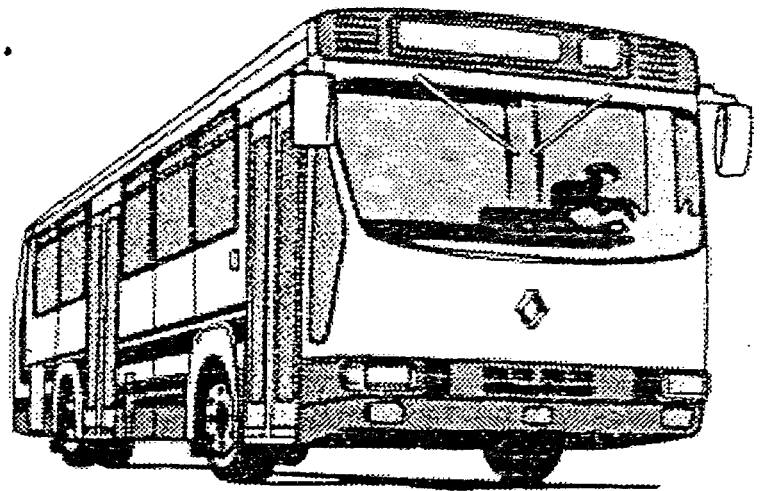


L'EMPLOI DANS LES RESEAUX DE TRANSPORT COLLECTIF URBAIN DE PROVINCE

ANALYSE 1978-1987
PREVISIONS A MOYEN TERME



Béatrice GASSER
Michel HOUEE



MINISTERE DE L'EQUIPEMENT, DU LOGEMENT, DES TRANSPORTS ET DE LA MER

OBSERVATOIRE ECONOMIQUE ET STATISTIQUE DES TRANSPORTS
55 RUE BRILLAT-SAVARIN 75013 PARIS - Téléphone : 45 89 89 27

L' EMPLOI DANS LES RESEAUX DE TRANSPORT COLLECTIF URBAIN DE PROVINCE

ANALYSE 1978-1987
PREVISIONS A MOYEN TERME

Béatrice GASSER
Michel HOUEE

Ce document rassemble les travaux sollicités par M. Michel GASPARD du Commissariat Général au Plan, chargé d'une mission sur les perspectives d'activité et d'emploi dans le secteur des transports à l'horizon 2000, dont le rapport sera prochainement disponible.

Une partie de ces travaux a été réalisée en collaboration avec M. Eric TABOURIN du Laboratoire d'Economie des Transports de Lyon, avec lequel un contrat a été passé pour ajouter un module emploi au modèle de simulation du fonctionnement des transports urbains "Petit Quin-Quin".

Février 1990

SOMMAIRE

I- L'ANALYSE DES PRINCIPAUX RESEAUX.....	p. 1
• Stabilité de la structure des emplois	p. 2
par classe de taille des réseaux	
• L'offre et la productivité.....	p. 4
• Le cas particulier de Lille après la mise en service du VAL.....	p. 5
• Evolutions annuelles moyennes de quelques indicateurs.....	p. 7
des réseaux de TCU pour la période 1978-1987	
II- LES PREVISIONS A L'HORIZON 2000.....	p. 8
• Les villes de moins de 300 000 habitants.....	p. 9
• Les villes de 300 à 900 000 habitants.....	p. 12
• Le cas particulier de Nantes	p. 14
après la mise en service du tramway	
• Conclusion.....	p. 16
• Les villes de plus de 900 000 habitants.....	p. 17
le modèle "Petit Quin-Quin"	
III- ANNEXES	
• Annexe 1 : évolution d'indicateurs d'emploi, d'offre.....	p. 20
et de demande sur la période 1978-1987	
• Annexe 2 : les modèles et les prévisions de 1988 à 1994.....	p. 21
• Annexe 3 : Elasticités de la demande de transport urbain.....	p. 22
à l'offre et à la tarification - Travail réalisé par Georges GAC	

L'analyse des principaux réseaux

Cette étude des emplois dans le secteur des Transports Collectifs Urbains de Province est réalisée à partir des chiffres de l'Annuaire Statistique sur les Réseaux de Transports Urbains de Province, hors RATP et APTR, publié par le CETUR.

De 1978 à 1985, cet annuaire publiait les statistiques relatives à 101 réseaux de transport urbain. A partir de 1986, il s'est élargi à 155 réseaux, en incluant des petites villes de moins de 30 000 habitants qui ont récemment développé un réseau de transport collectif à la faveur de l'abaissement du seuil du Versement-Transport.

L'analyse de l'existant ne concerne que les 101 réseaux communs aux annuaires, par souci d'homogénéité des séries, et couvre la période 1978-1987.

Les politiques de transport urbain, les infrastructures de transport et les comportements des usagers, varient beaucoup suivant la taille des agglomérations, aussi est-il plus judicieux d'étudier la situation de l'emploi dans les différents réseaux par classe de taille des villes.

Nous avons conservé la typologie de l'annuaire statistique, qui répartit les réseaux de province en 4 catégories:

- les villes de moins de 100 000 habitants, avec un réseau de surface essentiellement composé d'autobus classiques.

- les villes de 100 à 300 000 habitants, avec un réseau d'autobus, articulés ou non, et parfois de trolleybus.

- les villes de 300 à 900 000 habitants (Bordeaux, Grenoble, Nancy, Nantes, Nice, Rouen, Saint-Etienne, Strasbourg, Toulon, Toulouse, Valenciennes), disposant souvent d'un parc d'autobus, de trolleybus ou de tramways, et susceptibles de posséder un tramway moderne ou un VAL dans un avenir proche.

- les villes de plus de 900 000 habitants (Lille, Lyon, Marseille) qui possèdent déjà un réseau de métro.

En 1987, en matière d'emplois, on obtient les résultats suivants pour le total des 155 réseaux:

LES EMPLOIS DANS 155 RESEAUX DE PROVINCE

	Personnel du réseau urbain	% du total
Villes de plus de 900 000 habitants	7504	25%
Villes de 300 à 900 000 habitants	7810	27%
Villes de 100 à 300 000 habitants	10832	37%
Villes de moins de 100 000 habitants	3289	11%
TOTAL	29435	100%

La structure des emplois est relativement stable sur la période 1978-1987, selon la taille des villes.

Le personnel est constitué d'agents roulants, de personnel d'entretien et de personnel administratif.

Pour les réseaux de métro sont comptabilisés également des agents d'exploitation et des agents techniques (dans le cas du VAL à Lille).

En 1987, pour les 155 réseaux de province répertoriés, la répartition est la suivante:

STRUCTURE DES EMPLOIS EN 1987

	Total	Roulants	Entretien
Villes de plus de 900 000 habitants	7504	3909	1879
Villes de 300 à 900 000 habitants	7810	5048	1483
Villes de 100 à 300 000 habitants	10832	7454	1607
Villes de moins de 100 000 habitants	3289	2439	351
TOTAL	29435	18850	5320

Sur la période 1978-1987 le pourcentage des roulants et du personnel d'entretien varie peu, mais la part des agents roulants diminue suivant la taille des villes, contrairement à la part du personnel d'entretien.

• Pour les villes de moins de 300 000 habitants, le pourcentage d'agents roulants varie de 67 à 71 %, et la part du personnel d'entretien de 15 à 17 %.

• Pour les villes de 300 à 900 000 habitants, le pourcentage d'agents roulants varie de 60 à 64 %, et la part du personnel d'entretien de 19 à 23 %.

• Pour les villes de plus de 900 000 habitants, le pourcentage d'agents roulants varie de 52 à 54,5 %, et la part du personnel d'entretien de 22 à 27 %.

PART DU PERSONNEL ROULANT SUR LE TOTAL

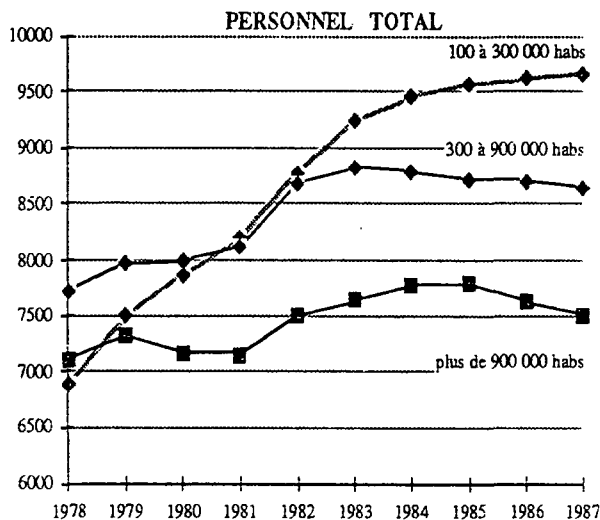
	1978	1983	1987
> 900 000 h	53%	52%	52%
300 à 900 000 h	60%	64%	62%
100 à 300 000 h	67%	71%	70%
TOTAL	60%	62%	62%

PART DU PERSONNEL D'ENTRETIEN SUR LE TOTAL

	1978	1983	1987
> 900 000 h	26%	26%	25%
300 à 900 000 h	21%	19%	19%
100 à 300 000 h	15%	15%	15%
TOTAL	21%	20%	19%

L'évolution de l'emploi dans les différents réseaux diffère également suivant leur taille, et la nature des infrastructures, comme le montre les graphiques suivants.

NB: on supposera que l'évolution des villes de moins de 100 000 habitants est semblable à celle des villes de 100 à 300 000 habitants.



Les 3 courbes montrent deux ruptures dans l'évolution de l'emploi:

- en 1981, année où des emplois ont été créés suivant le plan Fiterman, et où la croissance des emplois s'accélère (+6,4% entre 1981 et 1982 pour le personnel total de l'ensemble des réseaux).

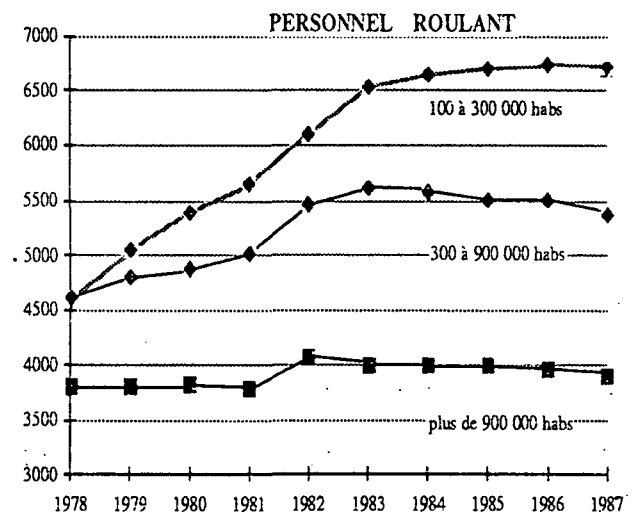
- à partir de 1983, la croissance de l'emploi diminue fortement, voire disparaît.

Pour les villes de 100 à 300 000 habitants, on assiste à un effet de seuil, et la croissance annuelle de l'emploi total n'est plus que de 0,5% par an entre 1986 et 1987.

Pour les villes de plus de 300 000 habitants, l'emploi décroît à partir de 1984-1985.

Pour les villes de 300 à 900 000 habitants, le personnel du réseau urbain diminue en moyenne de 0,5% par an depuis 1984, et de 1,2% par an dans le cas des villes de plus de 900 000 habitants.

La courbe des agents roulants évolue de manière similaire:



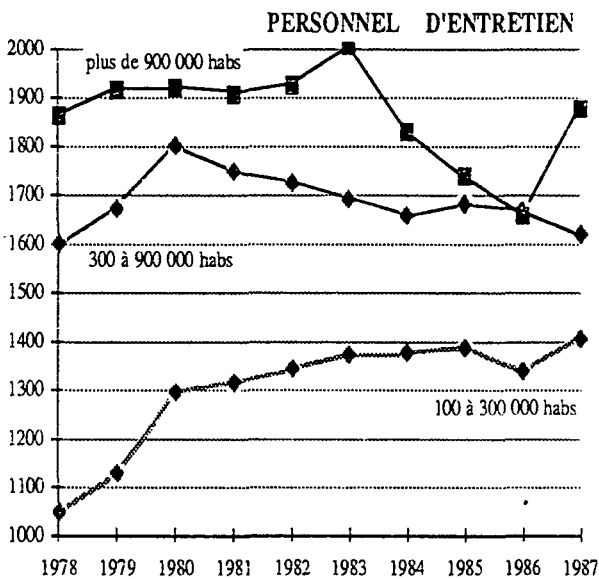
- une diminution de 0,3% des agents roulants des villes de 100 à 300 000 habitants entre 1986 et 1987.

- une diminution annuelle moyenne de 1,2% depuis 1984 pour les villes de 300 à 900 000 habitants.

- une diminution annuelle moyenne de 0,6% depuis 1984 pour les villes de plus de 900 000 habitants.

Le personnel d'entretien varie de manière plus disparate et plus difficilement explicable.

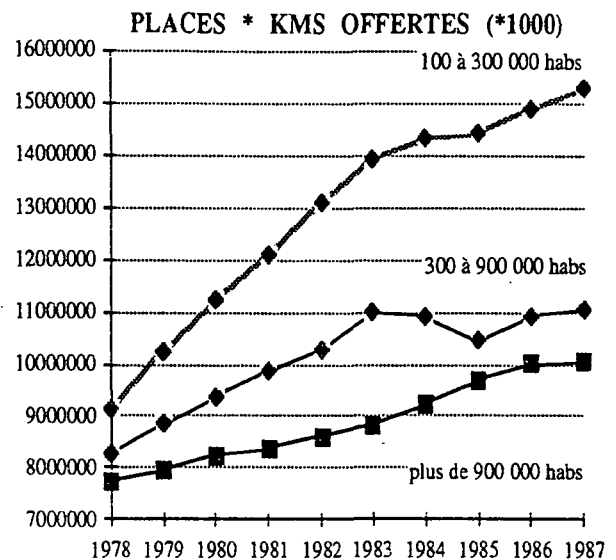
Notons que l'annuaire des 101 réseaux répertorie non seulement les agents employés à temps plein, mais également les agents polyvalents et à temps partiel au prorata temporis de leur durée de travail.



**Augmentation de l'offre...
et recherche
d'une plus grande productivité**

La tendance est à la recherche d'une plus grande productivité, d'autant plus que l'offre continue de croître, comme le montre la courbe suivante:

Ce graphique concerne les réseaux de surface + le métro, pour les villes de plus de 900 000 habitants.



On peut apprécier la productivité du travail par les deux ratios suivants:

- nombre d'agents roulants par véhicule
- nombre de places * kms offertes par agent roulant

Pour l'ensemble des réseaux, le nombre d'agent roulant par véhicule passe de 1,74 en 1978, à 1,68 en 1987.

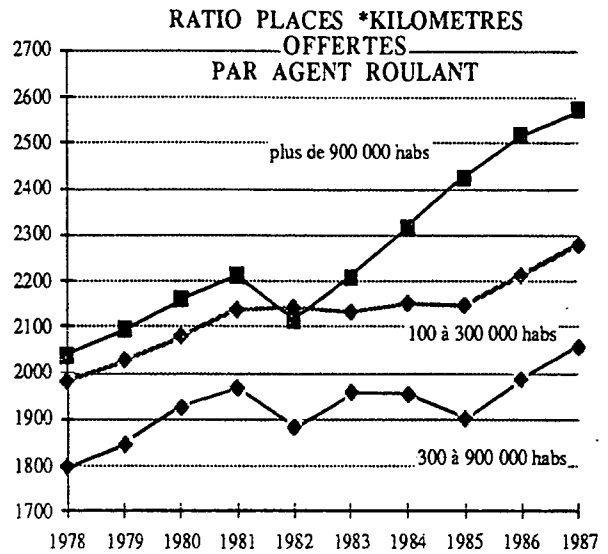
L'évolution du ratio pko/agent roulant est plus pertinente, car les places*kms offertes rendent compte des changements de matériel (autobus articulés par exemple).

**PLACES*KMS OFFERTES (*1000)
PAR AGENT ROULANT**

	1978	1983	1987
100 à 300 000 h	1982	2132	2278
300 à 900 000 h	1797	1956	2058
plus de 900 000 h	2039	2209	2573
dont métro	2525	2993	4514
dont surface	1996	2109	2256
TOTAL	1933	2090	2276

Depuis 1978, le ratio a augmenté en moyenne annuelle de :

- 1,6 % pour les villes de 100 à 300 000 habts,
 - 1,6 % pour les villes de 300 à 900 000 habts,
 - 2,6 % pour celles de plus de 900 000 habts,
- dont 6,7 % pour le métro
et 1,4 % pour le réseau de surface
- 1,8 % pour l'ensemble des réseaux



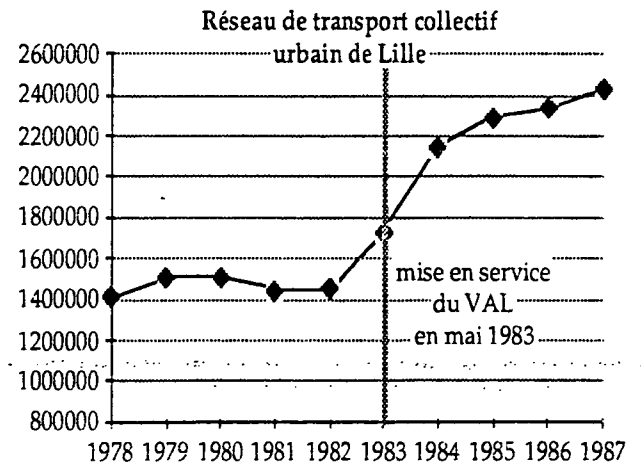
Le cas de Lille:
après la mise en service du VAL
augmentation globale de l'offre,
diminution de l'emploi total
et fréquentation des TCU accrue

L'offre s'est fortement accrue, essentiellement à cause du métro : le nombre de places*kms. offertes a augmenté de 8,8 % par an en moyenne depuis 1983, alors qu'il variait peu auparavant.

L'observation du cas de Lille dans le passé est intéressante, puisque c'est le seul cas de métro automatisé que nous connaissons, et que d'autres villes de moindre importance envisagent d'adopter ce système.

Le VAL a été mis en place en mai 1983, et l'installation complète du métro automatisé a été réalisée en mai 1984. Le réseau de Lille était déjà en partie en site propre, puisque le tramway y existait depuis longtemps. Depuis l'installation du VAL le réseau du tramway est resté stable.

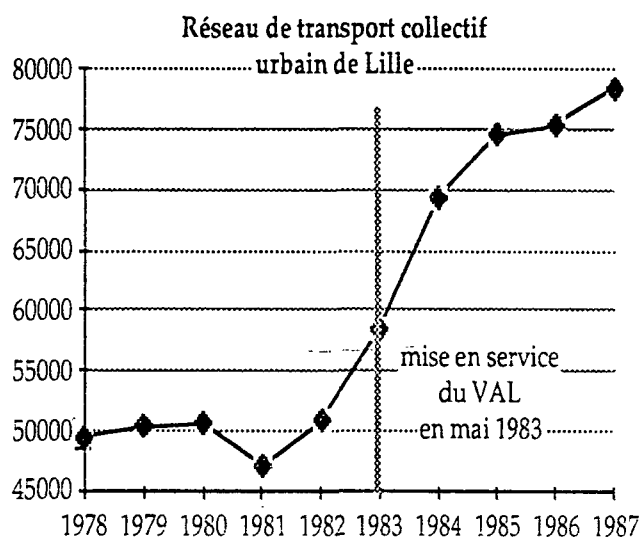
PLACES x KMS OFFERTES (*1000)



La fréquentation des transports collectifs a suivi cette recrudescence de l'offre, comme le montre le graphique suivant.

L'accroissement annuel moyen est passé de 0,7 % pour la période 1978-1982 à 7,5 % de 1983 à 1987.

NOMBRE DE VOYAGES (*1000)

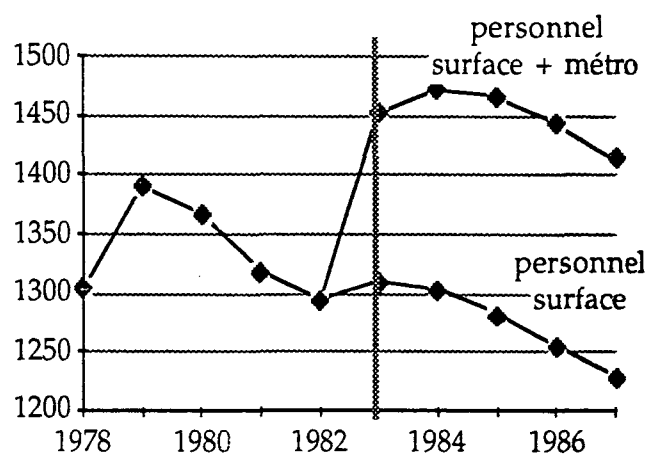


L'emploi total avait été fortement réduit (7 % de baisse entre 1979 et 1982). L'ouverture de la ligne de métro en 1983 a été accompagnée d'une création de 150 emplois. Depuis 1984 la tendance à la baisse a repris (-0,6% en moyenne annuelle).

La réduction de l'emploi total est due principalement à celle du personnel de surface (1,6 % par an en moyenne depuis 1983), tant pour le personnel roulant que pour le personnel d'entretien.

Le personnel métro quant à lui, a augmenté de 7,1 % en moyenne par an depuis sa mise en service, mais diminue depuis 1987. Le métro étant automatisé, il n'y a pas de personnel roulant.

EVOLUTION DU PERSONNEL TCU

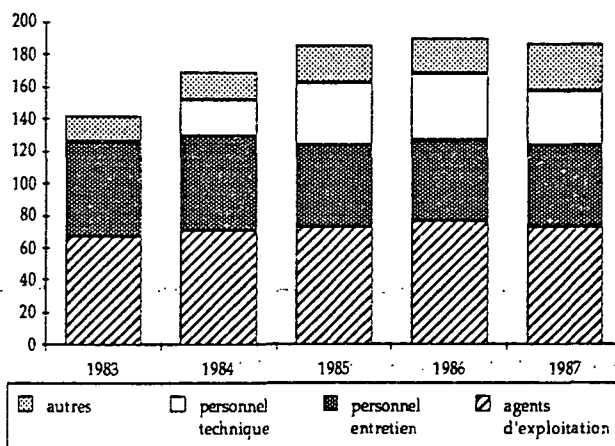


En 1987, l'emploi total pour le réseau souterrain se composait de:

- 39 % d'agents d'exploitation
- 27 % d'agents d'entretien
- 19 % de personnel technique
- 15 % d'autres (agents commerciaux et administratifs).

Le pourcentage de personnel d'entretien et d'exploitation (89 % en 1983) diminue peu à peu au profit de celui des agents techniques et autres commerciaux et administratifs.

PERSONNEL AFFECTE AU V.A.L.



**Evolutions annuelles moyennes (en % d'évolution)
des principaux indicateurs
des Réseaux de Transport Collectif Urbain pour la période 1978-1987**

	Période 1978-83	Période 1983-87
VILLES DE 100 A 300 000 HABITANTS		
personnel total	6,1 %	1,1 %
personnel roulant	7,2 %	0,7 %
personnel d'entretien	5,5 %	0,6 %
places * kms offertes	8,8 %	2,4 %
nombre total de voyages	6,1 %	2,7 %
VILLES DE 300 A 900 000 HABITANTS		
personnel total	2,7 %	-0,5 %
personnel roulant	4,0 %	-1,1 %
personnel d'entretien	1,1 %	-1,1 %
places * kms offertes	5,8 %	0,2 %
nombre total de voyages	3,5 %	1,5 %
VILLES DE PLUS DE 900 000 HABITANTS		
personnel total	1,5 %	-0,4 %
personnel roulant	1,0 %	-0,6 %
personnel d'entretien	1,5 %	-1,6 %
places * kms offertes	2,7 %	3,3 %
nombre total de voyages	4,1 %	3,2 %

LES PREVISIONS A L'HORIZON 2000

Nous avons tenté de modéliser les variations de l'emploi, sur la période 1975-1987.

Nous avons créé un modèle économétrique itératif, fonctionnant sur tableur EXCEL, que l'on peut schématiser de la manière suivante:

Emploi = Offre ^a x constante

Offre = Usage ^b x constante

Usage = consommation ^c x effet prix ^d
x Offre ^e x constante

- L'offre est exprimé en places*kms offertes, qui est l'indicateur qui reflète le mieux les variations de l'offre dûes à une augmentation du parc, à un changement de matériel et à une amélioration des fréquences et du trafic.

- L'usage est exprimé en nombre de voyages effectués par les usagers.

- On utilise la Consommation Finale des Ménages en volume. L'augmentation de la consommation des ménages est en général défavorable au transport collectif, et privilégie l'usage de la voiture particulière. Néanmoins elle traduit la propension des ménages à consommer, dont bénéficie également le transport collectif. De plus cette variable reflète l'évolution de la population nationale, qui a un effet sur l'utilisation des transports collectifs.

Il ne faudra donc pas s'étonner si l'élasticité de l'Usage à la Consommation Finale des Ménages est positive.

- L'effet prix est mesuré par un produit moyen égal au ratio "recettes/nombre de voyages" exprimé en francs constants de 1980.

En raison du faible nombre d'observations (on travaille avec 13 données annuelles par série), le modèle a été estimé dans sa forme structurelle, série par série, par la méthode des Moindres Carrés Ordinaires, avec un test d'Autocorrélation des Résidus.

Pour la période d'étude considérée, si le test de Durbin-Watson est compris entre 1,54 et 2,46, il n'y a pas d'autocorrélation des résidus.

Les résultats obtenus sont relativement satisfaisants dans le cas des villes de moins de 300 000 habitants et pour les villes de 300 à 900 000 habitants, mais ne sont plus du tout significatifs pour les villes de plus de 900 000 habitants.

Une modélisation de la fréquentation des Transports Collectifs Urbains en fonction de l'offre et de la tarification a été réalisée pour un ensemble de 91 villes (cf annexe 3). Les estimations ont été réalisées réseau par réseau et montrent une grande disparité dans les élasticités à l'offre et à un effet prix. Ceci expliquerait les difficultés de modélisation que nous avons rencontrées.

Les villes de moins de 300 000 habitants

L'emploi total de cette classe de réseaux représente 48 % du personnel urbain de l'ensemble des réseaux.

- On arrive à une relation satisfaisante entre l'emploi et l'offre de transport sur la période 1978-1987, en tenant compte de l'autocorrélation des résidus.

$$\text{LOG (personnel total)} = 0,69280 * \text{LOG (places*kms offertes)} - 2,26965$$

(68,68) (13,85)

$$\text{AR}_0 = 0,68006 * \text{AR}_1 - 0,79274 * \text{AR}_2$$

$$R^2 = 0,9977 \quad \text{DW} = 2,45$$

- On modélise ensuite l'offre de transport en fonction du trafic, selon la relation:

$$\text{LOG (places*kms offertes)} = 1,21198 * \text{LOG(voyages)} + 0,49988$$

(28,75) (1,06)

$$\text{AR}_0 = 0,70520 * \text{AR}_1$$

$$R^2 = 0,9972 \quad \text{DW} = 1,64$$

- Le trafic est ensuite estimé économétriquement. Diverses relations ont été envisagées:

1- En fonction du Revenu des Ménages

$$\text{LOG (voyages)} = 1,45758 * \text{LOG (revenu des ménages)} - 0,79196 * \text{LOG (produit moyen)}$$

(2,67) (1,77)

$$+ 0,51943 * \text{LOG(places*kms offertes)} - 12,8277$$

(5,95) (2,19)

$$R^2 = 0,9962 \quad \text{DW} = 1,59$$

Cette relation est satisfaisante d'après les tests statistiques, et comporte un effet d'offre significatif, avec une élasticité de 0,5. Néanmoins l'influence de la variable "Revenu des Ménages" apparaît trop importante: en effet une hausse du revenu des ménages privilégie en général l'usage de la voiture particulière, au détriment des transports collectifs, ce qui n'apparaît pas ici.

D'après les dernières hypothèses du BIPE :

- le Revenu Disponible des Ménages augmenterait de 2,5% par an en volume de 1988 à 1994,

- le Prix de la CFM augmenterait de 3,0 % de 1988 à 1994.

On suppose que le produit moyen en transport urbain ne varie pas en francs constants.

Avec ces hypothèses, un modèle prenant en compte les équations d'offre, d'usage et d'emploi précédemment citées donne les résultats suivants:

Variations annuelles moyennes entre 1988 et 1994

personnel total	+ 10,3 %
places *kms offertes	+ 15,4 %
voyages	+ 11,7 %

Ces résultats apparaissent bien trop élevés, par rapport à la situation passée (on observait une évolution annuelle moyenne de 2,7 % entre 1983 et 1987 pour le trafic en transport collectif), et confirment que l'effet du revenu des ménages est trop important dans la modélisation de la série de trafic.

* * *

2- En fonction de la Consommation Finale des Ménages

Une modélisation du trafic en transport collectif en fonction de la Consommation Finale des Ménages (CFM) en volume donne des résultats moins élevés.

On constate que:

- l'élasticité à la Consommation est plus faible que celle au Revenu des Ménages (0,65 au lieu de 1,46)

- l'élasticité au tarif est plus faible (-0,36 au lieu de -0,79)

- l'élasticité à l'offre est proche de la précédente (0,56 contre 0,52).

On peut supposer que le produit moyen en transport urbain évolue comme le prix à la Consommation des Ménages, soit 2,7 % en moyenne annuelle de 1988 à 1994 d'après les prévisions du BIPE.

$$\begin{aligned} \text{LOG (voyages)} = & 0,65363 * \text{LOG}(\text{CFM}) - 0,36283 * \text{LOG} (\text{produit moyen}) \\ & (2,91) \qquad \qquad \qquad (1,24) \\ & + 0,55929 * \text{LOG}(\text{pko}) - 7,38899 \\ & (8,30) \qquad \qquad \qquad (2,05) \end{aligned}$$

$$R^2 = 0,9965 \quad DW = 1,61$$

En prenant en compte cette évolution, les taux de croissance annuels moyens obtenus sont:

Variations annuelles moyennes entre 1988 et 1994

personnel total	+ 4,6 %
places *kms offertes	+ 6,8 %
voyages	+ 5,6 %

Ces résultats sont assez élevés par rapport à la période antérieure 1983-1987; la différence provient de la reprise économique constatée dès 1988. Les agrégats macroéconomiques augmenteraient, selon le BIPE, deux à trois fois plus que par le passé.

3- En fonction d'un effet d'offre et d'un effet prix uniquement

Puisque les variables macroéconomiques semblent introduire un biais important, on peut se demander si une modélisation sans agrégat macroéconomique n'est pas mieux adaptée. On obtient la relation suivante:

	coefficient	T de Student
élasticité à l'offre	0,74377	22,68
élasticité aux prix	0,27843	1,01
constante	2,41203	1,31

R2	0,9916
DW	1,43

Les tests statistiques sont satisfaisants. Mais la fréquentation a une élasticité positive au produit moyen, ce qui semble aberrant. Le coefficient de Student de cette variable n'est d'ailleurs pas significatif.

Ce type de modélisation est donc à rejeter.

4- Avec une hypothèse préalable sur l'évolution de la fréquentation

On peut raisonnablement faire l'hypothèse que le trafic continuera de progresser, mais avec un pourcentage de croissance plus faible que durant la période 1983-1987. En effet les réseaux de province de 100 à 300 000 habitants (et même de 30 à 100 000 habitants), qui bénéficient du versement-transport depuis 1975, ont eu le temps d'être mis en place et un effet de seuil est à prévoir.

Une croissance annuelle du trafic de 1,5 à 2% en moyenne paraît plausible pour les années à venir (cf contribution OEST sur le cadrage des grandes évolutions dans le rapport du CNT sur les orientations stratégiques transport pour le X^e plan).

Dans le cas d'une croissance du trafic de 2%, on obtient les résultats suivants:

Variations annuelles moyennes entre 1988 et 1994

personnel total	+ 1,7 %
places *kms offertes	+ 2,4 %
voyages	+ 2,0 %

L'augmentation de personnel urbain semble plus raisonnable, mais les tendances actuelles sont à la stabilisation, voire à la diminution des emplois pour le transport collectif. Un renversement de tendance est possible, à cause de la reprise générale, qui devrait profiter également aux Transports Urbains de Province.

Il serait néanmoins étonnant que la croissance soit très élevée; en effet les réseaux arrivent maintenant à leur maturité et peu d'extensions et de changements d'infrastructures sont envisagés pour cette classe de réseaux.

Les villes de 300 à 900 000 habitants

Cette classe de réseaux emploie 26,5% du personnel urbain total.

Une modélisation des principaux indicateurs d'offre, d'usage et d'emploi a également été réalisée, pour ce groupe de villes.

En ce qui concerne l'emploi, la seule relation "correcte" que l'on peut établir est la modélisation du personnel roulant en fonction du parc d'autobus.

$$\text{LOG}(\text{personnel roulant}) = 0,87884 * \text{LOG}(\text{parc d'autobus}) + 1,59370$$

(13,70) (3,14)

$$\text{AR0} = 0,86441 * \text{AR1} - 0,63471 * \text{AR2}$$

$$\text{R}^2 = 0,9799 \quad \text{DW} = 2,12$$

On peut regretter que cette relation n'intègre pas les différents moyens de transport (autobus, trolleybus, tramways...) que l'on peut rencontrer dans cette classe de réseaux.

Mais les relations envisagées prenant en compte le nombre de voitures de tramways ou de trolleybus n'ont aucune validité statistique.

Le personnel total est évalué en fonction du personnel roulant :

$$\text{LOG}(\text{personnel total}) = 0,69097 * \text{LOG}(\text{personnel roulant}) + 3,12437$$

(10,66) (5,60)

$$\text{AR0} = 0,57223 * \text{AR1}$$

$$\text{R}^2 = 0,9934 \quad \text{DW} = 1,77$$

- Pour l'offre, l'équation est la suivante:

$$\text{LOG}(\text{places*kms offertes}) = 1,32977 * \text{LOG}(\text{voyages}) - 1,11662$$

(8,70) (0,56)

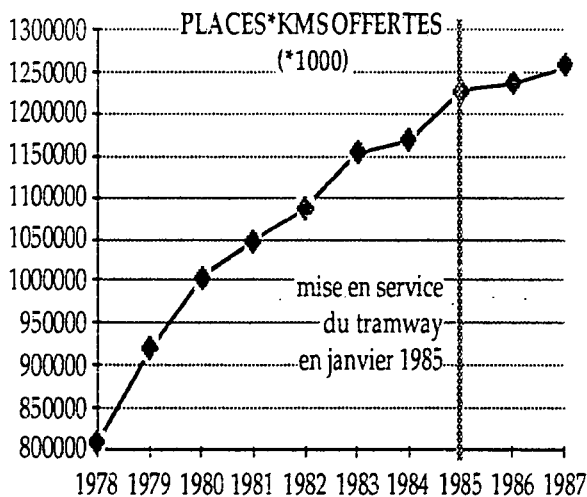
$$\text{AR0} = 0,45882 * \text{AR1}$$

$$\text{R}^2 = 0,9811 \quad \text{DW} = 1,76$$

La mise en service du tramway à Nantes :
offre peu modifiée en volume,
légère diminution de l'emploi,
forte hausse de la fréquentation

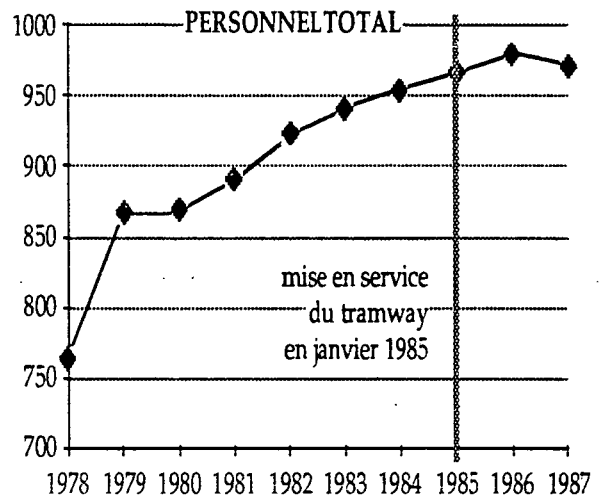
L'observation du cas de Nantes est riche d'enseignements : le tramway y est implanté depuis janvier 1985, et la mise en service totale est assurée depuis avril 1985 avec 20 rames de tramways.

L'installation d'un site propre n'a pas eu beaucoup de conséquences au niveau de l'emploi et de l'offre en places*kms offertes. Il y a eu substitution des moyens de transport, avec diminution du parc d'autobus au profit du tramway.



Le personnel total diminue à partir de 1986, il s'agit essentiellement d'une baisse du personnel roulant; en effet le parc d'autobus a diminué de 1,9 % en moyenne annuelle à partir de 1985.

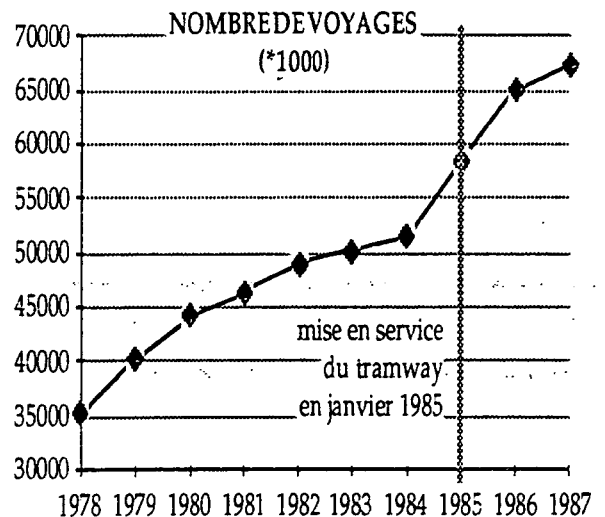
Mais on constate une croissance beaucoup plus élevée de la fréquentation des transports collectifs, depuis la mise en service du tramway.



La croissance annuelle moyenne était de 6,5 % entre 1978 et 1984, elle est passée à 9,4 % entre 1984 et 1987.

Ceci confirme l'effet induit créé par toute nouvelle infrastructure, qui semble atteindre un seuil à la troisième année de mise en service.

Puisque l'offre augmente de manière beaucoup plus faible, on peut penser que pour l'instant le réseau n'est pas saturé et que les coefficients de remplissage sont meilleurs qu'auparavant.



Le cas du réseau de Nantes se modélise assez bien:

• l'emploi

$$\text{LOG (personnel total)} = 0,52177 * \text{LOG (places*kms offertes)} - 0,43535$$

(12,98) (0,78)

$$R^2 = 0,9547 \quad DW = 2,77$$

• l'offre

$$\text{LOG (places*kms offertes)} = 0,93851 * \text{LOG (autobus)} + 0,04560 * \text{LOG (tramways)}$$

(21,08) (12,60)

$$+ 8,35926$$

(32,18)

$$R^2 = 0,9913 \quad DW = 2,27$$

• le trafic

L'augmentation de la fréquentation, qui est plus forte que celle de l'offre à partir de 1985, se traduit par une élasticité importante à la Consommation Finale des Ménages (2,28), et une élasticité moins importante à l'offre (0,25) que pour la moyenne des villes de 300 à 900 000 habitants.

En prévision on obtiendra, comme nous le verrons par la suite, des variations de la fréquentation plus marquées que pour la moyenne des villes de cette classe.

$$\text{LOG (voyages)} = 2,27926 * \text{LOG (CFM)} - 0,63598 * \text{LOG (produit moyen)}$$

(9,98) (4,53)

$$+ 0,24673 * \text{LOG(places * kms offertes)} - 28,7730$$

(2,34) (14,43)

$$R^2 = 0,9961 \quad DW = 2,21$$

• LES RESULTATS

Nous conservons comme prévisions des agrégats macroéconomiques les prévisions du BIPE.

Plusieurs scénarios peuvent alors être envisagés pour l'évolution de l'offre en transport collectif.

S1: substitution du tramway à l'autobus
le nombre d'autobus diminue de 2 % par an, comme pendant la période 1985-1987. Le nombre de tramways augmente de 10 % par an, (par conséquent l'offre globale en places*kms offertes diminue de 1,5 % par an).

S2: stabilisation du nombre d'autobus et extension du tramway
le nombre d'autobus reste stable et le nombre de tramways augmente de 5 % par an; on passe de 20 voitures en 1987 à 28 voitures en 1994.

S3: extension du parc d'autobus et de voitures de tramway
le nombre d'autobus augmente de 1% par an, et le nombre de tramways de 5 % par an.

Variations annuelles moyennes durant la période 1988-1994

	S1	S2	S3
personnel total	-0,8 %	+0,1 %	+0,6 %
p.k.o.	-1,5 %	+0,2 %	+1,2 %
voyages	+5,9 %	+6,3 %	+6,6 %

CONCLUSION:

de bons résultats statistiques, mais une grande influence de la Consommation des Ménages

Estimer les réseaux dans leur ensemble a permis de dégager une certaine unité de comportement (loi des grands nombres), qui n'apparaissait pas lorsqu'on réalisait des estimations réseau par réseau. (cf travail de G.GAC figurant en annexe).

Les élasticités à l'offre, réseau par réseau, varient entre 0 et 1,8 et les élasticités aux prix entre -2 et 1,5.

Les équations qui posent le plus de problèmes sont celles qui expriment la fréquentation des voyageurs. La variable Consommation des Ménages, dont la plupart des organismes économiques prévoient des variations plus importantes que durant les dix dernières années, a une grande influence sur l'usage des transports collectifs, et atténue des effets d'offre et de prix prévisibles. Néanmoins une modélisation de la fréquentation uniquement en fonction d'effets d'offre et de prix ne donne pas de bons résultats.

Pour rendre compte de l'évolution de la population, la variable "nombre d'habitants" du réseau concerné serait peut-être plus pertinente. Nous n'avons pas utilisé cette variable dans l'étude car nous ne disposons pour l'instant que des résultats du recensement de 1982.

Les changements de matériel et d'infrastructures ont été réalisés de manière trop récente pour en apprécier tous les effets, en particulier les effets d'induction sur le trafic.

D'une manière générale, les modèles qui ont été estimés pour ces 2 classes de villes sont satisfaisants au point de vue statistique, mais reflètent imparfaitement les mécanismes en partie politiques qui interviennent dans la détermination des niveaux d'emploi.

Les villes de plus de 900 000 habitants: le modèle "Petit Quin-Quin"

Il s'agit de Lille, Lyon et Marseille qui emploient 25,5 % du personnel urbain total.

Aucune modélisation, telle que celles que nous avons réalisées précédemment n'est fiable pour ces trois villes, qu'il s'agisse de l'emploi, de l'offre ou de l'usage.

Dans ces conditions, il était tentant de recourir au modèle Quin-Quin (qualité introduite, quantité insolvable) mis au point par le Laboratoire d'Economie des Transports de Lyon II pour simuler les conséquences d'un certain nombre de paramètres locaux sur la situation des transports urbains lyonnais.

Certes, il ne s'agit pas à proprement parler d'un modèle de prévision, et l'évolution de certains paramètres est malaisée à estimer (coefficient de périphérisation des flux par exemple). Par ailleurs, chaque cas de grande agglomération est spécifique, et il y a quelque danger à transposer à Lille et à Marseille les résultats d'un modèle calé sur le cas lyonnais.

Mais le modèle reste précieux pour révéler la sensibilité des transports urbains aux variations des facteurs, et il a donc été décidé d'y introduire un module emploi, par le biais de variables de productivité.

Les indicateurs que prend en compte le modèle, et dont certains ont plus particulièrement été reliés à ce module emploi, se répartissent en trois catégories:

-variables relatives au contexte du système de transport: revenu, structure démographique, population urbaine, localisation des emplois, réglementation sociale

-variables de commande: niveau de service offert par les transports collectifs, concurrence VP/TC pour l'occupation de la voirie, tarification des transports collectifs

-variables descriptives: taux de motorisation, mobilité, vitesse commerciale des TC, cout et recettes tarifaires des TC, financement public du système de transport.

Ci-dessous figurent les projections d'emploi du modèle pour un certain nombre de scénarii, et les répercussions sur le coût du système de transport pour les collectivités.

HYPOTHESES en % de croissance annuelle										
revenu	3%	3%	3%	3%	3%	3%	3%	1%	3%	3%
tarif	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,5%	1,0%	1,5%	1,5%
p.k.o. b.100 en 83	114,5	114,5	114,5	114,5	114,5	114,5	114,5	114,5	118,25	130
promotion TC		oui								
demande TC/83	102,06	113,25	104,24	102,06	102,06	102,06	102,06	107,36	106,76	108,5
baisse motorisation			oui							
productivité	0%	0%	0%	-1%	+1%	+1%	+1%	0%	0%	0%
capacité bus	5%	5%	5%	5%	5%	0%	10%	5%	5%	5%
RESULTATS en % de croissance annuelle										
emploi total	0,1	0,1	0,1	1,0	-0,8	0,3	-0,2	0,1	0,1	1,1
emploi surface	-0,7	-0,7	-0,7	0,2	-1,3	-0,4	-0,9	-0,7	-0,8	0,3
roulants	-0,7	-0,7	-0,7	0,2	-1,3	-0,4	-0,9	-0,7	-0,8	0,3
autres	-0,7	-0,7	-0,7	0,2	-1,3	-0,4	-0,9	-0,7	-0,8	0,3
emploi métro	3,8	3,8	3,8	4,8	2,9	3,8	3,8	3,8	4,8	4,6
roulants	0,8	0,8	0,8	1,7	-0,1	0,8	0,8	0,8	1,5	1,5
autres	4,6	4,6	4,6	5,6	3,6	4,6	4,6	4,6	5,5	5,4
déficit C.L.	8,8	7,9	8,6	10,4	7,2	9,3	8,3	6,0	9,7	10,8
pression fiscale	5,8	4,9	5,7	7,4	4,2	6,3	5,4	5,0	6,7	7,7

Nous considérerons tout d'abord une situation de référence correspondant à une croissance à l'horizon 2000 de 3% des revenus, et de 1,5% des tarifs.

L'évolution du système offre-demande est dite "au fil de l'eau" avec comme niveau d'offre celui de 1992, y compris l'introduction de la ligne D du métro lyonnais.

Stabilité de l'emploi total dans le cas du scénario de référence

Dans une telle configuration, l'emploi total du réseau urbain est relativement stable (augmentation annuelle moyenne de 0,05 %). La diminution du réseau de surface de 0,65 % en moyenne est compensée par l'augmentation de l'emploi du réseau du métro de 3,8 % en moyenne annuelle.

Au sein même du personnel Metro, les contrastes sont importants: +0,76 % pour les "roulants" contre +4,55 % pour les autres. Parallèlement, la contribution des collectivités à la couverture du déficit augmente de 8,8 % par an et la pression fiscale de 5,8 % par an.

Une politique de développement de l'offre améliore légèrement l'emploi (+0,11 % par an)

L'application d'une politique de développement de l'offre à contexte économique (hausse des revenus de 3 %) et niveau tarifaire (+1,5 %) inchangés, améliore évidemment la situation de l'emploi : en fixant le niveau d'offre à 118,25% des places-kilomètres offertes en 1983, on stabilise l'effectif global mais au prix d'une aggravation du déficit (9,7 % de croissance annuelle) et de la pression fiscale (+6,2 %).

Une croissance de l'emploi de 0,6 % suppose une offre dépassant de 120 % celle de 1983 et entraîne un déficit en croissance de 10 % par an (7 % pour la pression fiscale), et pour dépasser 1% de croissance d'emploi il faut porter l'offre à 130 % du niveau 1983 et accepter un déficit en croissance de 10,8 % (7,7 % pour la pression fiscale).

Un scénario de promotion des transports collectifs a des effets sur la fréquentation, mais pas sur l'emploi.

L'adoption de mesures de promotion des transports collectifs en complément de l'augmentation de la capacité de transport permet pour un même niveau d'emploi de limiter le recours aux ressources publiques; un scénario réaliste de promotion permet de réduire d'environ un point le taux de croissance du déficit des collectivités et de la pression fiscale.

Inversement, la promotion permet d'atteindre un même niveau d'usage des transports collectifs avec une meilleure productivité de l'emploi; celui-ci évolue par exemple dans le scénario p.k.o. à 110% du niveau 83 + promotion, de 0,5 % moins vite par an que dans le scénario p.k.o. à 130 % pour sensiblement le même niveau d'usage.

Peu d'influence sur l'emploi TCU d'une politique de limitation de l'usage urbain de la voiture

Une modification du taux de motorisation affecte relativement faiblement l'emploi: un transfert d'un point entre la part des non motorisés et celle des multimotorisés entraîne une variation de 0,1% de taux de croissance annuel des effectifs du réseau.

L'impact de la politique tarifaire est plus sensible, le passage d'une croissance annuelle de 1,5% à 1% se traduisant par un surcroît d'effectifs de 0,5% sur le réseau de surface et de 0,6% sur le réseau en site propre, mais aussi par une aggravation du déficit de près de 1% annuel.

La conjugaison de bas tarifs avec une politique d'offre et de promotion vigoureuse permet de maintenir l'emploi à un haut niveau (1% de croissance annuelle pour une offre à 130% et une hausse tarifaire de 1%) tout en encourageant des déficits certes élevés mais inférieurs à ce qu'ils seraient sans promotion malgré des tarifs plus élevés (10,3% de taux de croissance moyen annuel -tcma- contre 10,8% sans promotion et avec hausse tarifaire de 1,5%).

Une détérioration de la productivité apparente de 1% a un impact d'environ 1,5% sur le déficit des Collectivités Locales

Si l'on considère l'emploi non pas seulement comme une résultante mais aussi comme une variable d'action de la politique des transports, il est intéressant de noter qu'une détérioration de 1 point de la productivité apparente du travail, consécutive par exemple à une embauche de personnel de promotion, augmente l'emploi total de 0,9% par an par rapport au scénario de référence, et a un impact d'environ 1,5% de tcma sur le déficit, toutes choses égales par ailleurs.

Une augmentation de la productivité de 1 point a des effets symétriques sur l'emploi et le déficit des Collectivités Locales.

Une moindre croissance des revenus (1% par an) est favorable aux transports urbains et à l'emploi

Enfin, dans une politique au fil de l'eau, la réduction de la croissance des revenus améliore la situation de l'emploi dans les transports urbains, par report d'une partie du trafic V.P. sur les transports collectifs; le passage d'une croissance des revenus de 3% à 1% fait progresser l'emploi de 0,3% annuels.

Il en va bien sur différemment en cas de politique volontariste de l'offre, le niveau de celle-ci déterminant mécaniquement celui des effectifs à productivité du travail inchangée.

* * *

ANNEXES

EVOLUTION D'INDICATEURS D'EMPLOI, D'OFFRE ET DE DEMANDE SUR LA PERIODE 1978-1987

PERSONNEL TOTAL

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
100 à 300 000 h	6895	7498	7862	8186	8770	9249	9449	9564	9615	9659
300 à 900 000 h	7721	7970	7998	8113	8685	8828	8786	8719	8702	8648
plus de 900 000 h	7108	7322	7166	7150	7511	7640	7780	7785	7628	7504
TOTAL	21724	22790	23026	23449	24966	25717	26015	26068	25945	25811

PERSONNEL ROULANT

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
100 à 300 000 h	4604	5043	5391	5650	6112	6532	6656	6712	6734	6712
300 à 900 000 h	4607	4800	4872	5015	5458	5615	5579	5503	5501	5376
plus de 900 000 h	3797	3802	3816	3782	4071	3998	3989	3991	3963	3908
TOTAL	13008	13645	14079	14447	15641	16145	16224	16206	16198	15996

PERSONNEL ENTRETIEN

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
100 à 300 000 h	1050	1129	1295	1316	1343	1374	1376	1388	1339	1406
300 à 900 000 h	1600	1672	1799	1748	1725	1691	1656	1681	1667	1619
plus de 900 000 h	1863	1917	1921	1907	1926	2004	1829	1738	1659	1879
TOTAL	4513	4718	5015	4971	4994	5069	4861	4807	4665	4904

PLACES*KMS OFFERTES TOUS SERVICES (*10⁹)

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
100 à 300 000 h	9,13	10,23	11,21	12,08	13,10	13,92	14,32	14,40	14,89	15,29
300 à 900 000 h	8,28	8,86	9,39	9,86	10,27	10,98	10,91	10,45	10,93	11,07
plus de 900 000 h	7,74	7,96	8,25	5,86	8,61	8,83	9,24	9,68	9,98	10,06
TOTAL	25,15	27,05	28,84	27,79	31,97	33,74	34,46	34,53	35,80	36,41

VOYAGES (*1000)

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
100 à 300 000 h	377870	409962	440877	469503	489629	508762	520583	538603	553903	566447
300 à 900 000 h	370561	387575	404451	419127	435225	439158	441888	446373	462510	465544
plus de 900 000 h	324571	355414	369953	380884	388789	396160	404377	409893	422821	449135
TOTAL	1073002	1152951	1215281	1269514	1313643	1344080	1366848	1394869	1439234	1481126

PRODUIT MOYEN EN FRANCS COURANTS

	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
100 à 300 000 h	0,93	1,02	1,14	1,3	1,5	1,59	1,72	1,81	1,93	2
300 à 900 000 h	1,01	1,09	1,2	1,35	1,51	1,61	1,73	1,8	2,03	2,14
plus de 900 000 h	1,2	1,25	1,43	1,61	1,81	1,93	2,16	2,31	2,37	2,39
TOTAL	1,04	1,12	1,25	1,41	1,59	1,7	1,85	1,95	2,09	2,16

LES MODELES

VILLES DE 100 A 300 000 HABITANTS

	1987	1988
PERSTOT1	9659	=PKO1 ^{0.6928} *EXP(2.26965)
PKO1	15292781	=VOYAGES1 ^{1.21198} *EXP(0.49988)
VOYAGES1	566447	=CFM ^{0.65363} *(PRODM1/PCFM) ^(-0.36283) *PKO1 ^{0.55929} *EXP(-7.38899)
RDM	3640000	=1.025*INDEX(RDM,COLUMN()-1)*PCFM/INDEX(PCFM,COLUMN()-1)
PCFM	404,77	=INDEX(PCFM,COLUMN()-1)*1.03
PRODM1	1,997053564	=INDEX(PRODM1,COLUMN()-1)*PCFM/INDEX(PCFM,COLUMN()-1)
CFM	1932000	=INDEX(CFM,COLUMN()-1)*1.027

VILLES DE 300 A 900 000 HABITANTS

	1987	1988
PERSROUL2	5376	=EXP(1.5937)*AUTOBUS2 ^{0.87884}
PKO2	11066146	=EXP(-1.11662)*VOYAGES2 ^{1.32977}
VOYAGES2	465544	=EXP(0.51823*LOG(CFM)+0.4306*LOG(PKO2)-1.42667)
PRODM2	2,14	=INDEX(PRODM2,COLUMN()-1)*PCFM/INDEX(PCFM,COLUMN()-1)
AUTOBUS2	2928	=PKO2 ^{0.4924}
PERSTOT2	8648	=EXP(0.69097*LOG(PERSROUL2))+3.12437

LES PREVISIONS DE 1988 A 1994

VILLES DE 100 A 300 000 HABITANTS

	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
PERSTOT1	9659	941927	957720	973778	990105	1006705	1023584	1040746
PKO1	15292781	15857413	16242601	16637146	17041274	17455219	17879218	18313517
VOYAGES1	566447	577776	589332	601118	613140	625403	637911	650670
RDM	3640000	3842930	4057173	4283361	4522158	4774268	5040434	5321438
PCFM	404,77	417	429	442	456	469	483	498
PRODM1	2,00	2,06	2,12	2,18	2,25	2,32	2,38	2,46
CFM	1932000	1984164	2037736	2092755	2149260	2207290	2266887	2328092

VILLES DE 300 A 900 000 HABITANTS

	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994
PERSROUL2	5376	5767	5875	5986	6098	6212	6329	6448
PKO2	11066146	12348832	12890853	13456665	14047312	14663884	15307519	15979405
VOYAGES2	465544	498486	514852	531755	549213	567244	585868	605102
PRODM2	2,14	2,20	2,27	2,34	2,41	2,48	2,56	2,63
AUTOBUS2	2928	3104	3170	3238	3307	3378	3450	3524
PERSTOT2	8648	9028	9145	9263	9383	9504	9627	9752

Travail réalisé par Georges GAC
à l'Observatoire Economique et Statistique des Transports
dans le cadre de la participation des étudiants de DEÀ
aux travaux du Laboratoire d'Economie des Transports de Lyon

Octobre 1989

L'objectif de ce travail est la recherche de modèles économétriques par réseau de transport, à partir de séries chronologiques longues (1975-1987), explicitant des variations de la demande de transport, en fonction de variations de tarif, de l'offre, et éventuellement d'autres variables pouvant s'avérer pertinentes pour lesquelles on dispose de statistiques. Nous en tirerons des conclusions en vue de l'intégration des résultats dans un modèle général de prévision de la demande de transport et de financement des transports urbains, tel le modèle "Quin-Quin" développé par le L.E.T.

1. Présentation générale.

Les modèles testés sont du type :

$D = k \cdot O^a \cdot T^b \cdot f(X, Y, \dots)$, ou encore :

$\text{Log}(D) = a \cdot \text{Log}(O) + b \cdot \text{Log}(T) + \text{Log}(f(X, Y \dots)) + \text{Log}(k)$.

D = Demande (voyages par habitant, kilomètres par habitant ...)
O = Offre (places-kilomètres offertes, voyages par habitants ...)
T = Tarification (prix du billet, produit moyen par voyage ...)
f(X,Y...) = fonction d'autres variables qui peuvent être pertinentes, telles la vitesse commerciale, la taille de l'agglomération, la structure tarifaire ...)

Les modèles sont calés par des régressions linéaires ; la pertinence du modèle étant mesurée par les tests statistiques habituels associés à la régression linéaire :

R^2 : Coefficient de détermination, qui doit être le plus proche possible de l'unité.

DW : Valeur du test de Durbin-Watson, qui permet de déterminer si le test de student est utilisable ou non, et mesure l'importance du phénomène d'autocorrélation des résidus. Si $1,54 < DW < 2,46$, le "Durbin-Watson" est bon, il n'y a pas autocorrélation des résidus, et le test de student est utilisable. Dans le cas contraire, il faut rechercher un autre modèle, ou recourir à une régression avec autocorrélation des résidus.

T : Les "T" du test de Student associés aux différentes variables testées, qui précisent si la variable à sa place dans l'explication de la variable de demande de transport (On considère que la variable est "explicative" si son "T" de Student est supérieur à 2).

Les statistiques utilisées sont issues du manuel "Les 101 réseaux".

2) Les différentes variables testées :

a) Les variables d'offre :

Nous avons tenté de "désagréger" l'offre en prenant en compte plusieurs indicateurs d'offre : la vitesse commerciale, le parc d'autobus, la proportion de bus articulés, le nombre de voyages effectués par les véhicules, le kilométrage total parcouru, le nombre de lignes.

Chacun de ces indicateurs a un effet sur l'offre pouvant se traduire auprès des usagers de manière quelque peu différente. Par exemple, une augmentation de la vitesse commerciale ou du nombre de voyages effectués par les véhicules, se traduit par une moindre attente aux arrêts, qui peut entraîner une nouvelle demande; une augmentation de la proportion de bus articulés se traduit quant à elle par une amélioration du confort qui peut aussi entraîner une augmentation de la demande, mais peut-être dans de toutes autres proportions. (*)

Si la prise en compte de ces divers indicateurs améliore le " R^2 " - ce qui est toujours le cas dans une régression linéaire lorsque l'on augmente le nombre de variables - il s'avère que les élasticités aux divers indicateurs d'offre sont rarement toutes statistiquement significatives. Nous retenons donc finalement comme indicateur d'offre, le PKO (Nombre de places-kilomètres offertes) qui synthétise l'ensemble des différentes évolutions de l'offre.

b) Variables de tarification.

Nous avons testé, comme variable associée à la tarification, la "recette au kilomètre" et la "recette moyenne par voyage". Pour certaines villes, c'est la première de ces deux variables qui était la plus pertinente, pour certaines autres, les plus nombreuses, c'était la seconde variable la plus intéressante. C'est donc la "recette moyenne par voyage" qui a été retenue.

c) Variables de demande.

De même, nous avons ici le choix entre le "nombre de kilomètres parcourus par habitant", le "nombre de voyages par habitant" et le "nombre de voyage total effectué par l'ensemble des habitants". C'est cette troisième variable qui a été retenue.

d) L'évolution de la population.

Sur la période considérée, l'augmentation de la population explique une partie de l'évolution de la demande. Il aurait été trop lourd de rechercher des statistiques annuelles de population pour chacune des villes (*), aussi nous avons utilisé les statistiques de la population nationale, pour laquelle l'INSEE fait des évaluations annuelles précises. nous faisons donc l'hypothèse simplificatrice que la population des villes augmente de la même manière que l'ensemble de la population française. L'élasticité de la demande de transport à l'évolution de la population, est fixée et prise égale à 1.

(*) Les variables d'offre n'étant pas indépendantes, nous avons bien entendu veillé à ne pas prendre en compte deux fois tel ou tel effet d'offre dans les équations qui ont été testées.

e) La consommation finale des ménages (CFM).

Il nous a semblé intéressant de prendre en compte l'évolution du niveau de vie des ménages, la propension à réaliser des déplacements augmentant avec le niveau de vie. La prise en compte de la CFM améliore quelque peu le "R²" des régressions, mais la valeur du student est pour la plupart des réseaux inférieure à deux, et donc la variable non significativement explicative.

Toutefois, pour certaines villes (rares), la variable CFM était statistiquement significative ; dans ce cas, elle avait pour effet "d'absorber" l'effet d'offre, l'élasticité à l'offre devenant du fait de la présence de la variable CFM, quasiment nulle. On en déduit que pour ces villes, l'offre a suivi une augmentation sensiblement parallèle à l'augmentation du niveau de vie. Mais c'est l'offre qui agit principalement sur la demande.

En outre, l'augmentation de mobilité due à la hausse du niveau de vie se traduit plus par un transfert modal vers l'automobile, que par une sensible augmentation de l'usage des transports en commun.

Pour ces raisons nous retenons, finalement de pas prendre en compte dans nos modèles la consommation des ménages.

f) La prise en compte d'une "tendance" linéaire.

L'introduction d'une "tendance" linéaire améliorerait assez nettement les coefficients statistiques des régressions linéaires. Mais l'offre, et parfois aussi la tarification, ayant eux-mêmes suivis, sur la période considérée, des tendances (en particulier, forte tendance à l'augmentation de l'offre), la "tendance" linéaire avait pour effet de masquer artificiellement les effets d'offre et de tarification. De plus, rien ne permet de dire que les tendances passées se prolongeront à l'avenir ; malgré une grande qualité statistique, les modèles avec une "tendance linéaire" ont une moindre capacité prédictive. Le "trend linéaire" n'a donc pas non plus été retenu dans les modèles.

Finalement le modèle retenu est le suivant :

$$\text{Log}(D) = \text{Log}(P) + a. \text{Log}(O) + b. \text{Log}(T) + k, \quad (\text{équation 1}) \quad \text{avec :}$$

- D = demande, exprimée en nombre de voyages.
- P = population française (évaluations annuelles de l'INSEE.)
- O = Offre de transport, exprimée en PKO.
- T = Variable de tarification : produit-moyen, exprimé en franc constant 1980
- k = constante de régression.
- a = élasticité de la demande à l'offre.
- b = élasticité de la demande au tarif.

Le modèle est calé sur les données statistiques des années 1975 et 1978 à 1987. Seuls les réseaux de province ne possédant pas de métro sont pris en compte (Paris, Lyon, Marseille, Lille sont donc exclus) ; certains réseaux pour lesquels des données manquaient, ont aussi été exclus. Au total, 91 réseaux ont fait l'objet de modélisation.

On retiendra, et c'est important, que l'on a délibérément choisi, pour l'ensemble des réseaux, la même équation, même si dans certains cas, la qualité de la régression linéaire est médiocre et qu'il est possible de l'améliorer en introduisant telle ou telle variable. Ce choix est guidé par deux raisons :

- Un souci d'unité des résultats.
- Le fait que l'on a pas d'explication à proposer sur l'opportunité de retenir telle variable plutôt qu'une autre pour telle ou telle ville.

(*) Les statistiques démographiques proposées dans le manuel "les 101 réseaux" ne sont pas utilisables car elles ne donnent la population des agglomérations qu'à l'horizon des différents recensements, sans valeurs intermédiaires.

3) Les principaux résultats.

a) Cas où le modèle est correct .

Pour 8 villes sur 91, on obtient $R^2 > 0,99$.

Pour 16 villes sur 91, on obtient $R^2 > 0,98$.

Pour 31 villes sur 91, on obtient $R^2 > 0,95$.

Les villes pour lesquelles le modèle est très bon ($R^2 > 0,99$) sont des villes dans lesquelles l'offre et la tarification ont évolué régulièrement sur la période 1975-1987, sans brusque retournement de tendance.

Dans les villes pour lesquelles la qualité du modèle est moins bonne, il est vraisemblable que l'évolution de la demande a été influencée par certains facteurs dont nous n'avons pas pu tenir compte, tels une politique de limitation de la circulation automobile par une action sur le stationnement, des campagnes de promotion, la saturation de la circulation automobile ...

Pour les villes pour lesquelles le "R2" est supérieur à 0,95, il n'existe le plus souvent pas d'autocorrélation des résidus. Il est toutefois possible d'améliorer très légèrement la qualité des résultats lorsque l'on en tient compte . Le problème de l'autocorrélation des résidus fait l'objet du paragraphe suivant ; nous ne le détaillons donc pas ici.

Pour 25 des 31 villes pour lesquelles on a $R^2 > 0,95$, l'élasticité de la demande à l'offre est comprise entre 0,4 et 1.

Pour 26 des 31 villes pour lesquelles on a $R^2 > 0,95$, l'élasticité de la demande au tarif est comprise entre -1 et 0,25.

Ces valeurs sont relativement élevées. Le graphique 4 visualise les valeurs des élasticités-prix et les valeurs des élasticités-offre. (NB : sur le graphique 4 figurent toutes les villes pour lesquelles $R^2 > 0,9$ et non 0,95).

Il ne semble pas exister de relation entre la taille de l'agglomération et la valeur de l'élasticité à l'offre, comme le suggère le graphique 5 (NB : sur le graphique 5, comme sur le graphique 4, figurent toutes les villes pour lesquelles $R^2 > 0,9$ et non 0,95).

Par contre, il semble exister une certaine relation entre la taille de l'agglomération et la valeur de l'élasticité au prix (cf graphique 6), cette élasticité étant plus forte dans les petites villes, ce qui est logique : dans les petites villes, le recours à l'automobile est plus facile en cas de forte augmentation de tarif.

b. Le modèle est médiocre ou mauvais ($R^2 < 0,95$).

Pour 52 villes sur 91, on obtient $R^2 > 0,90$.

Pour 68 villes sur 91, on obtient $R^2 > 0,80$.

Mais pour 10 villes sur 91, on obtient $R^2 < 0,5$.

Dans de nombreux cas où le coefficient de détermination de la régression est mauvais, les coefficients de Durbin-Watson nous suggèrent l'existence d'auto-corrélation des résidus ($DW < 1,54$ ou $DW > 2,46$). C'est le cas, par exemple, de l'ensemble des villes pour lesquelles $R^2 < 0,8$.

La prise en compte de l'autocorrélation des résidus améliore très nettement le résultat de la modélisation comme le montrent les chiffres du tableau 2, que l'on comparera aux résultats du tableau 1 pour les mêmes villes.

Dans ce tableau, l'ensemble des villes pour lesquelles le R2 était inférieur à 0,8, sans prise en compte de l'autocorrélation, ont été à nouveau modélisées, cette fois avec prise en compte de l'autocorrélation (Méthode de Durbin). Les graphiques 7,8,9 et 10 montrent le cas de 4 villes pour lesquelles la prise en compte de l'autocorrélation des résidus améliore le résultat de la modélisation.

L'autocorrélation des résidus est d'ordre 1 ou 2. L'équation 1 devient :

$$\text{Log}(D) = \text{Log}(P) + a \cdot \text{Log}(O) + b \cdot \text{Log}(T) + k \quad)$$

$$e_i = r_1 \cdot e_{i-1} + r_2 \cdot e_{i-2} \quad)$$

) équation 2.

D,P,a,O,b,T,k : même notation que précédemment.

e_i, e_{i-1}, e_{i-2} : résidus des années i, i-1, i-2.

r_1, r_2 : coefficients d'auto-corrélation.

La prise en compte de l'autocorrélation a pour effet de rendre plus acceptables et statistiquement plus significatives les valeurs des élasticités au prix et à l'offre, qui prennent maintenant des valeurs proches de celles que nous avons dans le cas où il n'y avait pas d'auto-corrélation des résidus. L'autocorrélation des résidus trouve son interprétation dans le fait qu'une variation d'offre ou de tarif se traduit par des conséquences sur la demande qui ne se stabilisent qu'à long terme ; les élasticités de court terme étant plus fortes que les élasticités de long terme.

Les résultats concernant l'autocorrélation des résidus, doivent toutefois être considérés avec prudence :

- Le "R²" est calculé sur un nombre inférieur d'observations, et n'a plus la même signification.
- Les données statistiques sont disponibles pour l'année 1975, mais pas pour les années 76 et 77 : le calcul des coefficients d'autocorrélation en est forcément quelque peu affecté.

Conclusion

Le travail réalisé ici montre qu'il est possible de mettre en évidence des modèles simples permettant de calculer des variations de la demande de transport urbain, en fonction de l'évolution de l'offre et de la tarification, et par réseau. Les élasticités mises en évidence sont relativement élevées et très variables d'une ville à l'autre, sans que l'on puisse en donner d'explication. Il est vrai que la demande de transport est influencée par d'autres facteurs que le prix et l'offre : il serait possible d'améliorer individuellement ces modèles, en introduisant d'autres variables, ou en prenant en compte des particularités propres à chaque ville, telle un accroissement plus important que la moyenne de la population, une limitation du stationnement, (qui pourrait être modélisée par une "fonction d'intervention" prenant la valeur 0 avant, la valeur 1 après), la décomposition de variables d'offre ou de tarif en plusieurs variables plus désagrégées (pour tenir compte d'une politique d'abonnement, par exemple ...) etc....

D'une manière générale, on peut reprocher à l'approche qui a été retenue ici de privilégier les élasticités de court terme, observées à horizon d'un an, alors que les mesures tarifaires et les politiques d'offre ne voient leurs effets se stabiliser qu'au bout de périodes de temps relativement longues. La fréquence "d'autocorrélation des résidus" dans les modèles que nous avons calculés, est à ce niveau significative.

Il conviendrait donc de compléter ce travail par une approche privilégiant le calcul d'élasticités de long terme.

TABLEAU 1 : Elasticités à l'offre et au tarif pour chacun des réseaux

POPUL 82 : population de l'agglomération en 1982 . Cette valeur n'est pas utilisée dans les régressions, mais la population de la France entière, dont l'évolution est mieux connue.

élast.Offre : élasticité de la demande à l'offre (correspond à "a" dans l'équation 1)

T(Offre) : T de Student de l'élasticité à l'offre

élast.Tar. : élasticité de la demande au prix du transport (correspond à "b" dans l'équation 1)

T(Tarif) : T de Student de l'élasticité au prix

DW1, DW2 : test de Durbin-Watson

R2 : Coefficient de détermination de la régression

VILLE	POPUL 82	élast. Off.	T(offre)	élast Tar.	T(tar.)	R2	DW1	DW2
Agen	58288	-0,121	0,76	0,064	1,07	0,19	1,46	2,61
Aix En Provence	126552	0,751	10,6	0,047	0,41	0,936	1,1	2,19
Ajaccio	54089	0,086	0,67	-1,067	9,42	0,933	1,59	1,39
Albi	60181	1,183	7,38	-0,11	0,18	0,873	1,29	1,86
Alençon	43101	0,501	3,51	-0,7	3,53	0,918	1,71	1,37
Amiens	154498	0,302	3,23	-0,692	4,55	0,957	1,75	2,44
Angers	195859	0,697	9,37	-0,478	1,96	0,923	1,48	1,35
Angoulême	103552	0,883	10,68	-0,938	2,24	0,958	1,13	1,81
Annecy	112632	0,77	7,24	-0,502	1,25	0,989	1,12	2,29
Annemasse	72242	-0,293	0,59	-1,01	2,15	0,496	0,54	0,78
Arles	52547	-0,369	1,11	-0,887	4,27	0,762	0,97	1,85
Arras	81477	-0,748	1,59	-1,68	1,88	0,3	1,15	1,66
Avignon	174264	0,956	9,47	0,552	0,67	0,931	0,82	1,35
Bayonne	127477	0,596	11,72	-0,411	2,52	0,986	1,92	2,09
Beauvais	55817	-0,42	7,36	-0,03	0,3	0,894	2,58	1
Belfort	76221	0,865	12,5	-0,403	2,92	0,985	1,82	2,49
Besançon	120772	0,959	5,11	-1,99	15,1	0,973	1,56	1,33
Béziers	81347	-0,46	1,3	-1,32	11,2	0,94	1,6	1,06
Blois	61049	0,8	7,19	-1,17	3,87	0,96	1,55	2,55
Bordeaux	640012	0,19	1,8	-0,518	3,47	0,915	1,96	2,27
Boulogne	98566	0,19	1,94	-0,896	11,27	0,962	2,39	2,09
Bourg-en-Bresse	53463	0,602	22	-0,76	10,97	0,997	2,93	1,45
Bourges	92202	0,667	4,74	-0,892	2,7	0,757	1,23	1,39
Brest	201145	0,513	10,25	-0,02	0,39	0,97	1,91	2,21
Brive	64301	-0,74	4,5	-0,507	5,26	0,912	1,74	1,4
Caen	183526	0,508	9,51	-0,03	0,32	0,971	0,69	1,56
Cannes	295525	0,537	3,1	-0,048	0,33	0,957	1,6	2,06
Chalon-sur-Saone	78064	0,176	1,25	-0,09	1,45	0,572	0,86	1,35
Chalon-sur-Marne	63061	1,66	6,88	-0,48	1,36	0,918	1,16	2,47
Charleville	67694	0,585	3,28	0,495	0,9	0,593	1,55	1,89
Chartres	77795	1,24	21,89	1,357	6,14	0,984	1,77	2,09
Châteauroux	66851	0,03	0,17	0,045	0,13	0,04	0,93	2,04
Cherbourg	85485	0,113	1,41	-0,92	5,82	0,942	1,06	2,01
Cholet	55524	0,05	1,62	-1,599	7,87	0,899	1,33	2,22
Clermond-Ferrand	256189	0,962	3,71	0,237	0,88	0,906	1,35	2,09
Colmar	82468	0,696	4,39	-0,995	12,57	0,985	2,49	1,42

VILLE	POPUL. 82	élast. Off.	T(offre)	élast Tar.	T(tar.)	R2	DW1	DW2
Creil	82505	0,672	17,22	-0,58	1,77	0,978	1,63	2,06
Dijon	215865	0,562	36,67	0,138	10,22	0,999	1,96	2,1
Douai	202366	1,182	6,93	-0,164	2,86	0,888	1,41	2,42
Dunkerque	195705	0,054	0,62	0,468	3,85	0,95	2,04	3,2
Epinal	51495	0,323	3,85	-0,549	3,49	0,778	0,99	2,17
Evreux	54654	0,331	2,82	-1,167	2,23	0,659	0,91	1,6
Forbach	99606	0,705	1,31	-0,139	0,28	0,181	0,38	0,66
Grenoble	392021	0,568	9,03	0,243	5,42	0,956	2,4	2,37
Le Havre	254595	1,678	2,96	-0,728	2,59	0,526	0,75	1,71
Laval	55984	0,889	15,32	-0,02	0,5	0,967	1,74	2,61
Limoges	171689	0,44	3,44	-0,111	4,08	0,698	0,88	1,47
Lorient	104025	0,885	28,74	-0,116	1,94	0,994	2,17	1,47
Le Mans	191080	0,758	19,94	-0,06	0,92	0,984	1,57	2,06
Maubeuge	105714	0,931	12,35	-0,008	0,06	0,951	1,3	1,18
Metz	186437	0,225	0,81	0,31	1,33	0,837	1,81	2,32
Montluçon	67963	0,46	6,81	-0,75	19,57	0,992	2,01	2,62
Montpellier	221307	0,408	2,18	0,504	1,9	0,856	0,83	1,43
Mulhouse	220613	0,744	4,91	-0,187	2,72	0,8	0,82	1,58
Nancy	306982	0,151	1,87	0,046	1,1	0,823	1,92	2,35
Nantes	464857	0,593	4,79	0,381	2,42	0,935	0,69	1,76
Nevers	59264	0,446	5,25	0,032	0,14	0,896	1,13	1,76
Nice	449496	1,08	5,25	-0,567	4,26	0,785	2,51	2,1
Nîmes	132343	0,846	2,88	-0,32	1,25	0,828	1,67	1,38
Niort	61959	0,66	39,15	-0,231	2,38	0,995	1,5	2,8
Orléans	220478	0,923	19	-0,33	3,61	0,997	2,1	1,92
Pau	131265	0,456	3,55	0,226	2,09	0,998	1,94	2,49
Perpignan	137915	0,757	3,05	-0,276	4,18	0,694	0,81	1,98
Poitiers	103204	1,074	5,77	-0,418	1,59	0,818	0,59	1,34
Reims	199388	0,83	10,16	-0,03	0,6	0,937	1,96	1,5
Rennes	234418	0,586	9,96	0,063	1,01	0,989	2,42	1,73
Roanne	81786	0,973	11,16	0,098	0,62	0,943	0,99	2,29
La Rochelle	102143	0,606	6,79	-0,079	0,66	0,973	1,85	1,86
Rouen	379879	1,516	11,95	-0,609	5,08	0,967	1,77	1,79
Saint-Etienne	317228	0,62	4,31	-0,08	0,5	0,902	1,42	2,04
Saint-Brieuc	83900	0,529	11,13	-0,719	5,7	0,943	2,03	1,63
Saint-Malo	46347	0,859	5,89	-0,301	1,04	0,82	1,02	1,37
Saint-Nazaire	130271	0,925	9,1	0,431	1,46	0,918	1,31	2,42
Saint-Quentin	71887	0,54	3,2	-0,052	0,33	0,562	1,54	2,26
Sète	58865	1,492	2,05	-0,237	0,2	0,477	3,13	0,96
Strasbourg	373470	0,37	2,73	-0,11	5,3	0,786	1,85	2,16
Tarbes	78056	0,318	2,1	0,122	0,7	0,617	1,41	1,98
Thionville	138034	1,54	8,61	-1,698	3,74	0,989	0,9	2,02
Toulon	410393	0,569	5,58	-0,26	3,46	0,815	1,15	2,46
Toulouse	541271	0,786	2,86	-0,069	0,5	0,744	1,79	1,58
Tours	262786	0,814	3,44	-0,247	2,74	0,619	1,58	2,17
Troyes	125240	0,584	0,99	-0,05	0,45	0,315	1,72	1,92
Valence	106041	0,676	27,97	0,152	3,27	0,996	1,88	2,57
Valenciennes	349505	-0,134	0,64	0,555	4,14	0,928	1,63	2,67
Vichy	63501	-0,2	0,17	-0,52	1,87	0,305	0,39	0,95
Vienne	41019	0,226	0,76	0,184	0,51	0,089	0,99	2,23

TABLEAU 2 : Elasticités à l'offre et au tarif pour les réseaux pour lesquels les modèles présentent une autocorrélation des résidus

r1 : coefficient d'autocorrélation d'ordre 1

r2 : coefficient d'autocorrélation d'ordre 2

VILLE	élast.Offre	T(offre)	élast.Tarif	T(tar.)	R2	DW1	DW2	r1	r2
Annemasse	0,26	2,16	-0,55	3,91	0,968	1,98	1,92	0,15	0,59
Arles	0,291	1,07	-0,4	1,68	0,946	2,5	1,47	1,36	-0,82
Bourges	0,939	6,71	-1,4	4,39	0,918	2,23	2,75	-0,15	-0,35
Chalon-sur-Saone	-0,04	0,37	-0,012	0,79	0,73	1,89	1,61	1,25	-0,85
Chateauroux	0,25	0,99	-0,47	3,22	0,88	1,65	2,92	1,67	-0,94
Epinal	0,66	9,05	-0,09	1,7	0,992	2,73	2,37	1,69	-0,82
Le Havre	0,11	2,16	-0,917	14,6	0,953	2,54	2,05	0,82	0,32
Laon	0,84	1,76	-0,15	0,42	0,667	1,55	1,53	-0,15	-0,49
Limoges	0,297	0,9	0,731	3,18	0,789	2,41	1,49	0,45	-0,98
Nice	-0,01	0,25	-0,8	7,59	0,897	2,47	2,69	1,05	-0,5
Perpignan	0,232	1,26	-1,22	5,43	0,914	2,54	1,8	0,32	-5,2
Sete	0,897	2,7	-0,58	2,37	0,882	2,93	2,09	-1,57	-0,47
Toulouse	0,366	11,1	-0,789	7,94	0,901	1,62	1,85	-0,81	-0,84
Vichy	0,601	3	-0,49	6,3	0,947	1,23	2,11	1,66	-0,97
Vienne	0,06	0,49	-0,43	3,87	0,915	2,46	2,02	1,51	-1,27
Thionville	1,47	11,76	-1,48	5,61	0,996	2,29	0,84	0,91	-0,93
Niort	0,671	46,68	-0,173	4,52	0,998	1,3	1,9	0,41	-0,73