

## **MODÉLISATION DE TRAFICS DE VOYAGEURS : prise en compte de la qualité de l'offre.**

*J.-Ch. BLAIN , Laurence NGUYEN*

L'OEST effectue de manière permanente des travaux de modélisation économétrique des trafics intérieurs de voyageurs(\*). Les résultats obtenus servent notamment aux prévisions annuelles des trafics des trois modes de transport domestique : trafic de voyageurs sur les lignes intérieures d'Air Inter, trafic de voyageurs sur le réseau principal de la SNCF, trafics routiers sur le réseau national et sur les autoroutes concédées. Afin d'améliorer ces prévisions et de mieux expliquer les mécanismes qui ont régi les évolutions passées, nous avons récemment poursuivi ces travaux, et nous nous proposons ici de passer en revue les meilleures équations retenues pour les quatre trafics précédemment cités.

(\*) cf. bibliographie en fin de note.

### **Méthodologie**

Pour chaque type de trafic, nous avons essayé de définir des variables représentatives des effets revenu, prix, concurrence, et qualité de l'offre. Ce dernier effet a été systématiquement testé, alors que les modélisations antérieures (cf. bibliographie) ont rarement utilisé l'offre comme variable explicative. Les estimations ont été faites sur des spécifications additive, multiplicative (Log-linéaire) et en taux d'accroissement.

### **Trafic intérieur d'Air Inter**

La décennie 80 est une période de très forte expansion du trafic des compagnies aériennes en général. Air Inter ne déroge pas à la règle et la courbe retraçant l'évolution de son trafic domestique (par opposition aux lignes européennes) présente une rupture de pente entre les années 1970 et les années 1980, imputable notamment à l'utilisation de gros porteurs, au réaménagement des lignes en service et à l'augmentation des fréquences, c'est-à-dire à des modifications des conditions d'offre.

A côté de l'effet revenu représenté par la consommation des ménages -cfm- ou bien par le produit intérieur brut total ou marchand -pib ou pibm-, et de l'effet de prix représenté par le produit moyen -aiprod- : prix moyen relatif du kilomètre parcouru payé par le passager-, la qualité de l'offre doit être prise en compte dans une modélisation dont la période recouvre ces vingt années de bouleversement structurel. En guise de variables explicatives de cet effet, nous avons testé le nombre de sièges-kilomètres offerts -aisko-, le nombre de lignes en service -nbligne-, et un trend temporel -trend80 - valant 0 de 1970 à 1979, 1 en 1980, 2 en 1982, etc... Comme on s'y attendait, les variables aisko et trend80 améliorent considérablement l'estimation et permettent de supprimer l'autocorrélation des résidus due à la rupture de pente. Aisko est d'ailleurs de toutes les variables explicatives, la seule affichant elle aussi une rupture en 1980.

Par ailleurs, les deux variables aisko et trend80 apparaissent simultanément significatives. Le trend reprend en effet une partie de l'effet prix qui n'est pas traduite par le produit moyen, en diversifiant la politique tarifaire selon la catégorie d'usagers ou en pratiquant la modulation horaire (tarifs bleu-blanc-rouge), Air Inter a pu élargir sa clientèle et augmenter son trafic à produit moyen constant.

Enfin, nous avons testé l'effet concurrence entre le train et l'avion par l'intermédiaire des variables de produit moyen SNCF -snprod-, de longueur des lignes parcourues par les TGV -lignetgv-, et de nombre de voyageurs-kilomètres dans les TGV -vktgv- ou dans tous les trains en première classe. C'est le nombre de voyageurs-kilomètres dans les TGV, variable homogène en terme d'unité avec

## MODÉLISATION

la variable expliquée, qui traduit le mieux cet effet de concurrence. Notre équation permet ainsi d'élargir au niveau national le phénomène qui avait été constaté ponctuellement sur certaines origines-destinations : en 1990, le trafic d'Air Inter sur la ligne Paris-Nantes a diminué de 30%, selon les données DGAC, suite à la mise en service du TGV Atlantique!

L'équation finalement retenue est la suivante :

Période : 1975-1992

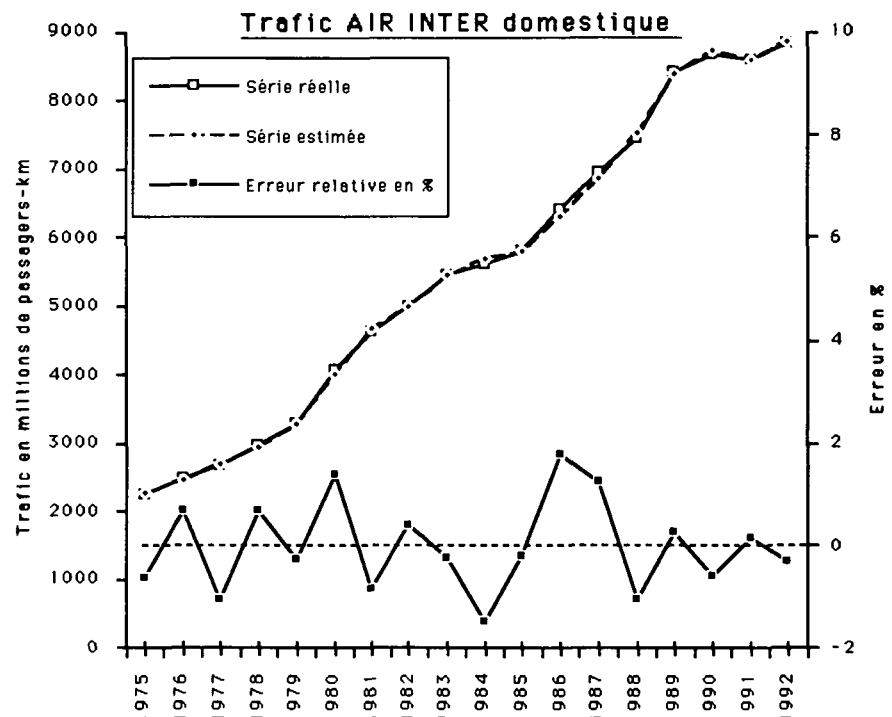
$$\ln(aipkdo) = 0,75 \ln(pibm) - 0,53 \ln(aiprodm) - 0,017 \ln(vktgv)$$

(6,8)                      (-7,2)                      (-2,3)

$$+ 0,56 \ln(aisko) + 0,054 \ln(trend80) - 11,7$$

(8,8)                      (2,6)                      (-12,6)

$R^2 = 0,9996$        $See = 0,011$        $DW = 2,45$



Cette équation permet de mieux cerner l'élasticité du trafic aérien à la croissance; elle serait donc de 0,75 (lorsque l'activité économique est appréhendée par le pib marchand), alors que nos précédentes modélisations qui ne tenaient pas compte de la qualité de l'offre estimaient cette élasticité à 1,5 environ. Quand le produit intérieur brut marchand et le nombre de sièges-kilomètres offerts évoluent de façon parallèle comme entre 1980 et 1992 où ils sont très corrélés, on peut modéliser le trafic avec une seule des deux variables qui reprend l'explication de la seconde, et dont l'élasticité est par conséquent surestimée. Mais si leurs évolutions divergent brutalement comme c'est probablement le cas cette année où le pib diminue en volume, cette solution trop simple devient fallacieuse et conduit à des prévisions erronées.

L'élasticité au trafic TGV paraît faible. Cet effet structurel de concurrence intermodale serait mieux cerné par une modélisation sur des données désagrégées par ligne.

**Trafic sur le réseau principal SNCF**

© O E S T  
Synthèse, Janvier 1994

Nous avons envisagé quatre effets expliquant le trafic sur le réseau principal constitué de l'ensemble des lignes parcourues par les trains de voyageurs hormis les lignes de la banlieue parisienne.

L'effet revenu est représenté par les grands agrégats macroéconomiques que sont la cfm, le pib total ou le pib marchand. Dans nos précédents travaux, nous

## MODÉLISATION

avons toujours retenu la consommation des ménages -cfm- comme variable explicative du trafic ferroviaire sur le réseau principal. Ce choix est à nouveau confirmé, dans les modèles à deux, trois ou quatre effets. On l'explique par le fait que les voyageurs dont le motif de déplacement est à caractère personnel et qui relèvent donc de la consommation finale des ménages, sont beaucoup plus nombreux que les voyageurs d'affaires, contrairement à ce que l'on peut constater dans le transport aérien expliqué lui par le produit intérieur brut.

L'effet prix a été testé au travers des variables de produit moyen SNCF en francs courants ou constants -snprodm-, et par le rapport du prix du kilomètre parcouru en train par un voyageur sur le réseau principal au prix moyen du carburant (pondéré par les consommations respectives d'essence ordinaire, de super, de super sans plomb et de gasoil) nécessaire pour parcourir la même distance avec une voiture particulière -pxratio. C'est le produit moyen en francs constants qui est finalement retenu.

On a tenté d'expliquer l'effet concurrence par les variables de longueur des autoroutes, et de prix des carburants -pcarb. La variable pcarb représente le prix relatif moyen du litre de carburant consommé par les véhicules particuliers. Enfin, on introduit un effet d'offre par l'intermédiaire des variables de longueur des lignes électrifiées utilisées par les trains de voyageurs, de longueur des lignes parcourues par les TGV, et de vitesse moyenne des trains sur le réseau principal -snvitrp. La courbe d'évolution de snvitrp reflète clairement la mise en service des TGV en affichant une rupture de pente en 1981 et une autre en 1989. Cette caractéristique confère sans doute à cette variable ses propriétés explicatives qui nous conduisent à la retenir.

L'équation finale est donc :

Période : 1976-1992

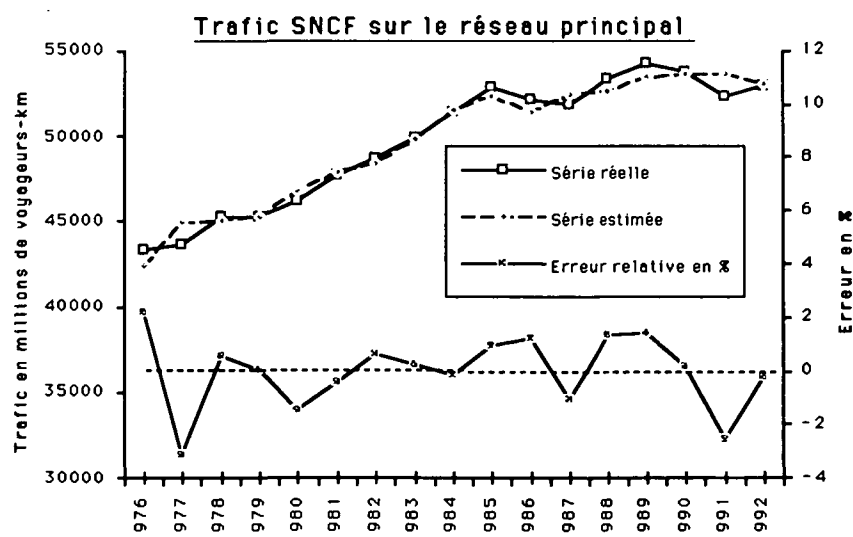
$$\ln(\text{snvkrp}) = 0,43 \ln(\text{cfm}) - 0,70 \ln(\text{snprodm}) + 0,20 \ln(\text{pcarb})$$

(2,7)                      (-3,8)                      (3,5)

$$+ 1,08 \ln(\text{snvitrp}) - 1,80$$

(2,4)                      (2,5)

$R^2 = 0,967$        $\text{See} = 0,016$        $\text{DW} = 2,34$



Comme pour la modélisation du trafic d'Air Inter, l'introduction de l'effet d'offre fait chuter l'élasticité de la variable de revenu : le coefficient de la cfm diminue de 0,8 à 0,43.

## MODELISATION

### Trafic routier sur le réseau national

Il s'agit ici du trafic routier total -partot- sur les routes nationales et les autoroutes exprimé en véhicules-km, et non pas du simple trafic de voyageurs. Son évolution laisse apparaître une rupture de tendance en 1986 liée au contre-choc pétrolier. Les modélisations selon les trois types de spécifications donnent des résultats très voisins. Trois variables correspondant aux effets revenu, prix et concurrence leur sont communes. Ainsi dans ces trois cas, l'effet revenu est représenté par la variable *pib*. Sachant que la circulation sur le réseau national est effectuée à hauteur de 70% par les voitures particulières qui entrent dans la comptabilité de la consommation des ménages, on peut être surpris de ne pas retenir plutôt la variable *cfm*. En fait, il semble que le trafic des véhicules utilitaires constituant du *pib* ait une sensibilité à l'activité économique et une amplitude de fluctuations beaucoup plus grandes.

L'effet prix, dont on a déjà évoqué l'importance, a été testé par l'intermédiaire de la variable *pcarb*, précédemment définie, et *ratiopx* qui est l'inverse de la variable *pxratio* : c'est le rapport du prix moyen du carburant nécessaire pour parcourir un kilomètre avec une voiture particulière au prix du kilomètre parcouru en train par un voyageur sur le réseau principal. Ce ratio qui a chuté de 1,5 en 1985 à 1,0 en 1991 ne peut être assimilé au rapport des prix des deux modes de transport puisqu'il n'intègre pas l'achat du véhicule ni les frais annexes d'utilisation et qu'il ne tient pas compte du nombre de passagers par voiture. En revanche, il ressemble beaucoup à un rapport de coûts marginaux auxquels l'utilisateur est souvent particulièrement sensible. C'est ainsi qu'on interprète le pouvoir explicatif de la variable *ratiopx* que l'on retient dans nos trois types de modélisations.

Un troisième effet est commun à ces différentes spécifications : l'effet concurrence par la vitesse moyenne des rapides-express de la SNCF -*snvit*. Nous avons aussi testé avec moins de réussite la vitesse moyenne de tous les trains, et le trafic sur le réseau principal exprimé en voyageurs-km.

Le parc des véhicules est un déterminant évident de la demande en matière de circulation. Les variables de parc sont très corrélées entre elles; de plus, elles sont fortement corrélées avec les variables de revenu ainsi qu'avec la longueur des autoroutes qui ont toutes augmenté de manière constante et linéaire. Nous avons testé le parc total -*parctot*- des véhicules en France : il s'agit du trafic total des véhicules. *Parctot* est significative dans les modélisations Log-linéaires et en taux de croissance.

Enfin, nous avons essayé d'introduire un effet d'offre par la longueur du réseau autoroutier -*resaut*. Il n'a pas pu être finalement retenu car la variable n'était pas significative. L'offre n'est pourtant pas totalement absente de l'équation, elle apparaît au travers de *snvit* sous la forme d'une concurrence par la qualité d'offre.

Nous obtenons l'équation :

Période : 1976-1991

$$\ln(\textit{partot}) = 1,20 \ln(\textit{pib}) - 0,22 \ln(\textit{ratiopx}) + 0,25 \ln(\textit{parctot})$$

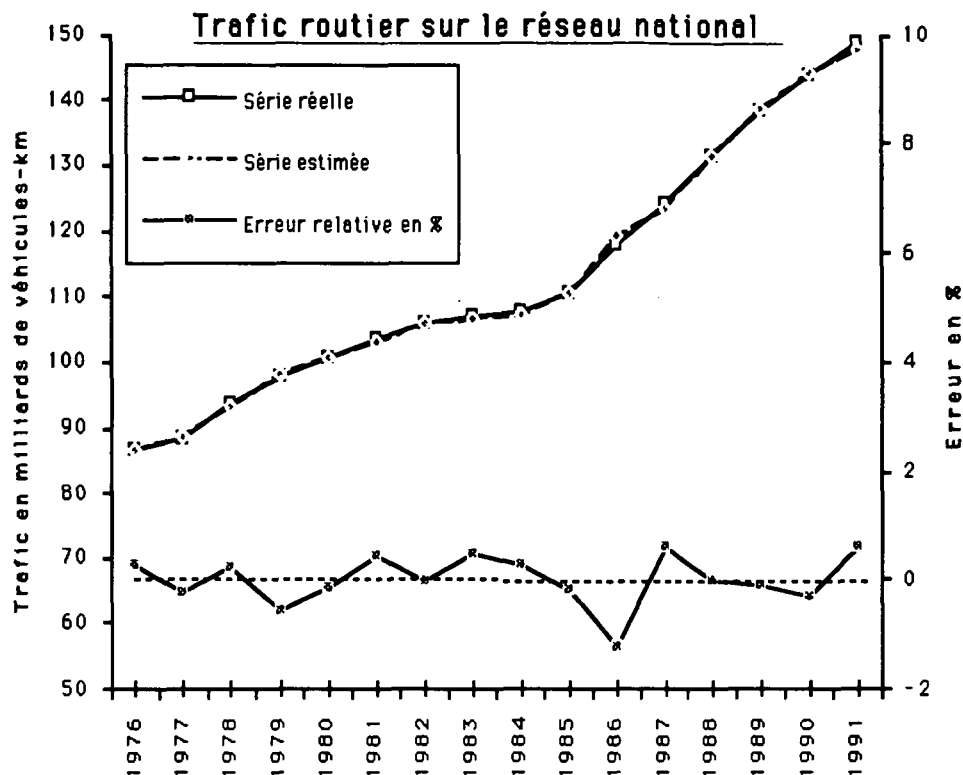
(12,1)                      (-8,3)                      (3,0)

$$- 0,60 \ln(\textit{snvit}) - 10,7$$

(-4,1)                      (-10,6)

$$R^2 = 0,9992 \quad \text{See} = 0,006 \quad \text{DW} = 2,36$$

## MODÉLISATION



### Trafic sur autoroutes concédées

Pour modéliser le trafic sur autoroutes concédées -pautc-, l'effet d'offre devient déterminant; la longueur des autoroutes concédées -resautc- nous a paru en effet indissociable du parcours total effectué sur ce réseau. Resautc est fortement corrélée avec les variables de revenu; toutefois, elle l'est un peu moins avec le pib marchand, et dans la zone des fortes corrélations, une très faible variation du coefficient de corrélation peut déterminer ou non la significativité d'une variable. C'est pourquoi resautc apparaît significative avec la variable pibm mais ni avec pib ni avec cfm.

L'effet prix intervient au travers du prix du carburant -pcarb- et de celui des péages. Pour ces derniers, nous avons testé deux indices de prix très différents. Le premier indice est construit en pondérant les évolutions de prix des différents péages entre les années n et n+1 à l'aide des structures de réseau et de circulation observées à l'année n : il fait une analyse en terme de secteur. A l'opposé, le second indice -peagecu- mesure les prix du point de vue du consommateur, il ressemble à un produit moyen. Pour l'obtenir, on divise la recette des péages en francs constants par le nombre de véhicules-kilomètres parcourus sur les autoroutes concédées. Il intègre donc les changements structurels comme l'augmentation de la part des Poids Lourds (qui paient plus cher les péages) dans le trafic total, et correspond mieux au coût ressenti par l'utilisateur. Il est le seul à être significatif.

Enfin, nous retenons la variable retardée, c'est-à-dire le trafic de l'année précédente, dans l'équation finale. Cela peut traduire un effet d'inertie de comportement des usagers du réseau autoroutier.

Les modélisations additives et multiplicatives aboutissent à la même équation en terme de variables explicatives. Par souci d'homogénéité avec les résultats précédents, on retient l'équation Log-linéaire :

Période : 1971-1992

$$\ln(\text{pautc}) = 0,25 \ln(\text{pautc}(-1)) + 0,92 \ln(\text{pibm}) - 0,47 \ln(\text{pcarb})$$

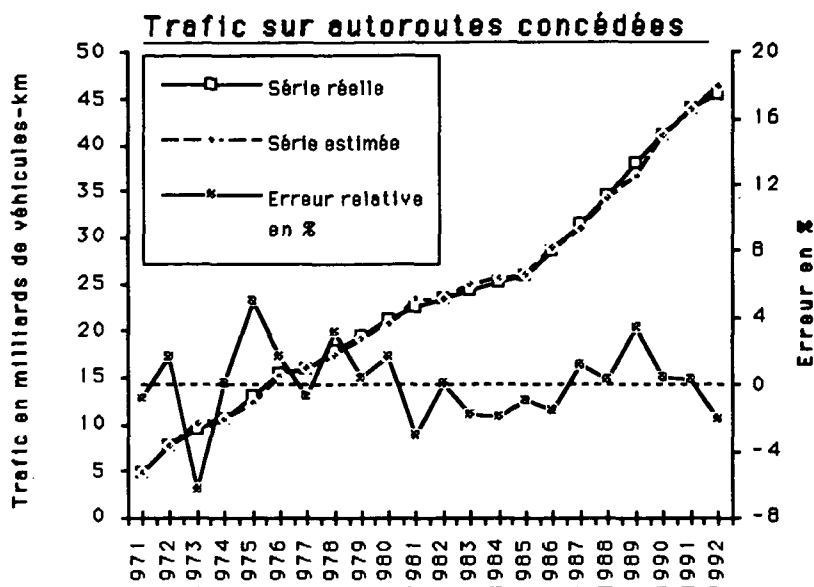
(2,7)                      (3,7)                      (-4,3)

$$- 0,96 \ln(\text{peagecu}) + 0,65 \ln(\text{resautc}) - 11,3$$

(-9,0)                      (6,3)                      (-3,4)

$R^2 = 0,9984$        $See = 0,027$        $DW = 1,98$

## MODÉLISATION



Par son caractère autorégressif, les élasticités estimées par cette équation ne sont pas entièrement comparables à celles des autres équations présentées ci-dessus. Il s'agit dans le cas présent d'élasticités de court terme; pour estimer les élasticités de long terme, il convient de diviser leur valeur par 0,75 (soit 1-coefficient de la variable autorégressive).

Variables	Elasticité de court terme	Elasticité de long terme
PIBM	+0,92	+1,23
PCARB	-0,47	-0,63
PEAGECU	-0,96	-1,28
RESAUTC	+0,65	+0,87

### Conclusion

Au-delà de l'offre par les prix qui se concrétise, par exemple en période de crise, par des baisses de tarifs, l'offre structurelle, c'est-à-dire la quantité et la qualité des prestations proposées, intervient donc dans l'explication des trafics. Même si elle n'améliore pas de manière importante la validité statistique d'équations qui comptaient déjà plusieurs variables explicatives, elle permet d'affiner les élasticités des trafics à ces variables, et notamment aux variables de revenu. Ces nouvelles élasticités s'entendent à offre constante puisque les équations intègrent des variables d'offre. Dans une période comme celle que nous traversons où les évolutions du pib ou de la cfm rompent avec la tendance passée et sans doute aussi avec les évolutions des variables d'offre, l'utilisation de ces nouvelles équations devrait nous permettre d'améliorer les prévisions.

### Bibliographie non exhaustive:

- (1) A. Ayrat, J.-J. Mizrah, C. Reynaud. "Macroéconomie des transports de voyageurs". Juillet 1977.
- (2) J.-P. Taroux, G. Buchmuller. "PRETRAP : modèle de prévision des trafics de personnes". SAE (Ministère des Transports). Août 1980.
- (3) *Modèle Mini-DMS, bloc transport*. OEST. 1987.
- (4) J.-L. Madre, T. Lambert. "Prévisions à long terme du trafic automobile". CREDOC. 1989.
- (5) R. Bergel, J.-Ch. Blain, B. Gasser-Malamoud. *Notes de synthèse* de l'OEST.
- (6) Laurence Nguyen. "Modélisation des trafics de voyageurs". Rapport de stage OEST. 1993.