil des données	
12. les villes retenues	
2. <u>Première comparaison des réseaux au niveau des masses globales pour l'année 1969</u>	8
21. corrélations internes de chaque groupe de variables	
22. liaisons entre variables d'agglomérations et variables de réseaux	
3. <u>Préliminaires à l'élaboration d'une typologie des réseaux</u>	11
31. population desservie	
32. ratios indicateurs des agglomérations	
33. ratios caractérisant l'offre	
34. ratios d'usage des réseaux	
35. remarque sur les limites de ces indicateurs	
4. <u>Recherche des liaisons significatives entre les différents ratios</u>	15
41. matrice des données et matrice des corrélations	
42. remarques sur la liaison entre données d'équipement, taille des agglomérations et le revenu des ménages	
43. liaison entre variables définissant les réseaux	
44. liaisons entre variables définissant agglomérations et réseaux	
45. essai de quantification de la liaison entre l'usage et l'offre	
46. conclusion	

5.	<u>Approche par l'analyse des données et typologie</u>	34
51.	généralités	
52.	axes et plans d'inertie	
53.	essai de classement des réseaux	
54.	conclusions sur les analyses des données	
 SECONDE PARTIE : EVOLUTION DES RESEAUX DE 1967 A 1973		43
1.	<u>Préliminaires</u>	43
2.	<u>Remarques générales sur l'évolution globale des réseaux</u>	44
3.	<u>Etude de l'évolution des ratios</u>	46
31.	comparaison des données statistiques de 1967 et 1973	
32.	le recul d'ensemble des réseaux : étude dynamique	
33.	remarques sur les élasticités globales	
4.	<u>Conclusion de la seconde partie</u>	65
 TROISIEME PARTIE : ANALYSE DE LA LIGNE		66
1.	<u>Les types de lignes rencontrés</u>	67
11.	les lignes radiales	
12.	les lignes diamétrales	
13.	rocares et lignes mixtes	
14.	lignes de rabattement	
15.	exemples de réseaux	
16.	types de lignes et trafic	
2.	<u>Le modèle direct mis en oeuvre</u>	77
21.	les variables retenues au niveau de chaque ligne	
22.	formulation théorique	
23.	le modèle proposé et les autres méthodes de prévision	

3.	<u>Présentation des calculs effectués</u>	85
31.	la collecte des données et ses problèmes	
32.	formules de prévision introduisant à la fois les variables de desserte et de service	
33.	critique du modèle direct	
34.	conclusion sur les études au niveau de la ligne	
	CONCLUSION	101
	ANNEXES	103
<u>annexe 1</u>	Etude des résultats des enquêtes ménages	103
<u>annexe 2</u>	Données complémentaires sur l'évolution des réseaux 1967-1973	107
<u>annexe 3</u>	Méthodes de calcul employées pour la prévision du choix modal et l'évaluation des volumes de déplacements par les transports en commun	111
<u>annexe 4</u>	Formules de prévision du trafic . Résultats complémentaires obtenus	115

## INTRODUCTION

Dans les dernières decennies au fur et à mesure que croissait le parc automobile, on a assisté à une dégradation assez générale et continue de l'usage des transports en commun dans les grandes agglomérations françaises. En même temps, dans le cadre du développement urbain qui impose et rend souhaitable la possibilité d'un plus grand nombre de déplacements, il est apparu de plus en plus nécessaire de sauvegarder les espaces publics des dégradations qu'entraînent certaines utilisations génératrices d'encombrements. Aussi pour éviter de détériorer, par un excès d'infrastructures nouvelles les centres anciens des villes, la recherche d'un meilleur usage de l'espace viaire a été entreprise. L'état des technologies nouvelles ne permet pas d'espérer à court terme des changements radicaux des transports urbains. A travers cette approche d'une gestion nouvelle, les transports en commun prennent donc un intérêt primordial.

Ce sont les transports en commun de surface et particulièrement l'autobus qui devront, pour la plus grande part, assurer dans la plupart des villes françaises les déplacements supplémentaires issus d'une remise en cause globale de la politique des déplacements en agglomération.

De nombreuses études et déclarations récentes, de toutes origines, mettent d'ailleurs l'accent sur une nécessaire promotion des transports en commun. S'ajoutant au souci

de sauvegarder la qualité de l'environnement urbain les effets de la "crise de l'énergie" ont en fait servi de révélateurs et permis de poser le problème beaucoup plus large des déplacements urbains.

Pourtant il est à noter qu'en France comme à l'étranger un effort considérable a été consenti pour améliorer la circulation automobile dans les villes et c'est d'abord dans ce sens que la gestion de la voirie urbaine a fait l'objet d'études poussées -les plans de circulation- qui ont permis d'en optimiser l'usage grâce à des mesures réglementaires (sens uniques) ou à des équipements adaptés (feux...). Dans le même temps, en France, la recherche concernant les réseaux d'autobus n'en est qu'à ses débuts, même si les plans de circulation ont parfois pris en compte quelques mesures favorables aux transports en commun.

L'absence d'approches générales concernant les problèmes des transports en commun de surface nous a conduit à entreprendre la présente étude dans le cadre de l'action thématique programmée "socio-économie des transports" de la mission de la recherche.

L'idée de départ était de rechercher si des typologies et des lois explicatives pouvaient être dégagées au niveau global des réseaux des grandes agglomérations, puis au niveau fin des lignes de ces réseaux.

L'étude suivante tentera donc d'abord de comparer et de classer l'ensemble des réseaux de transports en commun des grandes agglomérations françaises -celles qui dépassaient 100 000 habitants au recensement de 1968- pour tenter d'expliquer les différences de qualité et d'usage perçues. Une étude plus précise de certains réseaux au niveau de chacune de leurs lignes sera ensuite menée pour tenter de dégager les effets des caractéristiques de l'offre de transport. On examinera ainsi dans quelle mesure il est possible d'estimer l'impact de différentes stratégies d'amélioration d'un réseau de transports en commun.

Un tel travail suppose, bien entendu, un considérable recueil de données, mais il permet d'aborder un domaine de connaissance encore peu exploité, fort intéressant dans le cadre des études des réseaux de transports qui ne manqueront pas de se développer dans le nouveau contexte créé autour des déplacements urbains.

PREMIERE PARTIE : ESSAI DE TYPOLOGIE DES RESEAUX A PARTIR  
DE DONNEES RECUEILLIES SUR UNE ANNEE DE REFERENCE

I. LES DONNEES

I.1. Le recueil de données

Les résultats du travail entrepris dépendaient en premier lieu des sources qu'il serait possible d'exploiter. Un très important travail de recueil systématique des données a donc été entrepris dont on peut grouper les résultats selon leur origine sous les trois rubriques suivantes :

a/ Données INSEE :

Le recensement de l'INSEE effectué en 1968 établit pour les agglomérations étudiées les données de démographie et d'emploi nécessaires. Les plus utilisées seront :

- . la population totale 1968
- . le nombre total des emplois 1968
- . le nombre des emplois tertiaires 1968.

Parmi les autres données retenues citons la part d'emploi féminin, la répartition de l'emploi entre branches d'activité...

Les données globales ont été introduites soit brutes soit sous forme de ratios (taux d'activité, d'emplois tertiaires..)

Le recensement fournit également les taux d'équipement en véhicules automobiles (c'est-à-dire la part des ménages disposant d'une voiture ou plus) pour chaque agglomération en 1968.

Selon l'INSEE, les chiffres du recensement étaient sous évalués de 2 à 4 % (1); comme il s'agissait de les comparer, nous avons maintenu leurs valeurs brutes.

D'autres travaux de l'INSEE ont permis de compléter cette caractérisation des agglomérations notamment en ce qui concerne les niveaux de revenu. Pour approcher cette variable, on ne disposait que du salaire moyen par agglomération recueilli systématiquement par l'INSEE.

Cet indicateur ne rend pas compte de la situation des ménages car :

- . d'une part il ignore les revenus non salariaux des patrons et professions libérales mais aussi des inactifs notamment les retraités -nombreux dans certaines agglomérations du Midi ;
- . d'autre part il masque les variations du taux d'activité féminine qui influe fortement sur le revenu des ménages.

Pour remédier à ce dernier biais, on a calculé et utilisé un "revenu salarial moyen" produit du salaire moyen par le nombre des actifs des ménages.

Indiquons enfin pour clore ce chapitre des données INSEE qu'une série de tentatives ont été effectuées pour introduire d'autres caractéristiques des agglomérations mesurées lors de divers recensements : densités, topographie, météorologie...

Une définition rigoureuse de ces variables s'avère très difficile parfois impossible, de plus sous leurs diverses formes utilisées elles ne se sont pas révélées suffisamment liées aux données disponibles concernant les réseaux de transport ; cela est dû peut-être à la trop grande généralité de ces données ou aux outils d'analyse utilisés. En conséquence, ces tentatives ne sont pas reprises ci-dessous.

#### b/ Fichier des Transports Urbains :

Le "fichier des transports urbains" du Ministère des Transports (2) fournit pour les années 1967 à 1973 les caractéristiques globales des réseaux urbains de transports en commun de France.

---

(1) cf. "Les ménages et la voiture particulière en 1968". Economie et statistique n° 16. décembre 1970

(2) fichier mis au point par la société SEREFI pour la Direction des Transports Terrestres, Service Transports de Voyageurs



Parmi ces données sur lesquelles nous reviendrons ultérieurement, les indications suivantes utilisées directement ou sous forme de ratios forment la base du travail entrepris :

- nombre de voyageurs
- longueur totale des lignes
- km x véhicules parcourus
- prix moyen du voyage sur le réseau.

Il est utile de noter ici que le nombre de voyageurs peut être entaché d'une certaine erreur ; en effet, selon les réseaux, la conversion des abonnements en nombre de voyages peut différer.

Cette remarque faite, il faut souligner l'important effort de normalisation des méthodes statistiques et de recueil systématique de données que représente le Fichier des Transports Urbains. Elaboré récemment, il constitue un premier document permettant la connaissance et l'analyse de réseaux français de transports collectifs urbains (première édition en 1974).

c/ Enquêtes ménages du Ministère de l'Équipement :

Une troisième source de données a été étudiée, il s'agit des résultats d'enquêtes auprès des ménages menées de 1965 à 1969 par les services de l'Équipement dans une vingtaine d'agglomérations.

Très riches en informations, ces enquêtes recueillies dans divers documents du SETRA n'ont pas fait l'objet d'une analyse statistique d'ensemble. Les éléments tirés de leur étude corroborent les résultats établis à partir de la confrontation des sources de données citées en a/ et b/ ci-dessus, nous les avons reportés dans l'annexe 1 de ce rapport.

Notons que ces enquêtes fournissent les taux d'équipement en automobile des ménages, leurs valeurs donnent dans tous les cas des chiffres très supérieurs aux données du recensement 1968, la sous-estimation évoquée par l'INSEE (cf a/ ci-dessus) ne pourrait expliquer la différence constatée.

I.2. Les villes retenues

- a/ Les objectifs mêmes de l'étude ainsi que les contraintes rencontrées dans le recueil des données amènent à retenir 38 agglomérations sur les 49 dépassant les 100 000 habitants.

Ces agglomérations sont classées par ordre décroissant de population (milliers d'habitants en 1968). Entre parenthèses, les codes utilisés dans l'étude.

Lyon	(LYO)	1066	Rennes	(REN)	191
Marseille	(MAR)	964	Dijon	(DIJ)	185
Lille	(LIL)	880	Montpellier	(MPL)	172
Bordeaux	(BOR)	552	Reims	(REI)	169
Toulouse	(TLS)	439	Brest	(BRS)	168
Nice	(NIC)	393	Orléans	(ORL)	168
Nantes	(NTE)	392	Le Mans	(LMA)	167
Rouen	(ROU)	369	Metz	(MET)	166
Toulon	(TOU)	340	Angers	(AGE)	162
Strasbourg	(STR)	334	Caen	(CAE)	150
Grenoble	(GRE)	332	Limoges	(LIM)	148
St-Etienne	(STE)	331	Dunkerque	(DUN)	142
Nancy	(NCY)	256	Avignon	(AVI)	139
Le Havre	(LHA)	246	Amiens	(AMI)	137
Valenciennes	(VAL)	223	Nîmes	(NIM)	126
Douai	(DOU)	204	Besançon	(BES)	116
Clermont-Ferrand	(CLF)	204	Troyes	(TRO)	114
Tours	(TRS)	201	Pau	(PAU)	110
Mulhouse	(MUL)	198	Perpignan	(PER)	106

b/ Les agglomérations exclues sont :

- . Paris qui, par sa taille et la puissance de son réseau ferré, paraît difficile à prendre en compte dans la comparaison ;
- . Béthune, Bruay-en-Artois, Denain, Lens et Montbelliard -villes industrielles du Nord et de l'Est- qui ne disposent pas d'un réseau urbain véritable, ce qui s'explique certainement par la très grande importance des transports de ramassage organisés par les employeurs locaux ;
- . Bayonne, Briey-Hagondange, Cannes, Saint Nazaire, Thionville, agglomérations pour lesquelles les données recueillies restaient incomplètes. Trois d'entre elles sont fortement industrielles (Briey, Saint Nazaire, Thionville) le ramassage organisé influe sur les caractères de leurs réseaux, ainsi, le réseau de Briey-Hagondange ne dessert qu'une zone très limitée (20 000 habitants environ). D'autre part, les réseaux de Cannes et Saint Nazaire ne présentent qu'une offre assez réduite comparée aux autres réseaux étudiés.

Corrélations au niveau des "masses totales"

1. Variables de population et d'emploi

POP	1			
EMP	0,99	1		
TER	0,98	0,98	1	

2. Variables caractérisant les réseaux

KML	1				
KMV	0,93	1			
VOY	0,84	0,95	1		
FQG	0,33	0,55	0,58	1	

3. Corrélations entre les deux groupes de variables

	POP	EMP	TER
KML	0,90	0,90	0,91
KMV	0,95	0,96	0,96
VOY	0,88	0,91	0,88
FQG	0,50	0,51	0,50

Pour 38 observations, la valeur de la corrélation linéaire telle que la liaison n'a que :

- 5 % de chances d'être due au hasard est de 0,31
- 1 % de chance d'être due au hasard est de 0,40

## 2. PREMIERE COMPARAISON DES RESEAUX AU NIVEAU DES MASSES GLOBALES POUR L'ANNEE 1969

A l'évidence, la taille des agglomérations étudiées conditionne les caractéristiques globales des réseaux : kilométrage total des lignes, kilomètres parcourus, total des voyageurs transportés...

Pour préciser ces liaisons, nous étudions rapidement ci-dessous un nombre restreint de ces "masses globales" pour l'année 1969. Cette année a été choisie parce qu'elle est proche de 1968 dont les résultats sont troublés par les grèves. Les variables retenues sont les suivantes (leur symbole est précisé entre parenthèses) :

- |   |   |                            |
|---|---|----------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- population en 1968 (POP)</li> <li>- nombre des emplois en 1968 (EMP)</li> <li>- nombre des emplois tertiaires en 1968 (TER)</li> </ul>   | } | pour chaque agglomération  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- longueur totale des lignes (KML)</li> <li>- nombre des km véhicules parcourus (KMV)</li> <li>- nombre total de voyageurs (VOY)</li> <li>- fréquence généralisée (FQG)</li> </ul> | } | pour chaque réseau en 1969 |

La fréquence généralisée désigne le rapport des kilomètres véhicules parcourus à la longueur totale des lignes (KMV/KML). C'est, en quelque sorte, une fréquence moyenne sur l'ensemble du réseau considéré.

### 2.1. Corrélations internes de chaque groupe de variables

- a/ L'examen des "liaisons linéaires" (corrélations) entre les variables d'agglomération (démographie, emploi) montre que les données de population et d'emploi sont quasiment proportionnelles (corrélation voisine de 1).
- b/ Parmi les liaisons entre variables des réseaux, les variables de trafic (VOY) et d'offre (KMV) sont fortement liées.

La formule de régression linéaire

$$VOY = 5,93 KMV - 2,5 \cdot 10^6$$

avec 91 % de variance expliquée permet, au niveau global, d'affirmer qu'au delà d'une certaine qualité de l'offre

globale en 1969 (1). Chaque km x véhicule parcouru apporte 5,9 voyageurs.

Seule la fréquence généralisée est peu liée linéairement aux autres variables caractérisant l'offre ou l'usage des réseaux. Elle apparaît bien comme une caractéristique propre à chaque réseau et cette faible corrélation traduit la grande variété des situations constatées.

## 2.2. Liaisons entre variables d'agglomérations et variables de réseaux

Le rapprochement entre données de population (ou d'emploi puisque la liaison entre elles est très forte) et données de réseaux, montre que les variables globales d'offre -longueur des lignes et nombre de km x véhicules parcourus- ainsi que le nombre total de voyageurs sont en corrélation assez étroite avec les variables de population et d'emploi.

Ainsi, il est confirmé -ce qui semble a priori évident- que l'importance des réseaux (longueur des lignes, km x véhicules parcourus et total des voyageurs) est conditionnée nettement par la taille des agglomérations. Mais, l'analyse montrera plus loin les limites d'une telle constatation. Il n'en est pas de même dans le cas de la fréquence généralisée pour les raisons déjà citées.

Globalement, la diversité de qualité des réseaux pour des sites de taille voisine (notamment entre 100 000 et 400 000 habitants) se traduit dans les résultats par une régression linéaire, utilisant la population, d'une qualité moindre : la formule

$$\text{VOY} = 118 \text{ pop} - 11.10^6$$

n'explique ici, pour 1969, que 78 % de la variance initiale.

De manière générale, il faut pour le moment retenir que le nombre global des km x véhicules parcourus rend le mieux compte de l'usage constaté (nombre total de voyageurs).

---

(1) le nombre de km x véhicules parcourus doit en effet être assez grand pour que le nombre de voyageurs prévus soit positif ; soit ici :

$$\text{KMV} > \frac{2,5.10^6}{5,93} \approx 420\ 000$$

Cet indicateur rend compte à la fois de la longueur des lignes, elle-même bien liée à la taille des agglomérations et de la qualité du service (fréquence de passage des autobus). Cependant, la fréquence apparaît comme beaucoup moins directement corrélée aux masses des emplois et populations à desservir.

Pour élaborer les éléments d'une typologie des réseaux, à travers leur diversité et celle des agglomérations, l'étude détaillée se poursuivra à l'aide de ratios.

TABLEAU 2

## DESSERTTE DES AGGLOMERATIONS

POPULATIONS (milliers)			
aggl.	INSEE 1968	desservie	r
AMI	137.00	123.00	1.11
AGE	162.00	147.00	1.10
AVI	139.00	94.00	1.48
BES	116.00	113.00	1.03
BOR	552.00	552.00	1.00
BRS	168.00	154.00	1.09
CAE	150.00	119.00	1.26
CLF	204.00	193.00	1.06
DIJ	185.00	178.00	1.04
DOU	204.00	114.00	1.79
DUN	142.00	120.00	1.18
GRE	332.00	300.00	1.11
LHA	246.00	234.00	1.05
LIL	880.00	823.00	1.07
LIM	148.00	139.00	1.06
LYO	1066.00	952.00	1.12
LMA	167.00	147.00	1.14
MAR	964.00	889.00	1.08
MET	166.00	148.00	1.12
MPL	172.00	171.00	1.01
NCY	256.00	248.00	1.03
NTE	392.00	329.00	1.19
NIC	393.00	337.00	1.17
NIM	126.00	124.00	1.02
ORL	168.00	160.00	1.05
PER	106.00	102.00	1.04
REI	169.00	168.00	1.01
REN	191.00	185.00	1.03
VAL	223.00	283.00	.79
ROU	369.00	317.00	1.16
STE	331.00	285.00	1.16
STR	334.00	341.00	.98
TRO	114.00	113.00	1.01
TLN	340.00	186.00	1.83
TLS	439.00	462.00	.95
TRS	201.00	184.00	1.09
MUL	198.00	178.00	1.11
PAU	110.00	105.00	1.05
total	10760.00	9817.00	1.10

$$r = \frac{\text{population INSEE 1968}}{\text{population desservie}}$$

r est l'inverse du coefficient de couverture de l'agglomération



### 3. PRELIMINAIRES A L'ELABORATION D'UNE TYPOLOGIE DES RESEAUX

Pour mieux faire apparaître les différences entre le service offert et l'usage sur les différents réseaux, on a eu recours à des ratios ramenés à l'habitat desservi. Ceci évite de polariser l'étude statistique menée sur la très forte liaison entre masses globales à desservir et caractéristiques du réseau, et permet de faire la comparaison entre indicateurs rendus "homogènes".

#### 3.1. Population desservie

L'un des dénominateurs de base de ces ratios est naturellement la population. On a retenu ici comme population desservie par leur réseau la population totale des communes effectivement atteintes par une ligne au moins du réseau considéré. Généralement voisine de la population agglomérée, cette population desservie peut, dans certains cas particuliers, s'en écarter notablement.

Le rapport population agglomérée / population desservie calculé sur les bases du recensement 1968 (table ci-contre) permet de dégager les réseaux n'atteignant pas toutes les communes, c'est-à-dire les agglomérations où la périphérie n'est pas totalement desservie. C'est essentiellement le cas de :

$$r = \frac{\text{population agglomérée}}{\text{population desservie}}$$

Toulon	1,83
Douai	1,79
Avignon	1,48
Caen	1,26

A l'inverse, le réseau de Valenciennes (  $r = 0,79$  ) couvre une aire géographique dépassant l'agglomération INSEE 1968. Dans ces cas extrêmes, la définition de la population desservie retenue est judicieuse, car elle permet de calculer des ratios de service et d'utilisation caractérisant effectivement les réseaux qui ne desservent qu'une part de l'agglomération, ou une surface supérieure à celle de l'agglomération.

Pour l'ensemble des autres villes, le rapport  $r$  varie généralement de 0,95 à 1,12 dépassant cette dernière valeur pour six agglomérations seulement, desservies à moins de 90 %.  
 (Le Mans  $r = 1,14$  ; Rouen = 1,16 ; Saint Etienne = 1,16 ; Nice = 1,17 ; Dunkerque = 1,18 ; Nantes = 1,19). Globalement population desservie et population agglomérée restent deux variables très liées.

### 3.2. Ratios "indicateurs d'agglomérations" retenus

Dans le traitement suivant ce sont les meilleures liaisons entre variables caractéristiques des réseaux et des agglomérations qui ont été recherchées.  
 Après l'analyse statistique des masses globales les données totales de population et d'emploi ont pu être résumées par la seule variable population agglomérée pour la présentation des résultats.

En effet, les différentes particularités locales de l'emploi (taux d'activité, répartition entre secondaire et tertiaire, part de main d'oeuvre féminine, n'ont jamais révélé de liaison significative avec l'offre ou l'usage des réseaux de transport en commun. Aussi, dans l'analyse statistique suivante, ne seront conservées pour caractériser les agglomérations que les trois variables suivantes :

- population agglomérée 1968	symbole	POP 68
- équipement des ménages (%)	"	EQT
- revenu salarial moyen	"	REV

### 3.3. Ratios caractérisant l'offre

A partir de la notion de population desservie, l'offre a été caractérisée par :

- la densité des lignes (en km par habitant desservi)
- le nombre de km x véhicule par habitant desservi
- la fréquence généralisée
- le prix moyen du trajet effectué (recette moyenne par voyageur SRO)
- la vitesse moyenne des véhicules.

Cependant, au cours de l'étude, l'indicateur "vitesse moyenne" s'est révélé trop global et surtout trop approximatif ; il n'apporte en effet aucune contribution à l'explication

des ratios d'usage ; c'est pourquoi il n'a pas été retenu dans les présentations des résultats qui suivent.

### 3.4. Ratios d'usage des réseaux

L'utilisation (qui est une notion plus exacte que celle de la demande habituellement utilisée) sera définie par

- . le nombre moyen de voyages annuels par habitant desservi, ratio classique d'usage des transports en commun
- . le nombre moyen des voyageurs par km x véhicules parcouru.

Ce dernier ratio couramment utilisé parce qu'il se calcule aisément ne traduit pas le remplissage moyen effectif des véhicules mais le rapport :

$$\frac{\text{remplissage moyen}}{\text{parcours moyen effectué.}}$$

Ainsi, pour un même remplissage, plus les parcours seront longs plus ce ratio sera faible (1). Les grandes agglomérations, si le parcours moyen y est plus long, seront donc difficilement comparables aux plus petites. Comme on ne connaît pas le parcours moyen, le ratio devra donc être utilisé avec précaution.

Toutes les valeurs retenues pour la description des réseaux correspondent aux seuls services réguliers ordinaires (SRO) assurés et proviennent du "fichier des transports urbains".

(1) Le remplissage moyen  $R_m$  est donné par :

$$R_m = \frac{\text{nombre de voyageurs x parcours moyen}}{\text{km x véhicule}}$$

$$\text{ou } R_m = \frac{\text{voyageurs}}{\text{km x véhicule}} \times \text{parcours moyen}$$

Le ratio connu vérifie donc la relation :

$$\frac{\text{voyageurs}}{\text{km x véh.}} = \frac{R_m}{\text{parcours moyen}}$$

### 3.5. Remarques sur les limites de ces indicateurs

Les données disponibles nécessitaient de préciser leur utilisation avec précaution : ainsi, devait être signalé en tête de ces préliminaires la différence entre population agglomérée et population desservie et les conséquences du choix de l'une ou l'autre sur la valeur des ratios calculés.

D'autres éléments limitent la précision apparente des données sur les réseaux. Ainsi, le nombre des voyages pris en compte pour un abonné peut, comme on l'a signalé, varier d'un réseau à l'autre et modifier le nombre retenu des voyageurs.

D'autre part, certains des réseaux comparés ne représentent pas la desserte urbaine effective de leur agglomération car :

- . quelques lignes interurbaines gérées par le même exploitant sont parfois prises en considération,
- . une offre complémentaire, contrôlée par un autre exploitant peut exister,
- . le ramassage organisé par les entreprises peut également constituer une offre de transport importante, surtout dans les villes les plus industrielles.

TABLEAU 3

MATRICE DES DONNEES

	pop. 68 (milliers)	eqt %	Rev. (10 <sup>2</sup> F)	pop. d. (milliers)	den	kmv/h	voy/h	prix (F)	f.g. (milliers)	voy/kmv
AMI	137.00	48.20	154.50	123.00	.47	9.30	49.15	.62	19.73	5.28
AGE	162.00	54.70	162.91	147.00	.41	8.53	36.96	.52	20.55	4.34
AVI	139.00	57.10	154.75	94.00	.38	3.92	14.34	.44	10.24	3.66
BES	116.00	57.20	179.48	113.00	.51	12.09	56.34	.47	23.55	4.66
BOR	552.00	53.00	170.34	552.00	.61	23.90	111.67	.56	38.92	4.67
BRS	168.00	52.20	137.14	154.00	.39	12.09	73.61	.54	31.03	6.09
CAE	150.00	62.10	175.91	119.00	.35	7.25	37.67	.58	20.55	5.20
CLF	204.00	57.80	176.04	193.00	.44	17.57	76.87	.69	40.38	4.37
DIJ	185.00	57.70	187.82	178.00	.56	15.44	80.02	.53	27.49	5.18
DOU	204.00	38.60	159.26	114.00	.86	10.60	33.67	.67	12.33	3.18
DUN	142.00	47.70	178.16	120.00	.36	7.97	42.19	.53	22.25	5.29
GRE	332.00	57.10	185.75	300.00	.46	14.29	56.60	.70	31.30	3.96
LHA	246.00	49.30	187.75	234.00	.32	14.57	68.30	.62	45.46	4.69
LIL	880.00	43.30	166.95	823.00	.33	13.81	60.07	.73	41.33	4.35
LIM	148.00	56.60	150.95	139.00	.50	18.57	93.05	.54	36.88	5.01
LYO	1066.00	52.30	199.28	952.00	.44	24.93	180.61	.52	57.18	7.25
LMA	167.00	57.80	178.10	147.00	.22	8.69	59.10	.49	38.71	6.80
MAR	964.00	44.50	158.85	889.00	.44	20.94	91.31	.98	47.26	4.36
MET	166.00	50.90	163.05	148.00	.46	14.50	66.96	.69	31.57	4.62
MPL	172.00	53.90	142.21	171.00	.47	15.96	71.99	.62	33.69	4.51
NCY	256.00	50.80	168.58	248.00	.58	16.82	98.57	.55	29.17	5.86
NTE	392.00	53.30	166.40	329.00	.39	17.71	81.45	.59	45.18	4.60
NIC	393.00	47.10	140.93	337.00	.36	13.44	80.75	.73	37.75	6.01
NIM	126.00	49.70	127.53	124.00	.44	8.70	36.75	.51	19.61	4.22
ORL	168.00	59.80	191.26	160.00	.44	12.08	43.71	.56	27.61	3.62
PER	106.00	50.90	120.42	102.00	.42	15.68	63.79	.60	37.19	4.07
REI	169.00	55.00	184.52	168.00	.26	14.60	87.94	.47	55.76	6.02
REN	191.00	61.60	163.84	185.00	.26	8.13	55.23	.44	30.68	6.80
VAL	223.00	39.20	148.93	283.00	.41	9.24	43.24	.66	22.54	4.68
ROU	369.00	54.40	192.02	317.00	.40	13.32	53.96	.84	33.24	4.05
STE	331.00	43.70	147.56	285.00	.35	23.11	213.93	.40	65.21	9.26
STR	334.00	47.90	165.82	341.00	.33	18.07	97.73	.63	54.05	5.41
TRO	114.00	54.30	176.64	113.00	.39	10.31	45.83	.50	26.48	4.44
TLN	340.00	49.50	121.80	186.00	.35	13.80	78.21	.57	38.89	5.67
TLS	439.00	56.80	161.27	462.00	.77	18.26	88.31	.63	23.83	4.84
TRS	201.00	55.00	158.91	184.00	.53	17.71	96.80	.48	33.25	5.47
MUL	198.00	50.10	165.02	178.00	.38	17.11	77.84	.60	44.80	4.55
PAU	110.00	49.10	157.63	105.00	.53	5.65	26.21	.53	10.59	4.64

#### 4. RECHERCHE DES LIAISONS SIGNIFICATIVES ENTRE LES DIFFERENTS RATIOS

##### 4.1. Matrice des données et matrice des corrélations

La matrice des données est fournie ci-contre, rappelons la liste des indicateurs retenus et leurs symboles :

- population 1968	POP 68
- pourcentage d'équipement des ménages	EQT
- revenu salarial moyen des ménages	REV
- population desservie 1968	POPD
- densité des lignes (km/1000 habitants desservis)	DEN
- km x véhicule par habitant desservi	KMV/H
- voyages par habitant desservi	VOY/H
- prix moyen du voyage (francs 1969)	PRI
- fréquences généralisées	FQG
- voyageurs par km x véhicule	VOY/KMV

La lecture de cette matrice donne déjà des indications brutes intéressantes et permet de comparer les réseaux. La première phase de l'étude typologique a consisté en une analyse statistique des variables et de leurs liaisons.

Les principales caractéristiques des variables et la matrice de corrélation sont présentées ci-après.

Nous commenterons successivement les résultats pour les indicateurs d'agglomérations, pour les indicateurs de réseaux de transport, enfin, les liaisons entre ces deux groupes.

Tous les traitements nécessaires à cette étude statistique, représentation de données, analyse des données... ont été effectués sur ordinateur à l'aide du langage APL particulièrement adapté à ce type de recherche sur un tableau de données.

Certaines représentations planes des données tracées automatiquement accompagnent les résultats. Les villes y sont symbolisées par leur code, la dernière lettre de ce code figurant le point représentatif d'où se lisent les valeurs des coordonnées sur les axes choisis. Pour éviter des superpositions illisibles, certains des points sont figurés par un symbole différent.

TABLEAU 4

## ETUDE DE LA MATRICE DES DONNEES

## . MATRICE DES CORRELATIONS

POP 68	EQT	REV	POP. D	DEN	KMV/H	VOY/H	PRIX	FQG	VOY/KM
1.0000	-.2891	.1954	.9880	.0215	.5870	.5021	.4691	.4973	.1549
-.2891	1.0000	.3684	-.2766	-.1480	-.1112	-.1382	-.3572	-.1185	-.0098
.1954	.3684	1.0000	.2197	-.0467	.1014	.0556	.0239	.1285	-.0269
.9880	-.2766	.2197	1.0000	.0314	.5988	.4977	.4694	.4916	.1435
.0215	-.1480	-.0467	.0314	1.0000	.1975	-.0136	.1342	-.4216	-.3751
.5870	-.1112	.1014	.5988	.1975	1.0000	.8555	.2018	.7622	.3036
.5021	-.1382	.0556	.4977	-.0136	.8555	1.0000	-.1185	.7970	.7168
.4691	-.3572	.0239	.4694	.1342	.2018	-.1185	1.0000	.0881	-.4330
.4973	-.1185	.1285	.4916	-.4216	.7622	.7970	.0881	1.0000	.5475
.1549	-.0098	-.0269	.1435	-.3751	.3036	.7168	-.4330	.5475	1.0000

## . CARACTERISTIQUES DES VARIABLES

	MINIS	MAXIS	MOYENNES	VARIANCES	ECART-TYPES*
POP 68	106.0000	1066.0000	283.1579	52860.5690	229.9143
EQT	38.6000	62.1000	52.1105	31.7037	5.6306
REV	120.4201	199.2832	163.9023	369.4823	19.2219
POP. D	94.0000	952.0000	258.3421	45526.8798	213.3703
DEN	.2245	.8596	.4373	.0155	.1246
KMV/H	3.9200	24.9281	13.9130	25.0677	5.0068
VOY/H	14.3400	213.9311	71.8609	1430.5372	37.8224
PRIX	.4000	.9800	.5876	.0129	.1138
FQG	10.2356	65.2143	33.3225	166.2236	12.8928
VOY/KM	3.1773	9.2567	5.0433	1.3080	1.1437

Pour 38 observations, la valeur de la corrélation linéaire telle que la liaison n'ait que :

5 % de chances d'être due au hasard est de 0,31

1 % de chances d'être due au hasard est de 0,40

#### 4.2. Remarques sur la liaison entre données d'équipement, taille des agglomérations et le revenu des ménages (figures 1 et 2)

Le taux d'équipement des ménages se trouve souvent considéré comme une des variables les plus explicatives de l'usage des transports en commun. Un peu en marge de la typologie des réseaux, il paraît intéressant d'examiner les corrélations entre ces taux d'équipement et deux caractéristiques des agglomérations : leur taille et le revenu des ménages.

L'affirmation selon laquelle le taux d'équipement des ménages décroît lorsque la taille de l'agglomération augmente doit être sérieusement nuancée. Globalement, les grandes agglomérations sont effectivement moins motorisées que la moyenne (cas de Lille, Marseille, Lyon et, bien sûr, Paris), mais, au-dessous de 500 000 habitants, dégager une loi générale devient illusoire. Ainsi, le coefficient de corrélation linéaire entre population et taux d'équipement dont le signe négatif traduit la plus faible motorisation des grandes villes passe de -0,29 pour 38 agglomérations à -0,15 pour les 34 inférieures à 500 000 habitants.

Ce sont en fait les niveaux des revenus d'abord et les conditions locales d'âge de la population, de densité, de structure urbaine et de desserte par les différents modes de transport qui jouent.

L'équipement des ménages apparaît ici logiquement lié au revenu moyen calculé. Toutefois, les limites de cette définition du revenu (limites expliquées précédemment) et le fait que l'on raisonne sur une valeur moyenne pour l'agglomération modèrent la valeur du coefficient de corrélation (0,37).

#### 4.3. Liaison entre variables définissant les réseaux

##### a/ Domaine de variations des indicateurs d'offre et d'usage :

Les deux ratios  $KMV/H$  et  $VOY/H$ , fortement liés, qui représentent le plus classiquement "l'offre" et l'usage d'un réseau de transport, prennent des valeurs très dispersées.

En effet, selon les réseaux, l'offre varie de 3,9 à Avignon à près de 25 km x véhicules/habitant à Lyon, soit de 1 à plus de 6. (1)

---

(1) logiquement les km x véhicules offerts sont influencés par la densité de population de l'agglomération. A population voisine, ce ratio croît lorsque la densité diminue, une plus grande longueur des lignes étant nécessaire.



De même, et par conséquent, le nombre de voyages annuels par habitant va de 14 à Avignon à plus de 214 à Saint Etienne soit 15 fois plus.

Le tableau suivant donne un simple classement par nombres de voyages par habitant décroissants en indiquant les km x véhicules offerts.

rang	agglomération	VOY/H	KMV/H	VOY/KMV
1	STE	214	23.1	9,26
2	LYO	181	24.9	6,80
3	BOR	112	23.9	6,09
4	NCY	99	16.8	5,86
5	STR	98	18.1	5,41
6	TRS	97	17.7	5,47
7	LIM	93	18.6	5,01
8	MAR	91	20.0	4,36
9	TLS	88	18.3	4,84
10	REI	88	14.6	6,02
11	NTE	81	17.7	4,60
12	NIC	81	13.4	6,01
13	DIJ	80	15.4	5,18
14	TLN	78	13.8	5,67
15	MUL	78	17.1	4,55
16	CLF	77	17.6	4,37
17	BRS	74	12.1	6,09
18	MPL	72	16.0	4,51
19	LHA	68	14.6	4,69
20	MET	67	14.5	4,62
21	PER	64	15.7	4,07
22	LIL	60	13.8	4,35
23	LMA	59	8.7	6,80
24	GRE	57	14.3	3,96
25	BES	56	12.1	4,66
26	REN	55	8.1	6,80
27	ROU	54	13.3	4,05
28	AMI	49	9.3	5,28
29	TRO	46	10.3	4,44
30	ORL	44	12.1	3,62
31	VAL	43	9.2	4,68
32	DUN	42	7.9	5,29
33	CAE	38	7.3	5,20
34	AGE	37	8.5	4,34
35	NIM	37	8.7	4,22
36	DOU	34	10.6	3,18
37	PAU	26	5.7	4,64
38	AVI	14	3.9	3,66

fig 1: POURCENTAGE D'EQUIPEMENT EN AUTOMOBILE DES MENAGES, EN FONCTION DE LA TAILLE DE L'AGGLOMERATION

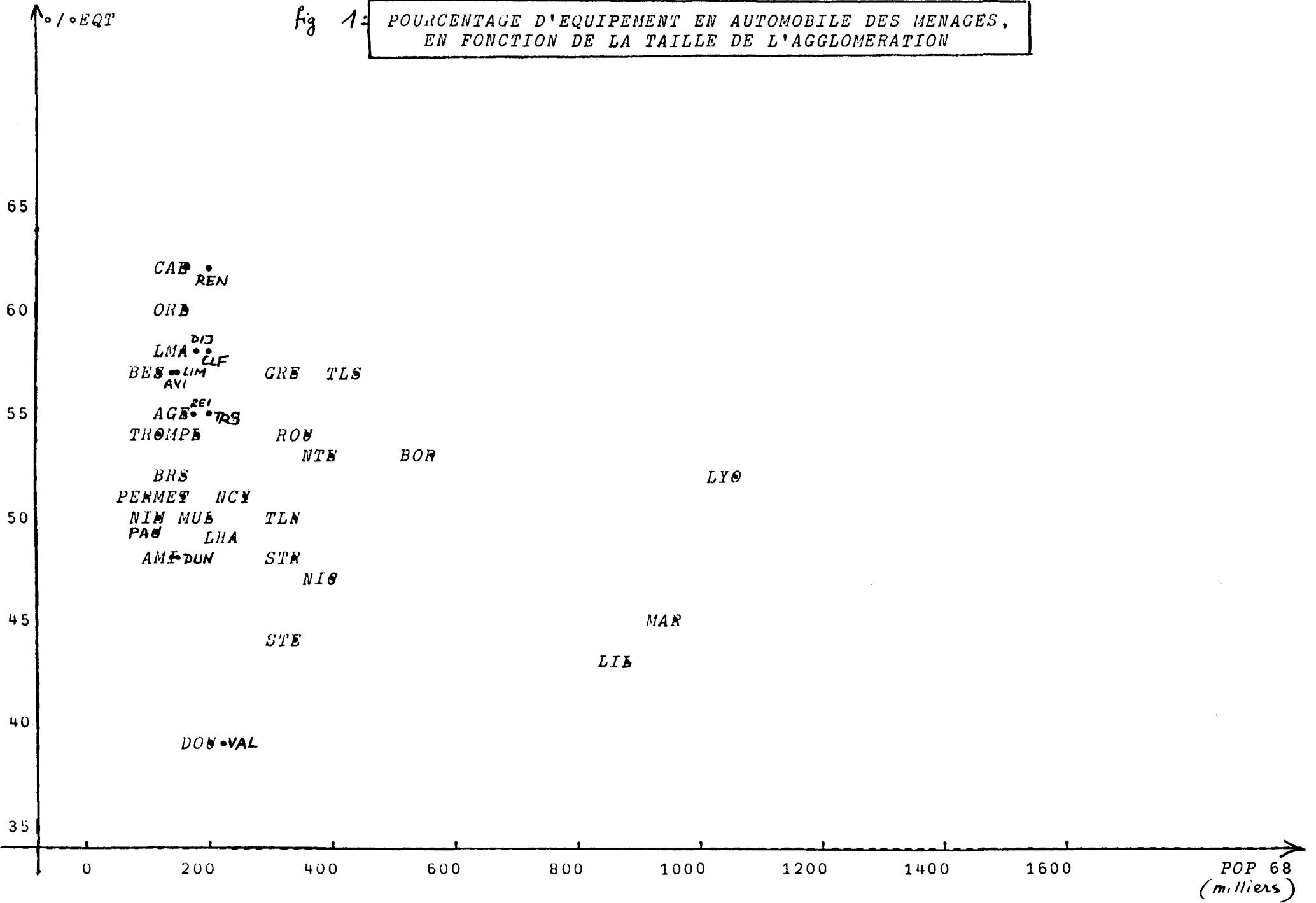


FIG 2 :

1969 \*EQUIPEMENT DES MENAGES EN FONCTION DU REVENU

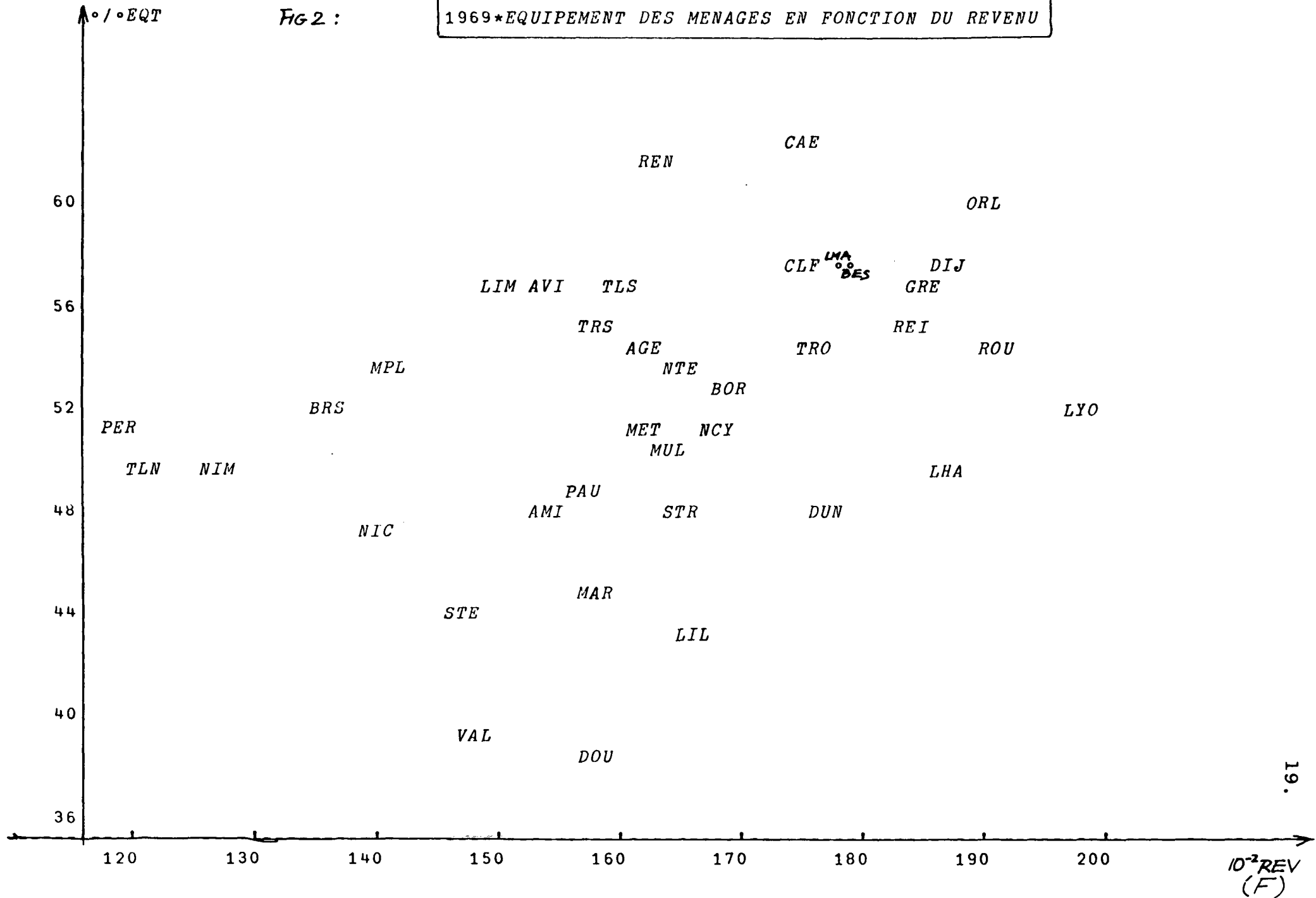
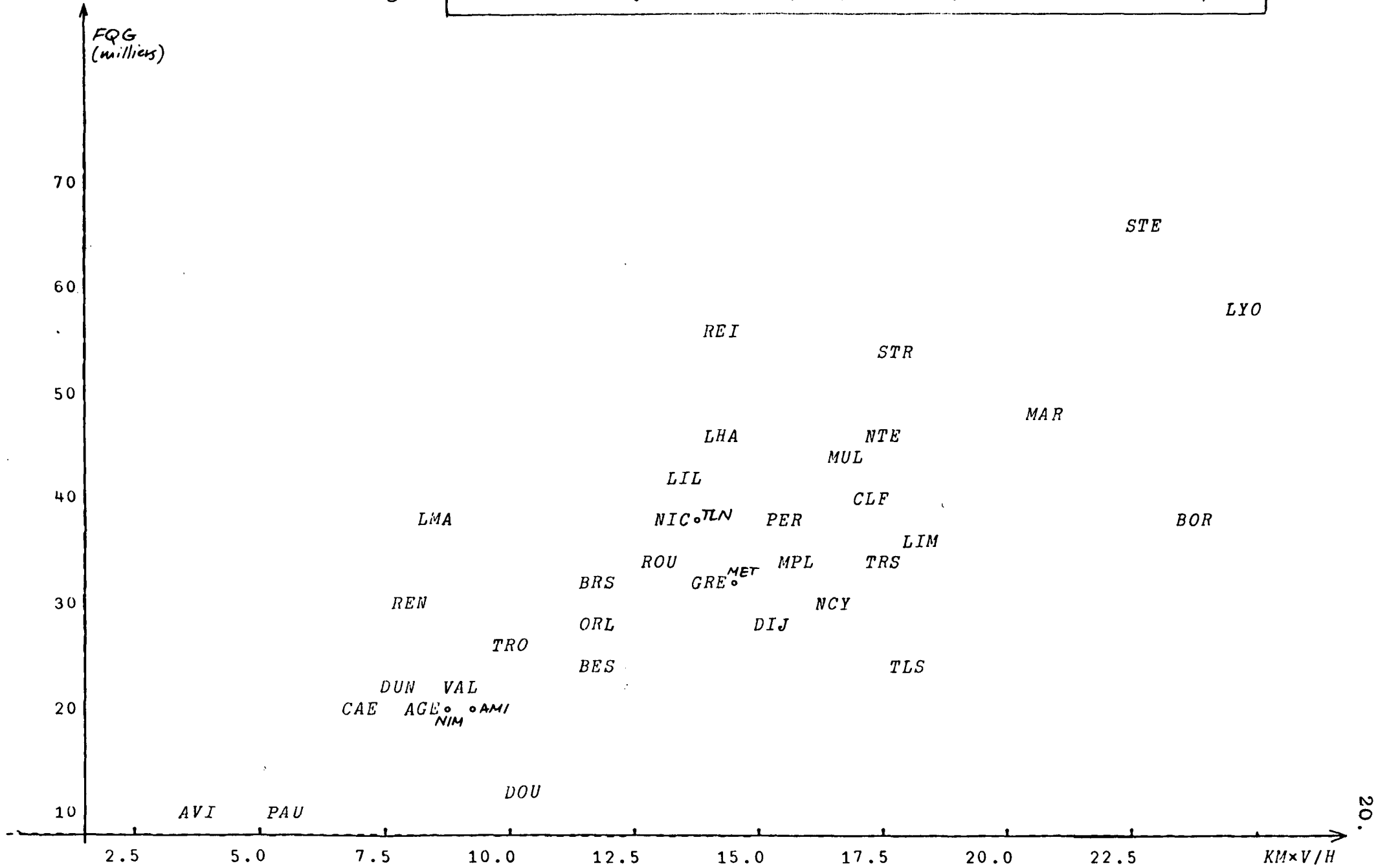


FIG 3.

1969\*OFFRE:FREQUENCE GENERALISEE EN FONCTION DU RATIO KM\*VEH/HAB.



La fréquence généralisée est assez bien liée aux km x véhicules par habitant offerts (coefficient de corrélation 0,76). Cependant, on constate (figure 3) qu'il existe d'assez fortes différences entre des réseaux qui pourtant offrent un ratio km.véhicules/hab. très voisin. Or, cette fréquence est une caractéristique d'offre importante car elle permet de situer la qualité du service en moyenne. On peut, en effet, estimer sommairement la valeur des intervalles entre autobus correspondant à certaines valeurs de la fréquence généralisée annuelle (sur la base de 14 heures moyennes de service par jour et de 280 jours dans l'année).

intervalle moyen en minutes	fréquence généralisée
60 mn	$8.10^3$
30 mn	$16.10^3$
15 mn	$31.10^3$
10 mn	$47.10^3$
5 mn	$94.10^3$

Ce ratio apporte un facteur supplémentaire d'explication de l'usage des réseaux, la qualité de l'offre se définissant ainsi peu à peu par l'offre en km x véhicules mais aussi en fréquence (et, nous le verrons également, en prix).

A l'aide des valeurs de la fréquence généralisée, on perçoit la faiblesse du service sur des réseaux tels Avignon (FQG = 10,2), Pau (10,6) ou Douai (12,3) où la desserte a tout juste les caractères d'un réseau urbain ; à l'opposé, Saint Etienne (65,2), Lyon (57,2), Reims (55,8) ou Strasbourg (54,1) offrent un service d'une qualité certaine.

b/ Offre et population desservie :

Les deux ratios d'offre KMV/H et FQG sont liés à la population desservie (figures 4 et 5) avec des coefficients de corrélation respectifs de 0,60 et 0,49 seulement, qui empêchent d'affirmer une relation de causalité totale. On constate en effet que, si les ratios croissent rapidement avec la taille de l'agglomération de 100 à 250 000 habitants desservis, la dispersion devient très importante au-delà de ce seuil.

1969\*OFFRE(KM\*VEH/HAB.)EN FONCTION DE LA POPULATION DESSERVIE.

FIG 4

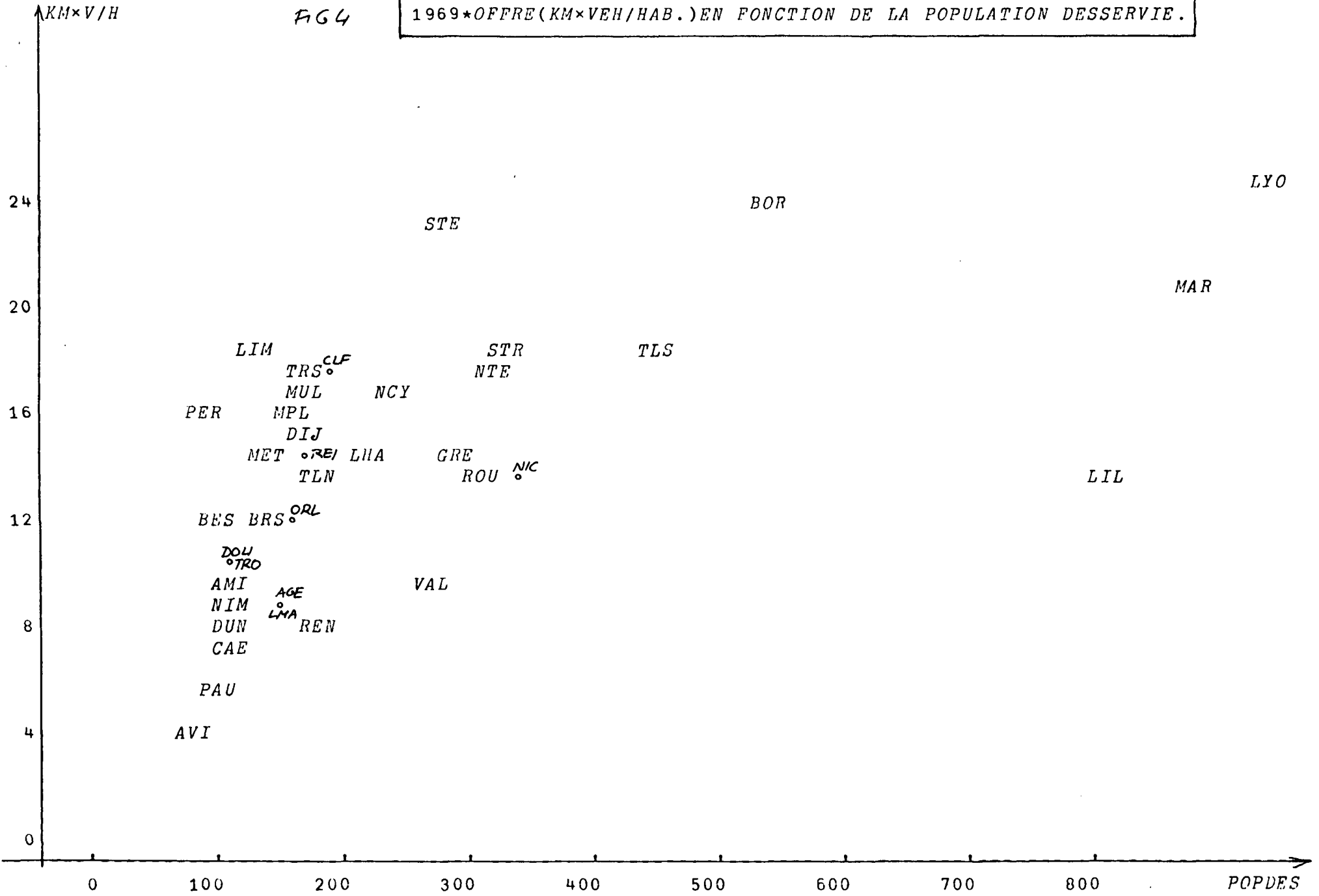


FIG 5-

1969\*OFFRE(FQGEN.) EN FONCTION DE LA POPULATION DESSERVIE

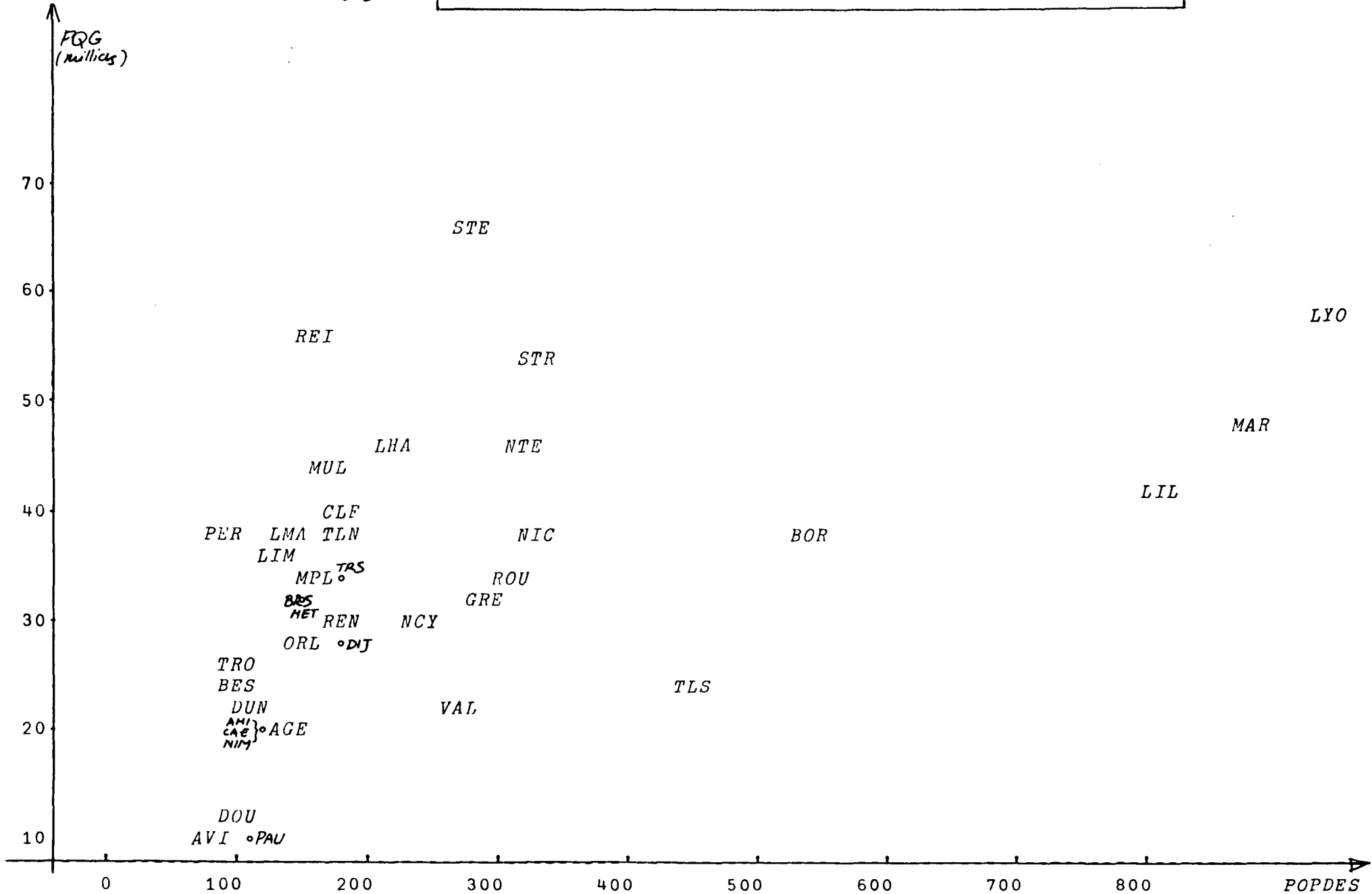
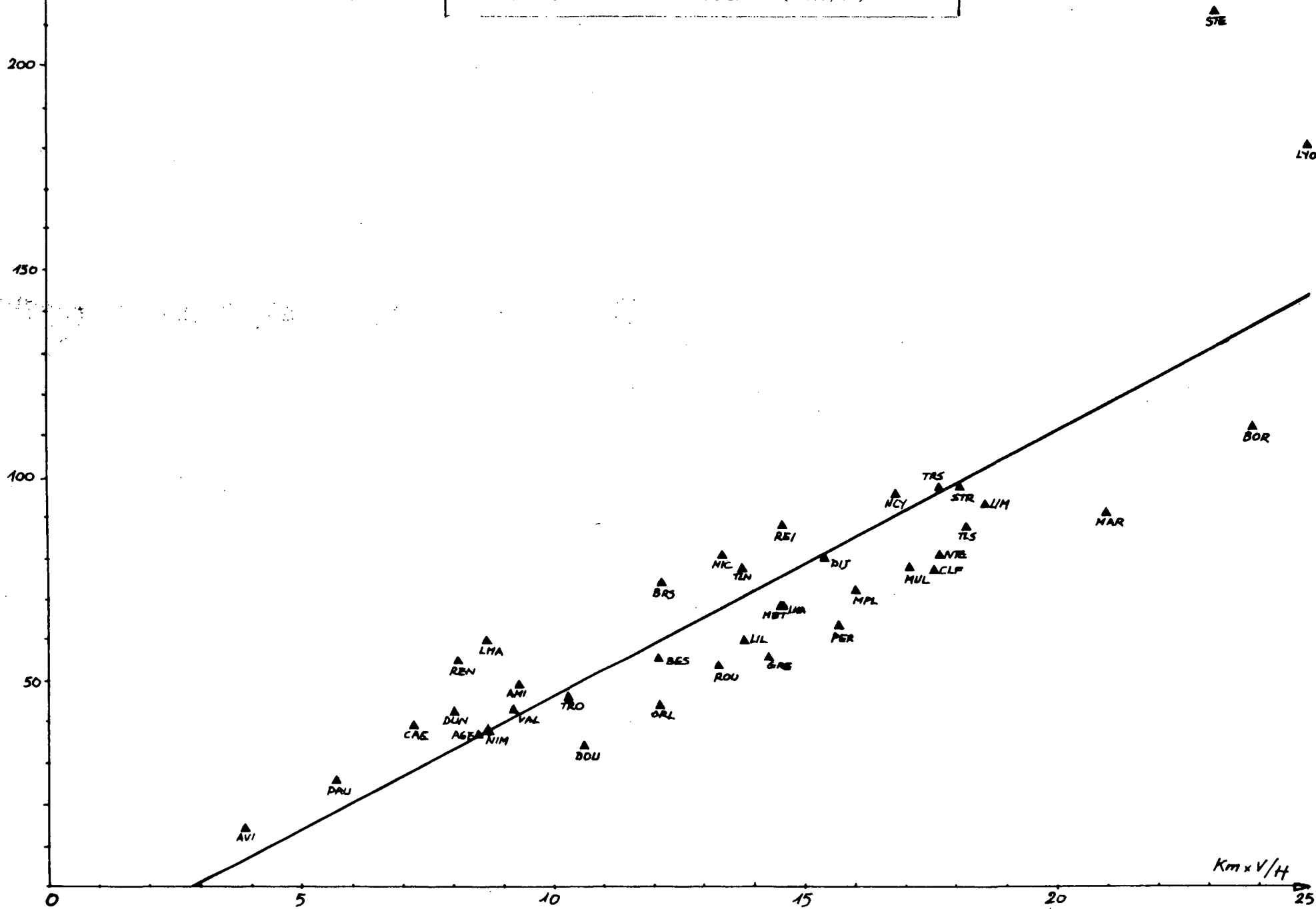


Figure 6

USAGE (VOYAGES ANNUELS PAR HABITANT)  
EN FONCTION DE L'OFFRE (KMV/H)





c/ Liaisons entre usage, population desservie et offre :

Les figures 6 à 10 représentent les variations du nombre de voyages annuels par habitant en fonction de diverses variables explicatives caractérisant l'offre de transport.

Rappelons par ordre d'importance les coefficients de corrélation de la variable d'usage avec les autres caractéristiques du réseau :

VOY/H et KMV/H	: 0,86
FQG	: 0,80
POPD	: 0,50
PRI	: -0,12
DEN	: 0,01

Sur la liaison avec la population desservie on peut reprendre les commentaires du paragraphe ci-dessus : cette liaison apparaît forte de 100 à 250 000 habitants environ, au-delà aucune loi simple ne se dégage (figure 8). Ainsi, pour les plus grandes agglomérations, l'usage du réseau de transports en commun, comme d'ailleurs sa qualité, varie quasi indépendamment de la population.

Les liaisons entre usage et offre étant très fortes (figures 6 et 7), nous sommes amenés aux conclusions suivantes : sur les réseaux des villes petites et moyennes (jusqu'à 200 à 250 000 habitants) la simple adaptation -c'est-à-dire la modification du service opérée par l'exploitant en fonction de l'usage constaté- conduit à une qualité de service et un usage proportionnels à la population desservie. Mais on ne peut formuler une loi générale reliant qualité du réseau et taille moyenne de l'agglomération. Cette loi serait en effet contredite par les villes importantes et certaines villes moyennes dotées de réseaux soit particulièrement faibles, soit particulièrement excellents. Ce sont donc les caractéristiques propres du réseau (son histoire, son développement), ses qualités particulières qui expliquent le mieux l'usage constaté.

On peut, d'autre part faire quelques remarques sur les corrélations faibles constatées :

- . la densité des réseaux n'intervient pas, pratiquement, dans l'explication de l'usage au niveau global (fig. 9 : corrélation 0,01). Elle sera tout de même utile pour caractériser certaines villes particulières dans la typologie ultérieure.

FIG 7

1969\* NOMBRE DE VOYAGES PAR HABITANT ET PAR AN EN FONCTION DE LA FREQUENCE GENERALISEE

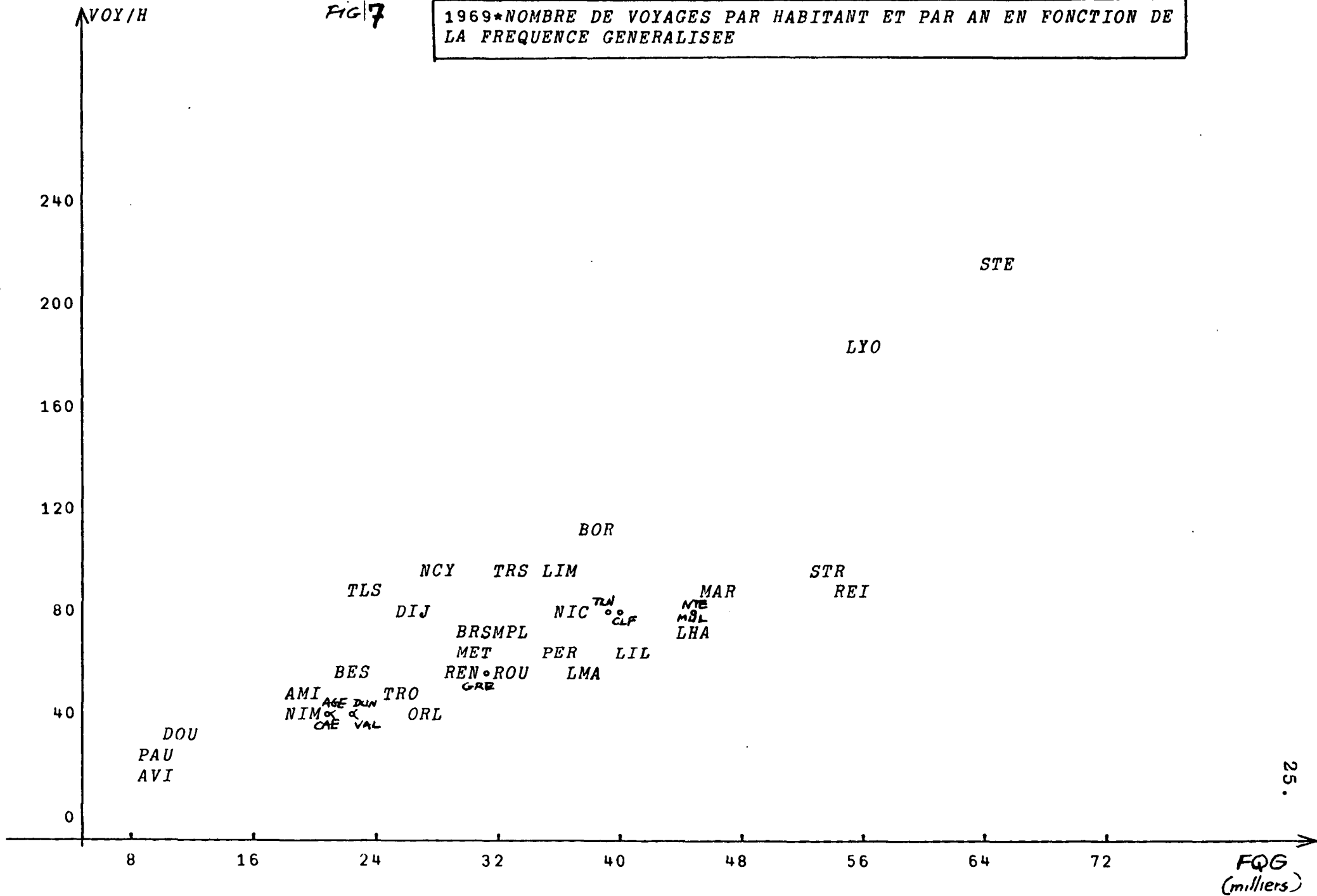


FIG 8.

1969 \* NOMBRE DES VOYAGES PAR HABITANT ET PAR AN EN FONCTION DE LA POPULATION DESSERVIE

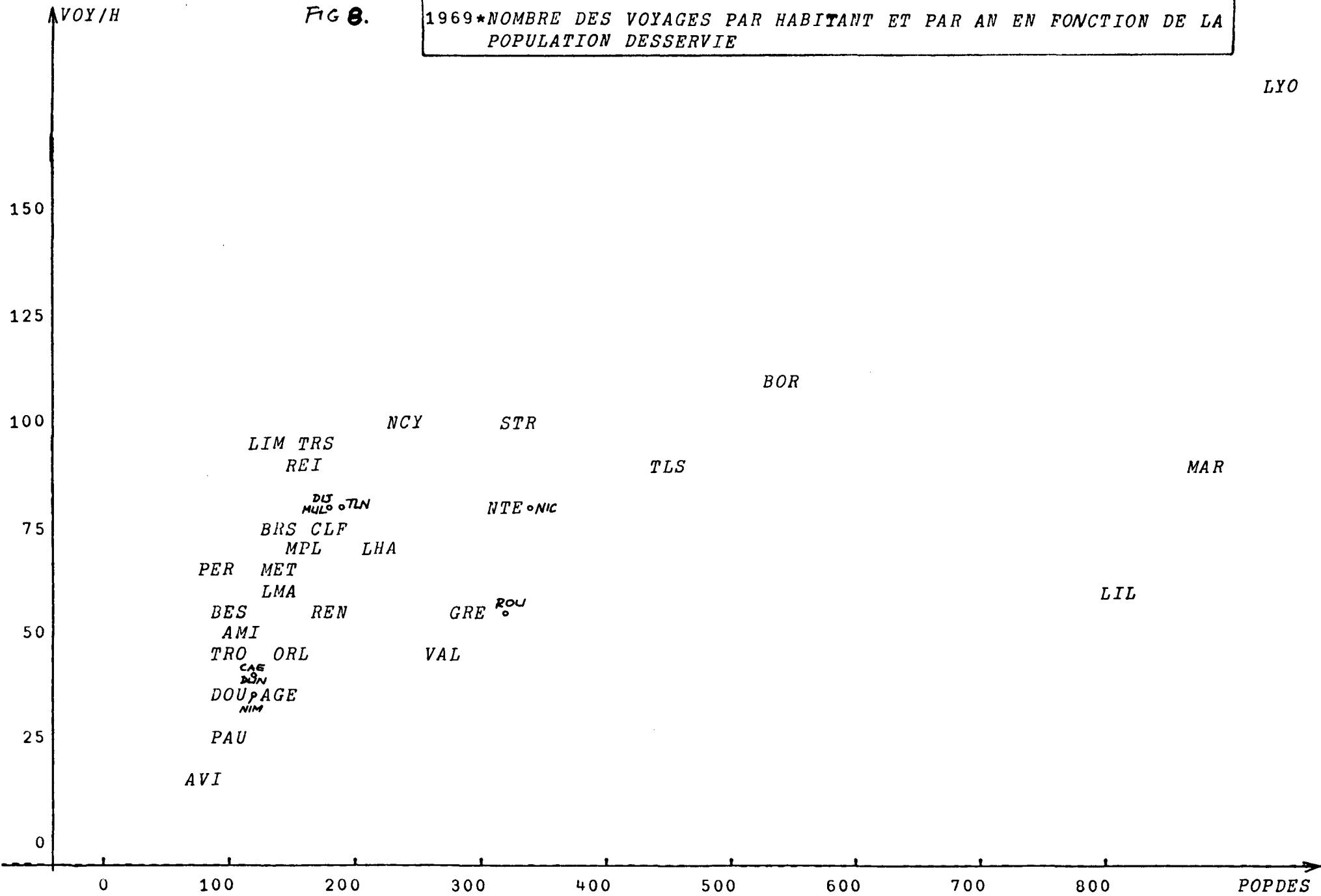


FIG. - 1969 \* NOMBRE DES VOYAGES PAR HABITANT ET PAR AN EN FONCTION DE LA DENSITE DU RESEAU [KM. LIGNE / 1000 HABITANTS]

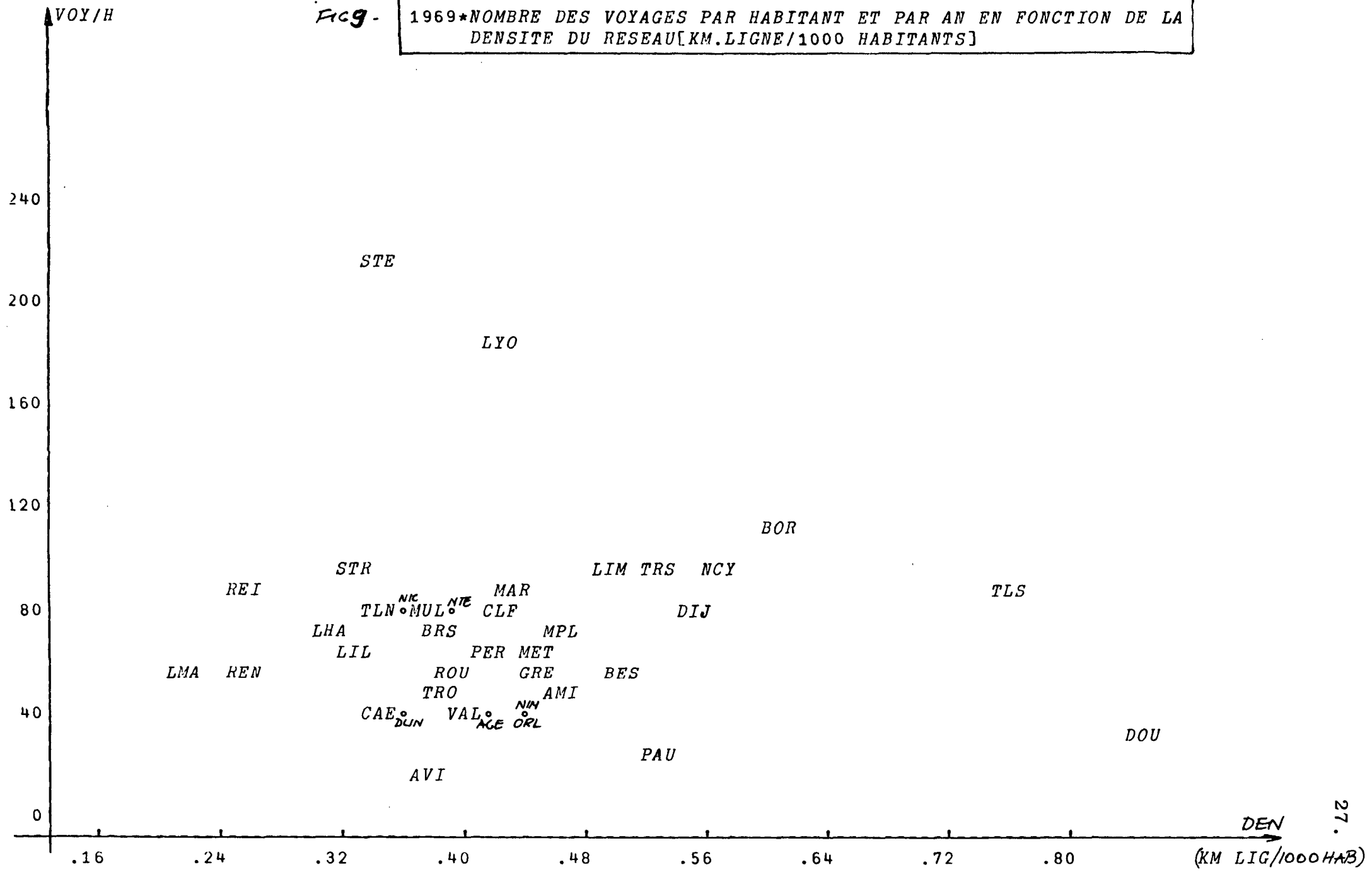


FIG 10

1969\*NOMBRE DES VOYAGES PAR HABITANT ET PAR AN EN FONCTION DU PRIX MOYEN DU VOYAGE.

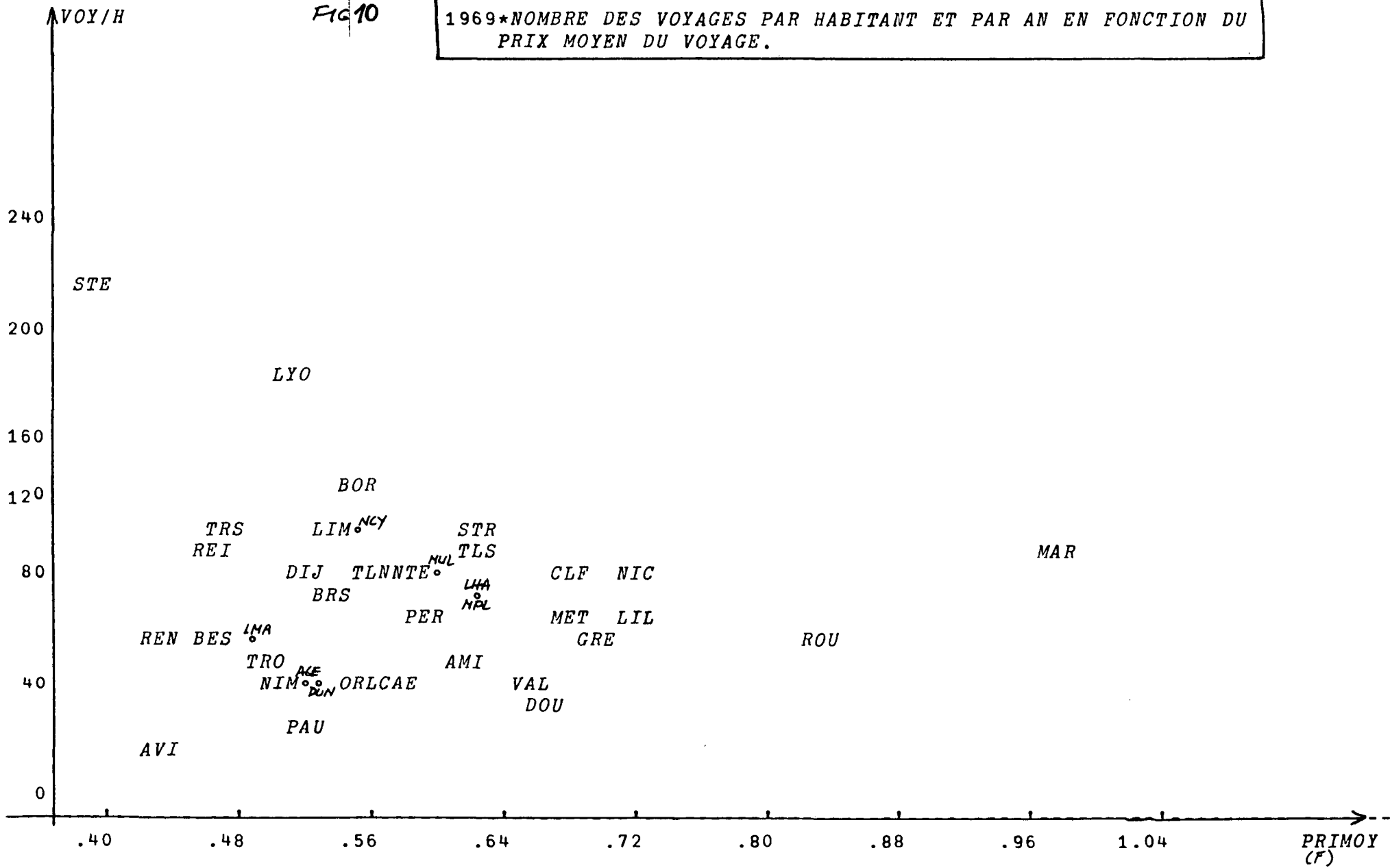
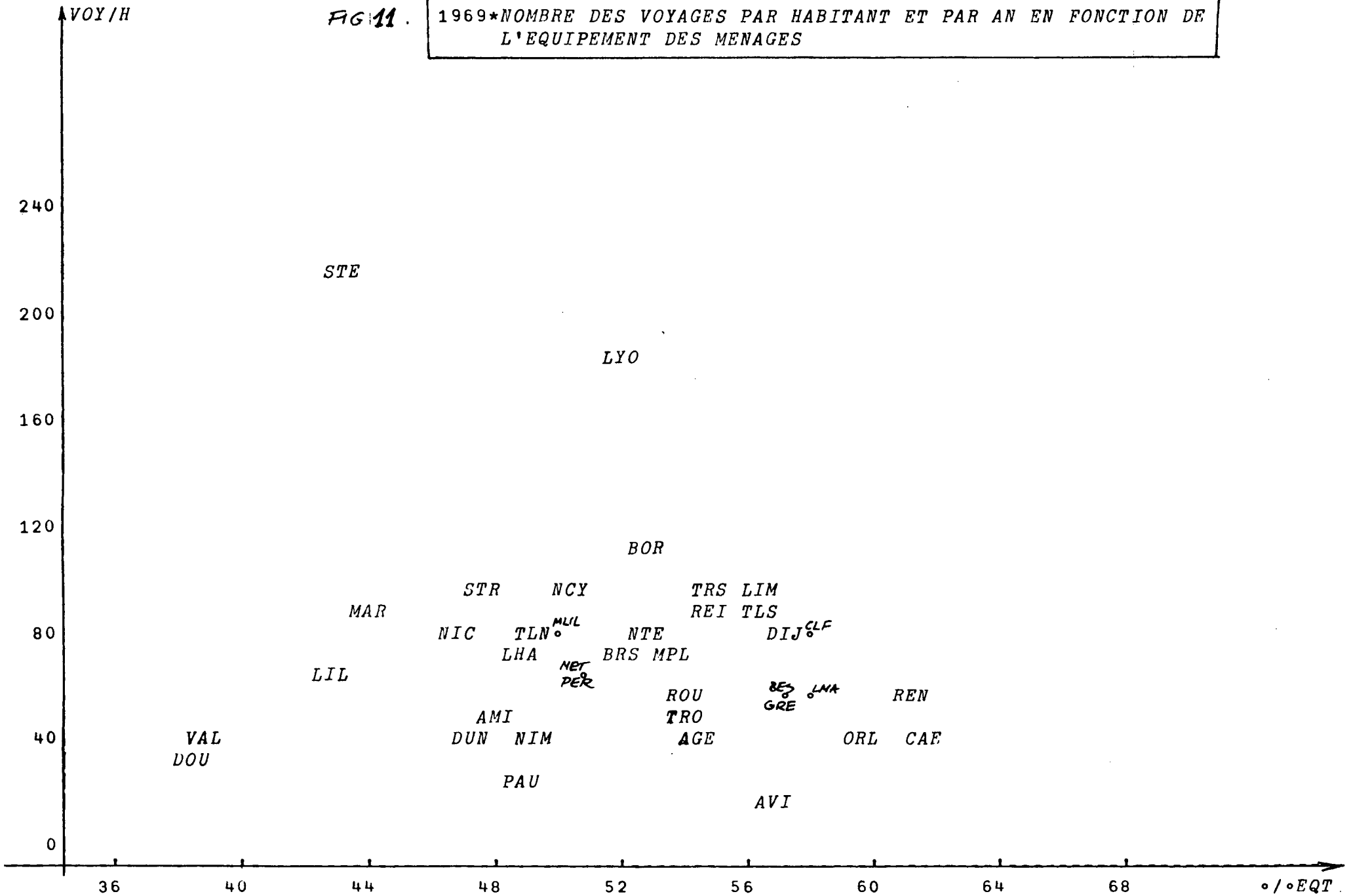


FIG 11.

1969 \* NOMBRE DES VOYAGES PAR HABITANT ET PAR AN EN FONCTION DE L'EQUIPEMENT DES MENAGES



- . la corrélation simple entre prix du voyage et usage des réseaux (figure 10) apparaît logiquement négative mais faible (-0,12).

Toutefois, cette variable jouera un rôle important au second degré en permettant d'expliquer certains écarts entre l'usage prévu avec les ratios KMV/H et FQG et l'usage effectif. L'importance du prix -pratiquement évidente dans le choix modal d'un individu- mais souvent négligée dans les analyses générales-est peut-être réduite ici par le fait que l'unité retenue (prix moyen du voyage) rend mal compte du service rendu, très différent suivant les réseaux.

#### 4.4. Liaisons entre variables définissant agglomérations et réseaux

Comme c'était le cas pour les données caractérisant l'activité ou l'emploi, les données d'équipement et de revenu apparaissent peu liées aux données des réseaux au niveau de cette approche globale. Seule se dégage une liaison entre équipement et prix du voyage sur laquelle nous reviendrons ultérieurement (coefficient de corrélation 0,36 - figure 11).

#### 4.5. Essai de quantification de la liaison entre l'usage et l'offre

Par des régressions linéaires, les meilleures formules définissant l'usage par rapport aux indicateurs d'offre ont été recherchées.

Pour chacune de ces formules, nous donnerons les écarts-types sur les coefficients trouvés qui indiquent la précision de ces coefficients et la part de variance expliquée, sorte de mesure de qualité de la formule proposée (1).

---

(1) rappelons rapidement que la variance expliquée est égale à 100 % si les points représentatifs sont tous alignés sur une droite, la relation linéaire traduit alors parfaitement la liaison entre les variables.

a/ Formule à une seule variable

La meilleure prévision avec une seule variable explicative s'obtient en utilisant l'offre exprimée par KMV/H :

$$(\alpha) \quad \boxed{\text{VOY/H} = 6,56 \text{ KMV/H} - 18 \quad (\text{variance expliquée } 73\%)}$$

$$\sigma = 0,65$$

La droite de régression est représentée sur la figure 6 avec les points figurant les agglomérations. Seule Saint Etienne s'écarte fortement de la droite tracée, cette ville constitue un cas exceptionnel : agglomération de taille moyenne, elle possède une ligne de tramway à très forte fréquence adaptée à un centre en partie linéaire le long de la ligne, les fréquences sur le réseau d'autobus y sont, de plus, élevées et contribuent à une excellente fréquentation des transports en commun.

L'interprétation de la formule est simple : pour chaque km x véhicule par habitant fourni, on obtient en moyenne 6,5 voyages annuels dans le même domaine de validité.

Le terme constant (-18) limite le domaine de validité de la relation, on doit, en effet, avoir un ratio VO/H positif pour cela, KMV/H doit être supérieur à 2,8, ce qui est toujours le cas pour les villes traitées.

b/ Formules de régression à deux variables

On peut améliorer la formule d'explication ci-dessus en introduisant une seconde variable explicative. Dans le cas présent la variable explicative qui augmente le plus la variance expliquée est le prix moyen du trajet ; on arrive à la formule :

$$(\beta) \quad \boxed{\text{VOY/H} = 6,9 \text{ KMV/H} - 101 \text{ PRI} + 35 \quad (\text{variance expliquée } 81\%)}$$

$$\sigma = 0,55 \quad 24$$

L'effet correcteur du prix apparaît ici, pour des réseaux d'offre voisine, l'usage augmente lorsque le prix moyen du trajet diminue, pour 10 centimes d'écart, on obtient en moyenne 10 voyages annuels d'écart. Le terme constant correspond ici aussi au niveau d'ensemble des réseaux étudiés on ne peut lui donner de signification plus précise.



Il est également possible d'utiliser simultanément les deux variables d'offre, ce qui mène à :

$$\begin{array}{l}
 (\gamma) \quad \text{VOY/H} = 4,47 \text{ KMV/H} + 1,0 \text{ FQG} - 24 \quad (\text{variance expliquée } 78\%) \\
 \quad \quad \quad \sigma = 0,92 \qquad \qquad \qquad 0,36
 \end{array}$$

L'apport de la variable FQG apparaît faible par rapport à la formule ( $\alpha$ ) à une variable explicative. Ceci résulte de la forte liaison entre les ratios d'offre introduits ; une grande part de l'information apportée par la fréquence généralisée est déjà contenue dans le ratio des km x véhicules par habitant. Pour les mêmes raisons, l'introduction à ce stade d'autres variables liées aux ratios d'offre n'améliore pas l'explication de l'usage, ainsi, la population desservie ajouterait moins de 0,1 % de variance expliquée à la formule ( $\gamma$ ) ci-dessus. Par contre, le prix moyen du trajet est peu lié aux autres ratios d'offre et améliore notablement la prévision dans la formule ( $\beta$ ) et dans la formule ci-dessous à trois variables :

$$\begin{array}{l}
 (\delta) \quad \text{VOY/H} = 5,16 \text{ KMV/H} + 0,88 \text{ FQG} - 94 \text{ PRI} + 26 \\
 \quad \quad \quad (\text{variance expliquée } 86 \%) \\
 \quad \quad \quad \sigma = 0,77 \qquad \qquad \qquad 0,29 \qquad \qquad \qquad 0,22
 \end{array}$$

Les effets additifs des deux ratios d'offre KMV/H et FQG apparaissent ici ainsi que le rôle du prix. On notera, cependant, que cette formule plus lourde n'offre qu'un avantage limité sur la formule ( $\beta$ ) où interviennent seulement KMV/H et PRI.

Ainsi, à partir de ratios caractéristiques du réseau, on arrive à approcher avec une bonne précision l'usage au niveau global. Le même travail peut être mené en exprimant l'offre en place x km, autre ratio utilisé couramment pour exprimer une offre de transport. Les résultats obtenus sont très voisins en qualité de ceux évoqués ci-dessus. En effet, au niveau global des réseaux, le nombre moyen des places offertes par véhicule est peu variable.

#### 4.6. Conclusion

De cette analyse des liaisons entre ratios statiques, c'est-à-dire caractéristiques d'une même année, on retiendra

les points suivants :

- . Ces ratios d'offre et d'usage qui ramènent à l'habitant desservi des quantités globales de voyages, de kilomètres de lignes, de kilomètres x véhicules apparaissent encore croissants avec la population desservie. Ce fait s'explique par la nécessité croissante de transports en commun lorsque la population de l'agglomération augmente. Il faut en effet desservir tous les "captifs" et rendre accessibles des centres qui ne peuvent accueillir l'ensemble du parc de véhicules privés disponibles.
- . Cette influence de la taille de l'agglomération, très nette lorsque leur taille est comprise entre 100 000 et 200 000 habitants, ne saurait, à elle seule expliquer les différences de qualité d'offre et d'usage relevées. Ainsi, la population desservie n'explique que 35 % de la dispersion des nombres de voyages par habitant dans les différentes agglomérations. Malgré les limites des ratios utilisés qui constituent des variables "a posteriori" -c'est-à-dire prenant en compte l'adaptation progressive, opérée par l'exploitant entre demande exprimée et offre- il apparaît clair que les caractéristiques de l'offre de transport jouent un rôle fondamental dans l'explication des ratios d'usage. Le prix pratiqué est un facteur non négligeable dans la définition de l'offre.
- . Une indépendance globale est par ailleurs apparue entre les données propres aux agglomérations et les ratios de leurs réseaux de transport. Les écarts entre ces ratios n'ont pu être interprétés à l'aide des données d'activité, d'emploi, de revenu, de motorisation... L'échec de cette approche, par trop réductrice, montre que c'est en fait par l'histoire du développement simultané de chacune des agglomérations et de son réseau de transports en commun que l'on pourrait éclairer les contrastes entre des situations à une même date.

## ANALYSE EN COMPOSANTES PRINCIPALES DES 38 AGGLOMERATIONS

Pourcentages d'inertie

1er axe	38,1 %		
2e axe	22,8 %	cumul	60,9 %
3e axe	16,3 %		77,2 %
4e axe	14,4 %		91,6 %

Corrélations entre variables initiales et composantes principales

axe d'inertie variable	1	2	3	4
EQT	0,20	0,79	0,31	0,08
REV	- 0,12	0,53	0,61	- 0,43
DEN	0,11	- 0,53	0,71	0,43
KMV	- 0,93	- 0,12	0,27	0,11
VOY	- 0,93	0,06	0,01	0,28
PRI	- 0,13	- 0,60	0,20	- 0,71
FQG	- 0,93	0,18	- 0,23	- 0,17

Les cercles d'inertie représentés avec chaque plan d'inertie ci-après permettent d'apprécier la qualité de représentation de chacune des variables initiales dans ces plans d'inertie.

## 5. APPROCHE PAR L'ANALYSE DES DONNEES ET TYPOLOGIE

### 5.1. Généralités

Les techniques de l'analyse factorielle ont été utilisées pour étudier nos données. Ces techniques permettent de rechercher dans l'ensemble des agglomérations des groupes homogènes éventuels, donc d'établir des typologies sur les agglomérations et leurs réseaux en s'appuyant sur les liaisons entre les différentes variables. Bien entendu, on retrouvera les difficultés de l'analyse statistique simple menée ci-avant ; ainsi, l'un des principaux résultats obtenus ici est la séparation systématique entre données propres aux réseaux d'une part, aux agglomérations d'autre part.

Nous présentons ci-après l'une des analyses pratiquées. On y a retenu sept des dix variables caractérisant les villes et les réseaux dans les paragraphes précédents. La taille des agglomérations (population totale ou population desservie) qui n'apporte que peu d'information supplémentaire a été écartée pour clarifier les représentations, ainsi que le ratio VOY/KMV.

Les principaux résultats numériques permettant d'apprécier la qualité de l'analyse effectuée et d'interpréter les différents axes et plans principaux sont reportés ci-contre. Sans revenir sur les fondements mêmes de la technique utilisée, rappelons sommairement le mode d'emploi de ces données chiffrées :

- plus un axe (ou un plan) a un pourcentage d'inertie élevé, mieux il représente le nuage. A la limite, si l'on avait 100 % d'inertie dans le premier plan principal (celui des axes 1 et 2). Cela voudrait dire que toutes les caractéristiques des agglomérations pourraient être parfaitement résumées par deux coordonnées seulement : celles des projections des points du nuage sur le premier plan principal ;
- les axes d'inertie sont des combinaisons linéaires des variables introduites, les corrélations entre variables initiales et composantes principales permettent de situer les axes d'inertie par rapport aux données principales c'est-à-dire d'interpréter la signification des différents axes (et plans) d'inertie.

## 5.2. Axes et plans d'inertie

Les figures 12 et 13 montrent deux plans principaux (ceux des axes 1-2 et 1-3 respectivement). Les résultats observés sont les suivants, dans le cadre de cette approche :

### a/ Le premier axe

Il explique 38 % de l'inertie totale, c'est-à-dire de la dispersion de nos points représentatifs.

Sur cet axe sont regroupées les variables caractéristiques de l'offre et de l'usage des réseaux de transports en commun : kilomètre x véhicules (KMV), fréquence généralisée (FQG) et nombre de voyages par habitant desservi (VOY).

Cet axe classe donc les agglomérations en fonction de la qualité d'offre et l'usage de leurs réseaux.

Les autres variables n'y sont pas prises en compte et en sont donc pratiquement indépendantes.

### b/ Le second axe

Portant 23 % d'inertie du nuage, le second axe se révèle difficile à interpréter. Il ne tient pas compte des variables représentées sur le premier axe (KMV/H, FQG, VOY/H) et oppose le taux d'équipement et le revenu des ménages à une combinaison densité des réseaux, prix moyen du trajet.

Remarque intéressante, le prix du trajet semble croître lorsque ce taux diminue, nous reviendrons ultérieurement sur cette tendance -qu'on ne peut généraliser abruptement- déjà révélée plus haut par la corrélation négative (-0,36) entre les variables PRI et EQT.

c/ Les axes suivants seront aussi d'interprétation délicate car ils prennent en compte plusieurs variables généralement peu corrélées entre elles ; ainsi :

- le troisième axe d'inertie (16 % d'inertie) associe essentiellement revenu moyen et densité des réseaux, variables opposées sur l'axe 2 décrit ci-dessus ;
- le quatrième axe (14 % d'inertie) classe essentiellement les agglomérations en fonction du prix moyen du trajet.

Figure 12 PLAN PRINCIPAL 1-3

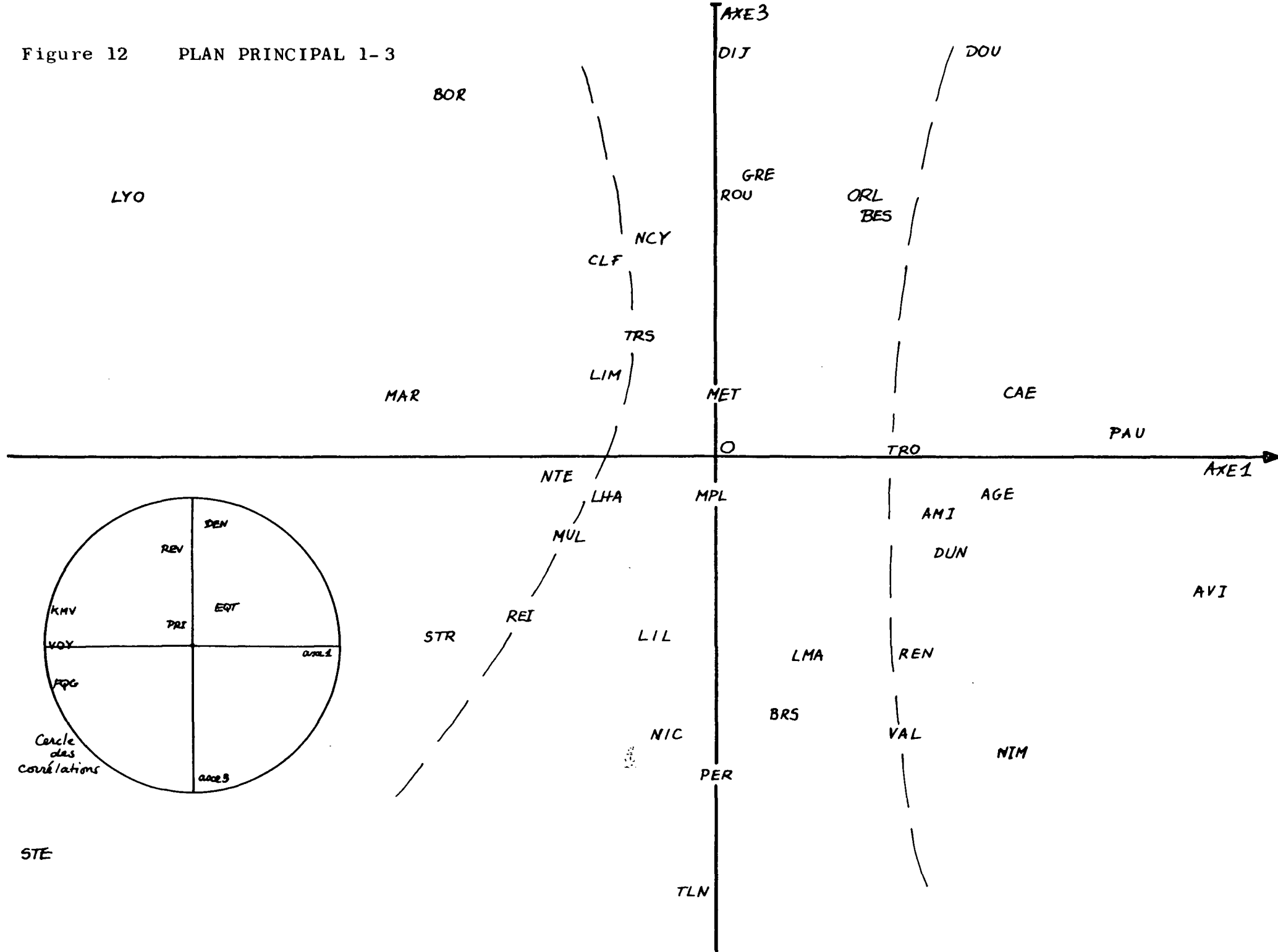
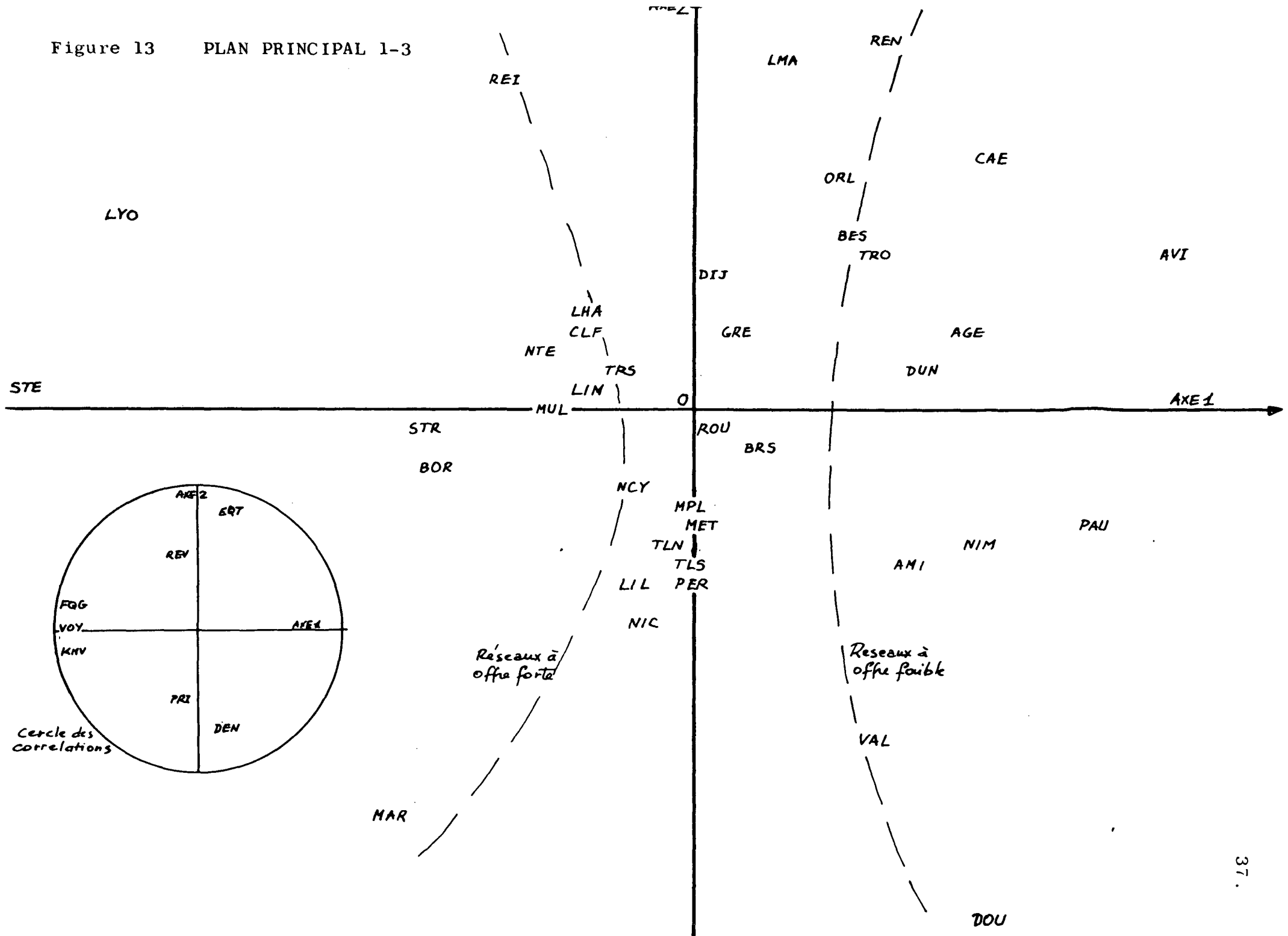


Figure 13 PLAN PRINCIPAL 1-3



### 5.3. Essai de classement des réseaux

Globalement on constate à nouveau la séparation entre les variables d'offre et d'usage des réseaux d'une part, les variables d'agglomération d'autre part ; ce résultat a été obtenu dans les différentes analyses factorielles exécutées. De plus, en observant les figures jointes qui représentent les trois premiers plans factoriels, on constate que de nombreuses agglomérations se regroupent autour de l'origine et apparaissent donc peu typées pour les caractéristiques retenues.

La très forte dispersion des nuages de données, vérifiée dans toutes les représentations graphiques proposées ici interdit de dégager des groupes homogènes et clairement séparés.

Nous décrivons donc le nuage en nous fondant sur la plus forte opposition constatée, celle qui est traduite par le premier axe d'inertie et qui classe les réseaux selon la qualité de l'offre et l'usage. Au fur et à mesure de cette description, nous essayerons de résumer les variations des autres caractères pour chaque groupe de qualité de réseau.

#### a/ Les réseaux à usage fort

Se classent dans ce groupe les agglomérations situées le plus à gauche sur le premier axe d'inertie soit d'abord :

Saint Etienne, Lyon, Bordeaux, Marseille, Strasbourg qui présentent en 1969 une offre élevée :

- . plus de 18 km x véhicules par habitant, et
- . une fréquence généralisée supérieure à 39 000.

et un usage très important dépassant 90 voyages annuels par habitant.

Toutes ces agglomérations sont importantes -plus de 285 000 habitants desservis- mais leurs caractéristiques demeurent hétérogènes. Saint Etienne et Lyon se détachent nettement par la très forte valeur des ratios notamment l'usage (214 et 184 voyages respectivement), Bordeaux (112 voyages) pour une offre (ratio km x v/h.) comparable présente une fréquence généralisée inférieure en raison d'une densité de lignes plus forte (en grande partie expliquée par une densité de population relativement basse).



A ces cinq réseaux doivent être ajoutés ceux de Tours, Nancy et Limoges, agglomérations où l'usage dépasse 90 voyages annuels par habitant mais dont la taille est beaucoup plus faible (140 000 habitants desservis à Limoges par exemple).

La densité de population plus restreinte entraîne dans ces trois cas un développement important des lignes ; si l'offre en km x véhicules est voisine des valeurs citées plus haut (17 à 18) la fréquence généralisée est réduite comparée à Lyon ou Saint Etienne.

L'examen des autres variables utilisées montre que les huit réseaux définis ici comme à fort usage sont ceux des villes à caractère tertiaire, à équipement en automobile généralement moyen (0,48 à 0,35) où le coût de transport est peu élevé par rapport à la moyenne constatée.

Les règles ainsi esquissées connaissent cependant deux exceptions marquées :

- . Saint Etienne nettement industrielle et alliant un taux d'équipement réduit à un coût de transports en commun très bas ;
- . Marseille, d'autre part, singulière par le prix élevé des transports.

#### b/ Les réseaux à usage faible

A l'autre bout de l'échelle de qualité, les ruptures dans l'échelle des valeurs des différents ratios permettent de distinguer dix réseaux à offre et usage faibles :

- moins de 10,5 km x véhicules par habitant
- une fréquence généralisée inférieure à 27 000
- moins de 50 voyages par habitant desservi.

Il s'agit de : Avignon, Pau, Angers, Nîmes, Caen, Dunkerque, Valenciennes, Troyes, Amiens, soit dix réseaux desservant des populations restreintes : 150 000 habitants ou moins, Valenciennes exceptée, mais cette agglomération est un cas limite par sa faible densité de population et son réseau très étendu en périphérie.

Sont réunies là des villes industrielles du Nord : Valenciennes, Douai, Amiens, Dunkerque- et des villes tertiaires ou universitaires de l'Ouest et du Midi : Caen, Pau, Nîmes, Avignon. La liaison entre motorisation et prix moyen de trajet, évoquée ci-avant apparaît exacerbée dans ce cas, ce qui peut globalement s'exprimer comme suit :

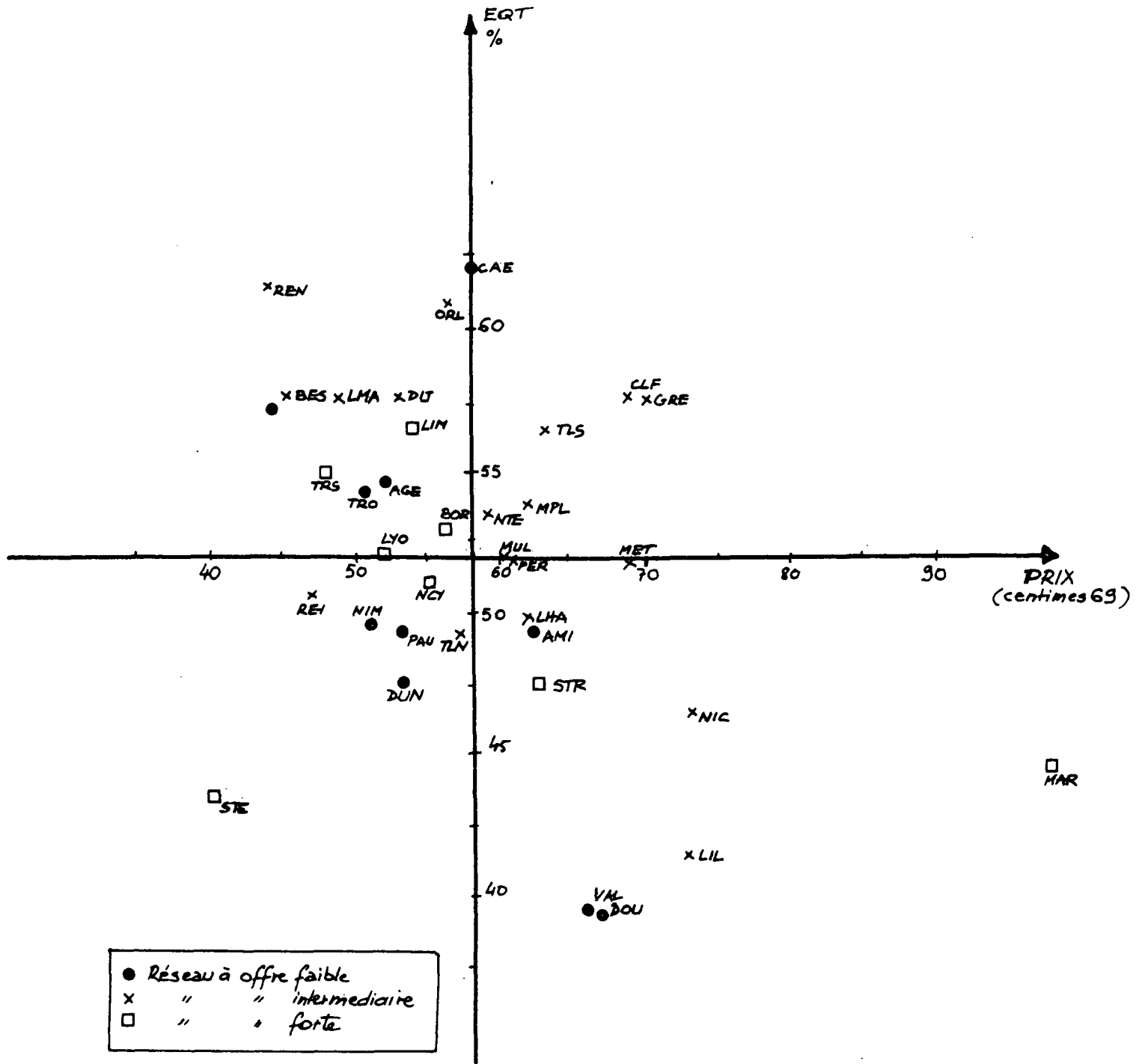


Figure 14 LIAISON ENTRE EQUIPEMENT DES MENAGES ET PRIX MOYEN DU TRAJET EN TRANSPORTS EN COMMUN

Dans les villes où motorisation et niveau de revenu sont limités, les réseaux de transport en commun faibles mais peu concurrencés par le véhicule privé se maintiennent par des prix moyens ou élevés (Amiens, Valenciennes, Douai par exemple ; à l'opposé, lorsque le taux de motorisation est fort, le maintien d'un réseau de transports en commun à offre faible passe par la pratique de prix raisonnables (Caen, Troyes).

c/ Les réseaux intermédiaires

Entre les deux zones d'offre et d'usage définies ci-dessus restent vingt réseaux très variés tant par leur caractéristiques propres que par celles de l'agglomération desservie.

Certains de ces réseaux sont situés aux limites de cette zone intermédiaire et peuvent être reliés aux caractères définis pour les groupes extrêmes ci-dessus. Ces "proximités" apparaissent sur les représentations graphiques de l'analyse des données :

- A proximité des réseaux à fort usage on peut placer par ordre d'usage décroissant :
  - . Toulouse (88 voyages), ville importante où l'offre a les mêmes caractères qu'à Tours, Limoges et Nancy,
  - . Reims (88 voyages), réseau particulier, car la densité des lignes y est réduite et l'offre excellente en fréquence généralisée, donc le ratio KMV/H relativement réduit,
  - . Nantes, Mulhouse et Clermont-Ferrand (77 à 82 voyages) dont les caractéristiques d'offre élevées sont voisines malgré des caractéristiques urbaines contrastées (taille, densité, type d'emploi...),
  - . Dijon, Nice, Toulon (78 à 81 voyages) obtiennent, avec une offre plus faible, des résultats comparables au groupe de réseaux précédent.
  
- A proximité des réseaux à faible usage :
  - . Orléans, proche de Troyes, par la fréquence et l'usage, mais présentant un ratio KMV/H plus élevé,
  - . Le Mans et Rennes, réseaux très proches, à densité de ligne limitée ; un ratio KMV/H assez faible suffit pour y apporter une bonne fréquence qui se traduit par un usage élevé à ce niveau des ratios d'offre (59 et 55 voyages annuels par habitant).

Les villes mentionnées ci-dessus pour leur proximité avec les groupes de réseaux à usage élevé ou faible s'en distinguent en général par la modification d'un seul ratio ; pour éviter de trop étendre les plages de valeurs citées -au demeurant difficiles à dégager- on ne les a pas incluses dans l'un ou l'autre de ces groupes.

L'ensemble de ces réseaux dits intermédiaires se caractérise en effet par la grande dispersion que l'on y rencontre sur toutes les variables. On peut ainsi y opposer :

- . Grenoble, ville importante, dense en population, mais où l'offre de transports en commun est limitée et leur usage faible (57 voyages par habitant) et Mulhouse, plus petite, mais dont le réseau est supérieur en offre et en usage (78 voyages). C'est, en fait, dans cet ensemble hétérogène que la séparation entre variables caractéristiques de réseaux d'une part, des agglomérations d'autre part est la plus forte, les caractéristiques de l'offre permettant seules une approche de l'usage constaté des réseaux.

Notons cependant, comme point commun à ces réseaux intermédiaires des prix généralement élevés. La loi liant prix et motorisation dégagée sur les réseaux les plus faibles n'apparaît plus nettement ici, on relève quelques prix parmi les plus élevés (Rouen, Nice, Grenoble, Lille...) parfois associés à des taux d'équipement élevés.

#### 5.4. Conclusions sur les analyses des données

Les limites de l'approche pratiquée ci-dessus sont à noter. Le classement des réseaux en fonction des proximités apparentes apporte une vision synthétique de l'ensemble étudié, mais peu de conclusions générales à ajouter à celle de l'analyse des liaisons statistiques (cf. 4 . 6).

Les ratios utilisés apparaissent trop globaux et encore trop tributaires de la population totale desservie dans les cas extrêmes des réseaux à usage élevé ou faible. Dans le cas des réseaux intermédiaires, cette influence des masses desservies disparaît, confirmant le rôle majeur des caractéristiques d'offre pour expliquer l'usage des réseaux de transports en commun.

Il apparaît intéressant de poursuivre l'étude de ces liaisons offre-usage par l'analyse de l'évolution des réseaux dans le temps. La seconde partie du présent rapport décrit

les variations des différents indicateurs de 1967 à 1973 -dates limites des données du Fichier des Transports urbains- en s'attachant à dégager les effets de différents types de variation de l'offre rencontrées.

Puis, dans la troisième partie, pour mieux approcher la composition de l'offre et se dégager du caractère global des ratios utilisés qui mêlent des situations diverses sur un même réseau, une analyse est menée au niveau des lignes de différents réseaux.

## SECONDE. PARTIE : EVOLUTION DES RESEAUX DE 1967 A 1973

### I. PRELIMINAIRES

Le fichier des Transports Urbains donne les statistiques des réseaux de 1967 à 1973. Il est donc possible de comparer sur la période comprise entre ces deux années les statistiques globales des réseaux et les ratios définis dans les précédents paragraphes.

Afin de rendre cette comparaison plus significative, nous introduirons deux modifications sur les données brutes du fichier :

- a/ Pour calculer les ratios 1973 nous utiliserons les chiffres de population des agglomérations données par les premiers résultats du recensement de 1975, moyennant l'hypothèse que population agglomérée et population desservie varient proportionnellement. L'évolution démographique récente très rapide dans certaines agglomérations est ainsi prise en compte.
- b/ Pour ne pas voir les données de prix faussées par l'inflation nous travaillerons en francs constants 1967 ; les prix bruts de 1973 seront divisés par un facteur de déflation égal à 1,35 (issu des données de la Comptabilité Nationale pour la période 1967 - 1973).

TABLEAU 5

VARIATIONS (%) DES DONNEES GLOBALES  
1967 - 1973

aggllo.	km lignes	voyageurs	km x véhicules	pop.
AMI	15.5	11.74	23.00	10.22
AGE	24.0	39.73	59.36	11.73
AVI	150.1	17.84	158.26	10.79
BES	47.5	19.41	82.92	6.90
BOR	17.0	-23.91	2.94	6.88
BRS	26.5	-19.44	28.41	10.71
CAE	-30.8	11.10	19.44	22.00
CLF	6.5	-27.94	-7.75	10.29
DIJ	26.7	8.00	21.36	9.73
DOU	.0	26.30	-4.19	.49
DUN	8.5	-6.85	11.27	16.20
GRF	1.3	-11.51	18.25	17.17
LHA	19.2	-29.42	-5.32	7.32
LIL	24.1	-10.18	-1.77	5.57
LIM	20.3	-12.15	-2.74	11.49
LYO	2.2	-14.51	-5.76	8.16
LMA	38.7	-32.81	4.67	10.78
MAR	29.7	-8.48	4.21	4.25
MET	39.6	8.50	17.44	9.04
MPL	.9	-16.46	7.33	19.19
NCY	49.7	-15.64	14.43	8.98
NTE	16.8	-23.97	1.43	10.46
NIC	-22.4	-23.79	-13.75	11.45
NIM	43.6	2.13	13.30	3.17
ORL	6.7	-11.82	21.79	22.02
PER	40.4	1.11	7.89	7.55
REI	88.0	-11.56	2.90	15.98
REN	74.6	-6.43	57.46	11.52
VAL	13.1	4.92	12.86	.45
ROU	9.2	-22.29	.88	5.42
STE	16.7	-31.11	-9.79	1.21
STR	23.6	-17.29	9.65	6.29
TRO	15.5	13.09	35.61	17.54
TLN	6.0	-12.63	10.86	11.47
TLS	15.9	-13.96	30.02	12.76
TRS	49.6	24.15	56.85	16.92
MUL	.0	-14.50	1.70	10.61
PAU	10.0	-19.12	15.21	14.55
moyenne des variations°	24.3	- 6.60	18.40	10.40
variations° de la moyenne	18.9	-14.10	6.70	9.30

- la "moyenne des variations" est la moyenne arithmétique des 38 variations relatives données dans le tableau ci-dessus.
- Les "variations de la moyenne" sont les variations relatives entre 1967 et 1973 des moyennes des caractéristiques globales des réseaux : km lignes, km x véhicules, population desservie.

## 2. REMARQUES GENERALES SUR L'EVOLUTION DES DONNEES GLOBALES DE RESEAUX

Pour les réseaux de transports urbains, la période 1967-1973 correspond à un recul important.

Les évolutions des données globales (voyageurs, km x véhicules, longueur des lignes, populations) sont fournies, ville par ville, au tableau 5.

La perte totale s'élève à près de 129 millions de voyageurs annuels, soit 14 % environ du total des voyageurs 1967. Les composants les plus marquants de cette perte sont les réseaux les plus chargés ; trois d'entre eux, Lyon (moins 25,6 millions de voyageurs), Saint Etienne (moins 20,8 millions) et Bordeaux (moins 16 millions) totalisent à eux seuls près de la moitié de ce recul.

Mais, en fait, les baisses relatives relevées pour chacun des réseaux sont fortement contrastées, leur valeur moyenne est de 6,6 %. Les valeurs extrêmes sont atteintes par Le Mans (-33 %) pour la baisse et Angers (+ 40 %) pour le gain.

Cette baisse globale intervient alors que l'offre de transports en commun s'accroît au total de 18,9 % pour les longueurs de lignes et de 6,7 % pour les km x véhicules dans l'ensemble des villes étudiées, la population augmentant, elle, de 10 % environ. Mais, alors que la baisse est d'abord due aux réseaux importants, l'amélioration de l'offre est plus particulièrement le fait des agglomérations les moins peuplées et concerne d'abord la couverture globale des réseaux (forte augmentation des kilomètres de lignes mais la fréquence généralisée décroît).

L'évolution globale décrite se traduit par la chute du coefficient d'ajustement dans les formules de régression linéaire recherchées pour 1967 et 1973 comme elles l'avaient été dans la première partie de l'étude pour 1969.

1967	VOY = 6,1 KMV - 1,4 . 10 <sup>6</sup>	(variance expliquée 92 %)
1969	VOY = 5,9 KMV - 2,5 . 10 <sup>6</sup>	(variance expliquée 91 %)
1973	VOY = 5,3 KMV - 3,1 . 10 <sup>6</sup>	(variance expliquée 91 %)

En opposition à ce phénomène global, il faut remarquer que treize réseaux voient leur nombre de voyageurs augmenter :



Amiens, Angers, Avignon, Besançon, Caen, Dijon, Douai, Metz, Nîmes, Perpignan, Valenciennes, Troyes et Tours.

Mais, pour sept seulement d'entre eux, cette augmentation est supérieure à la croissance de la population, il s'agit de : Amiens, Angers, Avignon, Besançon, Douai, Valenciennes et Tours.

Dans l'analyse suivante consacrée aux ratios, le détail des évolutions indiquées ici sera précisé.

### 3. ETUDE DE L'EVOLUTION DES RATIOS

#### 3.1. Comparaison des données statiques de 1967 et 1973

Les différents ratios calculés pour 1967 et 1973 sont donnés dans les tableaux 6 et 7 joints ; leurs variations, en pourcentages, font l'objet du tableau 9 présenté plus loin.

Avant d'aborder l'analyse de ces variations, nous procéderons à une rapide comparaison des deux séries de données statiques.

Comme pour l'année de référence, des ajustements statistiques ont été effectués sur les matrices des données 1967 et 1973.

Les principales formules de régression obtenues sont reproduites ci-dessous ; les résultats plus détaillés étant renvoyés en annexe 2.

#### Formules de régression expliquant l'usage (VOY/H)

1967	{	VOY/H = 7,0 KMV/H - 17 (variance expliquée 74 %)
		VOY/H = 7,4 KMV/H - 121 PRI + 35 (variance expliquée 85%)
		VOY/H = 4,7 KMV/H - 1,0 FQG - 21 (variance expliquée 80%)

1973	{	VOY/H = 5,4 KMV/H - 13 (variance expliquée 70 %)
		VOY/H = 5,6 KMV/H - 50,3 PRI + 15 (variance expliquée 73%)
		VOY/H = 4,0 KMV/H - 0,9 FQG - 21 (variance expliquée 76%)

Les figures 15 et 16 représentent dans chacun de ces cas la meilleure droite de régression.

Les formules font bien apparaître la baisse tendancielle de l'usage des réseaux ; c'est particulièrement clair dans la troisième formule où la constante d'ajustement ne varie pas.

TABLEAU 6

1967 - RATIOS

	population		densité de lignes	$\frac{\text{km.v}}{\text{h}}$	voy/h	prix	fq gen	$\frac{\text{voy}}{\text{km.v}}$
	agglomérée	desservie						
AMI	137.000	123.000	.465	8.911	54.682	.500	19.178	6.137
AGE	162.000	147.000	.411	7.303	37.109	.460	17.750	5.081
AVI	139.000	94.000	.370	3.550	16.050	.420	9.595	4.521
BES	116.000	113.000	.420	10.270	55.750	.370	24.452	5.428
BOR	552.000	552.000	.590	23.285	127.260	.450	39.459	5.465
BRS	168.000	154.000	.380	10.840	75.550	.410	28.526	6.970
CAE	150.000	119.000	.437	7.894	41.220	.460	18.059	5.221
CLF	204.000	193.000	.433	17.405	87.144	.530	40.182	5.007
DIJ	185.000	178.000	.506	14.764	81.354	.420	29.200	5.510
DOU	204.000	114.000	.859	10.889	26.933	.740	12.670	2.474
DUN	142.000	120.000	.353	8.082	47.650	.420	22.885	5.896
GRE	332.000	300.000	.457	12.718	59.678	.560	27.800	4.692
LHA	246.000	234.000	.315	14.823	74.410	.480	47.000	5.020
LIL	880.000	823.000	.330	14.270	64.830	.620	43.242	4.543
LIM	148.000	139.000	.467	17.549	94.206	.470	37.609	5.368
LYO	1066.000	952.000	.431	25.867	185.371	.470	60.077	7.166
LMA	167.000	147.000	.216	8.520	70.538	.330	39.474	8.279
MAR	964.000	889.000	.461	20.883	93.805	.830	45.349	4.492
MET	166.000	148.000	.460	13.639	71.072	.580	29.667	5.211
MPL	172.000	171.000	.400	14.610	87.610	.630	36.525	5.997
NCY	256.000	248.000	.512	16.147	101.960	.450	31.556	6.315

TABLEAU 6bis

1967 - RATIOS (suite)

	population agglomération desservie		DEN	KM/H	VOY/H	PRIX	FRG	VOY/KM/H
<i>NTE</i>	392.000	329.000	.398	17.268	92.855	.450	43.364	5.377
<i>NIC</i>	393.000	337.000	.382	14.562	91.889	.580	38.100	6.310
<i>NIM</i>	126.000	124.000	.410	8.350	37.120	.420	20.366	4.446
<i>ORL</i>	168.000	160.000	.404	10.915	46.581	.490	27.000	4.268
<i>PER</i>	106.000	102.000	.370	15.190	72.820	.460	41.054	4.794
<i>REI</i>	169.000	168.000	.247	15.681	95.391	.370	63.480	6.083
<i>REN</i>	191.000	185.000	.251	7.462	55.856	.340	29.750	7.486
<i>VAL</i>	223.000	283.000	.400	8.490	41.360	.590	21.225	4.872
<i>ROU</i>	369.000	317.000	.399	13.697	60.000	.680	34.350	4.386
<i>STE</i>	331.000	285.000	.319	22.710	234.482	.310	71.258	10.325
<i>STR</i>	334.000	341.000	.301	19.179	108.905	.530	63.643	5.678
<i>TRO</i>	114.000	113.000	.383	9.619	44.905	.380	25.108	4.668
<i>TLN</i>	340.000	186.000	.350	13.950	84.020	.500	39.857	6.023
<i>TLS</i>	439.000	462.000	.762	18.219	101.028	.490	23.921	5.545
<i>TRS</i>	201.000	184.000	.382	13.714	80.755	.410	35.944	5.889
<i>MUL</i>	198.000	178.000	.382	16.866	85.544	.480	44.150	5.072
<i>PAU</i>	110.000	105.000	.520	5.565	25.998	.440	10.710	4.672
<i>Mayennes</i>	283.000	258.000	.419	13.517	76.678	.487	34.040	5.544

TABLEAU 7

## 1973 - RATIOS

	population		DEN	KM/H	VOY/H	PRIX	FRG	VOY/KM
	aggloméré	dessewie						
AMI	151.000	135.569	.487	9.944	55.439	.511	20.425	5.575
AGE	181.000	164.241	.457	10.416	46.408	.430	22.810	4.455
AVI	154.000	104.144	.835	8.275	17.071	.504	9.906	2.063
BES	124.000	120.793	.580	17.574	62.277	.563	30.326	3.544
BOR	590.000	590.000	.646	22.426	90.593	.548	34.728	4.040
BRS	186.000	170.500	.434	12.573	54.972	.689	28.969	4.372
CAE	183.000	145.180	.248	7.728	37.536	.496	31.167	4.857
CLF	225.000	212.868	.418	14.557	56.935	.741	34.818	3.911
DIJ	203.000	195.319	.584	16.329	80.074	.504	27.977	4.904
DOU	203.000	113.441	.864	10.484	34.185	.711	12.136	3.261
DUN	165.000	139.437	.330	7.740	38.200	.533	23.461	4.936
GRE	389.000	351.506	.395	12.836	45.072	.696	32.460	3.511
LHA	264.000	251.122	.350	13.078	48.941	.719	37.319	3.742
LIL	929.000	868.826	.388	13.279	55.160	.711	34.234	4.154
LIM	165.000	154.966	.503	15.309	74.236	.526	30.416	4.849
LYO1	153.000	1029.696	.407	22.538	146.520	.496	55.386	6.501
LMA	185.000	162.844	.270	8.050	42.785	.526	29.794	5.315
MAR1	1005.000	926.810	.573	20.875	82.347	.822	36.436	3.945
MET	181.000	161.373	.589	14.689	70.721	.526	24.952	4.814
MPL	205.000	203.808	.339	13.157	61.404	.600	38.962	4.667
NCY	279.000	270.281	.703	16.954	78.927	.570	24.118	4.655

TABLEAU 7bis

## 1973 - RATIOS (suite)

	population agglomérée dessevie		Den	KMV/H	VOY/H	PRIX	EQG	VOY/KMV
NTE	433.000	363.411	.421	15.856	63.911	.607	37.663	4.031
NIC	438.000	375.588	.266	11.269	62.834	.807	42.326	5.576
NIM	130.000	127.937	.571	9.169	36.745	.489	16.069	4.008
ORL	205.000	195.238	.353	10.894	33.662	.630	30.824	3.090
PER	114.000	109.698	.483	15.238	68.462	.593	31.540	4.493
REI	196.000	194.840	.400	13.913	72.738	.489	34.753	5.228
REN	213.000	206.309	.393	10.536	46.864	.467	26.834	4.448
VAL	224.000	284.269	.450	9.539	43.201	.659	21.185	4.529
ROU	389.000	334.182	.413	13.107	44.289	.889	31.739	3.379
STE	335.000	288.444	.367	20.243	159.611	.519	55.083	7.885
STR	355.000	362.440	.350	19.785	84.744	.704	56.464	4.283
TRO	134.000	132.825	.376	11.097	43.206	.459	29.480	3.993
TLN	379.000	207.335	.333	13.873	65.857	.556	41.687	4.747
TLS	495.000	520.934	.783	21.009	77.092	.563	26.824	3.669
TRS	235.000	215.124	.488	18.397	85.754	.526	37.692	4.661
MUL	219.000	196.879	.345	15.508	66.124	.593	44.899	4.264
PAU	126.000	120.273	.499	5.597	18.356	.541	11.220	3.279
moyennes	309.000	281.800	.466	13.785	61.928	.592	31.500	4.409

On remarque, d'autre part, un important tassement des fourchettes de valeurs observées en 1973 par rapport à 1969 (1), tassement qui s'effectue surtout par le haut (recul des valeurs fortes).

En même temps on remarque que, pour des valeurs données des ratios caractérisant l'offre de transport et son prix, la plage des usages constatés augmente, d'où finalement une qualité d'ajustement moindre dans les régressions linéaires opérées pour 1973.

Ce dernier phénomène est très net dans le cas de la variable PRI dont le coefficient est en forte baisse dans les formules; l'apport de variance expliquée supplémentaire dû au prix diminue très fortement de 1967 à 1973. Il apparaît que, globalement, le prix perd de son impact dans l'usage, d'une part en raison du tassement de sa dispersion, d'autre part parce que l'évasion, de clientèle des transports en commun a sans doute renforcé la part des usagers n'ayant plus le choix du mode et ne pouvant modifier leur comportement en fonction d'une comparaison économique. On verra dans l'étude dynamique de l'évolution 1969-1973 que les variations du prix jouent un rôle majeur dans l'évolution de la clientèle.

Si l'on s'intéresse à la structure de l'ensemble des données on constate que le classement en trois groupes des réseaux des agglomérations présenté au chapitre précédent est peu modifié dans l'ensemble.

Toutefois, la dispersion renforcée en 1973 rend les limites des groupes extrêmes plus difficiles encore à percevoir, les points représentatifs des réseaux non typés s'y mêlant dans les zones limitrophes. Les progrès réalisés par certains réseaux dits faibles ; Avignon, Angers, Valenciennes, Amiens et Douai notamment ne leur permettent pas de quitter ce groupe étendu en 1973 aux réseaux de Rennes, Le Mans et Orléans qui lui étaient proches en 1967 (et 1969). Les limites supérieures à l'offre et à l'usage sur ces réseaux à faible usage sont pour 1973 :

$$\left\{ \begin{array}{l} 50 \text{ voyages par habitant (sauf pour Amiens : 55)} \\ 11 \text{ km x véhicules par habitant} \\ 26,5.10^3 \text{ pour la fréquence généralisée.} \end{array} \right.$$


---

(1) Se reporter notamment à l'évolution des minima, maxima et écarts-types - en annexe 2.

Fig 15

USAGE EN FONCTION DE L'OFFRE 1967

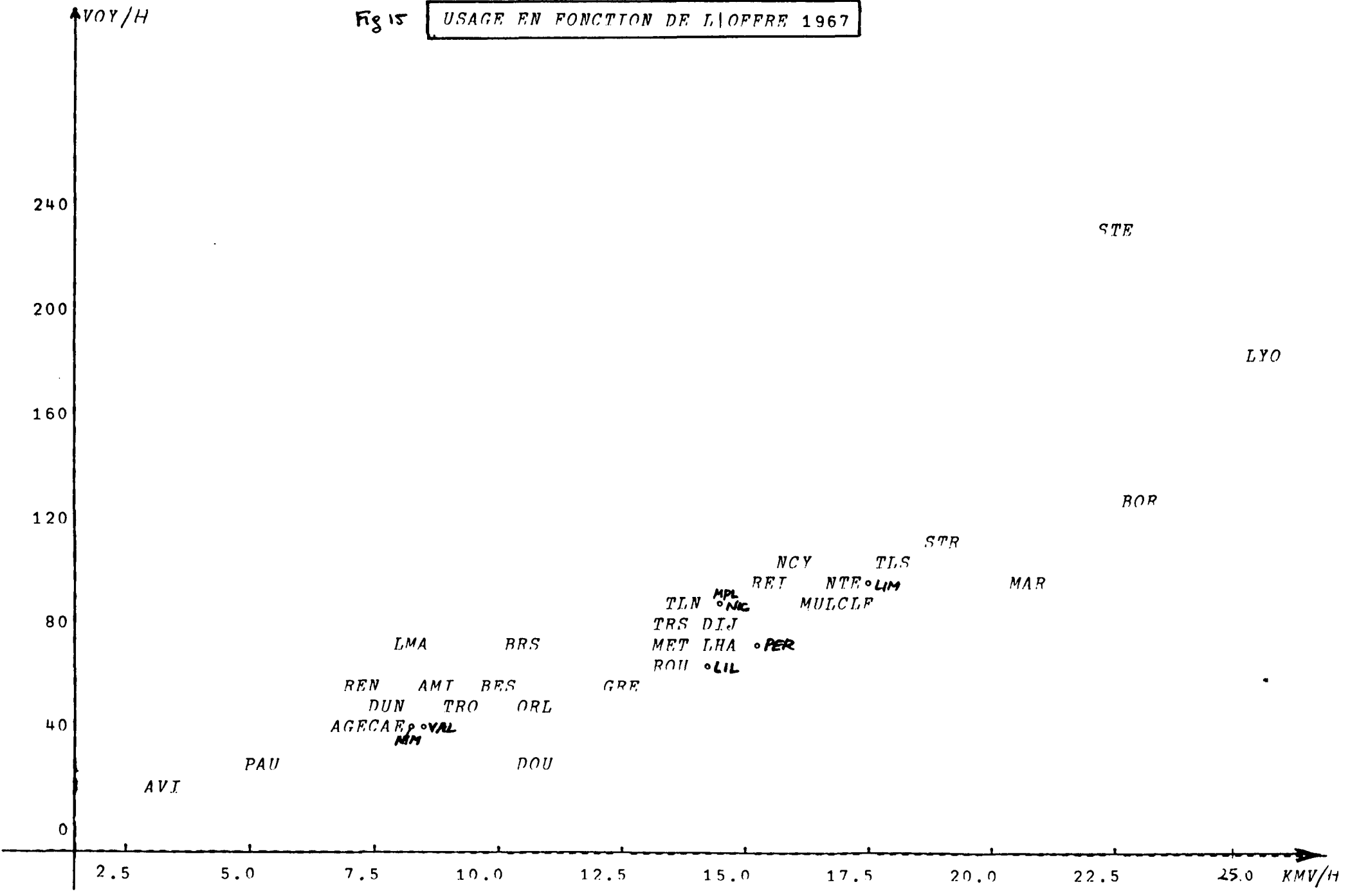
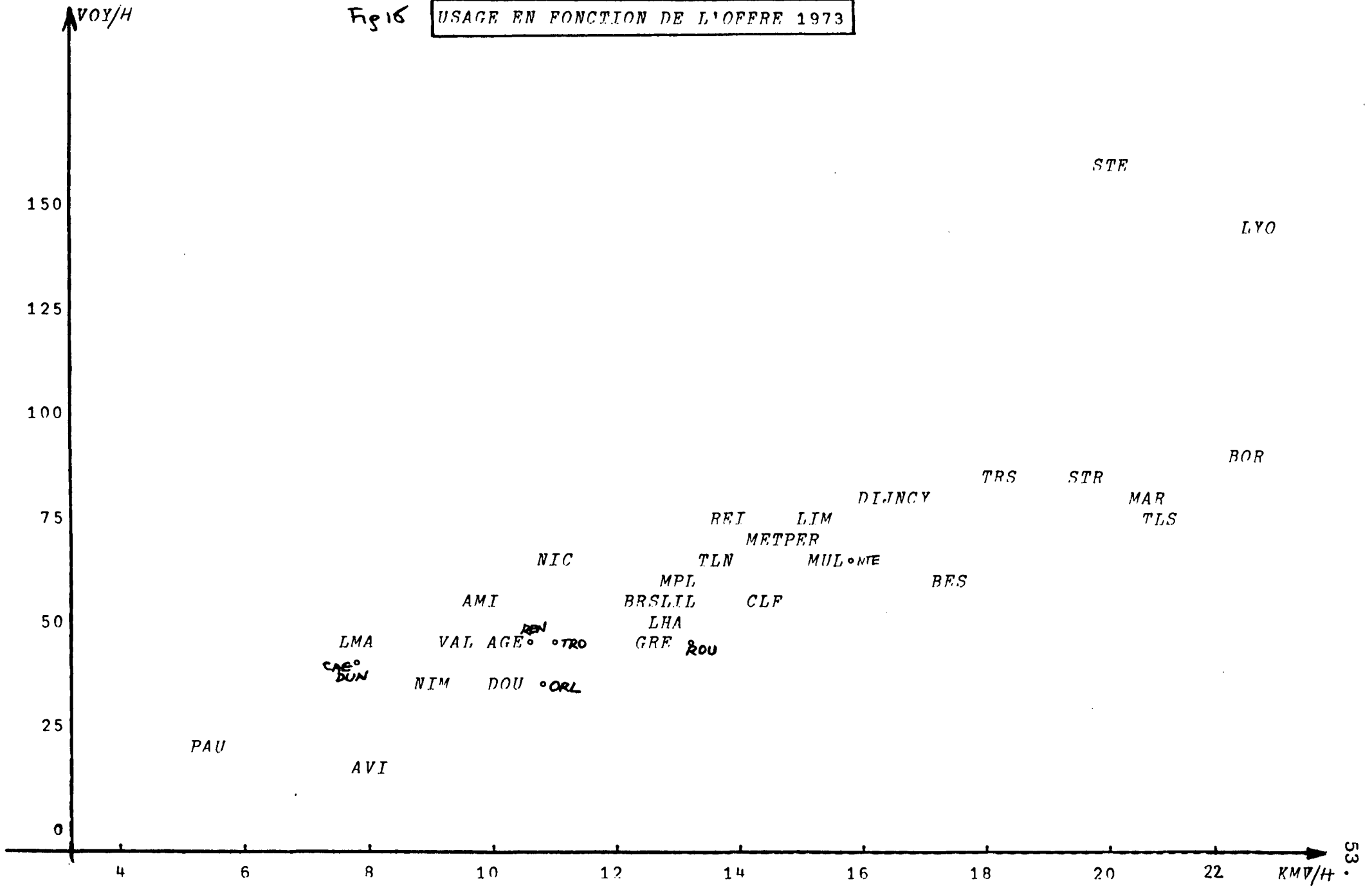




Fig 16

USAGE EN FONCTION DE L'OFFRE 1973



On notera que Grenoble et Rouen, villes nettement plus importantes que celles du groupe des réseaux faibles n'atteignent pas les 50 voyages par habitant malgré une offre très supérieure aux chiffres ci-dessus.

A l'autre extrémité de l'échelle, les réseaux les plus forts restent les mêmes, en dépit de leur recul général notamment au plan des voyages par habitant (82 seulement pour Marseille).

Cette rigidité d'ensemble du classement des réseaux s'explique par le fait que sur la courte période étudiée leur structure, leur adaptation aux caractères de l'agglomération desservie n'ont pas été fondamentalement modifiées sauf dans quelques cas exceptionnels, Besançon et Tours notamment.

### 3.2. Le recul d'ensemble des réseaux : étude dynamique

Les figures 17 et 18 illustrent le recul d'ensemble des réseaux de 1967 à 1973, en montrant les variations de l'usage en fonction de l'offre en kilomètres-véhicules par habitant et du prix moyen du voyage.

Les données globales sur les variations des ratios des réseaux étudiés sont groupées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8

	ratios moyens pour l'ensemble des agglo.			variation en % des 38 réseaux		
	1967	1973	$\Delta \frac{1967}{1973} \%$	valeurs extrêmes %	moyenne %	écart. type
VOY/H	77,00	62	-19,5	-39 à + 27	-15,2	16,6
DENS	0,42	0,47	+11,9	-43 à +126	+13,0	28,5
KMV/H	13,50	13,80	+ 2,2	-23 à +133	+ 7,2	27,8
PRIX (F67)	0,49	0,59	+20,4	- 9 à + 68	+23,9	19,2
FQG	34,00	31,50	- 7,4	-45 à + 73	- 2,8	20,1
VOY/KMV	5,54	4,41	-20,2	-54 à + 32	-19,3	13,9

TABLEAU 9

## EVOLUTION DES RATIOS 1967-1973 (%)

	DEN	KM/H	VOY/H	PRIX <sup>F</sup> (67)	EQG	VOY/KM
AMI	4.78	11.60	1.38	2.22	6.51	79.15
AGE	10.99	4263	25.06	6.60	28.50	12.32
AVI	125.78	133.10	6.36	19.93	3.24	54.37
BES	37.98	71.12	11.71	52.15	24.02	34.72
BOR	9.43	3.69	28.81	21.81	11.99	26.09
BRS	14.22	15.99	27.24	68.02	1.55	37.27
CAE	43.28	2.10	3.94	7.89	72.58	6.98
CLF	3.48	16.36	34.67	39.76	13.35	21.88
DIJ	15.44	10.60	1.57	19.93	4.19	11.01
DOU	.52	3.71	26.93	3.90	4.22	31.82
DUN	6.59	4.24	19.83	26.98	2.52	16.29
GRE	13.56	.92	24.48	24.34	16.76	25.17
LHA	11.11	11.77	34.23	49.69	20.60	25.45
LIL	17.54	6.95	14.92	14.70	20.83	8.56
LIM	7.87	12.76	21.20	11.90	19.13	9.67
LYO	5.49	12.87	20.96	5.59	7.81	9.28
LMA	25.18	5.52	39.34	59.37	24.52	35.80
MAR	24.41	.04	12.22	.94	19.65	12.18
MET	28.05	7.70	.49	9.32	15.89	7.61
MPL	15.36	9.95	29.91	4.76	6.40	22.17
NCY	37.38	5.00	22.59	26.75	23.57	26.28

TABLEAU 9bis

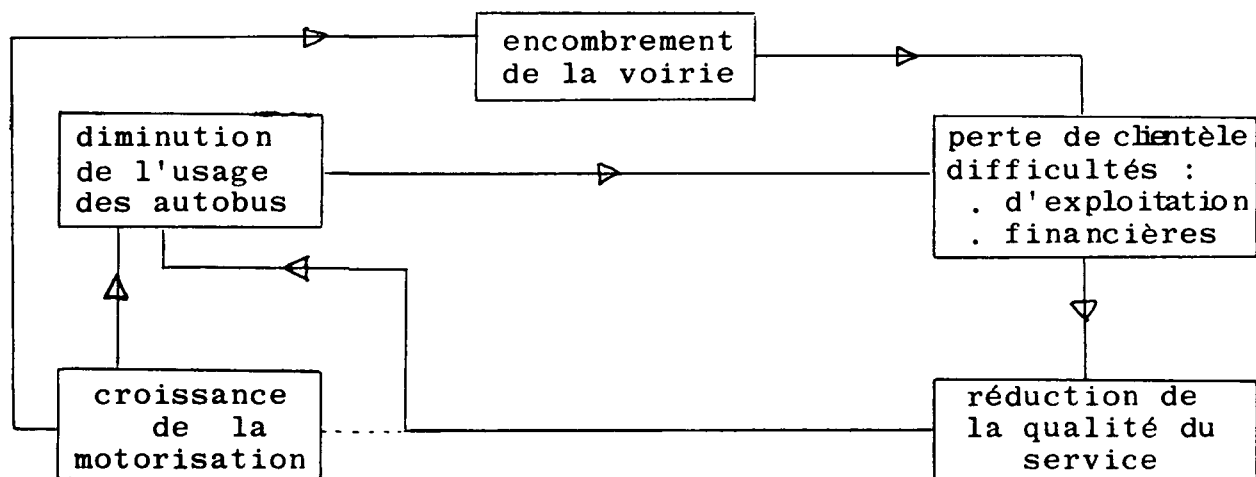
## EVOLUTION DES RATIOS (%) (suite)

	DEN	KM/H	VOY/H	PRIX(£)	FRG	VOY/KM/H
NTE	5.73	8.17	31.17	34.98	13.15	25.04
NIC	30.34	22.61	31.62	39.21	11.09	11.64
NIM	39.17	9.81	1.01	16.40	21.10	9.85
ORL	12.58	.19	27.73	28.50	14.16	27.59
PER	30.58	.32	5.99	28.82	23.17	6.28
REI	62.06	11.28	23.75	32.13	45.25	14.06
REN	56.54	41.20	16.10	37.25	9.80	40.58
VAL	12.57	12.36	4.45	11.74	.19	7.04
ROU	3.56	4.31	26.28	30.72	7.60	22.97
STE	15.31	10.87	31.93	67.26	22.70	23.63
STR	16.28	3.16	22.19	32.77	11.28	24.57
TRO	1.74	15.37	3.78	20.86	17.41	16.60
TLN	4.92	.55	21.62	11.11	4.59	21.18
TLS	2.83	15.31	23.69	14.89	12.14	33.82
TRS	27.93	34.15	6.19	28.27	4.86	20.84
MUL	9.59	8.05	22.70	23.46	1.70	15.93
PAU	3.99	.58	29.39	22.90	4.77	29.80
moyenne	12.96	7.24	15.22	23.86	2.82	19.26

La désaffection atteignant les transports en commun, chiffrée ici sur six ans, est un phénomène particulièrement net depuis les années soixante.

Ses causes ont été souvent exposées (1). On peut les résumer sommairement ainsi : l'augmentation de la motorisation a une double influence sur les réseaux, d'une part elle fait diminuer la clientèle ce qui affecte directement la rentabilité, pour la maintenir on tendra à réduire le service offert ; d'autre part, les encombrements affectent la qualité du service offert par les autobus.

La baisse de la qualité du service a bien entendu un effet dissuasif sur les usagers ; la boucle de dégradation des transports en commun est ainsi bouclée.



USAGERS

TRANSPORTEURS

(1) voir notamment "Les Transports Urbains et la Ville" (éditions CELSE) publié en collaboration par l'Union des Transports Publics Urbains et Régionaux et le Centre de Productivité des Transports.

A ce schéma, désormais classique, il faut ajouter l'effet conjoncturel des mesures d'amélioration de la circulation. Ces mesures peuvent revêtir des formes diverses (hiérarchisation des voies, feux, itinéraires synchronisés...) ou prendre la forme d'un plan de circulation, c'est-à-dire d'une recherche systématique d'un meilleur écoulement des véhicules sur le réseau viaire. Dans le cadre d'études d'ensemble, on obtient ainsi parfois des gains locaux de 30 % à 40 % sur les capacités circulatoires de la voirie urbaine. Même si une partie de ce gain considérable est affectée aux transports en commun (couloirs réservés par exemple) (1), la voiture particulière en demeure la principale bénéficiaire et son usage augmente retirant aux transports en commun - dont l'offre n'est améliorée que très localement et modestement - une part de leur clientèle. Ainsi, la mise en oeuvre, depuis les années 1970 environ, de telles améliorations dans la gestion de la circulation a contribué, dans un premier temps au moins, au recul de certains réseaux d'autobus.

Aux causes de dégradation développées ci-dessus, on peut opposer des actions destinées à maintenir, ou augmenter, la qualité des réseaux de transports en commun :

a/ Moyens techniques :

Aménagement de la voirie au profit des transports en commun pour maintenir la qualité du service face aux encombrements et à la complication accrue des itinéraires - Couloirs et voies réservés en constituent un exemple, ils améliorent vitesse et fréquence, permettant parfois de regrouper les deux sens d'un même itinéraire.

---

(1) les couloirs réservés ne sont apparus d'abord que dans les plus grandes agglomérations. Depuis 1973, toutefois, cette pratique s'étend. Le gain des capacités pour les voitures particulières, base de l'élaboration de la plupart des plans, demeure majeur dans la quasi totalité des cas.

b/ Moyens financiers :

Toutes les interventions techniques sont tributaires de moyens financiers nécessaires aux investissements mais, aussi avant tout investissement nouveau, au maintien de la qualité du service dans un contexte d'évasion de clientèle.

c/ Plans globaux de déplacement :

Les moyens techniques et financiers se combinent dans les diverses restructurations en cours ou à l'étude en France. Ils trouvent leur forme la plus achevée dans des actions volontaires basées sur la prise en compte globale des déplacements dans une agglomération.

Un tel plan global visant à améliorer tous les déplacements, quel qu'en soit le mode et le motif, éviterait d'offrir à la voiture particulière la totalité des gains de capacité dégagés par les études.

L'espace viaire peut, en effet, être redistribué aux divers usagers (piétons, deux roues, voitures particulières, transports en commun) selon un schéma définissant la place de chaque mode de transport et assurant leur complémentarité. Besançon donne, en France, le meilleur exemple d'une telle approche, le plan mis en oeuvre y assure la promotion des transports en commun par des moyens financiers et des aménagements techniques mais aussi par la restriction de l'usage de l'automobile dans le centre de la ville.

Les considérations générales ci-dessus peuvent s'appliquer aux 38 réseaux étudiés.

Le processus de dégradation qui passe par la réduction ou la stagnation de la qualité du service offert touche près de la moitié d'entre eux (cf. figure 17).

Les villes moyennes et les villes importantes à réseaux de qualité tendent à perdre à la fois en km x véhicules par habitant et en fréquence; ainsi en est-il à Lyon, Marseille, Lille, Nantes, Saint Etienne, Rouen, le Havre, Limoges, Reims et Clermont-Ferrand. Nice et Caen constituent des cas particuliers où les restructurations opérées sur le réseau ont fortement diminué la densité des lignes mais augmenté la fréquence généralisée.

Tous les réseaux diminuant les km x véhicules par habitant offerts perdent des voyageurs, à l'exception de Douai.

FIG 17

VARIATIONS 1967-1973 .USAGE/OFFRE (%)

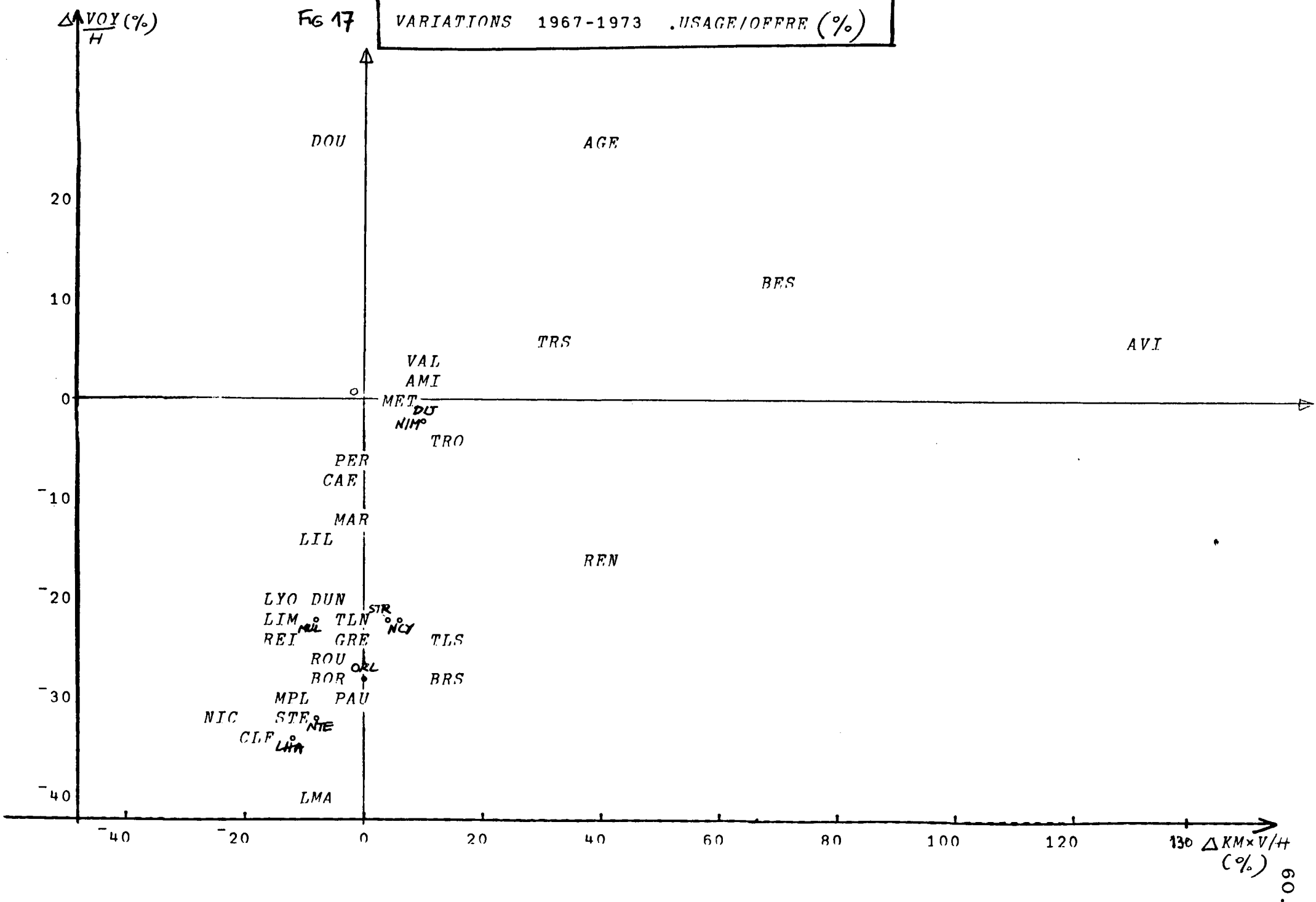
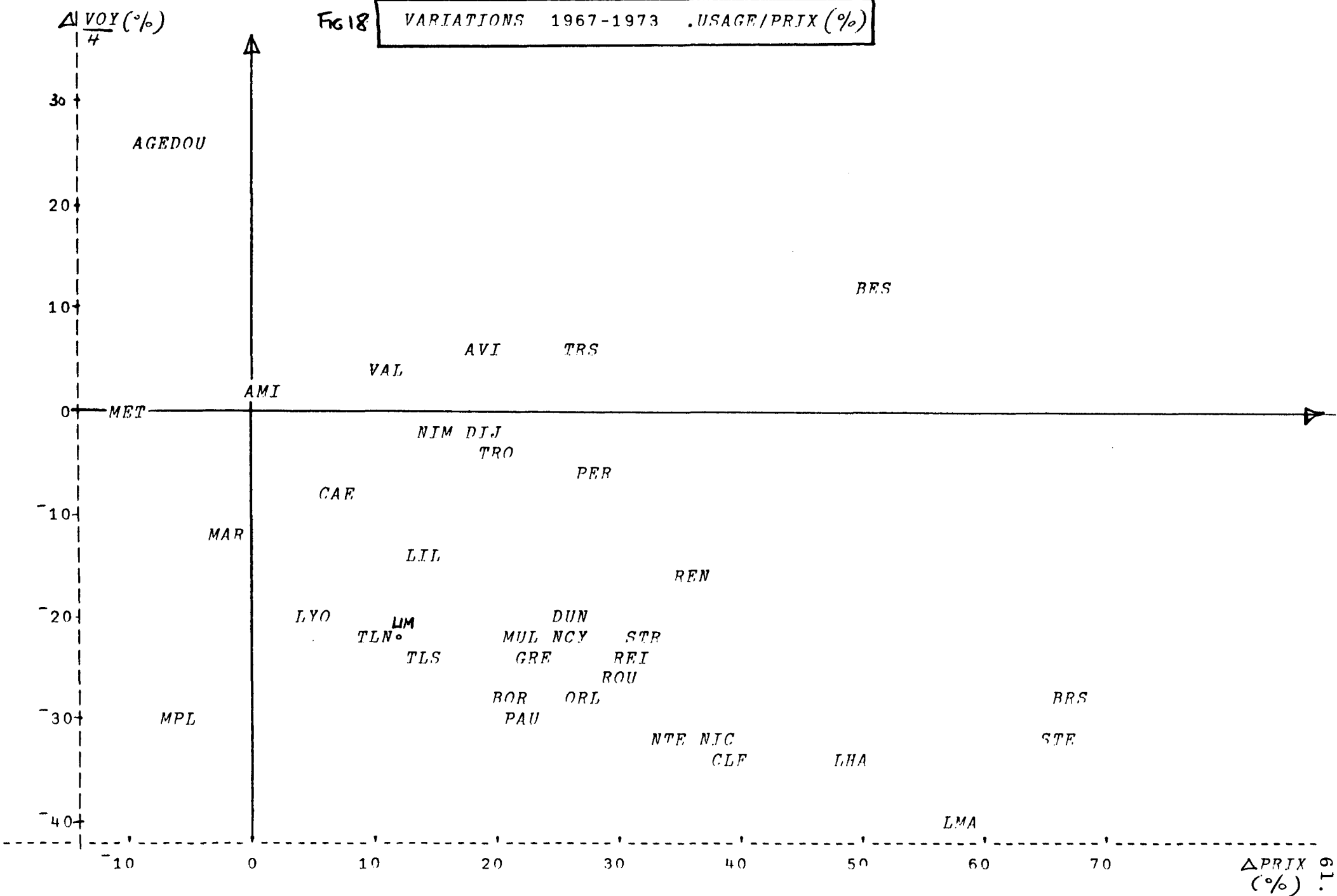




FIG 18

VARIATIONS 1967-1973 .USAGE/PRIX (%)



Cette baisse est, dans l'ensemble, d'autant plus marquée que le prix moyen du trajet augmente fortement.

Dans la tendance globale à la baisse, 17 réseaux augmentent leur offre en km x véhicules par habitant dont certains par un effort spectaculaire : Avignon, Besançon, Rennes, Angers, Tours notamment (plus de 20 % d'offre en plus). Pour la moitié d'entre eux cet effort porte sur une augmentation de couverture, la fréquence généralisée y baisse.

Le succès de ces opérations est très divers car les variations du prix moyen du trajet jouent un rôle important et peuvent, lorsqu'elles sont importantes, compromettre les efforts d'augmentation de l'offre ; c'est le cas à Rennes, Brest, Troyes, Dijon par exemple.

On retiendra que l'usage par habitant augmente sur les sept réseaux suivants contrairement à la tendance générale :

Evolution des ratios 1967-1973			
	VOY/H %	KMV/H %	PRIX %
Douai	+ 27	- 4	- 4
Angers	+ 25	+ 43	- 7
Besançon	+ 12	+ 71	+ 52
Avignon	+ 6,4	+ 133	+ 20
Tours	+ 6,2	+ 34	+ 28
Valenciennes	+ 4,5	+ 12	+ 12
Amiens	+ 1,4	+ 12	+ 2
moyenne : 38 villes	- 20,2	+ 2	+ 20

Angers, Besançon, Avignon ont fait l'objet d'une opération spectaculaire de promotion, concentrée sur une ou deux années de la période étudiée, les réseaux du Nord opérant plutôt par des petites améliorations progressives.

- 
- Il s'agit ici de l'évolution des ratios moyens calculés sur les 38 agglomérations étudiées (cf. tableau page 54)

### 3.3. Remarques sur les élasticités globales

Des données ci-dessus on peut tirer des indications sur les élasticités globales au niveau des réseaux.

Par des estimations statistiques on a chiffré les effets des variations des différents ratios d'offre, on s'est basé pour cela sur la formule ci-dessous expliquant les variations de l'usage :

$$(\mu) \quad \frac{\Delta \text{VOY}/\text{H}}{\text{VOY}/\text{H}} = a \frac{\Delta \text{KMV}/\text{H}}{\text{KMV}/\text{H}} + b \frac{\Delta \text{PRIX}}{\text{PRIX}} + c$$

a, b et c sont des constantes d'ajustement statistiques, on n'a pas retenu a priori d'autres variables que l'offre exprimée par son ratio le plus explicatif et le prix moyen du trajet. Cette simplification est nécessaire pour un tel calcul global (1). Elle situe les limites de validité des résultats chiffrés mentionnés ci-dessous qui sont en fait des indicateurs globaux d'élasticité. La formule  $(\mu)$  conduit en effet à l'équation :

$$(\nu) \quad \text{VOY}/\text{H} = A (\text{KMV}/\text{H})^a (\text{PRIX})^b$$

ou A est une constante, a et b sont les élasticités respectives à l'offre et au prix.

Les ajustements pratiqués sur la formule  $(\nu)$  pour les 38 agglomérations étudiées donnent :

pour 1967 : a = 1,20      b = -0,75

pour 1973 : a = 1,22      b = -0,40

qui montrent la stabilité -au niveau d'un réseau- de l'élasticité par rapport aux km x véhicules, le rôle du prix se modifie nettement comme nous l'avons déjà mentionné, d'abord stationnaire autour de -0,70 la valeur de b diminue fortement pour les deux dernières années. On retiendra les valeurs suivantes :

- . élasticité de l'usage par rapport à l'offre (KMV/H) : 1,20
- . élasticité de l'usage par rapport au prix (PRIX) : -0,40 à -0,70.

---

(1) on ne prend pas en compte à ce stade de la recherche la grande diversité des modifications effectuées sur les différents réseaux. Les deux variables simples retenues les résument très approximativement.

Ces résultats très globaux, dont nous avons souligné les limites de validité, recourent assez bien des approches de même type pratiquées à l'étranger (1) et notamment sur les réseaux britanniques; généralement ces analyses prennent en compte des masses globales de voyageurs et de km x véhicules dans des formules du type :

$$\frac{\Delta \text{VOY}}{\text{VOY}} = a \frac{\Delta \text{KMV}}{\text{KMV}} + b \frac{\Delta \text{PRIX}}{\text{PRIX}} + c$$

La valeur de a se situant autour de 1, celle de b de -0,30 à -0,40.

Un tel mode de calcul ne ramène pas l'offre et l'usage à l'habitant desservi. Sur les 38 réseaux français étudiés, les coefficients obtenus sont très voisins de ceux donnés par les ratios employés ci-dessus.

Il est également possible de pratiquer directement des ajustements linéaires sur la formule ( $\mu$ ) ; on aboutit alors aux résultats suivants :

$$\frac{\Delta \text{VOY}/\text{H}}{\text{VOY}/\text{H}} = 0,32 \frac{\Delta \text{KMV}/\text{H}}{\text{KMV}/\text{H}} - 0,43 \frac{\Delta \text{PRIX}}{\text{PRIX}} - 7$$

qui n'explique que 56 % de la variance totale.

L'élasticité au prix est de - 0,43 et appartient à la fourchette mentionnée ci-dessus.

L'élasticité au km x véhicules, beaucoup plus faible, s'explique par le fait que les km x véhicules supplémentaires correspondent essentiellement à une augmentation de couverture en périphérie et ne sauraient, par suite, avoir une productivité comparable à l'ensemble des km x véhicules offerts sur le réseau.

Lorsque l'on se trouve dans le cas d'une forte augmentation d'offre sans modification radicale de la longueur des lignes l'élasticité est plus forte, mais ce cas est trop rare pour en extraire des chiffres statistiquement significatifs.

Au-delà de ces quelques résultats généraux, il apparaît souhaitable de préciser l'étude des élasticités au niveau des réseaux à l'aide des chiffres annuels disponibles mais aussi et surtout à l'intérieur des réseaux au niveau des lignes pour mieux cerner les transformations opérées et leurs effets. Ebauchée dans les chapitres suivants cette étude sera poursuivie dans la seconde phase de la recherche entreprise.

---

(1) On trouvera des résultats intéressants dans le "Guide des études de restructuration des réseaux de Transports en Communs" du CETE de Rouen (mai 1975).

#### 4. CONCLUSION DE LA SECONDE PARTIE

De la comparaison des données 1967 et 1973 des réseaux des agglomérations françaises on doit retenir, dans un contexte général défavorable aux transports en commun, les efforts effectués pour améliorer le service rendu en couverture et parfois en fréquence.

Fait peu souvent mis en valeur, treize réseaux gagnent en clientèle globale, sept d'entre eux voient progresser l'usage, c'est-à-dire leur nombre de voyageurs ramené à la population desservie.

Dans ces évolutions, comme dans la comparaison statistique des réseaux en 1969, le prix des trajets effectués joue un rôle certain.

L'élasticité de l'usage au prix est importante ; dans la phase de régression, les augmentations de prix -nécessaires à la sauvegarde d'une certaine rentabilité- ont été nettement plus rapides que les progrès de l'offre de transports, elles ont contribué à la désaffection des transports en commun.

### TROISIEME PARTIE : ANALYSE DE LA LIGNE

La recherche entreprise se fixait pour but de dégager les liaisons entre les caractéristiques de la ligne, c'est-à-dire la desserte assurée, la qualité du service et le type de la ligne, d'une part et sa fréquentation d'autre part. S'il est possible de dégager d'une telle démarche des relations stables au niveau d'un réseau donné ou d'un ensemble de réseaux, on pourra s'en servir pour prévoir le trafic dans le cas d'une modification des caractéristiques des lignes. On disposerait alors d'un outil permettant d'évaluer différentes stratégies possibles de restructuration des réseaux.

Avant d'aborder la définition des variables retenues dans cette approche et les calculs effectués, nous décrirons dans les paragraphes suivants les enseignements tirés de l'étude des tracés des réseaux urbains notamment les principaux types de lignes rencontrés et leurs caractères essentiels.

## I. LES TYPES DE LIGNES RENCONTRES

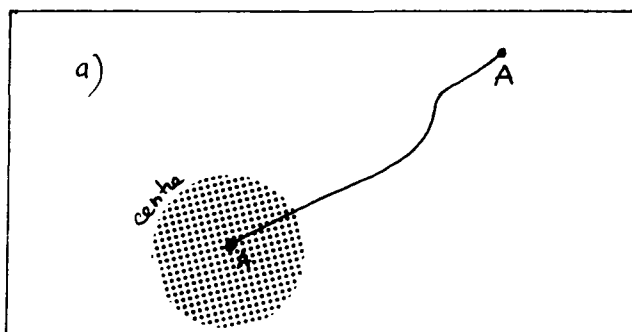
Cette approche, volontairement simplifiée, est illustrée par des exemples de réseaux français dont les lignes relèvent des types décrits. La difficulté d'obtenir des informations précises pour 1969 au niveau des lignes de chaque réseau nous a amené à choisir des exemples plus récents (réseaux 1973 ou 1974 en général).

Il faut signaler que certaines contraintes locales majeures qui conditionnent le dessin des réseaux sont peu approfondies dans les paragraphes suivants. Ce sont essentiellement :

- la topographie qui peut, dans les villes au relief tourmenté, limiter les parcours possibles et dicter ainsi la forme du réseau (Marseille en donne l'exemple)
- les contraintes du service public qui imposent la desserte de certaines zones ou équipements, ce qui peut peser sur l'exploitation du réseau
- les autres contraintes propres au réseau, et à son exploitation, conséquences du régime juridique, habitudes locales...

Les catégories de lignes définies dans les paragraphes suivants serviront de base à la recherche ultérieure sur les possibilités de prévision du trafic.

### 1.1. Les lignes radiales



Ces lignes assurent une liaison centre-périphérie (schéma a) en épousant généralement le tracé d'une importante voie pénétrante. La quasi-totalité des voyageurs les empruntent pour atteindre ou quitter le centre ville, selon l'heure (1).

(1) Les proportions des trajets centre-périphérie dépassent couramment 80 % du total des trajets assurés.

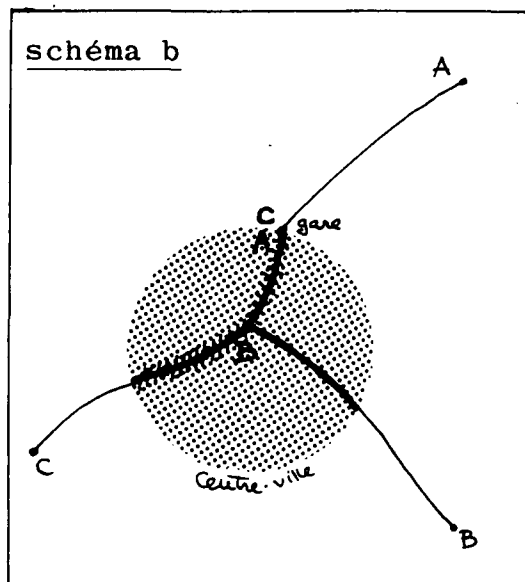
Historiquement la plupart des réseaux de transports en commun se sont développés à partir d'une structure initiale constituée par une ou plusieurs lignes radiales.

Classiquement ces lignes offrent l'avantage d'un parcours court ou moyen dans les zones encombrées ce qui permet un respect correct des horaires et de la régularité. En contrepartie des ruptures de charge sont imposées aux passagers désirant dépasser le centre.

De plus, l'espace nécessaire aux terminus dans la zone centrale, où les terrains sont fort recherchés, est souvent difficile à trouver.

Lorsque le réseau comporte de nombreuses lignes radiales on est donc souvent conduit à éclater les terminus en plusieurs points distincts de ce centre ce qui complique les correspondances, très aisées au contraire dans le cas d'un point central unique.

Les lignes radiales peuvent présenter des différences importantes à leurs extrémités :



- par la desserte du centre qu'elles assurent (schéma b) : selon les cas la ligne peut desservir un point peri-central seulement (ligne A sur le schéma) - par exemple une gare-, un point central (ligne B) ou un axe central majeur de l'agglomération concernée (ligne C). Ces différences dans la qualité de la desserte centrale peuvent influencer notablement l'attitude des usagers. Sur le schéma par exemple la ligne C dessert totalement le centre et permet des correspondances faciles ce qui n'est pas le cas de la ligne A.

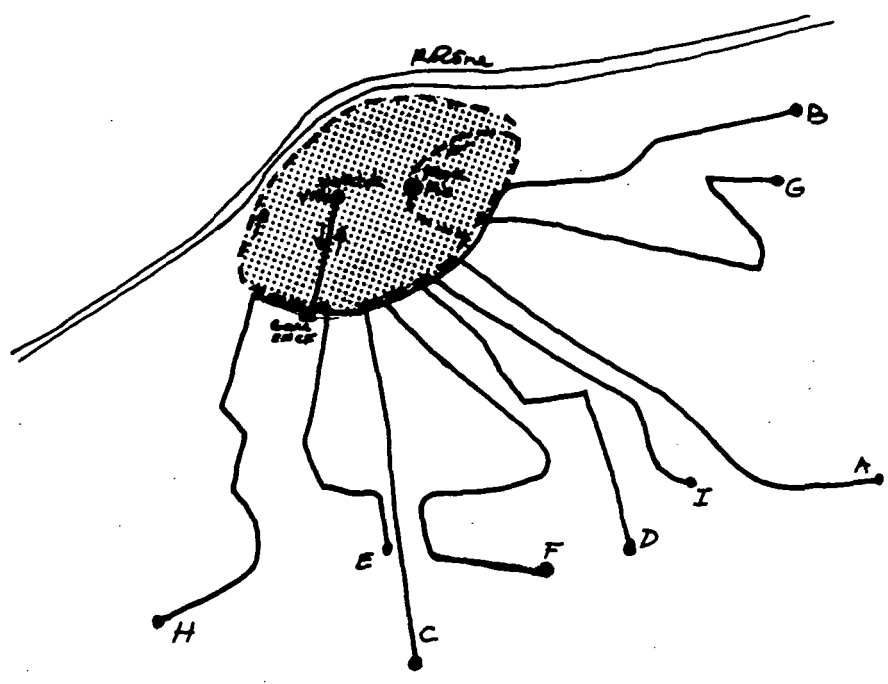
- par la desserte des zones périphériques (schéma C).

La longueur des lignes radiales est très variable (4 à 15 km) avec la taille et la forme de l'agglomération concernée. Ces lignes peuvent se limiter à la couronne dense voisine du centre ou desservir des noyaux périphériques éloignés.



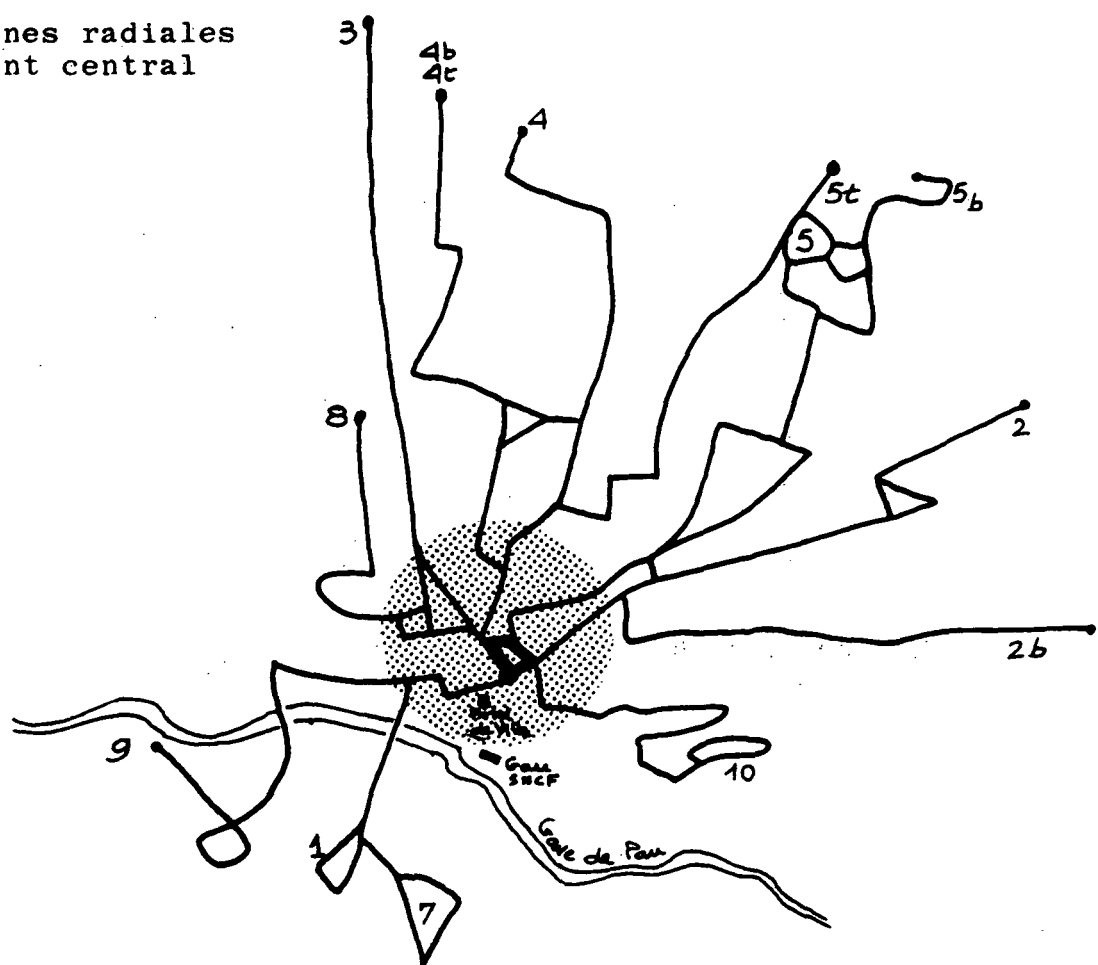
### AVIGNON

9 lignes radiales desservant alternativement deux terminus centraux Hôtel de Ville et Place Pie

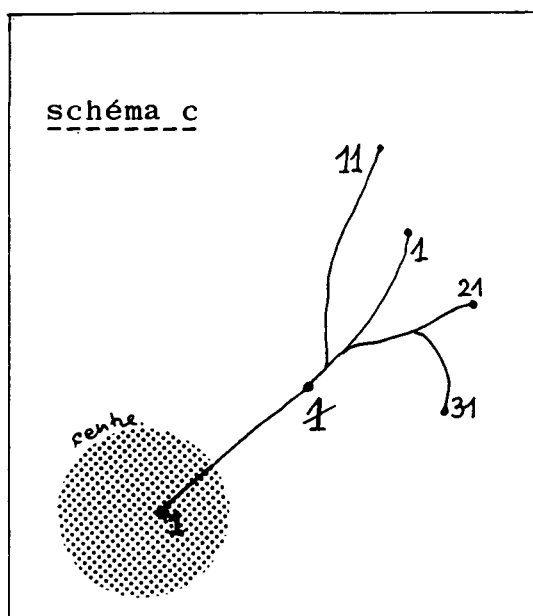


### PAU

13 lignes radiales un point central commun



Souvent, ces deux possibilités se trouvent mêlées par le mode d'exploitation adopté : la liaison radiale est parcourue partiellement par certaines voitures, totalement par d'autres ; il existe alors un terminus intermédiaire (ligne X sur le schéma)



L'existence d'arborescences à l'extrémité des lignes - côté périphérie - constitue une autre particularité remarquable, (branches 11, 21 ou 31 sur le schéma) fréquente dans les villes françaises de l'Est.

Une "même ligne" dessert ainsi une clientèle potentielle plus importante, les fréquences très variables d'une branche à l'autre s'ajoutent sur le tronç radial commun.

Ces différents ajouts au simple tracé radial (terminus, intermédiaires, arborescences...) augmentent les risques d'erreur pour l'utilisateur, ils nécessitent donc un effort de signalisation et d'information de la part de l'exploitant.

A l'origine de la structure actuelle des réseaux, les lignes radiales demeurent les plus nombreuses dans les agglomérations étudiées, et notamment dans les plus petites de ces agglomérations. Deux exemples de réseaux entièrement formés de lignes radiales sont donnés ci-contre: Pau et Avignon.

A Pau, les treize lignes radiales ont un point central commun. Bien que cela constitue un avantage évident les correspondances ont une fréquence quasiment négligeable, 90 % des déplacements en autobus se font entre centre-ville et périphérie.

A Avignon, les neuf lignes radiales comportent chacune deux terminus centraux (un service sur deux dessert chacun des deux terminaux), les tracés ont des troncs communs sur la voie entourant les remparts.

On remarquera que les branches radiales sont, dans ce cas, parfois très proches en périphérie, le tracé est axé sur la desserte de points précis de l'agglomération, avec une faible fréquence, on obtient ainsi une desserte ponctuellement bonne mais peu urbaine.

Ces deux villes ont en commun l'importance limitée de leurs transports en commun et les contraintes exercées par le site urbain sur le dessin des réseaux.

On constate, d'ailleurs, que, globalement, les structures radiales dominent dans les réseaux les plus faibles. Sans ériger cette liaison en une règle générale qui serait contredite par certains des meilleurs réseaux français de province (1), il apparaît clair qu'un réseau initialement radial a plus de chances de demeurer en l'état lorsque son éventuelle évolution est bloquée par :

- . les contraintes de site qui peuvent, par exemple, empêcher la traversée du centre ou interdire les trajets en rocade,
- . la faiblesse même du réseau considéré.

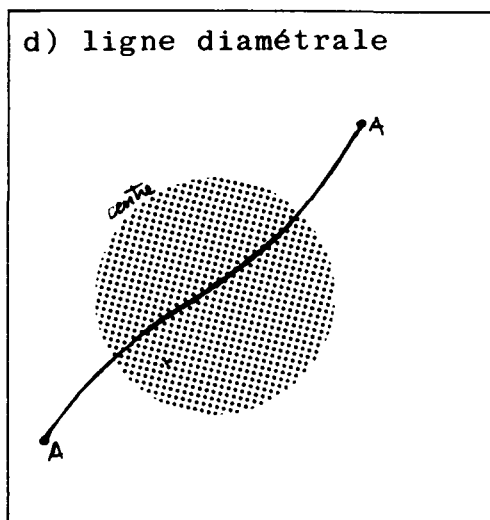
Tenu par des contraintes d'exploitation (matériel limité, rentabilité,...), l'exploitant peut se limiter à assurer les dessertes radiales qui correspondent a priori aux volumes majeurs des déplacements en l'état. Une restructuration peut, en effet, apparaître comme très risquée si elle n'entre pas dans le cadre d'une politique de déplacements cohérente fondée sur des moyens adéquats.

---

(1) le réseau du Havre comporte ainsi 12 lignes, toutes radiales.

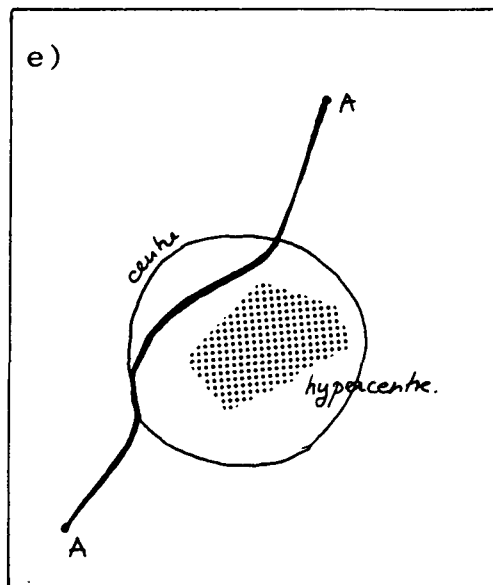
Les exemples des paragraphes suivants présentent d'autres réseaux de qualité où les lignes radiales dominent.

## 1.2. Les lignes diamétrales



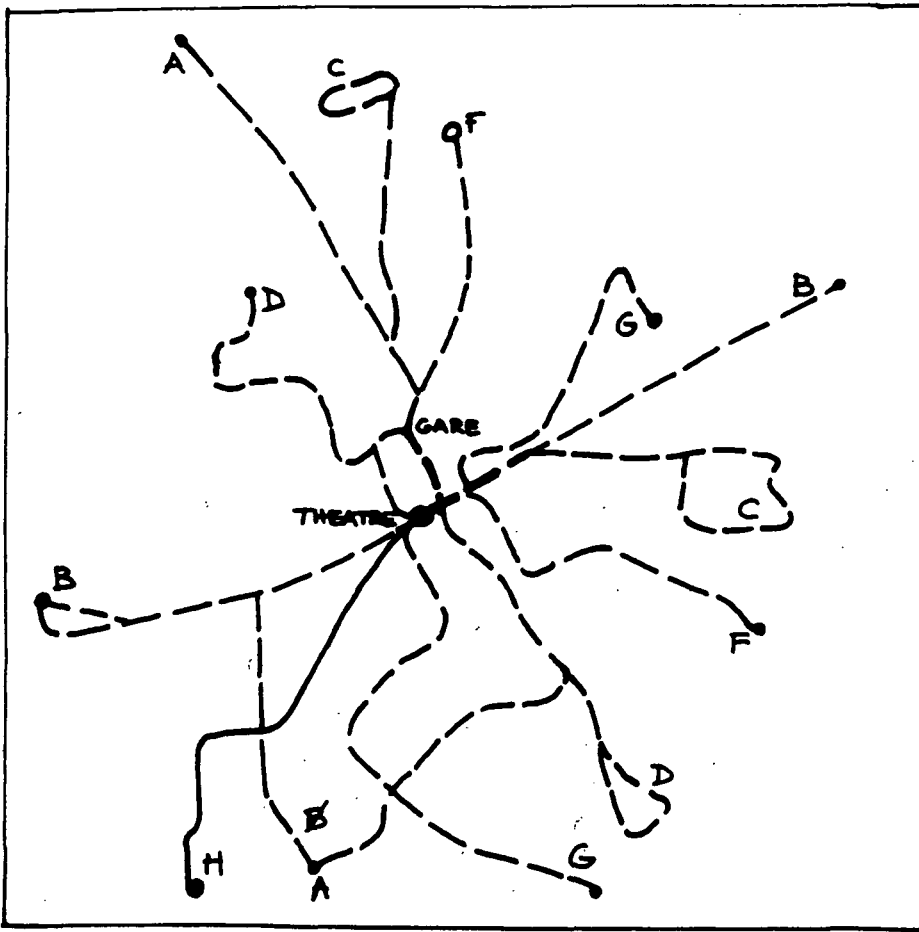
Ces lignes assurent une liaison périphérie - périphérie en traversant le centre de l'agglomération (schéma d). Elles peuvent être formées par réunion de deux radiales antérieures. Elles offrent par rapport à ces deux radiales les avantages de permettre des liaisons sans correspondance et d'assurer une desserte très complète du centre, de plus, elles nécessitent au centre une moindre surface (absence de terminus).

Les lignes diamétrales diffèrent généralement peu dans leurs parcours centraux qui suivent la -ou l'une des- principale(s) artère(s) de l'agglomération selon la position des pôles majeurs de déplacement; on rencontre cependant quelques exemples de parcours centraux évitant l'hypercentre (schéma e).



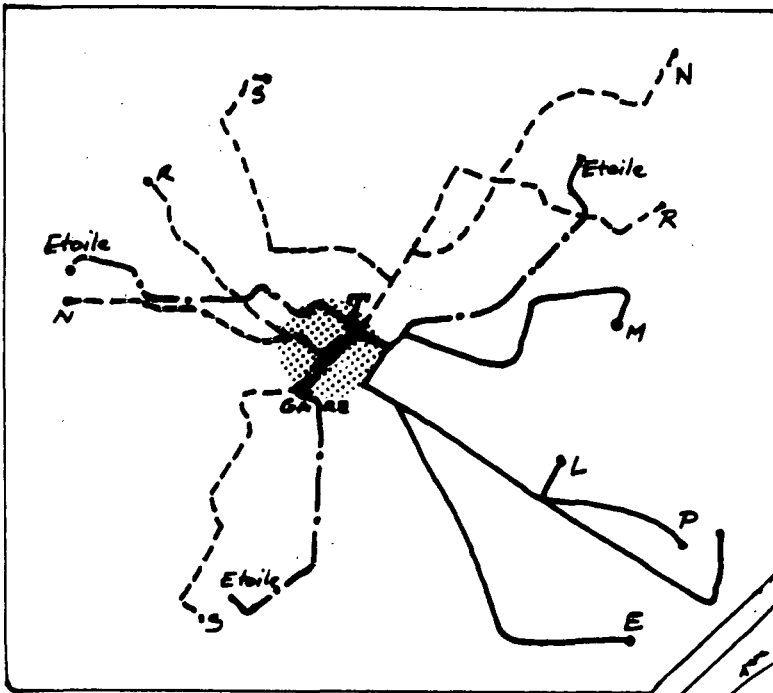
A la périphérie, par contre, les distinctions, notées dans le cas des lignes radiales se retrouvent fréquemment: terminus intermédiaires et arborescences notamment.

Les réseaux dessinent ainsi des faisceaux diamétraux (schéma f) où une ou plusieurs lignes peuvent assurer des liaisons diverses radiales (ligne 1 sur le schéma f) ou diamétrales (11, 21 sur le schéma f).



REIMS

6 lignes diamétrales :  
A, B, C, D, F, G, H  
1 ligne radiale H  
un point central commun  
(Théâtre)

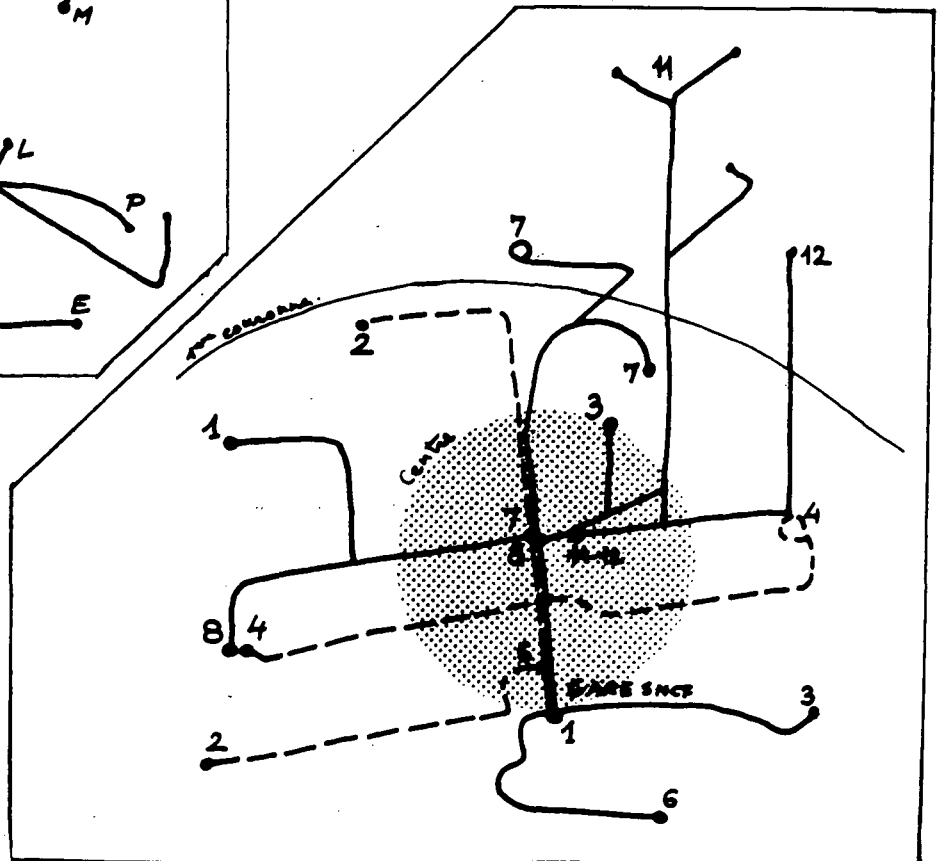


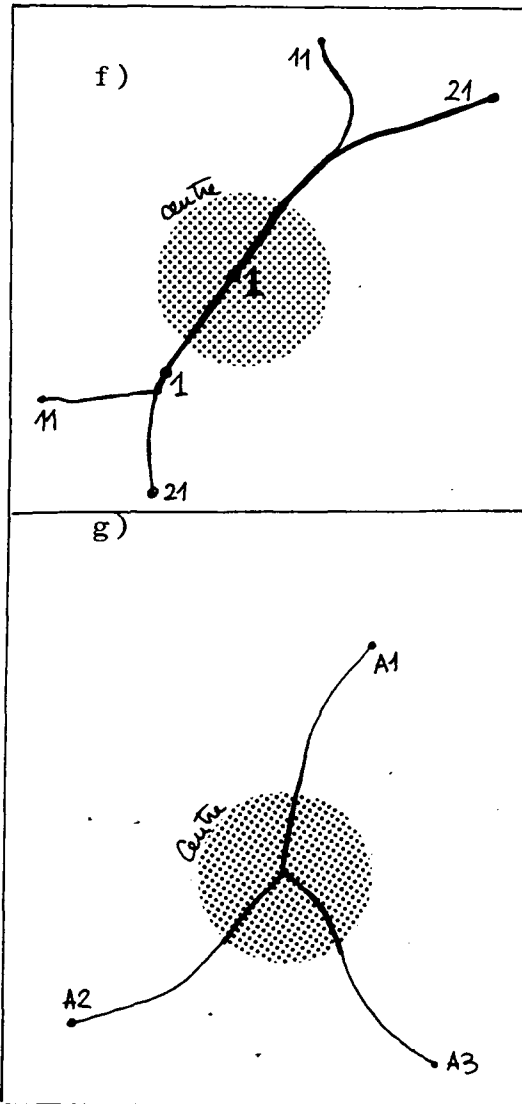
ANGERS

1 ligne Etoile à 3 branches  
radiales  
3 lignes diamétrales  
4 lignes radiales  
un point commun (ralliement T)

MULHOUSE

7 lignes radiales :  
1,3,6,7,8,11,12  
dont deux desservent  
très bien le centre (1 et 3)  
2 lignes diamétrales 2 et 4  
Pas de point central commun  
mais une excellente desserte  
de l'axe central parcouru  
par 7 lignes





Il est également possible de regrouper plusieurs lignes diamétrales possédant deux à deux des troncs communs radiaux afin d'assurer un plus grand nombre de liaisons directes et donc de minimiser les ruptures de charge.

Ainsi, dans le cadre du schéma g), trois liaisons radiales sont groupées. L'utilisateur qui veut se rendre de A1 en A3, par exemple, a le choix entre prendre le premier autobus qui se présente, puis changer au centre, ou attendre la liaison directe A1 / A3.

Ce type d'organisation, souvent cité à propos de la ligne "Etoile" créée à Angers en 1973, existait antérieurement dans d'autres agglomérations, à Marseille par exemple, où les liaisons distinctes gardent des numéros de lignes différents.

Trois exemples illustrent ici les cas des réseaux formés de lignes radiales et diamétrales : Angers, Mulhouse et Reims (1973) dont les réseaux sont de qualité très variable.

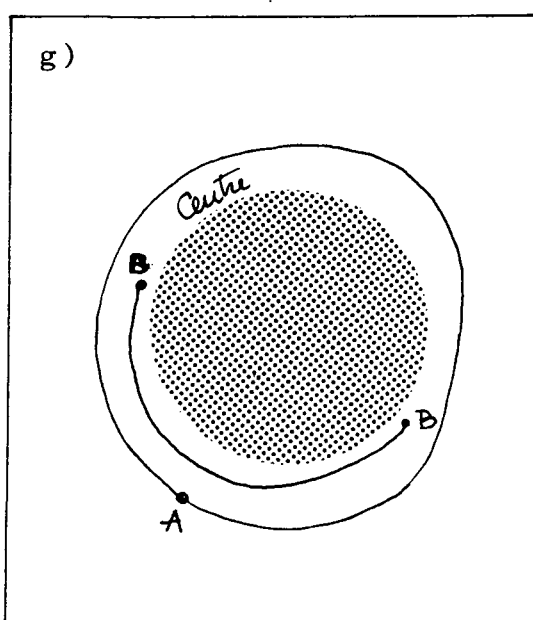
A Mulhouse, on compte deux lignes diamétrales pour sept radiales. Un tronc commun emprunté ou coupé par sept des neuf lignes assure une bonne desserte centrale et des correspondances aisées.

Les réseaux de Reims (six diamétrales, une radiale) et d'Angers (une ligne étoile à trois branches, trois diamétrales, quatre radiales) ont en commun une diamétralisation plus marquée et un point central où passe l'ensemble des lignes du réseau.

### 1.3. Rocades et lignes mixtes

#### a/ Les lignes de rocade

Dans leur définition classique, il s'agit de lignes assurant des liaisons entre terminus périphériques sans traverser le centre (schéma g).



Leur tracé peut, suivant le cas, constituer une ligne fermée ou ouverte (rocade complète ou partielle).

L'existence de telles lignes de rocade exige la présence sur le tracé d'une masse importante de population, mais, surtout, de pôles d'attraction des déplacements suffisants.

Ces conditions sont rarement atteintes dans les agglomérations françaises. Au centre généralement très resserré, de telles lignes resteront donc exceptionnelles hors des agglomérations les plus importantes.

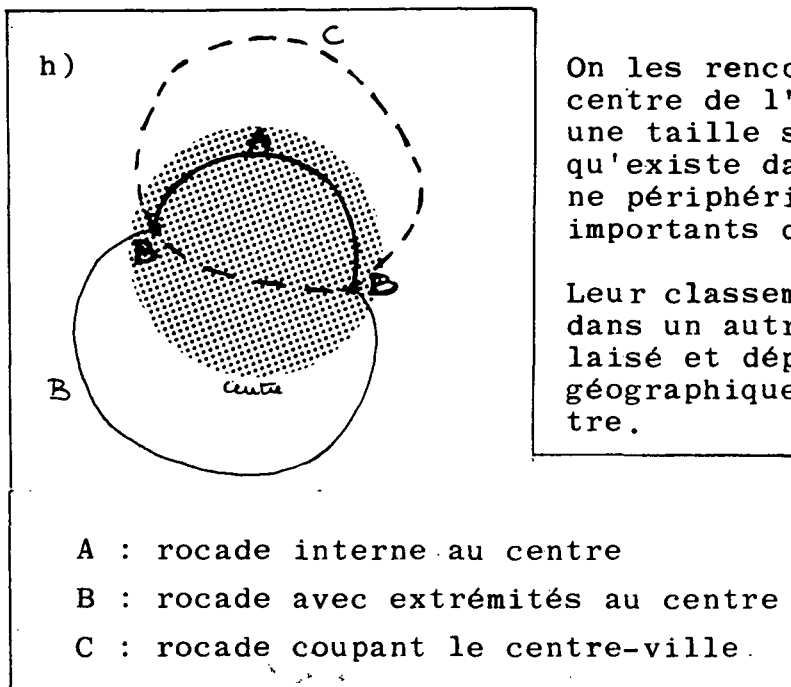
Les rocades qui permettent un trajet direct banlieue / banlieue sont en général de longueur importante, ce qui génère des difficultés d'exploitation.

Théoriquement, on peut penser que la charge des véhicules y est sensiblement constante, en pratique, il apparaît que comme les radiales les rocades assurent d'abord des déplacements liés à quelques générateurs importants situés sur leur tracé.

#### b/ Lignes mixtes

Aux tracés de rocades définis ci-dessus, on doit ajouter les lignes qui, possédant un caractère de rocade par leur tracé entièrement perpendiculaire aux grandes voies pénétrantes de l'agglomération, atteignent, traversent ou parcourent le centre (schéma h).

De telles lignes assurent donc à la fois des déplacements de rocade et des déplacements vers le centre (centre / centre pour le cas particulier des rocades internes au centre).

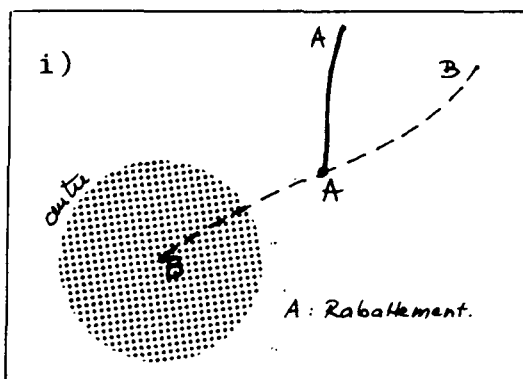


On les rencontrera lorsque le centre de l'agglomération possède une taille suffisante, et lorsqu'existe dans la première couronne périphérique des générateurs importants de déplacements.

Leur classement dans un type ou dans un autre est d'ailleurs malaisé et dépend de la définition géographique retenue pour le centre.

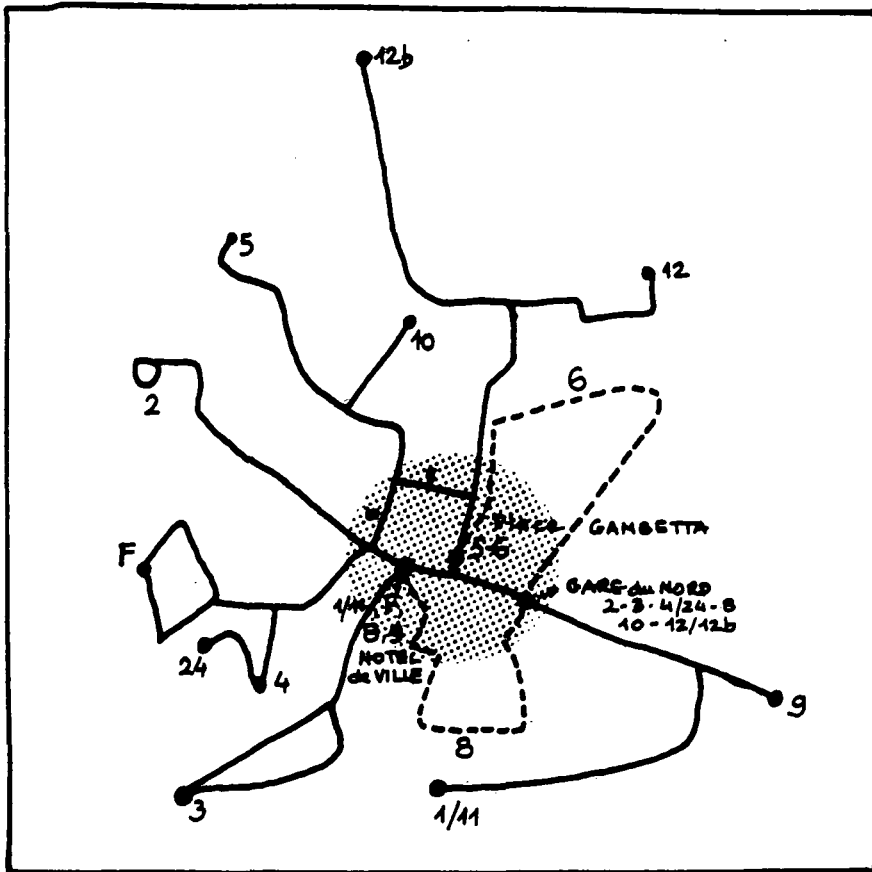
#### 1.4. Les lignes de rabattement

Il s'agit de lignes effectuant un trajet entièrement en périphérie dont l'un des terminus se situe à un noeud de transports en commun important (schéma i).



En général, ces lignes sont éloignées du centre et rabattent les voyageurs sur un axe majeur pour les transports en commun ; c'est la cas, par exemple, à Saint Etienne où existent des lignes d'autobus de rabattement vers la ligne de tramway.



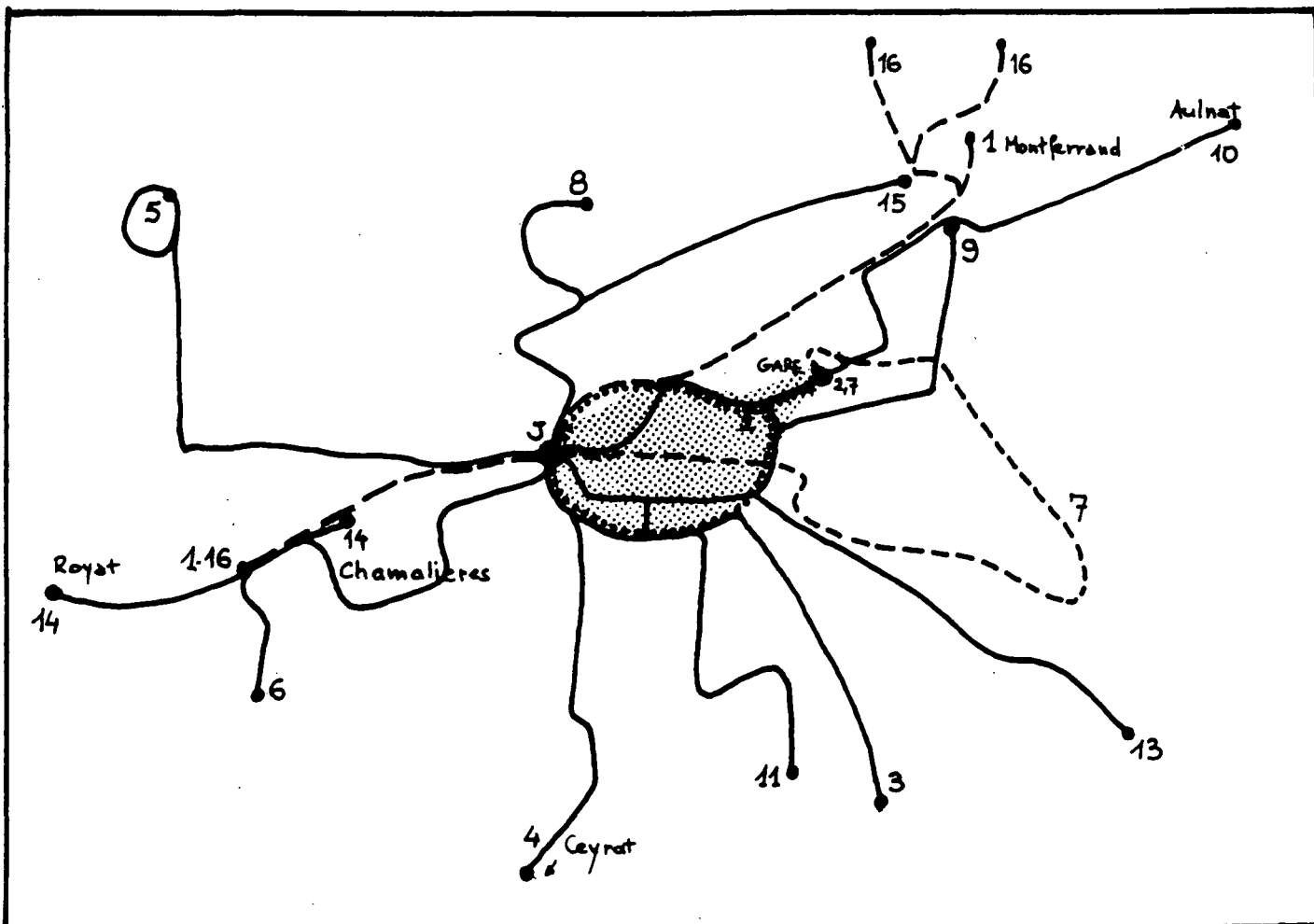


## AMIENS

9 lignes radiales 1/11, 2, 3, 4, 5, 9, 10, 12, F dont 5 desservent en tout ou partie l'axe central (2, 3, 4, 10, 12)

2 lignes "en épingle" 6 et 8.

Toutes les lignes atteignent ou parcourent le même axe central Hôtel de Ville/Gare du Nord.



## CLERMONT FERRAND

11 radiales, 2 diamétrales, une ligne "en épingle" (7), une rocade se rencontrent en un point commun (J). à l'exception de la radiale extérieure 4

### 1.5. Exemples de réseaux

Trois exemples de réseaux différents par leur qualité et leur évolution permettent d'illustrer simplement -car le nombre des lignes n'y est pas trop élevé- l'ensemble des types dégagés ci-dessus.

- . Amiens (en 1973) dont le réseau est à très forte dominante radiale (neuf lignes radiales sur onze) comporte deux lignes mixtes (rocales à extrémités centrales) qui desservent une double épingle entre la place Gambetta, l'hôtel de ville et la gare du Nord.

On remarquera que trois terminus centraux existent (hôtel de ville, gare du Nord, place Gambetta) mais les lignes radiales (F et 5 exceptées) desservent une partie importante du centre.

L'axe gare du Nord / hôtel de ville est ainsi atteint ou parcouru par toutes les lignes.

Les lignes mixtes 6 et 8 assurent les liaisons entre deux pôles centraux et les franges de la proche couronne mal desservies par les autres lignes ; la distance entre leurs parties radiales varie de 400 à 600 mètres.

- . Clermont-Ferrand (en 1973) réseau à forte dominante radiale présente un plus large éventail de types de lignes : 11 radiales, une rocade entourant le centre (ligne 2), deux lignes diamétrales proches (1 et 16) et une ligne mixte (7) en épingle (rocade à extrémités centrales) entre la gare et la place de Jaude, atteinte par toutes les lignes du réseau (les terminus des radiales sont disposés tout autour) sauf une.
- . Dans le cas de Besançon, les deux schémas présentés permettent de saisir les modifications apportées par la récente restructuration (1973).

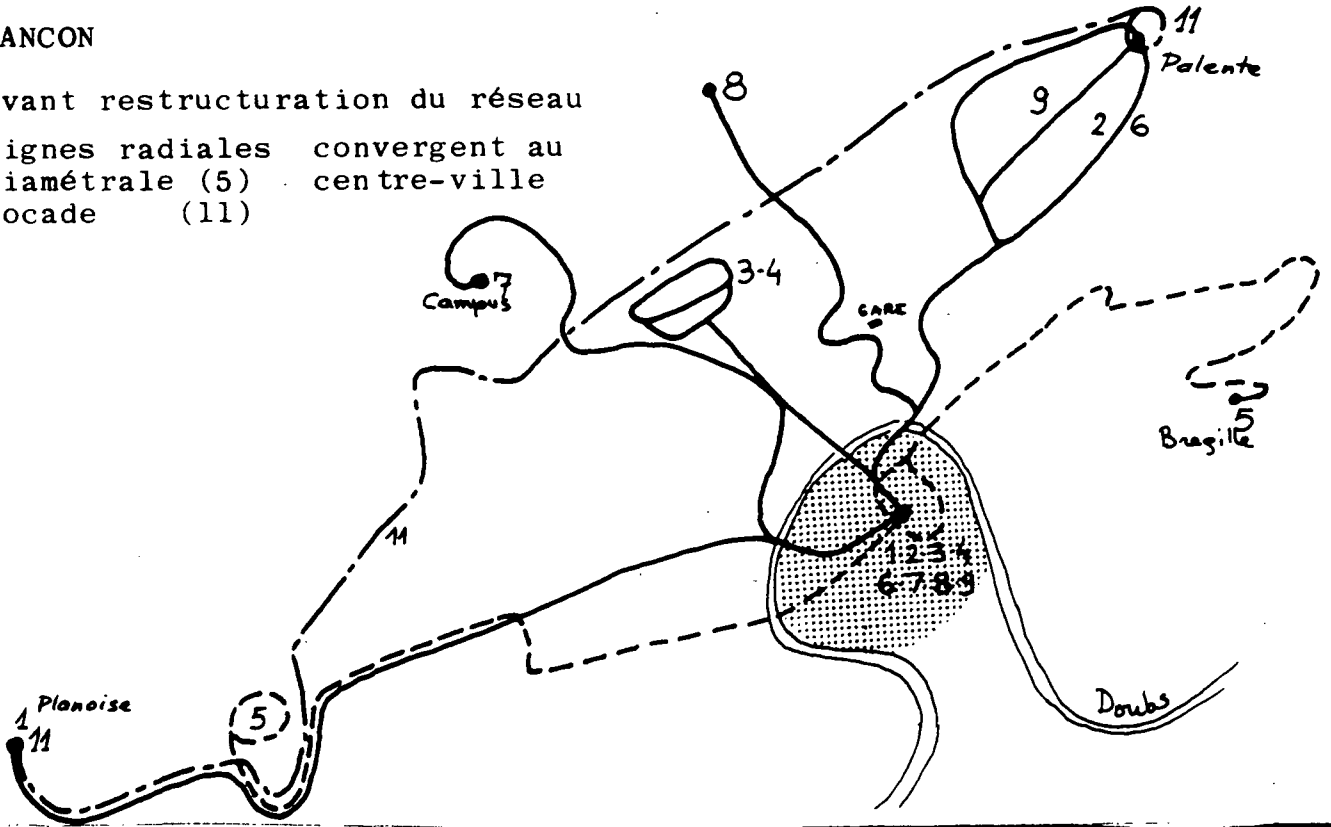
Le réseau antérieur comprenait :

- une ligne rocade (11)
- une ligne diamétrale (5)
- huit lignes radiales convergentes au centre-ville.

BESANCON

1. Avant restructuration du réseau

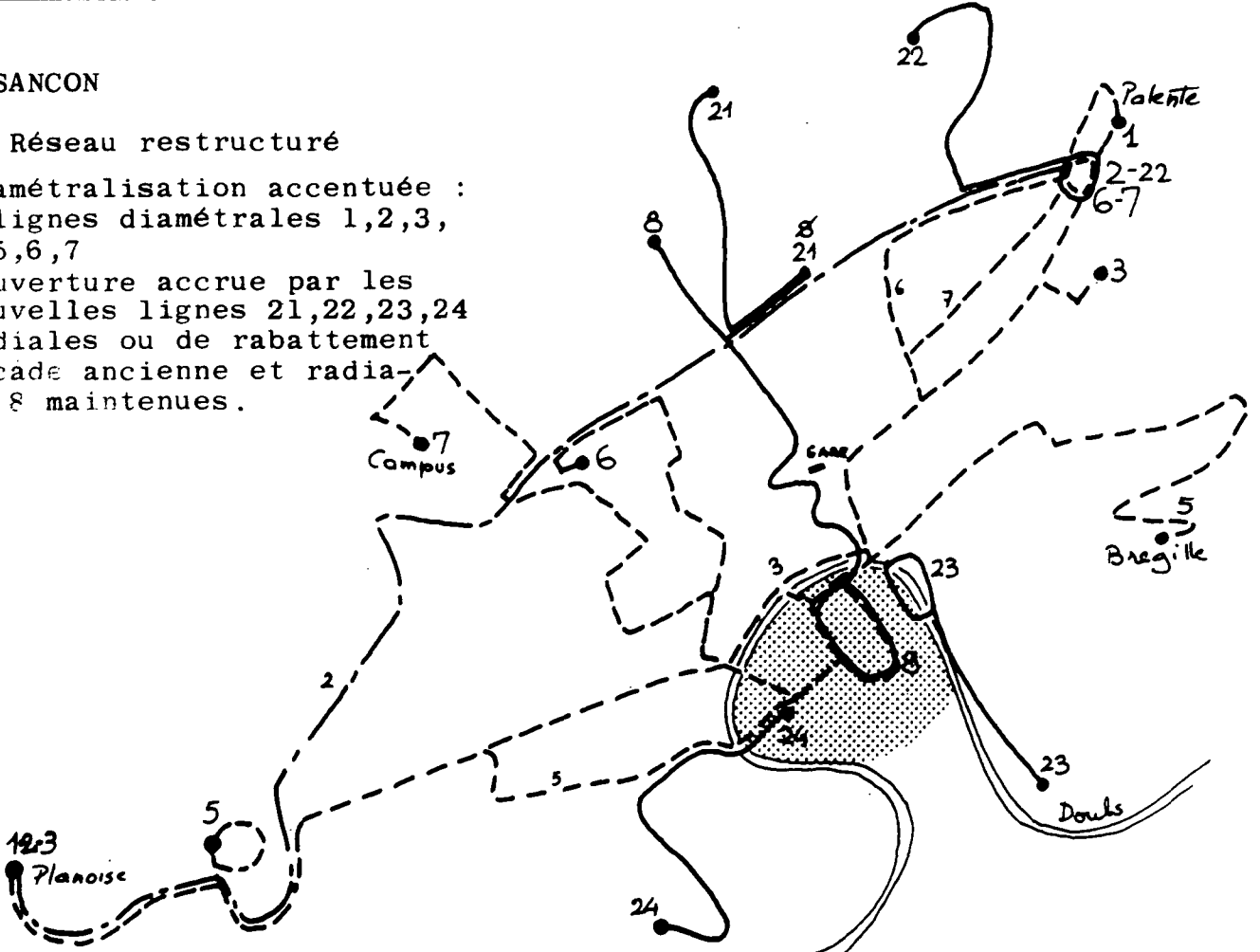
- 8 lignes radiales convergent au
- 1 diamétrale (5) centre-ville
- 1 rocade (11)



BESANCON

2. Réseau restructuré

- .diamétralisation accentuée :
- 6 lignes diamétrales 1,2,3, 5,6,7
- .couverture accrue par les nouvelles lignes 21,22,23,24 radiales ou de rabattement
- .rocade ancienne et radiale 8 maintenues.



La restructuration s'est traduite par :

- la diamétralisation des lignes radiales 1,2,3,4,6,7 et 9 qui forment maintenant les diamétrales 2, 3, 5, 6 et 7. Dans cette diamétralisation la couverture du réseau a été améliorée, ainsi la ligne 3 tangente le centre ancien (itinéraire non desservi antérieurement).
- la création de liaisons nouvelles desservant des urbanisations périphériques, les lignes créées sont du type radiale (23, 24 qui n'aboutissent toutefois qu'à la limite du centre) ou rabattement (les lignes 21 et 22 qui rejoignent des lignes radiales ou diamétrales)
- la ligne diamétrale et la rocade existante entre la Z.U.P. de Planoise et Palente ont été maintenues.

Ultérieurement, ont été créés deux lignes de desserte centrale (par mini-bus) destinées à faciliter les déplacements dans un centre où l'usage de l'automobile a été restreint.

Cette opération de restructuration résume bien les tendances des actions entreprises sur d'autres réseaux, actions généralement beaucoup moins importantes.

On y retrouve en effet la diamétralisation de lignes qui réduit les ruptures de charge et améliore l'accessibilité au centre, l'augmentation de couverture par modification du tracé des lignes et création de rabattements, enfin une sensible amélioration des fréquences offertes.

#### 1.6. Types de lignes et trafic

On conçoit a priori que les différences entre types de lignes dégagées ci-dessus se répercuteront sur leur trafic et les variables explicatives de ces trafics. Ainsi pour donner un exemple simple la charge d'une ligne de rabattement est logiquement liée d'abord à la population qu'elle dessert, alors que, dans une ligne radiale, population mais aussi emplois desservis interviendront.

Le modèle de prévision développé ci-après s'attachera à rechercher l'influence du type de liaison assurée sur les variables explicatives du trafic et les formules de prévision dégagées.

## 2. LE MODELE DIRECT MIS EN OEUVRE

### 2.1. Les variables retenues au niveau de chaque ligne

Avant d'aborder la formulation même des liaisons entre variables explicatives, nous précisons ci-dessous la définition des indicateurs retenus.

#### a/ Définition de la desserte d'une ligne

Pour évaluer la desserte assurée on a admis que la zone d'influence effective d'une ligne pouvait être définie comme une bande de 300 mètres de part et d'autre du tracé de cette ligne.

Cette moyenne retenue dans de nombreuses études françaises comme étrangères apparaît satisfaisante puisque compte tenu de la disposition effective des voies et de l'écart entre arrêts, elle inclut des distances de marche à pied, allant jusqu'à 400 à 500 mètres (1).

Nous avons adopté cette valeur qui permet de distinguer les bandes d'influence des différentes lignes dans les zones denses des villes étudiées ; aux extrémités des lignes, la distance de rabattement a été parfois augmentée pour inclure l'urbanisation locale, généralement desservie par une ligne unique de transports en commun.

Dans le cas où les deux sens de parcours d'une même ligne sont séparés, on a inclus dans la zone d'influence l'ensemble des points distants de moins de 300 mètres des deux itinéraires.

---

(1) cependant, les enquêtes effectuées -notamment dans les villes où l'offre de transports est faible- donnent parfois des distances de marche à pied supérieures : à Dunkerque, par exemple, on aurait 40 % de déplacements de plus de 500 mètres.

A l'intérieur de sa bande d'influence la desserte d'une ligne est définie par les données suivantes :

- population desservie,
- nombre des emplois desservis  
(on distinguera parmi ceux-ci les emplois tertiaires qui génèrent des déplacements d'affaires).
- points singuliers desservis : grands équipements, ruptures de charge de réseaux de transports en commun...

b/ Définition du service offert et de l'usage

La qualité du service est définie par :

- la fréquence aux différentes périodes de la journée,
- la vitesse des véhicules,
- la nature de ces véhicules (mode de traction, taille...).

Le type de la ligne est défini à partir des liaisons qu'elle assure (cf. chapitres précédents).

La fréquentation des lignes enfin, est définie par les données de voyageurs aux différentes périodes de la journée.

2.2. Formulation théorique

Si l'on retient pour une ligne donnée les notations suivantes :

a/ Variables de desserte

P : population desservie

E : emplois desservis se décomposant en  
     E<sub>1</sub> emplois secondaires  
     E<sub>2</sub> emplois tertiaires

P' : nombre des arrivants aux points de rupture de charge des autres réseaux de transports en commun

E' : nombre des partants aux points de rupture de charge des autres réseaux de transports en commun

b/ Variables définissant le service et l'usage

f fréquence (nombre de voyages durant la période étudiée)  
 v vitesse commerciale moyenne (durant la période étudiée)  
 T nombre de voyageurs (durant la période étudiée).

On utilisera l'indice J pour la journée entière, l'indice m pour le matin à l'heure de pointe, l'indice s pour la pointe du soir.

On peut alors exprimer le trafic d'une ligne d'autobus par une formule de la forme :

$$T = \varphi_1 (P, E_1, E_2, P', E') \varphi_2 (f) \varphi_3 (v)$$

formule adaptable à la période que l'on souhaite étudier en utilisant les valeurs de T, f, v relevées pendant cette période.

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$  sont des fonctions des variables retenues ;  
 on utilisera classiquement des fonctions linéaires pour  $\varphi_2, \varphi_3$ . Dans le cas de  $\varphi_1$ , les modèles couramment utilisés amènent à privilégier deux formes pour cette fonction :

. une forme linéaire

$$\varphi_1 = \mathcal{L}(P, E_1, E_2, P', E') = \alpha P + \beta E_1 + \gamma E_2 + \delta P' + \varepsilon E' + \omega$$

. un produit de fonction de la population d'une part, de l'emploi d'autre part :

$$\varphi_1 = \mathcal{N}(P_1, E_1, E_2, P', E') = (\alpha P + \beta P' + \gamma) (\delta E_1 + \varepsilon E_2 + \omega E' + \omega)$$

cette formule rappelant les modèles gravitaires.

On est ainsi amené aux types suivants d'expressions pour T :

$$T = \mathcal{L}(P, E_1, E_2, P', E') (af + b) (cv + d)$$

$$T = \mathcal{N}(P, E_1, E_2, P', E') (af + b) (cv + d)$$

Les différents coefficients constants seront calculés par des ajustements linéaires pratiqués sur les données statistiques connues.

Au cours de ce travail on distinguera les types de lignes à partir des éventuelles différences relevées dans la forme des relations dégagées et les variables explicatives introduites.

Une telle approche a été utilisée dans l'étude de restructuration du réseau des autobus parisiens (1), son succès amenait à tenter une démarche identique sur des villes de province ce qui constitue l'un des objets de la présente étude.

On remarquera que les formules présentées ci-dessus ne sont pas limitatives, d'autres expressions peuvent être testées en particulier celles qui introduisent la fréquence et la vitesse à des puissances différentes de l'unité.

---

(1) étude des restructurations du réseau urbain d'autobus de Paris - R.A.T.P. 1973



### 2.3. Le modèle proposé et les autres méthodes de prévision

Le modèle proposé présente un intérêt immédiat : son caractère direct; à partir des données d'urbanisation et d'offre de transports, il fait passer directement, donc simplement, à des volumes de déplacements par ligne .

#### a/ Modèle direct et démarche à quatre étapes

Ainsi se trouve écourtée la démarche classiquement pratiquée dans les études de réseaux de transports en commun -démarche que l'on peut résumer par les quatre étapes suivantes :

1. génération de l'ensemble des déplacements
2. distribution spatiale des déplacements sur un découpage géographique donné
3. répartition modale donnant les déplacements TC
4. affectation sur le réseau des déplacements TC.

Un feedback est nécessaire entre les étapes 3 et 4 de cette démarche si l'on veut prendre en considération l'influence primordiale du réseau proposé sur le choix modal donc l'usage des transports en commun.

La phase critique de la démarche réside dans la détermination de la répartition modale qui permet de prévoir le trafic des transports en commun. Les études menées sur les réseaux français (EPIT (1), restructurations de certains réseaux) ont conduit à diverses formules de prévision du choix modal.

Elles présentent des différences importantes avec le modèle direct testé ici.

---

(1) études préliminaires d'infrastructures de transport.

La démarche à quatre étapes semble, a priori, nettement plus riche en informations puisqu'en effet :

- elle permet d'évaluer les déplacements motorisés sur toutes les liaisons entre zones de l'aire géographique étudiée ;
- elle prend en compte l'ensemble des déplacements en transports en commun, déduits des déplacements motorisés après chiffrage de la répartition modale. Les trajets avec correspondance effectués sur le réseau sont ainsi inclus, ce qui n'est pas fait (ou difficilement) dans une approche directe ;
- elle semble traduire plus précisément le choix modal des individus grâce aux variables introduites dans ce calcul (1). Ces variables sont généralement choisies parmi les suivantes, définies pour chaque couple de zones :
  - . longueur de la liaison transports en commun considérée,
  - . temps généralisé nécessaire à cette liaison. Ce temps fait intervenir les rabattements, attente, parcours effectif, correspondance... pénalisés suivant leur caractère plus ou moins désagréable,
  - . comparaison des distances à parcourir en transports en commun ou en voiture particulière,
  - . revenu moyen des ménages.

Les résultats des enquêtes effectuées permettent généralement de définir la fonction de ces variables qui donne la répartition modale. Parmi ces variables, le temps généralisé est considéré comme l'une des plus satisfaisantes car il rend compte de la totalité des déplacements mieux que les fréquences et vitesses par ligne.

Toutefois, la complication théorique de ces modèles ne doit pas trop faire illusion ; ils sont en effet, le plus souvent, utilisés sous une forme très simple. On s'en tient, en effet, à la définition de quelques classes pour les variables et de valeurs correspondantes de la répartition modale. Globalement, il est ainsi possible de restituer correctement pour une année de référence donnée la clientèle globale d'un réseau, mais au niveau plus fin des lignes, les résultats obtenus demeurent généralement peu précis.

L'utilisation des formules théoriques pour simuler une situation après restructuration du réseau est évidemment

---

(1) quelques exemples précis de formulation figurent en annexe 3.

aléatoire. Les lois dégagées sur la situation de référence peuvent se trouver d'autant plus modifiées que le niveau de l'offre et les conditions de circulation automobile seront elles-mêmes modifiées, ce qui influera sur le choix modal, mais aussi peut-être sur la mobilité, c'est-à-dire la génération des déplacements, première étape de calcul.

Ces limites s'appliquent sans doute au modèle direct qui offre de son côté l'avantage de sa simplicité théorique mais également une meilleure approche de la couverture du réseau. En effet, on ne raisonne plus ici sur des zones issues d'un découpage mais sur les bandes d'influence effectives des lignes de transports en commun (1). Enfin, le modèle direct, appliqué au niveau de la ligne rend bien compte de la qualité de l'offre propre à chaque ligne.

#### b/ Modèle direct et élasticité

Le modèle direct étudié s'apparente à une autre méthode directe de prévision de clientèle utilisée dans les études de transports en commun : celle qui se fonde sur les élasticités pour calculer des variations de trafic.

Le principe en est le suivant ; si l'on peut déterminer à partir de données connues l'élasticité du trafic à une variable, la fréquence par exemple, le trafic nouveau obtenu à la suite d'une modification de cette fréquence sera donnée par :

$$T = T_0 \left( 1 + e_f \frac{f - f_0}{f_0} \right)$$

$e_f$  : élasticité à la fréquence -  $T_0$  ,  $f_0$  : valeurs initiales du trafic et de la fréquence

---

(1) cette notion de couverture effective a toutefois été récemment introduite dans certaines variantes du modèle à quatre étapes, au niveau de la prévision du choix modal. (voir ci-après en annexe 3)

Dans la pratique on simplifie encore en supposant souvent l'élasticité fixe dans un certain domaine de variation de la fréquence. La formule ci-dessus devient alors :

$$T = A + Bf$$

où A et B sont des fonctions indépendantes de la fréquence. Cette dernière formule nous ramène à certaines des équations proposées ci-avant dans l'exposition théorique du modèle direct.

Il faut cependant noter qu'il est difficile en pratique de dégager de telles élasticités pures.

Dans la plupart des cas, plusieurs variables explicatives du trafic varient simultanément, fréquence et tarif, ou fréquence et vitesse par exemple. De plus, ces équations simples ne peuvent intégrer les effets d'autres types d'actions susceptibles d'attirer des voyageurs : modernisation des véhicules, campagnes publicitaires par exemple.

On retiendra que le modèle direct, comme les approches par élasticité, ne donnera de résultats exploitables que dans des domaines limités de valeurs pour les variables, notamment la fréquence.

Il sera difficile d'extrapoler les résultats au-delà des domaines connus limités par les valeurs extrêmes des données recueillies.

### 3. PRESENTATION DES CALCULS EFFECTUES

#### 3.1. La collecte des données et ses problèmes

##### a/ Les variables de desserte

Le calcul des variables de desserte est fondé sur les résultats du recensement de 1968. Il a donné lieu à un travail préliminaire très important.

Les populations desservies peuvent être idéalement calculées en recomposant les bandes d'influence des lignes d'autobus à partir des ilots INSEE qu'elles contiennent. Ce travail, effectué sur les petites agglomérations, aurait été énorme sur les plus grandes d'entre elles. On a donc utilisé dans ce cas des découpages établis par les services locaux de l'Equipement -découpages formés de plus de 100 zones à Lyon et Marseille. Lorsque la bande desservie traverse l'une de ces zones, on lui affecte une population proportionnelle à la densité de la zone et à la surface de la bande de desserte dans la zone. Il a été tenu compte, dans toute la mesure du possible, des surfaces à neutraliser (grands équipements, espaces non urbanisés...).

Pour les données d'emploi, on a procédé de même. Les données à l'ilot n'existent qu'exceptionnellement, l'utilisation des découpages mentionnés ci-dessus, malgré le soin apporté, conduit dans ce cas à des imprécisions qu'on ne peut chiffrer mais qui sont certainement importantes car dans une zone donnée, la répartition des emplois peut être très fortement hétérogène.

Les données concernant les arrivants et les partants aux points de ruptures de charges d'autres réseaux se ramènent ici aux mouvements enregistrés dans les gares S.N.C.F. On n'a pas pu en disposer dans tous les cas, cependant ces valeurs restent très faibles au regard des masses d'emploi et de population desservies par une ligne, elles interviennent donc peu dans les résultats. Par ailleurs, dans les villes étudiées, la gare S.N.C.F. est souvent un point central atteint par de nombreuses lignes (parfois toutes), la modification marginale que l'on a négligé apparaît donc peu susceptible de créer des différences entre les lignes.

b/ Variables définissant le service et l'usage des transports en commun

Le calcul des indicateurs définissant le service et l'usage des réseaux s'est heurté à plusieurs difficultés importantes.

Tout d'abord le souci de cohérence avec les données d'urbanisation amenait à rechercher des informations sur l'année de référence 1969, 1968 étant exclue en raison des grèves.

Or, on a constaté qu'en cinq ans de multiples transformations, d'importance très variable, avaient été effectuées. Si les données globales sur le trafic des lignes et les kilomètres véhicules parcourus dans l'année ou par mois sont aisément disponibles, les tracés précis des lignes et leurs fréquences exactes, au long de la journée mais surtout lors des pointes, sont parfois très difficiles à rétablir. Les mesures de vitesse, elles aussi, n'existent pas avec la même précision ou la même exhaustivité sur tous les réseaux.

Enfin, les grandes enquêtes "origine / destination" sur les réseaux de transports en communs étaient très rares à cette époque, les données existantes provenant soit d'enquêtes lourdes soit d'initiatives propres à l'exploitant seront donc souvent incomplètes, le retour aux sources étant aujourd'hui impossible.

L'aide précieuse fournie par les exploitants contactés, qui leur a souvent demandé un travail de recherche et de dépouillement, nous a cependant permis de regrouper un ensemble de statistiques important permettant d'effectuer les calculs que nous décrivons ci-dessous.

Au-delà des difficultés de collecte, il était nécessaire de traduire dans les données des situations hétérogènes dues à la présence de parcours partiels et d'arborescences sur certaines lignes; la fréquence étant alors différente suivant les tronçons d'une même ligne. On a cherché alors à ramener ces cas particuliers à une ligne "équivalente" parcourue avec la fréquence moyenne observée. Dans la plupart des cas l'importance des branches est réduite quant aux populations et emplois desservis, et les divers moyens imaginables pour réduire la ligne réelle à une ligne simple

équivalente influent peu sur les résultats.

Lorsqu'il n'en est pas ainsi, nous avons été amenés soit à adapter les données en fonction des calculs en cours, soit à exclure les lignes par trop complexes. Des indications précises sur les méthodes utilisées seront données dans les différentes monographies.

c/ Données utilisées dans la première série de calculs

Les données disponibles nous ont amenés à choisir, pour la première série de calculs, cinq villes très variables par leur taille et la qualité de leurs réseaux, il s'agit de : Pau, Dunkerque, Grenoble, Lyon et Marseille.

Leur "qualité" mesurée par l'offre et l'usage constatés est faible pour les deux premiers, forte pour Lyon et Marseille. Nous résumons ici rapidement quelques caractères de ces données.

- PAU . réseau formé de 12 lignes radiales  
 . données disponibles sur les charges et fréquences en moyenne sur l'année 1969
- DUNKERQUE . réseau formé de 6 lignes (3 radiales, 3 diamétrales)  
 . données disponibles issues d'une enquête CETE sur les charges et les fréquences pour chaque période horaire tout au long de la journée
- GRENOBLE . réseau formé de 13 lignes (1 diamétrale, 12 radiales)  
 . données issues d'enquêtes du CETE concernant les charges et fréquences quotidiennes et sur une période de pointe (16 heures / 19 heures) en 1970
- LYON . données concernant 52 lignes du réseau en 1969  
 Les données de l'exploitant fournissent les charges et les fréquences moyennes en février 1969. On dispose de plus d'une enquête de l'I.E.E. sur la pointe du soir pendant une journée de ce mois

**MARSEILLE**

. données de l'exploitant concernant 62 lignes du réseau indiquant les charges et les fréquences en moyenne sur toute l'année 1969, mais aussi sur un jour choisi de cette année pour lequel sont précisées en détail les données de la pointe.



### 3.2. Formules de prévision introduisant à la fois les variables de desserte et de service

Dans un premier temps nous avons recherché par des régressions linéaires les formules de prévision du trafic prenant en compte à la fois les caractéristiques du service et les variables de desserte.

#### a/ Remarques préliminaires

##### al. Liaison entre variables de desserte :

Comme c'était le cas au niveau des agglomérations tout entières les variables définissant population, emploi total et emploi tertiaire desservis par une ligne d'autobus sont fortement liées entre elles. Cette liaison -quasi linéaire- sur le couple emplois totaux / emplois tertiaires est attestée par les coefficients de corrélation ci-dessous :

coefficient de corrélation entre :	pop et emploi	pop et tertiaire	emploi total et tertiaire	nbre lignes	seuil à 1 %*
Lyon	0,91	0,85	0,98	43	0,38
Marseille	0,64	0,61	0,95	53	0,34
Grenoble	0,92	0,92	0,92	12	0,66
Dunkerque	0,44	0,56	0,94	6	0,83

La liaison entre emplois totaux et tertiaires s'explique par le fort rejet en périphérie des agglomérations des principales concentrations d'emplois secondaires et la desserte par ramassage particulier de ces emplois qui échappent ainsi souvent aux transports en commun. Dans les bandes de desserte des lignes d'autobus on trouvera donc une forte majorité d'emplois tertiaires, notamment dans les agglomérations les plus petites. Ainsi, à Dunkerque, ville à fort caractère industriel, on relève dans les bandes desservies par les lignes d'autobus 75 % d'emplois tertiaires.

---

\* Lorsque le coefficient de corrélation excède ce seuil, la liaison a 1 % de chances, au maximum d'être due au hasard.

La liaison entre nombre d'habitants et emplois desservis est a priori plus surprenante. Ici, l'importance des troncs communs et la méthode de calcul utilisée sur les plus grandes villes (Lyon, Marseille) ont sans doute contribué à la renforcer.

Les liaisons statistiques dégagées ici auront des conséquences importantes sur les résultats obtenus. En effet, et comme c'était le cas dans la première partie de cette recherche, consacrée aux réseaux, les régressions dégageront généralement une seule des variables de desserte retenues (population, emplois totaux, emplois tertiaires) celle qui est la mieux liée au trafic de l'ensemble des lignes étudiées ; les autres variables n'apportant qu'une très faible information supplémentaire seront rejetées lors des régressions linéaires opérées.

#### a2. Elimination de la vitesse commerciale moyenne

Lors des différents calculs effectués la vitesse exprimée par une vitesse commerciale moyenne de la ligne n'a jamais permis d'améliorer les ajustements statistiques. Comme dans l'étude des réseaux, la vitesse a donc été éliminée puisque sa contribution à l'explication du trafic était nulle (on peut donner deux exemples : à Marseille la corrélation vitesse trafic est de 0,05, à Grenoble on obtient une valeur négative mais bien entendu sans signification statistique).

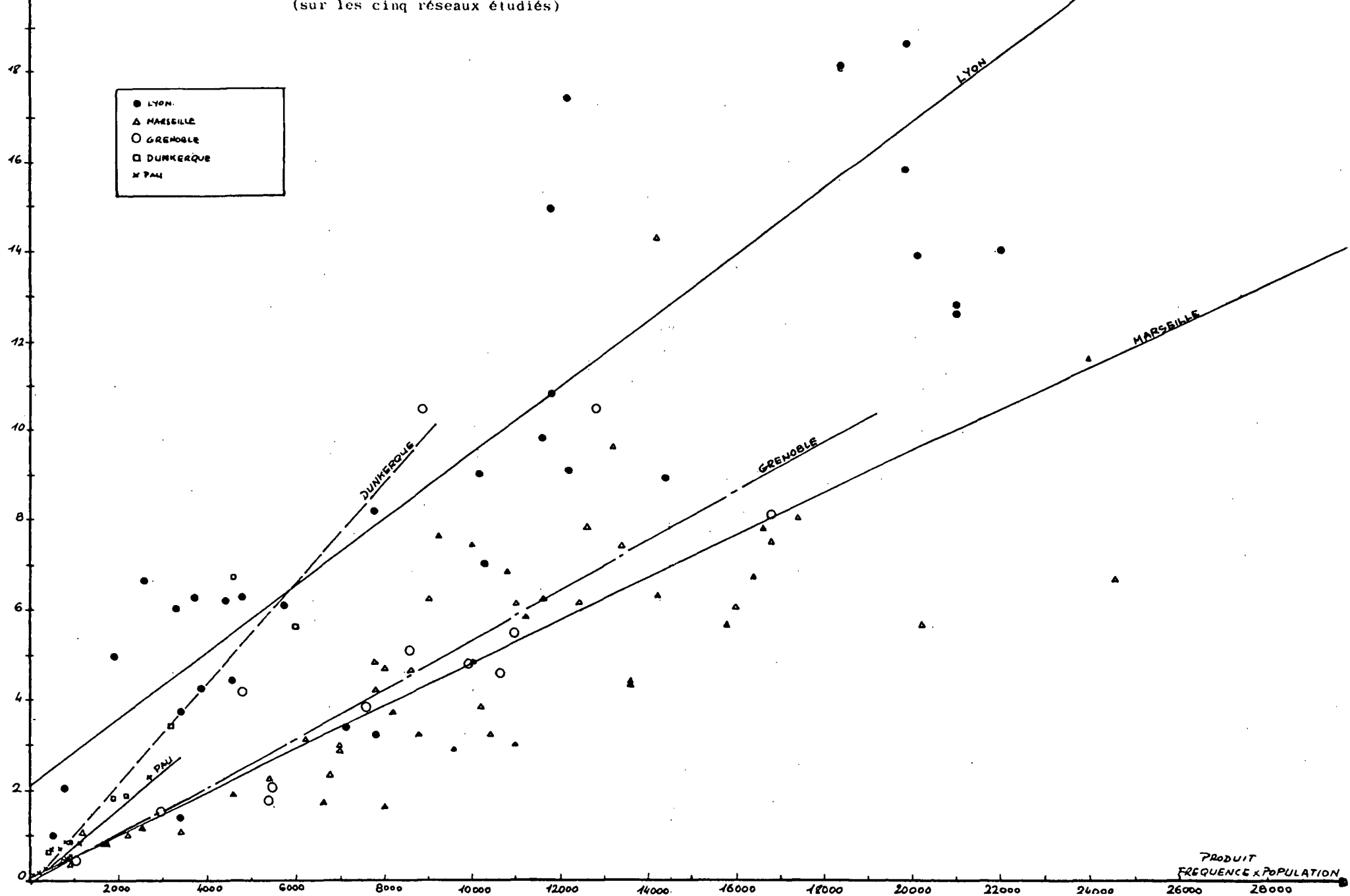
Il semble cependant qu'une amélioration de la vitesse -donc un gain de temps pour les voyageurs- soit un élément susceptible d'attirer de la clientèle vers les transports en commun. Dès lors, plusieurs hypothèses peuvent être formulées pour expliquer le résultat obtenu :

- 1) la part des captifs est très importante d'où une indifférence forcée à la vitesse,
- 2) sur les réseaux étudiés, et notamment les plus petits la vitesse demeure souvent à un niveau acceptable sur de nombreuses lignes, la sensibilité à la vitesse est donc très limitée, c'est essentiellement la fréquence qui importe,
- 3) enfin, on ne saurait oublier que les recueils statistiques des vitesses moyennes peuvent être imprécis et hétérogènes, ce qui réduit la signification réelle des chiffres utilisés et leur pouvoir d'explication du trafic.

Nombre de Voyageurs/jour (milliers)

Figure 19 PRODUIT FREQUENCE . POPULATION ET NOMBRE DES VOYAGEURS QUOTIDIENS (sur les cinq réseaux étudiés)

- LYON
- ▲ MARSILLE
- GRENOBLE
- DUNKERQUE
- × PAU



b/ Formules de régression obtenues .

La vitesse éliminée, la recherche s'est orientée vers des formules d'explication du trafic du type :

$$T = \alpha f (\alpha P + \beta E_1 + \gamma E_2) + \delta$$

$$T = \alpha_1 fP + \alpha_2 fE_1 + \alpha_3 fE_2 + \beta$$

Une telle approche, menée au niveau de chacune des cinq agglomérations, en y supprimant les cas limites trop particuliers, aboutit aux résultats suivants :

- . une seulement des variables de desserte est maintenue, les autres sont rejetées dans les approches par régressions multiples pour les raisons évoquées au paragraphe al. ci-dessus. Dans le seul cas de Marseille, on obtient des combinaisons significatives des variables de desserte. On remarquera cependant que, dans la plupart des cas, les formules d'explication du type ci-dessus retenant une seule variable de desserte et la fréquence donnent toutes des résultats statistiquement satisfaisants.
- . dans les cas de Grenoble et Dunkerque, la meilleure variable de desserte est l'emploi tertiaire, ceci paraît logique car en plus des déplacements domicile / travail qu'ils engendrent les emplois tertiaires attirent fortement les déplacements de personnes. Dans ces deux cas, la population permet cependant une explication d'une qualité très voisine de celle fournie par l'emploi tertiaire.

A Lyon et Marseille, c'est par contre la population qui apparaît comme la meilleure variable de desserte -pour ce type de formules au moins- tant sur la journée entière que sur les périodes de pointe étudiées. Sans doute faut-il voir là la conséquence d'une répartition plus homogène de l'emploi dans l'agglomération.

Nous donnons ci-après les formules obtenues sur la journée entière, les résultats de pointe dont la qualité n'est jamais très nettement supérieure sont reportés en annexe 4 pour ne pas trop alourdir l'exposé.

## Formules de régression obtenues sur la journée entière (1)

		variance expliquée
Lyon	$T_j = 0,75 \cdot 10^{-3} f_j \cdot P + 2100$	85 %
Marseille	$T_j = 0,48 \cdot 10^{-3} f_j \cdot P + 71$	63 %
Grenoble	$T_j = 0,56 \cdot 10^{-3} f_j \cdot P - 210$	77 %
	$T_j = 1,50 \cdot 10^{-3} f_j \cdot E_2 - 170$	80 %
Dunkerque	$T_j = 1,11 \cdot 10^{-3} f_j \cdot P - 42$	89 %
	$T_j = 5,00 \cdot 10^{-3} f_j \cdot E_2 - 681$	91 %
Pau	$T_j = 0,81 \cdot 10^{-3} f_j \cdot P$	91 %

Par la méthode de calcul choisie, ces formules assurent, qu'au niveau de chacune des agglomérations, on retrouve la clientèle du total des lignes étudiées. Par contre, au niveau de chacune des lignes les écarts entre trafics observés et déduits de la formule théorique varient généralement de 0 à 40 %, ce qui les rend comparables aux écarts obtenus à partir de démarches plus complexes par le nombre des variables retenues. Dans les cas extrêmes -lignes très fortes, ou très faibles, des différents réseaux- on peut dépasser de tels écarts notamment pour les valeurs les plus faibles de la variance expliquée (Marseille).

Si l'on compare les coefficients appliqués au produit fréquence / population, et les constantes d'ajustement une très forte dispersion des réseaux apparaît (voir aussi la figure ci-jointe), dispersion qui traduit les écarts rencontrés au niveau des données d'origine. En effet,

---

(1) la fréquence est le nombre total des passages quotidiens, dans les deux sens, sur la ligne

le coefficient directeur s'élève d'une part pour les faibles produits fréquence.trafic dès à une densité limitée (Pau, Dunkerque), il est également important pour les lignes à fort trafic (Lyon). La constante d'ajustement est délicate à interpréter, elle traduit en quelque sorte un niveau minimal de qualité et donc de trafic pour les lignes du réseau; elle garde une valeur faible sauf dans le cas de Lyon où sa valeur est importante. Il apparaît clairement que de telles formules ne sont pas généralisables sur un groupe d'agglomérations, c'est là la conséquence directe de la forte dispersion des données.

On peut approfondir la recherche des formules d'explication du trafic en recherchant les différences introduites par une séparation des lignes suivant leur type. La forte domination des lignes radiales ne permet de pratiquer cette approche que sur les cas de Lyon et Marseille, en effet, toutes les lignes de Pau sont radiales, à Dunkerque et à Grenoble on pourra seulement éliminer les quelques diamétrales existantes pour ajuster une formule sur les seules lignes radiales. C'est essentiellement le réseau de Lyon, sur lequel on dispose d'échantillons des différents types de lignes, qui permet d'énoncer quelques premiers résultats intéressants. La meilleure variable de desserte varie en effet logiquement avec le type de ligne : population ou emploi tertiaire sur les radiales et diamétrales, emploi sur les rocades qui desservent souvent de grandes masses de population et peu d'emplois et d'emplois tertiaires en raison du tracé adopté, population enfin sur les lignes de rabattement. Les résultats numériques sont reportés ci-après en annexe 4, ils demeurent embryonnaires car pratiquement limités au seul exemple Lyonnais.

c/ Limites des formules introduisant la fréquence et les variables de desserte

Dès ce stade de l'étude, un certain nombre de critiques peuvent être faites sur les formules dégagées.

cl. Stabilité :

S'agissant de résultats obtenus par des techniques de statistique classique, il paraît important d'observer si ces formules sont stables lorsque l'on retire des données

certaines points très particuliers.

Ainsi, par exemple, le réseau de Pau est marqué par la présence d'une ligne qui représente à elle seule plus du quart du trafic total des 13 lignes du réseau. Ceci conditionne fortement la formule de régression dégagée; en effet, par suppression de cette ligne, on aboutirait à la formule :

$$T_j = 0,71.10^{-3} f_j \times P + 103$$

(variance expliquée 62 %)

différente par les valeurs numériques et surtout par une qualité d'ajustement nettement moindre.

On peut se livrer à un tel travail sur les autres réseaux - cela a été fait dans les études de détail séparées - les variations des coefficients directeurs dus à quelques points limites des nuages étudiés sont de l'ordre de 15 à 20 %.

## c2. Elasticité à la fréquence au niveau de la ligne :

La connaissance d'une formule simple liant trafic, fréquence et une variable de desserte sous la forme :

$$T = Af + b$$

donne l'idée de rechercher l'élasticité du trafic à la fréquence (1), qui s'écrit simplement en supposant le tracé de la ligne inchangé.

$$e_f = \frac{1}{1 + b/Af}$$

---

(1) un tel travail a été effectué sur le réseau d'autobus parisien avec un certain succès, les élasticités prévues se rapprochant des valeurs ainsi calculées théoriquement (cf. R.A.T.P. Restructuration du réseau d'autobus parisien).

Si  $b$  est positif, l'élasticité sera croissante avec la fréquence, ce qui paraît surprenant; de plus, on a vu que le coefficient  $b$  représentait, en général, des caractéristiques minimales communes aux lignes du réseau traité, le plus souvent,  $b$  demeure faible par rapport au produit  $Af$  et l'élasticité obtenue est voisine de 1. Elle dépasse 1 si  $b$  est négatif. De telles valeurs paraissent très élevées comparées à celles relevées lors d'expériences menées sur les réseaux français de province. Seul le cas de Lyon échappe à ces considérations sur l'élasticité, dans cette ville le rapprochement des données éventuellement relevées sur le réseau et des formules théoriques pourrait être intéressant.

### 3.3. Critique du modèle direct

A l'évidence, la principale variable à laquelle le trafic observé est lié, tant sur la journée entière que sur les périodes de pointe, est la fréquence offerte. Ici encore, nous exprimons cette liaison par les coefficients de corrélation relevés, tous très forts :

coefficients de corrélation fréquence/trafic	journée	pointe	seuil à 1 %
Lyon	0,87	0,86	0,38
Marseille	0,91	0,92	0,34
Grenoble	0,90	0,97	0,66
Dunkerque	0,98	0,95	0,83
Pau	0,98	-	0,64

Ainsi, parmi toutes les données utilisées, c'est la fréquence qui s'avère la mieux susceptible d'expliquer par une seule variable le trafic. Ce résultat logique est à rapprocher de la faible liaison, constatée entre variable de desserte des lignes et variables définissant l'usage, apparente dans les tableaux ci-après pour la journée entière (les résultats de pointe sont reportés dans l'annexe 4).



tableau des cor- rélations entre : (journée entière)	fréquence et population	fréquence et tertiaire	trafic et pop.	trafic et tertiaire
Lyon	0,59	0,67	0,66	0,69
Marseille	0,22	0,21	0,22	0,18
Grenoble	0,49	0,60	0,45	0,61
Dunkerque	0,71	0,71	0,66	0,62
Pau	0,34	-	0,37	-

On relève ici des valeurs significatives dans le seul cas de Lyon.

On peut, dès lors, se demander si dans les formules de prévision exploitées au paragraphe précédent l'apport des variables de desserte était vraiment décisif, si la qualité des formules de prévision obtenues n'était pas, pour la plus grande part l'effet de la seule liaison entre trafic et fréquence, variables liées l'une à l'autre par une causalité circulaire en raison de l'adaptation permanente de l'offre à l'usage constaté.

Pour répondre à cette question, on a ajouté aux formules de prévision précédemment développées une variable explicative supplémentaire : la fréquence qui n'est plus cette fois multipliée par une variable de desserte ; on est donc amené à tester par régression linéaire les formules suivantes :

$$T = A \left[ f (\alpha P + \beta E_1 + \gamma E_2) + Bf + c \right]$$

ou

$$\left\{ \begin{array}{l} T = Kf^\alpha P^\beta \\ \text{Log } T = \alpha \text{ Log } f + \beta \text{ Log } P + \lambda \end{array} \right.$$

Les calculs effectués rejettent toutes les variables à l'exception de la fréquence. On débouche donc sur des formules d'explication par la seule fréquence. Cette affirmation doit cependant être nuancée dans le seul cas de Lyon où l'apport des variables de desserte est positif mais très réduit par rapport à l'explication obtenue pour la seule fréquence.

Deux types de formules de prévision ont été obtenus, le trafic  $y$  apparaît soit comme une fonction linéaire, soit comme une fonction puissance de la fréquence. Les résultats sont donnés ci-dessous pour la journée entière. L'étude de la pointe et les séparations suivant le type de ligne sont reportées en annexe 4.

Formules linéaires :

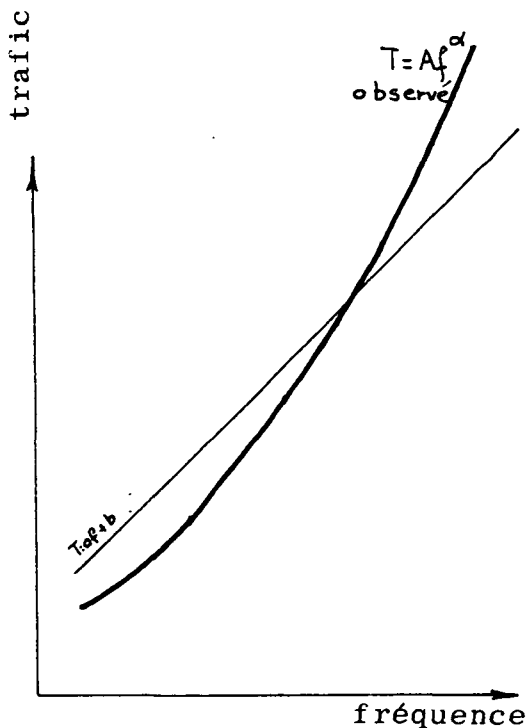
Lyon	$T_j = 75,5 f_j - 4.10^3$	variance expliquée	85 %
Marseille	$T_j = 36,4 f_j - 580$	"	81 %
Grenoble	$T_j = 45,5 f_j - 1570$	"	81 %
Dunkerque	$T_j = 64,7 f_j - 1420$	"	96 %
Pau	$T_j = 23,7 f_j - 97$	"	91 %

Fonctions puissance :  $T = Af^\alpha$

	valeur de l'exposant	variance expliquée sur les Log
Lyon	1.43	86 %
Marseille	1.03	86 %
Grenoble	1.35	95 %
Dunkerque	1.44	98 %
Pau	1.26	87 %

Les fonctions puissance permettent généralement une meilleure explication et présentent une meilleure stabilité.

On fera peu de commentaires sur les formules obtenues. Sous la forme linéaire elle traduisent un remplissage moyen au-delà d'un niveau de fréquence minimum assurant que  $T_j$  est positif. Sous la forme exponentielle on voit apparaître une croissance du trafic plus que proportionnelle à la fréquence.



Ceci s'explique simplement par les influences particulières des faibles et fortes fréquences : aux fortes fréquences les véhicules sont fortement remplis, le rapport trafic/fréquence est alors nettement supérieur à la moyenne figurée par la droite sur le graphique ci-contre ; aux faibles fréquences le remplissage est faible en général et la nécessité de maintenir un service minimal empêche de diminuer l'offre, ce qui permettrait un meilleur remplissage. Ces deux particularités du rapport trafic/fréquence expliquent la meilleure qualité d'ajustement de la fonction puissance ici.

On note par ailleurs que les formules fondées sur la fréquence sont assez stables lorsque l'on supprime les points limites. Pour reprendre l'exemple de Pau évoqué au paragraphe ci-dessus, la suppression de la ligne la plus importante modifie de moins de 5 % les coefficients de la régression :

$$\text{Log } T = \alpha \text{ Log } f + \lambda$$

De telles formules, expliquant le trafic par la seule fréquence, demeurent évidemment uniquement descriptives. Les équations obtenues expriment un état d'équilibre actuel sur le réseau concerné, on ne saurait les appliquer brutalement en cas de modification importante sur une ou plusieurs lignes de ce réseau. Cependant, lors de l'étude d'un réseau, cette recherche d'une simple relation entre trafic et fréquence peut se révéler très utile, elle permet en effet de dégager des anomalies par rapport à la droite de régression : lignes très chargées pour une fréquence insuffisante, zones mal desservies, etc...

### 3.4. Conclusion sur les études au niveau de la ligne

Globalement, on peut résumer ainsi le problème à résoudre et la méthode statistique utilisée : il y a entre les variables trafic et fréquence une causalité circulaire due à l'adaptation permanente pratiquée (plus ou moins, bien sûr) par les exploitants des réseaux. Si l'on résume par D les variables de desserte, on a cherché par des méthodes statistiques les solutions du système d'équations (I) :

$$(I) \quad \begin{cases} T = \Psi(D, f) \\ f = \Psi(D, T) \end{cases}$$

Ces deux équations sont en fait, dans la recherche effectuée des équations linéaires sur la fréquence, les variables de desserte et les produits fréquence x desserte ou sur les logarithmes de ces variables. Classiquement, un tel système se résoud en pratiquant deux régressions linéaires successives, on exprime d'abord la fréquence en fonction des seules variables de desserte :  $f = \Psi_1(D)$ , puis on reporte les valeurs ainsi prévues de la fréquence dans la première équation du système I, ce qui permet d'obtenir la formule de prévision du trafic par une seconde régression. Une telle méthode théorique est vouée à l'échec sur les données utilisées en raison des trop faibles liaisons linéaires entre variables de desserte et variables de réseau mentionnées ci-dessus.

Ceci nous oblige à nous limiter à des régressions simples pour expliquer le trafic. Les descriptions des réseaux qui en résultent apparaissent satisfaisantes au plan de la qualité statistique.

Le trafic ainsi prévu reste cependant très tributaire de la seule fréquence, la valeur d'explication n'étant généralement pas augmentée par l'introduction d'autres variables. En fait, les meilleures formules obtenues utilisent la seule fréquence, car cette variable a déjà intégré, d'une certaine manière, d'autres données propres à la ligne : desserte mais aussi choix modal (donc caractéristiques socio-économiques et contraintes diverses liées au relief, etc...).

Quant aux formules de prévision à partir d'un produit fréquence x desserte. Leur valeur descriptive est encore plus limitée, les exemples de Pau et Marseille l'ont montré. A Marseille, par exemple, le réseau est en fait fortement conditionné par le site qui offre peu de possibilités autres que des tracés radiaux avec de nombreux troncs communs. Le taux de correspondance sur le réseau est très élevé. Les données d'offre et d'usage sont pour toutes ces raisons détachées des données de desserte recueillies, trop systématiquement pour un tel cas, au long de la ligne.

Toutes ces formules de prévision avancées ne sont utilisables que pour des modifications très limitées des caractéristiques actuelles des données recueillies tant en ce qui concerne la desserte que l'offre de transport.

Les méthodes utilisées ne rendent en fait que très imparfaitement compte du système complexe des interactions entre le trafic et ses variables explicatives, au premier rang desquelles se situe la fréquence. Il est clair que cette fréquence influe sur le trafic, son amélioration est le point clé des actions favorables aux transports en commun. Mais dans une telle approche statique -car pratiquée sur les données de chaque réseau pour une seule année- on n'a pu, malgré les simplifications introduites, clairement détacher les effets réciproques entre trafic et fréquence. D'autre part, le niveau de l'équilibre offre-usage atteint -niveau expliqué par l'histoire du réseau- n'a pas été introduit.

Il paraît donc intéressant de poursuivre la recherche par une étude de l'évolution récente de quelques réseaux, globalement et au niveau des lignes, afin de saisir les modifications de l'équilibre offre-usage. Il sera ainsi possible de dégager les actions entreprises, leurs causes et leurs conséquences. On tentera en particulier d'observer le rapport entre demande potentielle perçue -soit à travers les résultats d'exploitation, soit dans des actions de restructuration- qualité du service et trafic observé, et si cela est possible de dégager des lois sans doute plus qualitatives que quantitatives liant ces différents paramètres.

## CONCLUSION

Sans reprendre dans leur détail les conclusions partielles, exposées au cours du texte, nous rappellerons ici les principaux résultats apparus à ce stade de la recherche.

Au niveau des agglomérations et de leurs réseaux, c'est essentiellement l'indépendance entre caractéristiques des agglomérations d'une part, caractéristiques de l'offre et de l'usage de leurs transports en commun d'autre part qui ressort. Ainsi, par exemple, motorisation et niveau moyen de revenu n'apportent que des éléments de second ordre à l'explication de l'usage des réseaux. Certes, le niveau de qualité des réseaux est lié à la taille des agglomérations -notamment au-dessous de 250 000 habitants environ- mais ce facteur ne suffit pas à expliquer les écarts constatés entre villes comparables. La qualité du réseau ressort d'autres éléments, particulièrement l'histoire récente du développement conjoint des villes et de leurs transports en commun et les efforts de la collectivité et de l'exploitant pour les maintenir face au développement rapide de l'automobile.

De bonnes formules d'explication de l'usage des transports en commun à partir des caractéristiques de l'offre -parmi lesquelles le coût du trajet- ont pu être dégagées. Mais leur valeur apparente reste fortement tributaire de l'ajustement sans cesse pratiqué entre les niveaux du trafic constaté et de l'offre.

Les variables définissant l'offre de transport -et particulièrement la fréquence- ne sont pas des données a priori susceptibles d'expliquer le trafic, elles sont elles-mêmes expliquées par les variations de ce trafic.

Une très rapide étude dynamique a été menée sur l'évolution des réseaux de 1967 à 1973 -période sur laquelle on disposait de statistiques homogènes. On y voit apparaître dans un contexte général de baisse, les importants efforts d'une dizaine de réseaux pour maintenir, voire améliorer, leur service. Les variations de l'usage sur l'ensemble des réseaux confirment l'importance majeure de l'offre de transport -définie par la fréquence, les kilomètres fournis mais aussi les prix- dans l'explication de l'usage des transports en commun. Ainsi les efforts effectués par quelques réseaux en progrès se traduisent -contre la tendance générale- par des gains en voyageurs d'autant plus rapides que les prix pratiqués restent stables.

La recherche de formules d'explication du trafic, au niveau des lignes de certains réseaux de transports en commun a permis de dégager des formules simples de prévision à partir de quelques variables simples : la fréquence d'une part, la population et les emplois desservis par cette ligne d'autre part. Mais le domaine de validité de telles formules demeure limité ; on se heurte, en effet, à la difficulté déjà relevée plus haut au niveau des réseaux : la fréquence, contient la quasi totalité de l'information introduite par les diverses variables prises en compte dans la recherche. Seule, elle est susceptible de fournir une explication des trafics aussi bonne et parfois meilleure que celle qui se fonde sur un nombre important de caractéristiques de la ligne. De telles formules ne sauraient être utilisées sans précaution pour des prévisions prenant en compte de fortes modifications de l'offre de transport.

On s'orientera donc, dans la suite à donner à cette recherche, vers l'étude de l'évolution dans le temps de certains réseaux pour saisir dans leur ordre chronologique les variations du système complexe que forment les données de l'offre et de l'usage des lignes d'un réseau de transport.

A N N E X E S



## ANNEXE 1

## ETUDE DES RESULTATS DES ENQUETES MENAGES

Nous regroupons ci-dessous quelques résultats d'une étude statistique menée sur les données issues des enquêtes ménages effectuées de 1965 à 1969 par les services du Ministère de l'Équipement.

Ces résultats sont cités dans diverses publications dont :

- . les "Transports Publics de surface dans les villes"  
(Institut de Recherche des Transports 1970)
- . Dossier Pilote des études préliminaires d'infrastructures de Transports (SETRA 1972)
- . Caractéristiques des déplacements en milieu urbain (SETRA 1974).

Les données utilisées -dont les principales sont reproduites dans le tableau joint- portent sur 18 agglomérations dépassant 100 000 habitants en 1968.

Les calculs effectués ci-dessous porteront généralement sur 17 de ces agglomérations, Clermont-Ferrand ayant été exclue en raison de lacunes dans les données.

Dans certains cas, les calculs seront restreints aux 10 agglomérations suivantes : Besançon, Bordeaux, Grenoble, Lyon, Marseille, Nancy, Nice, Orléans, Rouen, Saint Etienne,

DONNEES DES ENQUETES MENAGES

Définitions :

- Génération : nombre de déplacements quotidiens par ménage
- Choix modal : répartition modale sur la journée { VP voiture particul.  
TC Transp. en commun  
2R deux-roues
- % équipement : pourcentage des ménages disposant d'un véhicule automobile au moins
- % motorisation : rapport du nombre total de véhicules particuliers au nombre de ménages

Agglomération	Année d'enquête	Génération	Choix modal (%)			Equipe- ment %	Motorisation %
			TC	VP	2R		
Besançon	1968	5,58	14	59	27	65	77
Bordeaux	1967	5,66	28	53	18	57	70
Caen	1966	5,52	9	59	32	66	77
Grenoble	1966	5,28	11	53	36	64	75
Lille	1965	4,33	14	51	35	-	47
Lyon	1965	3,94	37	45	18	55	65
Marseille	1966	4,03	31	57	12	50	57
Nancy	1965	5,07	24	54	22	-	65
Nantes	1967	3,90	20	41	39	-	50
Nice	1966	4,52	16	60	24	55	65
Orléans	1969	5,40	10	53	37	67	79
Rouen	1968	4,15	16	57	27	59	67
St-Etienne	1968	3,90	41	49	10	50	69
Strasbourg	1965	-	15	44	41	-	54
Toulouse	1966	5,29	22	52	26	-	66
Tours	1965	4,18	13	47	40	-	64
Mulhouse	1965	4,12	16	39	45	-	50
Clermont- Ferrand	1967	4,11	-	-	-	67	82

en effet, les enquêtes ménages qui y ont été pratiquées ont paru homogènes par leur méthode et la qualité de leurs résultats, ce qui a motivé leur choix dans le document "caractéristiques des déplacements en milieu urbain" du SETRA cité ci-dessus.

Avant d'aborder les résultats obtenus, notons que, comparés à l'ensemble de 38 agglomérations étudié dans le texte qui précède les deux sous groupes de 17 ou 10 agglomérations définis ici comprennent la plupart des agglomérations les plus importantes. Ce "biais" se répercutera sur les résultats exposés.

Sur les données des enquêtes ménages, éventuellement rectifiées pour tenir compte des différences entre dates de recueil, ont été calculées des corrélations statistiques qui permettent de tirer les conclusions ci-dessous.

#### 1. Sur la motorisation et l'utilisation de la voiture particulière

- a. La liaison entre motorisation et taille de l'agglomération apparaît peu significative. Le coefficient de corrélation est négatif (ce qui signifie que lorsque la taille de la ville augmente, la motorisation diminue) mais insuffisant pour avoir une signification statistique sûre ( - 0,41 pour 17 villes). Toutefois, si l'on se limite au sous-groupe de 10 villes, sa valeur apparaît plus significative ( - 0,70 ) ce qui s'explique par le poids des agglomérations les plus importantes.

Globalement, on retrouve un résultat acquis avec les chiffres INSEE d'équipement des ménages (issus du recensement de 1968) pourtant très différents parfois des données de motorisation issues des enquêtes.

Ce résultat peut s'exprimer ainsi : les grandes agglomérations (400 000 habitants et plus) sont moins motorisées, pour les autres (100 000 à 400 000 habitants) il n'y a pas de tendance nette explicable par la taille.

- b. La motorisation est un facteur explicatif majeur de la génération des déplacements.

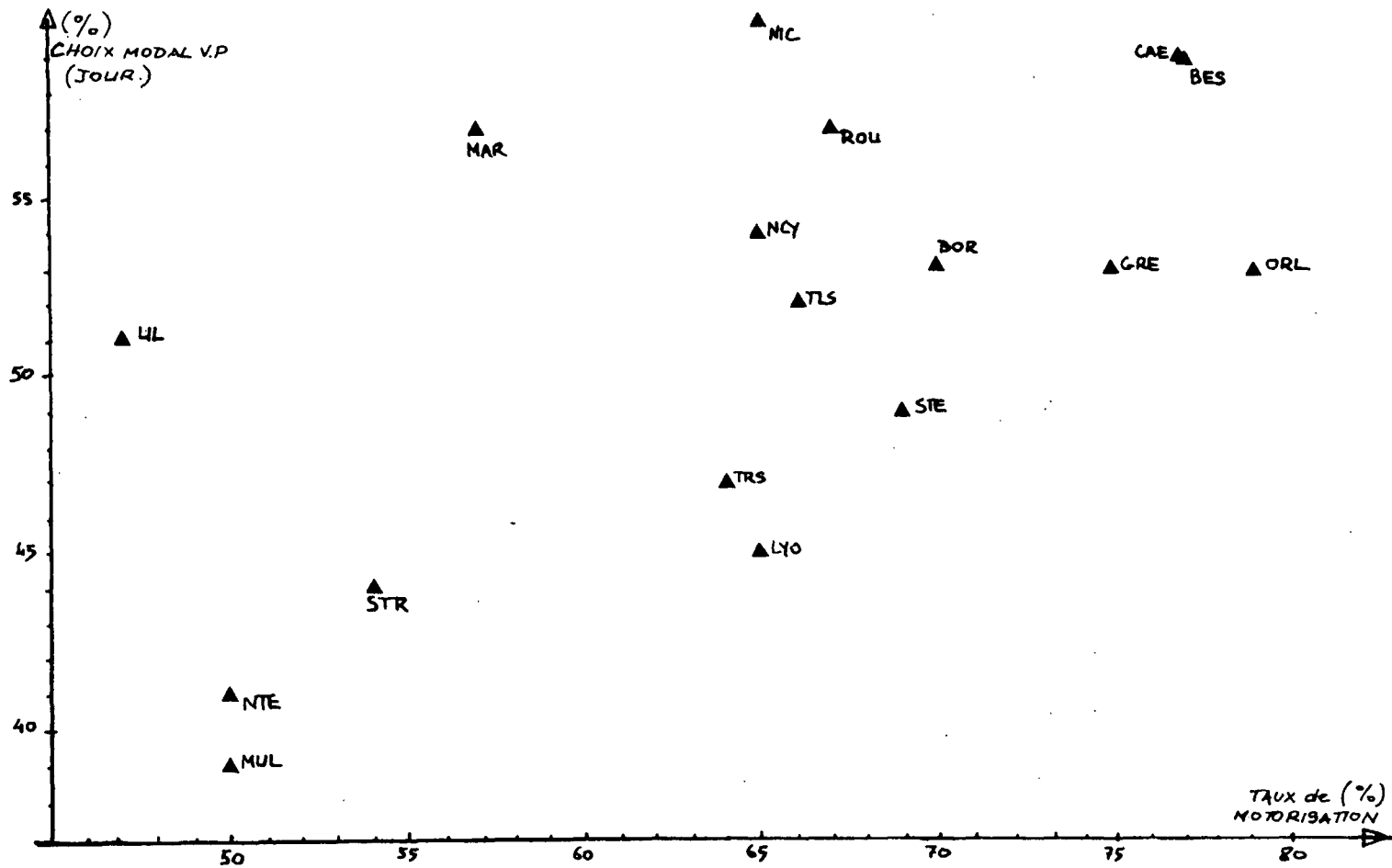


Figure A : Taux de motorisation et choix modal favorable à la voiture particulière pour les déplacements effectués sur la journée entière (sources : enquêtes ménages 1965-1969 du Ministère de l'Equipement).

Ce résultat classique est ici apparent sur les coefficients de corrélation relevés (0,64 pour les 17 agglomérations).

- c. La motorisation ne se répercute nettement sur le choix modal que dans les plus petites des agglomérations, la liaison est moins apparente dans les autres cas (figure A).

Au plan des corrélations, on passe ainsi de 0,61 pour 17 villes à - 0,02 pour 10 villes, valeurs calculées sur les choix modaux pour la journée entière. Au niveau de la période de pointe, le résultat annoncé est encore plus net.

- d. L'utilisation de la voiture particulière (mesurée par le choix modal VP) n'apparaît pas liée à la taille de l'agglomération.

Ce résultat net sur les échantillons étudiés ici doit certainement être nuancé au niveau d'agglomérations plus petites.

## 2. Sur l'utilisation des transports en commun

- a. On a d'abord calculé les corrélations entre le choix modal transports en commun et l'offre et l'usage des transports en commun issus du Fichier des Transports Urbains. Logiquement, ces données -de sources entièrement distinctes- s'avèrent très dépendantes (corrélations de 0,90 à 0,95).
- b. Le choix modal favorable aux transports en commun apparaît d'autre part quasi indépendant de la motorisation et lié à la taille de l'agglomération (corrélation 0,55).

On retrouve donc globalement des résultats de l'étude précédente, nette influence de la taille de l'agglomération sur l'usage des transports en commun, mais c'est l'offre qui joue un rôle prépondérant.

Globalement, le travail effectué sur les données des enquêtes ménages -données très dispersées dans leur date de recueil notamment- corrobore bien les résultats de l'étude plus systématique menée sur les fichiers du recensement INSEE et des Transports Urbains.

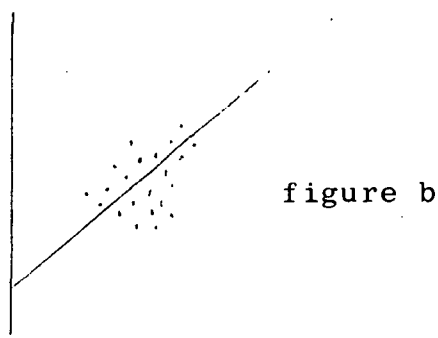
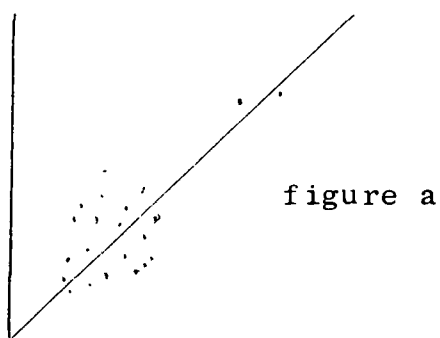


Les matrices de corrélation montrent en général des valeurs voisines de celles relevées sur la matrice 1969 étudiée en détail dans le texte précédent.

Les meilleures formules de prévision linéaire obtenues par régression sont données dans le texte où est relevée la principale modification apparente entre 1967 et 1973 : l'afaiblissement du rôle d'explication du prix.

Corollairement, à la moindre dispersion globale observée en 1973 sur les ratios, on pouvait s'attendre à ce que les formules linéaires apportent une meilleure explication de l'usage des réseaux, c'est-à-dire à une variance expliquée supérieure. On a en fait obtenu un résultat contraire qui peut s'expliquer statistiquement comme suit : (les figures a et b illustrent cette explication)

- dans le cas d'un nuage fortement dispersé, les points extrêmes apportent une forte part de la variance totale, si la droite d'ajustement est proche de ces points on aura de ce seul fait une forte part de variance expliquée (figure a)
- lorsque les points extrêmes disparaissent la variance totale diminue nettement, dans un nuage plus groupé la part de variance expliquée sera moindre (figure b).



## 1967 - ETUDE DES RATIOS CARACTERISTIQUES DES RESEAUX

## Principales caractéristiques des variables

	<i>MINIS</i>	<i>MAXIS</i>	<i>MOYENNES</i>	<i>VARIANCES</i>	<i>ECART-TYPES*</i>
POP 75	106.0000	1066.0000	283.1579	52860.5690	229.9143
POP D	94.0000	952.0000	258.3421	45526.8798	213.3703
DENS	.2159	.8594	.4193	.0146	.1209
KMV/H	3.5500	25.8665	13.5172	26.0190	5.1009
VOY/H	16.0500	234.4822	76.6782	1693.3015	41.1497
PRIX	.3100	.8300	.4874	.0122	.1102
FQG	9.5946	71.2581	34.0403	212.7174	14.5848
VOY/KV	2.4736	10.3250	5.5444	1.6922	1.3008

## Matrice de corrélation

POP 75	1.0000	.9880	.0870	.6382	.4920	.4376	.4538	.0573
POP D	.9880	1.0000	.0873	.6446	.4899	.4204	.4513	.0567
DENS	.0870	.0873	1.0000	.1242	-.0944	.4024	-.4392	-.4692
KMV/H	.6382	.6446	.1242	1.0000	.8630	.1857	.7871	.2683
VOY/H	.4920	.4899	-.0944	.8630	1.0000	-.1519	-.8174	-.6778
PRIX	.4376	.4204	.4024	.1857	-.1519	1.0000	-.0662	-.5682
FQG	.4538	.4513	-.4392	.7871	.8174	-.0662	1.0000	.5124
VOY/KV	.0573	.0567	-.4692	.2683	.6778	-.5682	.5124	1.0000



## 1973 - ETUDE DES RATIOS CARACTERISTIQUES DES RESEAUX

## Principales caractéristiques des variables

	<i>MINIS</i>	<i>MAXIS</i>	<i>MOYENNES</i>	<i>VARIANCES</i>	<i>ECART-TYPES*</i>
POP 75	114.0000	1153.0000	308.9474	58975.7809	242.8493
POP D	104.1439	1029.6961	281.8013	50750.9465	225.2797
DENS	.2480	.8639	.4656	.0226	.1502
KMV/H	5.5973	22.5375	13.7853	19.2707	4.3898
VOY/H	17.0707	159.6108	61.9277	811.6610	28.4897
PRIX	.4296	.8889	.5924	.0121	.1101
FQG	9.9057	56.4644	31.4996	119.1749	10.9167
VOY/KV	2.0629	7.8849	4.4088	.9946	.9973

## Matrice de corrélation

POP 75	1.0000	.9875	-.0103	.5672	.5045	.3371	.4763	.1745
POP D	.9875	1.0000	.0050	.5907	.5054	.3318	.4612	.1606
DENS	-.0103	.0050	1.0000	.2053	-.0453	-.0883	-.5516	-.4216
KMV/H	.5672	.5907	.2053	1.0000	.8351	.1163	.6472	.2700
VOY/H	.5045	.5054	-.0453	.8351	1.0000	-.0946	.7366	.7214
PRIX	.3371	.3318	-.0883	.1163	-.0946	1.0000	.2036	-.2756
FQG	.4763	.4612	-.5516	.6472	.7366	.2036	1.0000	.5388
VOY/KV	.1745	.1606	-.4216	.2700	.7214	-.2756	.5388	1.0000

## ANNEXE 3

METHODES DE CALCUL EMPLOYEES POUR LA PREVISION  
DU CHOIX MODAL ET L'EVALUATION DES VOLUMES  
DE DEPLACEMENTS PAR LES TRANSPORTS EN COMMUN

Nous présentons ci-dessous trois méthodes de calcul du choix modal utilisées dans des études de restructuration de réseaux de transports en commun.

On y désignera par :

$D_M$  l'ensemble des déplacements motorisés

$D_{TC}$  l'ensemble des déplacements motorisés effectués par les transports en commun.

a/ Rouen

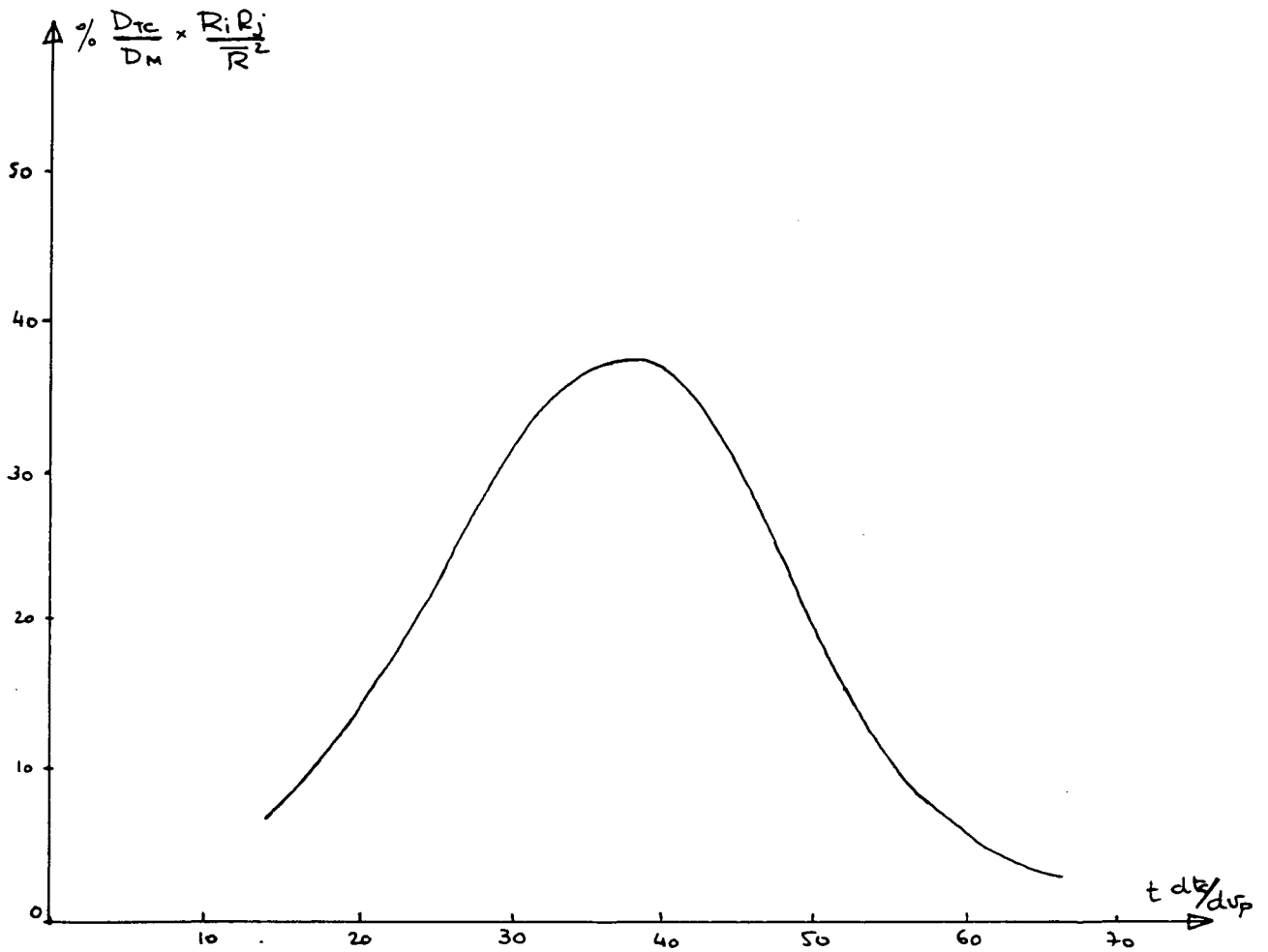
Lors de l'étude de restructuration effectuée par le CETE de Rouen, on a recherché, à l'aide des données d'une enquête ménages effectuée sur l'agglomération, à expliquer le rapport  $\frac{D_{TC}}{D_M}$  (part des déplacements effectués en transports en commun)

par :

- le rapport  $\frac{\text{temps de déplacement TC}}{\text{temps de déplacement en voiture particulière}}$
- la fréquence offerte
- la part de surface des zones origine et destination couverte par les transports en commun (bande d'influence de 500 mètres de part et d'autre de la ligne)

ROUEN (Etude de restructuration du réseau)

Liaison entre choix modal transports en commun, temps généralisé de déplacement et revenu



Aucune de ces approches n'a fourni de résultat satisfaisant.

Seule l'explication du choix modal par la distance ou le temps généralisé a donné des résultats intéressants. Finalement on a utilisé pour prévoir le choix modal la courbe ci-contre qui introduit plusieurs variables supplémentaires :

$$\left\{ \begin{array}{l} t \text{ est le temps généralisé de déplacement TC entre les} \\ \text{zones } i \text{ et } j \text{ considérées} \\ \frac{dtc}{dvp} \text{ est le rapport } \frac{\text{distance de déplacement TC}}{\text{distance de déplacement VP}} \text{ de } i \text{ à } j \\ R_i, R_j \text{ les revenus moyens dans les zones } i \text{ et } j \\ \bar{R} \text{ le revenu moyen dans l'agglomération.} \end{array} \right.$$

On remarquera que cette méthode fait croître le choix modal TC lorsque la distance ou le temps généralisé de déplacement augmentent (et lorsque les revenus diminuent). On retrouve là, tout simplement, l'obligation d'utilisation des transports en commun pour les ménages aux revenus les moins élevés habitant les zones périphériques dans la première couronne au moins.

Ce modèle a conduit au niveau des lignes à des écarts entre prévision et trafic observé, variables de 5 % à 50 %.

#### b/ Dunkerque

Lors de l'étude de restructuration menée par le CETE du Nord, la prévision du choix modal a été effectuée à partir d'une formule du type :

$$\frac{D_{TC}}{D_M} = f(d)$$

où  $d$  est la distance entre les zones  $i$  et  $j$  considérées. Comme dans le cas de Rouen,  $f(d)$  croît avec la distance, on a distingué suivant la qualité de la liaison (fréquence, caractère direct ou non du parcours) deux courbes distinctes donnant le choix modal en fonction de la distance. Les taux de couverture ont été pris en compte, ils expriment la part de population et d'emplois situés dans chaque zone à 350 mètres ou moins à vol d'oiseau des arrêts. On a admis que le taux d'utilisation des TC est proportionnel à ce taux de couverture dans chacune des zones.

c/ Marseille

Dans l'étude de restructuration du réseau de Marseille (effectuée par la SOFRETU), trois coefficients de répartition modale ont été définis pour une offre de transports ot donnée :

$m_1^{ot}$  : coefficient de répartition modale pour les trajets dont l'origine et la destination sont situés dans la zone de couverture des transports en commun

$m_2^{ot}$  : ... pour les trajets dont l'origine ou la destination...

$m_3^{ot}$  : ... pour les trajets dont ni l'origine ni la destination...

Si l'on désigne par  $\alpha_i^\epsilon$  la couverture des emplois dans la zone i (rapport du nombre des emplois couverts au nombre total des emplois de la zone), par  $\alpha_j^h$  la couverture des habitants de la zone j, les coefficients de répartition modale seront évalués à partir d'équations du type suivant, séparant les déplacements selon le motif :

pour le travail :

$$\frac{D_{TC}}{D_M}(i,j) = m_1^{ot} \alpha_i^\epsilon \alpha_j^h + m_2^{ot} \left[ (1 - \alpha_i^t) \alpha_j^h + \alpha_i^\epsilon (1 - \alpha_j^h) \right] + m_3^{ot} (1 - \alpha_i^\epsilon) (1 - \alpha_j^h)$$

les  $\alpha$  sont mesurés, les valeurs  $\frac{D_{TC}}{D_M}(i,j)$  connues par enquête.

On définit a priori le nombre de triplets  $m_1, m_2, m_3$  à calculer en décomposant l'offre en niveaux de qualité (selon le type de liaison, la distance, la fréquence...). A Marseille, on a ainsi distingué 270 triplets à calculer qui seront utilisés ensuite pour prévoir les déplacements Tc sur les réseaux proposés.

## ANNEXE 4

FORMULES DE PREVISION DU TRAFIC.  
RESULTATS COMPLEMENTAIRES OBTENUSA. Résultats complémentaires concernant l'explication du trafic

Dans le texte du précédent rapport sont exposées les formules d'explication du trafic obtenues pour la journée tout entière utilisant comme variables explicatives la fréquence et les emplois et populations desservis ou la fréquence seulement. Sur les différentes villes analysées au niveau de la ligne, nous avons tenté de séparer par type les lignes de transports en commun. Les résultats obtenus sont les suivants :

a/ Pau :

Toutes les lignes étant radiales, aucune séparation par type ne peut être opérée. Le cas particulier de la ligne 3, la plus chargée a été évoquée dans le cours du texte, selon que cette ligne est introduite ou non dans les calculs les formules de régression obtenues diffèrent très sensiblement.

b/ Dunkergue :

Les six lignes étudiées se partagent dans ce cas entre trois lignes radiales et trois diamétrales. Ces deux sous-

groupes sont trop restreints pour faire l'objet d'une recherche plus poussée, on a donc imaginé de découper les lignes diamétrales en deux tronçons radiaux chacune afin d'effectuer des calculs sur neuf tronçons radiaux. Cette démarche n'a conduit à aucun résultat statistique intéressant. En effet, sur les tronçons d'une même ligne diamétrale, desservis avec une même fréquence des déséquilibres très importants dans les trafics ont été relevés.

On n'a pu les expliquer ni par le jeu des variables de desserte ni par l'introduction d'autres caractéristiques socio-économiques telle l'activité, la taille des ménages et leur motorisation... Ici les pratiques générées par le réseau urbain, par l'offre spécifique de transports en différents points, par la motorisation, etc... n'ont pu être réduites aux quelques variables simples introduites.

On notera d'ailleurs que l'étude de restructuration du réseau de Dunkerque, effectuée par le CETE du Nord propose d'associer différemment les tronçons radiaux du réseau actuel pour parer aux déséquilibres constatés sur certaines lignes.

### c/ Grenoble

A Grenoble existe une ligne diamétrale importante présentant la meilleure offre de transport et le meilleur trafic sa suppression modifie à la baisse les coefficients des formules obtenues sur l'ensemble des lignes.

On obtient ainsi pour les lignes radiales les formules suivantes :

- avec les variables de desserte :

$$T_j = 1,25.10^{-3} f_j E_2 + 260 \quad (\text{variance expliquée } 89 \%)$$

$$T_j = 0,47.10^{-3} f_j P + 190 \quad ( \quad \quad \quad " \quad \quad \quad 88 \%)$$

- avec la seule fréquence :

$$T_j = 38 f_j - 940 \quad (\text{variance expliquée } 92 \%)$$

$$T_j = K f_j^{1.35} \quad ( \quad \quad \quad " \quad \quad \quad 95 \%)$$

d/ Marseille

Les limites de l'approche par modèle direct appliquée au réseau de Marseille ont été déjà soulignées dans le texte du rapport ci-avant. Très contraint par le site local le réseau est composé en quasi totalité de lignes radiales ayant de nombreux troncs communs, les variables de desserte n'interviennent que très peu dans l'explication des trafics.

En dehors du sous-ensemble très important des lignes radiales on ne peut dégager à Marseille qu'un autre sous-ensemble de huit lignes diamétrales. Encore faut-il noter que ces lignes sont formées d'une longue branche radiale légèrement prolongée au-delà du centre ville le plus généralement retenu. Leur caractère diamétral n'est pas vraiment net et reste tributaire des limites exactes du centre retenu. Pour les sous-groupes des lignes radiales et diamétrales, on a obtenu les résultats indiqués ci-dessous :

- en prenant en compte la desserte :

lignes radiales	$T = 0,50 fP + 67$	(variance exp. 70 %)
" diamétrales	$T = 0,39 fP - 446$	( " 86 %)

- en utilisant seulement la fréquence :

lignes radiales	$T = 41,4 f - 1036$	(variance exp. 77 %)
	$T = Kf^{1,15}$	( " 92 %)
" diamétrales	$T = 30,9 f - 687$	( " 72 %)

e/ Lyon

Dans le cas de Lyon on a constitué les sous-ensembles suivants :

radiales	- 25 lignes
diamétrales	5 lignes
rocodes	6 lignes
rabattement	6 lignes

Une ligne radiale a été exclue de l'étude, il s'agit de la



ligne la plus chargée du réseau lyonnais, équipée de véhicules articulés qui par leur taille présentent une offre de transport très supérieure à celle des bus classiques (70 % en plus environ).

Dans les formules d'explication du trafic la meilleure variable de desserte est généralement la population, les emplois tertiaires constituent également un bon indicateur pour les lignes radiales et diamétrales. Seule exception notable, le cas des rocade où l'emploi s'avère être la meilleure variable explicative. Ceci est dû au fait que sur ces lignes l'attraction centrale ne joue pas, on aura donc peu de déplacements d'achats, loisirs, etc..., la part des déplacements générée par l'emploi est importante d'où le résultat observé.

Nous donnons ci-dessous les meilleures formules d'explication obtenues, d'abord en introduisant une variable de desserte puis à partir de la seule fréquence :

1. Formules introduisant le produit de la fréquence par une variable de desserte

toutes lignes	$T = 0,75 \cdot 10^{-3} fP + 2100$	(var. exp. 85 %)
radiales	$T = 0,66 \cdot 10^{-3} fP + 3500$	80 %
diamétrales	$T = 0,92 \cdot 10^{-3} fP - 950$	86 %
radiales et diamétrales	$T = 0,72 \cdot 10^{-3} fP + 2750$	82 %
rocades	$T = 0,99 \cdot 10^{-3} fP - 1750$	91 %
	$T = 1,89 fE_1 - 130$	96 %
rabattement	$T = 0,59 \cdot 10^{-3} fP + 2550$	69 %

2. Formules expliquant le trafic comme fonction linéaire de la fréquence

toutes lignes	$T = 75,5 f - 4 \cdot 10^3$	85 %
radiales	$T = 67,0 f - 2,4 \cdot 10^3$	88 %
diamétrales	$T = 129,2 f - 17 \cdot 10^3$	99 %

rocodes	$T = 101,4 f - 7,3.10^3$	99 %
rabattements	$T = 28,7 f - 0,8.10^3$	57 %

### 3. Formules expliquant le trafic comme fonction puissance de la fréquence

	exposant de la fréquence	var. expliquée
toutes lignes	1,44	86 %
radiales	1,30	88 %
diamétrales	1,73	99,5 %
rocodes	2,30	92,3 %
rabattements	1,05	77 %

#### f/ Remarques d'ensemble

On ne saurait tirer de cette recherche encore trop embryonnaire de conclusions, seul le cas de Lyon fournit en effet des échantillons des différents types de lignes, encore ces échantillons sont-ils réduits si l'on excepte le cas des radiales. Il apparaît cependant que :

- . Les diamétrales, toutes choses égales par ailleurs, ont logiquement un trafic plus fort ; par suite, leur exclusion amène à des formules prévoyant un trafic inférieur à celui obtenu par ajustement sur toutes les lignes, ces formules sont mieux adaptées pour les lignes radiales.
- . Dans les formules expliquant le trafic comme fonction linéaire de la fréquence, le coefficient directeur figure en quelque sorte le nombre moyen de voyageurs pour un véhicule parcourant la ligne. Le coefficient est fort pour les diamétrales et les rocodes qui peuvent cumuler des origines et des destinations bien distinctes, il est faible à l'opposé pour les lignes de rabattement.
- . Dans les formules expliquant le trafic par une fonction puissance de la fréquence, on constate que l'exposant est plus élevé pour les diamétrales et rocodes. Cela s'explique

pour les raisons évoquées dans le texte pour justifier la qualité de ce type de régressions : sur de telles lignes on aura un fort remplissage si la ligne fonctionne bien, et à l'opposé même si le trafic est faible un niveau de service minimal à maintenir (voir 3.4. dans le texte du rapport).

- . Globalement comme on l'avait déjà vu, toutes les formules restent spécifiques d'un seul réseau et ne peuvent se généraliser ; c'est ici encore la fréquence qui fournit la quasi totalité des liaisons statistiques relevées en introduisant les variables de desserte.

#### B. Résultats concernant les pointes

Ces résultats ont été renvoyés dans la présente annexe car ils ne présentent pas, comparés à ceux obtenus sur la journée tout entière, d'amélioration notable des qualités d'explication obtenues. Ceci est dû aux faits suivants :

- les périodes de pointe pour lesquelles on disposait de données sont les pointes du soir pendant lesquelles se mêlent retours du travail mais aussi déplacement d'affaires, d'achats, de loisirs. Une meilleure liaison avec les variables de desserte aurait sans doute été obtenue sur la pointe du matin où les déplacements liés au travail dominant ;
- bien que l'on aie retenu des périodes de pointe assez étendues (2 à 3 heures), les imprécisions des données jouent plus fortement que sur la journée entière, car le nombre des véhicules pris en compte est plus faible.

Nous reproduisons, ci-après, les meilleurs des résultats obtenus, ils concernent l'ensemble des lignes du réseau considéré (ou les lignes radiales) la fréquence est le nombre des passages de véhicules dans les deux sens pendant la période retenue :

a/ Dunkerque

(pointe du soir : 2 heures 30)

formules liant trafic	} T = 90 f - 588	v.exp. 92 %
et fréquence		{ T = K f <sup>1.65</sup>

b/ Grenoble

(pointe du soir : 3 heures de 16 h à 19 h)

. formules faisant intervenir une variable de desserte :

$$T = 0,75 \cdot 10^{-3} fP - 33 \quad \text{variance expliquée } 71 \%$$

$$T = 2,0 \cdot 10^{-3} fE_2 + 1 \quad \text{variance expliquée } 76 \%$$

. formules expliquant le trafic par la fréquence :

$$T = 70 f - 646 \quad \text{variance expliquée } 86 \%$$

$$T = Kf^{1,57} \quad \text{" } 86 \%$$

. Si l'on se limite aux seules lignes radiales, ces formules deviennent :

$$T = 0,68 \cdot 10^{-3} fP + 25 \quad \text{variance expliquée } 75 \%$$

$$T = 2,0 \cdot 10^{-3} fE_2 - 84 \quad \text{" } 82 \%$$

$$T = 60 f - 510 \quad \text{" } 94 \%$$

$$T = Kf^{1.65} \quad \text{" } 90 \%$$

c/ Lyon

(2 heures de pointe du soir de 17 h 30 à 19 h 30)

- Sur toutes les lignes

. Formules faisant intervenir une variable de desserte :

$$T = 0,63 fP + 280 \quad \text{variance expliquée } 83 \%$$

. Formules liant trafic et fréquence :

$$T = 67 f - 680 \quad \text{variance expliquée } 84 \%$$

$$T = Kf^{1,78} \quad \text{" } 86 \%$$

- Pour les lignes radiales seulement

. Formules liant trafic et fréquence

$T = 0,55 fP + 447$	variance expliquée	82 %
$T = 58 f - 416$	"	91 %
$T = Kf^{1.42}$	"	88 %

d/ Remarques d'ensemble

Les remarques effectuées ci-avant sur la journée entière demeurent valables. Lorsque le trafic est interprété comme une fonction puissance de la fréquence on note une augmentation des exposants due au fait que les phénomènes aux limites (faibles et fortes fréquences) sont encore exacerbés lors des pointes.