

MINISTERE DE L'EQUIPEMENT

Service des Affaires Economiques et Internationales

PROJECTION EN 1985 DE LA DEMANDE DE TRANSPORT AERIEN
SUR LES LIGNES INTERIEURES FRANCAISES

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
<u>CHAPITRE 1 - INTRODUCTION</u>	1
11 - Buts de l'étude	2
12 - Limites des méthodes utilisées	2
<u>CHAPITRE 2 - L'EVOLUTION HISTORIQUE DU MARCHE DEPUIS 1950</u>	4
21 - Typologie des liaisons	5
22 - Description des trafics et des taux	5
221 - Par groupe de ligne	5
222 - Evolution chronologique par ligne	6
23 - Evolution de la part relative des 6 groupes de lignes dans le trafic total	7
24 - Variables socio-économiques liées à l'évolution des trafics	7
241 - Influence du produit national brut	7
242 - Influence de la population	8
<u>CHAPITRE 3 - UTILISATION D'UN MODELE DE CONCURRENCE AIR-RAIL</u>	10
31 - Présentation du modèle prix-temps	11
311 - Répartition train-avion	11
312 - Taux annuel de croissance de l'avion	12
313 - Problèmes méthodologiques	13
314 - Taux de croissance des lignes stables	13
315 - Cas des lignes récentes	14
32 - Confrontation du modèle SETEC ajusté en 1963 aux tendances historiques 1963-1966	15
321 - Calcul des trafics et des taux de croissance en 1966 à l'aide du modèle 1963	15
322 - Comparaison aux statistiques 1963-1966	17

	<u>Pages</u>
323 - Etude des écarts ΔC des taux réel t_A aux taux prévus ζ_A	19
33 - Réajustement du modèle prix-temps en 1966 et application à la projection 1985	24
331 - Actualisation du taux de croissance à maturité ζ_A .	24
332 - Corrélation	28
333 - Evolution du trafic	29
 <u>CHAPITRE 4 - LES TRAFICS AERIENS NON PREVUS PAR LE MODELE</u>	 34
41 - Introduction au chapitre 4	35
42 - Essai d'ajustement d'un modèle global	36
43 - Seconde approche : projection des consommations individuelles	38
431 - Evolution des trafics par habitant	39
432 - Liaisons radiales	39
433 - Transversales	41
44 - Projection des échanges avec la Corse	48
 <u>CHAPITRE 5 - LES ECHANGES AERIENS EN 1985</u>	 50
51 - Matrice des échanges zone à zone	51
52 - Regroupement des previsions par type de ligne	59
521 - Selon la méthode employée	59
522 - Selon la typologie des liaisons présentées au chapitre 2	61
 <u>ANNEXE - (Graphiques-Tableaux)</u>	 63

CHAPITRE 1 - INTRODUCTION

INTRODUCTION

Le CERAU a été chargé par le Ministère de l'Équipement (Service des Affaires Économiques et Internationales) d'effectuer la projection en 1985 du trafic aérien intérieur.

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'une étude globale incluant les voyages en voiture et en train.

Il a été décidé au début de cette étude de traiter les déplacements aérien par des méthodes spécifiques, indépendamment de la projection réalisée sur les deux autres modes de transport et d'utiliser à cet effet un modèle déjà existant (modèle "prix-temps") mis au point par la SETEC.

Ce rapport comprend 5 parties :

- Chapitre 1 - Introduction
 - Chapitre 2 - Evolution historique observée
 - Chapitre 3 - Application du modèle "prix-temps"
 - Chapitre 4 - Projection des trafics non prévus par le modèle
 - Chapitre 5 - Synthèse des différents calculs
- Annexes

11 - BUTS DE L'ETUDE

Dans le cadre d'une étude globale de la demande de transport de voyageurs, on a cherché à projeter à long terme le trafic aérien intérieur par des méthodes spécifiques. Les trafics routiers et ferroviaires ayant fait l'objet d'une étude parallèle (1) (utilisation du modèle CERAU de projection).

Les résultats des calculs seront exprimés dans le même zonage pour les 3 modes, c'est-à-dire dans un découpage de la France en 52 zones (voir carte du § 4332).

La méthodologie de cette projection a été fixée au début de l'étude : application, après ré-ajustement, d'un modèle déjà existant (modèle SETEC "prix-temps" de concurrence Air-Train) puis projection, par des méthodes empiriques des trafics dans les cas où l'utilisation du modèle ne pouvait être envisagée.

12 - LIMITES DES METHODES UTILISEES

Il a été décidé dès le début de cette étude, de ne pas remettre en cause la méthodologie du modèle "prix-temps".

On verra d'ailleurs au chapitre 3 que, ajusté en 1963, le modèle peut être considéré comme validé, au prix de légères modifications des paramètres, par l'évolution historique des trafics après cette date.

Par contre, en ce qui concerne les méthodes empiriques de projection des trafics ne relevant pas de ce modèle, nous nous sommes heurtés à de grandes difficultés liées à la nature même du phénomène étudié. En effet, le transport aérien est un bien dont la diffusion est récente. Il présente donc des variations annuelles importantes et irrégulières et la spécificité des liaisons actuellement en service rend délicate une formalisation ayant un caractère un peu général.

(1) Cf. rapport de synthèse de "Etude 1985 : projection de la demande de transport de voyageurs" CERAU - Avril 1969.

Le Secrétariat Général à l'Aviation Civile (Service des Etudes Economiques et du Plan) a chargé le CERAU de rechercher des modèles de demande de transport aérien.

Cependant, les différents modèles ajustés au cours de cette étude (modèles de type gravitaire ou modèles de concurrence rail-avion) sont apparus comme convenables pour une projection à moyen terme (1975) mais difficilement utilisables pour une projection à long terme (1985).

On verra donc dans le chapitre 4 qu'il a été nécessaire d'utiliser plusieurs méthodes empiriques de nature différente pour projeter les divers groupes de ligne constituant le trafic total, sans qu'il soit possible d'utiliser un modèle de génération de trafic.

Ces calculs conduisent à un trafic total intérieur voisin de 31 millions de voyageurs/an dont 70 % résultent de l'application du modèle "prix-temps" et 30 % des diverses méthodes évoquées précédemment.

Certains des trafics par ligne que nous avons calculés (en particulier au chapitre 3) peuvent être considérés comme trop élevés. C'est, par exemple, le cas de la liaison Paris-Lyon où l'application du modèle "prix-temps" conduit à un trafic annuel de 6 millions de voyageurs. Toutefois, cette valeur correspond à un taux de croissance annuel légèrement inférieur au taux moyen observé sur les dernières années et l'on peut donc considérer que, pour surprenant qu'il soit, ce chiffre traduit probablement la demande de transport rapide sur cette liaison. On peut, par contre, penser que l'offre en transport aérien s'adapterait difficilement à une telle demande, ce qui peut constituer un élément de justification de la nécessité de prévoir sur cette ligne la création de liaisons rapides sur d'autres modes (aérotrain par exemple).

On doit en outre attirer l'attention sur le fait qu'il n'entraîne pas dans le cadre de cette étude de donner une image précise du réseau aérien intérieur en 1985. C'est pourquoi la création de certaines lignes nouvelles dont nous avons estimé le trafic peut apparaître, en seconde analyse, comme peu vraisemblable, tandis que, par contre, on pourrait prévoir la création de lignes aériennes auxquelles il n'est pas fait allusion dans ce rapport.

Ce rapport doit être considéré comme un élément de discussion contestable sous nul doute, au niveau des prévisions sur certaines lignes, il conduit cependant à des ordres de grandeur qui peuvent être considérés comme satisfaisants

- pour les trafics sur les lignes importantes (Sauf PARIS-LYON)
- et surtout, pour les trafics par groupe de lignes et le trafic total
- pour les projections globales de voyages-Km .

CHAPITRE 2 - L'EVOLUTION HISTORIQUE DU MARCHE DEPUIS 1950

21 - TYPLOGIE DES LIAISONS

Les liaisons ont été réparties en 6 groupes :

- 1/ les 5 radiales les plus anciennes (Paris/Lyon, Nice, Marseille, Toulouse, Bordeaux) pour lesquelles le trafic en 1967 était supérieur à 100 000 voyageurs/an
- 2/ les radiales Paris/Corse
- 3/ les autres radiales
- 4/ les transversales ayant une extrémité soit à Lyon, soit à Marseille
- 5/ les transversales des échanges avec la Corse
- 6/ les autres transversales

Les relations avec la Corse ont été systématiquement isolées car elles correspondent à un trafic d'une nature tout à fait particulière.

Pour ces 6 groupes de liaisons, les trafics seront notés T_1 , T_2 T_6 et les taux annuels d'accroissement \mathcal{C}_1 , \mathcal{C}_2 \mathcal{C}_6 .

22 - DESCRIPTION DES TRAFICS ET DES TAUX

221 - Par groupe de ligne

On trouvera en annexe le tableau T. 221-A et le graphique G. 221-A montrant l'évolution des trafics depuis 1950. En anticipant sur le chapitre 4 on a reporté sur le graphique les résultats du calcul de projection par groupe de lignes.

Comme le montre ce graphique, il serait très imprécis d'effectuer une simple extrapolation linéaire (1) de ces trafics par groupe de ligne.

(1) Une extrapolation linéaire $\log T = \alpha t + \beta$ du groupe des radiales principales (T_1) conduit, avec un très bon ajustement ($R^2 = 0,99$) à un trafic de 32 millions en 1985, ce qui, naturellement, n'est pas vraisemblable.

En effet, les taux de croissance sont très variables, ce que montrent le tableau T. 221-B et le graphique G. 221-B (sur lequel on a représenté, en moyenne mobile sur 3 ans, les taux \mathcal{C}_1 et \mathcal{C}_A des radiales et des transversales principales, et le taux annuel du trafic total).

Sur ce graphique, l'influence de la conjoncture économique apparaît de façon extrêmement nette.

222 - Evolution chronologique par ligne

On ne dispose de série chronologique suffisamment longue que pour 7 lignes :

Paris/Lyon (notée R_1)	
/Marseille (R_2)	
/Nice (R_3)	
/Toulouse (R_4)	
/Bordeaux (R_5)	
Marseille/Lyon (TR_1)	
/Nice (TR_2)	

Les trafics correspondants figurent dans le tableau T. 222-A et B on y remarque une baisse conjoncturelle du trafic entre 1957 et 1960 et des variations importantes, d'une année sur l'autre, du taux de variation du trafic (cf. T. 222-B et G. 222-C), bien que les graphiques représentent l'évolution d'une moyenne mobile.

Toutefois, pour ces lignes **anciennes**, il semble que le taux annuel tend vers une valeur comprise entre 10 et 20 % qui correspondrait à la saturation de la ligne.

23 - EVOLUTION DE LA PART RELATIVE DES 6 GROUPES DE LIGNES DANS LE TRAFIC TOTAL

Les rapports $T_i / \sum T_i$ $i = 1 \dots 6$ et leur évolution chronologique, figurent dans T.23-A et G.23-A.

On constate que, jusqu'en 1967 :

- les 5 grandes radiales (T_1) représentent une part à peu près stable du trafic total (environ 50 %) ;
- la part du trafic avec la Corse n'a cessé de décroître, passant de 50 à moins de 20 %.

Sur le tableau T.23-B et le graphique G.23-B on a représenté la part des groupes de lignes dans le trafic continental (Corse exclue) ainsi que le résultat de la projection (chapitre 4).

24 - VARIABLES SOCIO-ECONOMIQUES LIEES A L'EVOLUTION DES TRAFICS

241 - Influence du produit national brut

L'influence du PNB est très nette sur l'évolution des trafics. On peut observer que les périodes de croissance ralentie (ou même de décroissance) des trafics sont précisément celles pour lesquelles le taux d'augmentation du PNB a été le plus faible.

Le graphique G.241-A montre le lien entre le trafic aérien total et le PNB par tête d'habitant ; tandis que le graphique G.242-B montre les évolutions parallèles des taux de croissance du trafic (sur un groupe de lignes choisi à titre d'exemple) et du PNB.

Il apparaît un lien de la forme $\log T = a \log \text{PNB} + b$ mais cette relation n'est pas assez stricte pour permettre une projection à long terme du trafic.

242 - Influence de la population

On peut mettre en évidence un lien entre le trafic intérieur et la population urbaine notée P et exprimée en millions d'habitants.

En définissant celle-ci comme la population des villes desservies en 1967 par une ligne aérienne régulière, on dispose d'un indicateur d'urbanisation projetable grâce aux prévisions de l'I. N. S. E. E.

Les graphiques G. 242-A, B et C représentent cet effet sur le trafic total, le trafic d'un groupe de ligne et le trafic des 5 lignes radiales les plus importantes.

On voit que s'il est net à un niveau suffisamment agrégé, il ne l'est plus lorsque l'on considère une ligne particulière, qu'elle soit très ancienne (comme Paris-Nice) ou plus récente.

On observe une relation assez bonne de la forme $\log T = a P + b$.

Toutefois, pendant la période 1958-1959, la croissance urbaine ne s'est accompagnée que d'une très faible croissance du trafic aérien, introduisant ainsi une forte discontinuité sur les courbes. Ces 2 années étant précisément celles pour lesquelles la croissance du PNB a été la plus faible.

Le graphique G. 242-D illustre la relation entre le trafic continental (Corse exclue) et 2 catégories différentes de population urbaine. La discontinuité conjoncturelle 1957-1960 y est particulièrement nette.

Entre 1954 et 1962, et après 1962, les populations des grandes agglomérations ont été estimées soit par les chiffres publiés par diverses administrations (DATAR et INSEE en particulier), soit par interpolation.

Conclusions du chapitre 2

- La demande de transport aérien est encore dans une phase d'expansion extrêmement rapide et relativement irrégulière d'une année sur l'autre et selon les lignes.
- Le phénomène évolue en fonction de la croissance de la population urbaine.
- Mais semble assez sensible à la conjoncture économique globale.
- Une extrapolation linéaire des tendances historiques est beaucoup trop imprécise pour une projection à long terme.

CHAPITRE 3 - UTILISATION D'UN MODELE DE CONCURRENCE AIR-RAIL

Nous présenterons dans ce chapitre le modèle "prix-temps" qui permettra de projeter la demande sur les lignes qui sont actuellement les plus importantes

31 - PRESENTATION DU MODELE PRIX-TEMPS

Le modèle "prix-temps" a été établi par la SETEC (1) en 1963 dans le cadre d'un contrat d'étude de la place du transport aérien intérieur dans les déplacements de personnes en France (aéroport de Paris - SETEC).

Il a permis d'estimer, en 1970, les perspectives d'évolution globale du trafic intérieur français par le biais de la répartition des voyageurs entre l'avion et le mode de surface directement concurrent : le train 1ère classe, compte tenu d'hypothèses de croissance globale des transports rapides (train 1ère classe et avion).

Notre propos, dans cette première partie, n'est pas de donner une description détaillée de ce modèle, mais plutôt de présenter rapidement les principaux résultats que nous utiliserons, sans insister sur les justifications méthodologiques.

311 - Répartition train-avion

Le principe du modèle est le suivant :

soit . h la valeur du temps d'un individu

- . P_A , P_S , t_A et t_S les prix et temps de l'avion et du train
- . B la valeur que l'individu attache aux avantages relatifs de l'avion par rapport au train ($B \geq 0$)

l'individu choisira l'avion si :

$$h(t_S - t_A) + B \geq P_A - P_S$$

soit :

$$h \geq \frac{P_A - P_S - B}{t_S - t_A} = h_c \quad (1)$$

Sur une liaison, l'agrégation des choix individuels détermine le partage du marché des transports rapides entre l'avion et le train 1ère classe.

(1) "Place du transport aérien intérieur dans les transports de personnes en France" - Aéroport de Paris - SETEC - 1963.

Il est donc nécessaire de connaître la distribution des valeurs du temps dans la population afin de déterminer la proportion d'individus dont la valeur du temps est inférieure ou égale à h_c et qui, par conséquent, choisiront le train.

312 - Taux annuel de croissance de l'avion

L'étude de la SETEC distingue les lignes aériennes stables des lignes nouvelles pour lesquelles un modèle complémentaire (qui sera décrit plus loin) est nécessaire.

Soit e l'élasticité de la répartition T_A/T_S des trafics par rapport au revenu.

$$e = \frac{\Delta(T_A/T_S)}{R} \times \frac{R}{T_A/T_S} = \frac{\Delta T_A/T_A - \Delta T_S/T_S}{R/R}$$

On peut écrire :

$$\frac{\Delta T_A}{T_A} = \frac{\Delta T_S}{T_S} + e \frac{\Delta R}{R}$$

ou :

$$\boxed{\frac{\Delta T_A}{T_A} = \frac{\Delta(T_A + T_S)}{T_A + T_S} + e \frac{\Delta R}{R} \cdot \frac{T_S}{T_A + T_S}} \quad (2)$$

Cette formule relie le taux de croissance de l'avion :

- à celui des transports rapides que l'on estime à 8,6 % par an ;
- au taux de variation des revenus que l'on estime à 4 % par an ;
- à la part du train dans les transports rapides ;
- et enfin à l'élasticité de T_A/T_S par rapport au revenu.

Ce dernier terme est décomposé en 2 élasticités :

$$e(T_A/T_S, R) = e_1(T_A/T_S, h) \cdot e_2(h, R)$$

313. Problèmes méthodologiques

Nous présentons dans ce paragraphe un certain nombre de résultats qui ont dû être établis pour valider les principes exposés dans les 2 paragraphes précédents.

Ces résultats sont issus de la comparaison de considérations théoriques (forme des distributions) avec les données de l'enquête réalisée par la SETEC.

Par souci de concision nous n'évoquerons brièvement que les principaux, renvoyant pour plus de détail, au rapport original.

1/ L'élasticité $e_1 = e_1(T_A/T_S, h)$ est constante

Résultat obtenu à partir de l'étude de la distribution $\Psi = T_S/T_A + T_S = 1/1 + T_S/T_A$ (issue de l'enquête) et des propriétés de la distribution log. logistique $1/1 + T_S/T_A$.

2/ L'élasticité $e_2 = e_2(h, R)$ est constante

Il faut pour établir ce résultat s'affranchir de la difficulté représentée par le terme B dans l'expression (1) ou assimilant $h' = P_A - P_S/t_S - t_A$ à la valeur du temps h.

On montre pour cela que :

- la distribution marginale de h est log. normale (démonstration théorique) ;
- celle de h' l'est aussi (détermination expérimentale).

Les considérations ayant conduit à ces résultats et l'explication des hypothèses sont très clairement exposées dans le rapport original.

314 - Taux de croissance des lignes stables

Les élasticités sont estimées aux valeurs suivantes :

	Professionnel	Personnel
$e_1(T_A/T_S, (P_A - P_S)/(t_S - t_A))$	2,2	1,4
$e_2(h, R)$	0,7	1,6

Dans ces conditions, pour l'ensemble des liaisons aériennes stables, la formule (2) conduit à un taux de croissance uniforme de 13,7 % par an.

315 - Cas des lignes récentes

Pour évaluer la répartition entre les 2 modes à l'horizon de projection, il faut disposer des prévisions de trafic en train 1ère classe et d'une estimation du terme B de la formule (1) qui traduit le "bonus" de l'avion lié à sa définition sur le marché, à la fréquence des vols, etc...

Faute des données nécessaire, la SETEC a mis au point une méthode directe dont le principe est le suivant :

soit un modèle gravitaire :

$$T_{ij} = K_{ij} \frac{\sqrt{P_i P_j}}{d_{ij}} \quad (3)$$

La constante K_{ij} peut être corrélée au taux de croissance \mathcal{C}_{ij} de la ligne :

$$\log K_{ij} = -\alpha \mathcal{C}_{ij} + \beta \quad (4)$$

On peut déduire de cet ajustement une loi d'évolution du trafic jusqu'à maturité. En effet, avec :

$$\mathcal{C}_{ij} = \frac{\Delta}{\Delta t} (\log T_{ij})$$

et :

$$T_{ij} = K_{ij} \cdot \Theta_{ij} \quad \Theta_{ij} = \text{constante}$$

On voit que l'évolution du trafic obéit à l'équation différentielle :

$$\log T_{ij} = -\alpha \frac{d}{dt} (\log T_{ij}) + \beta + \log \Theta_{ij} \quad (5)$$

Soit \mathcal{C}_s le taux de croissance à maturité estimé à l'aide de (2) et T_s le trafic correspondant, la loi intégrée d'évolution du trafic permet de déterminer la date à laquelle la liaison sera stable.

Les données se réduisent aux variables suivantes :

- trafics inter-urbains actuels par avion ;
- distances ;
- taux de croissance passés ;
- populations des agglomérations.

32 - CONFRONTATION DU MODELE SETEC AJUSTE EN 1963 AUX TENDANCES HISTORIQUES 1963-1966

On cherchera à vérifier dans ce chapitre si un taux à maturité caractéristique de la liaison fournit une prévision de trafic plus exacte que le taux uniforme de 14 % adopté par la SETEC. Seule la liaison Paris-Nice était parvenue à maturité en 1963 : en ce qui concerne les autres liaisons, dont la croissance avait été exprimée par une loi d'amortissement exponentielle prolongée par la loi à taux constant, une fois ce taux atteint, on comparera les tendances statistiques aux taux prévus en 1966 d'après la loi exponentielle.

Enfin on tentera de faire cette comparaison à l'intérieur de classes de liaisons : selon la taille de la ville de destination pour les liaisons Paris-Province, selon la nature de la liaison (ancienne, exploitée par Air France et Air Inter, nouvelle, exploitée uniquement par Air Inter).

321 - Calcul des trafics et des taux de croissance en 1966 à l'aide du modèle 1963

3211 - Les trafics

Pour la seule liaison stable en 1963 (Paris-Nice) le taux limite de 14 % étant atteint à cette date :

$$T_{66} = T_{63} \times (1,14)^3$$

Pour les autres liaisons, le rapport donne les trafics prévus en 1970 ainsi que la date X_S à laquelle le taux de 14 % serait atteint.

Si X_S est antérieur à 1966, on a :

$$T_{66} = T_{70} \times \frac{1}{(1,14)^4}$$

Sinon, la ligne est encore, en 1966, dans sa phase de jeunesse. Par intégration de l'équation (5), on peut alors exprimer le trafic au temps X par :

$$\log T(x) = \log k_M \cdot \Theta(X) - e^{-0,368(X - X_0)} \quad (6)$$

avec :

$$\Theta_{ij} = \frac{\sqrt{P_i P_j}}{d_{ij}}$$

$$T(X) = k(X) \cdot \Theta(X)$$

et :

$$k_M = \lim_{X \rightarrow \infty} k(X) \quad (\text{lu sur l'exponentielle})$$

Au temps X , on connaît $k = T \cdot d_{ij} / \sqrt{P_i P_j}$ et le taux d'accroissement \mathcal{C} .

Sur les ponts de coordonnées $(\mathcal{C}, \log k)$ on peut ajuster une droite :

$$\log k = -\alpha \mathcal{C} + \beta$$

Le modèle défini en 1963 distingue deux groupes de liaisons :

- celles pour lesquelles les points sont ajustés par la droite :

$$\log k = -0,0118 \mathcal{C} + \log 46$$

(liaisons radiales de Paris à Clermont, Nantes, Nîmes, Toulouse, Bordeaux) ;

- les autres liaisons où l'ajustement donne une droite parallèle à la précédente :

$$\log k = -0,0118 \mathcal{C} + \log 23,5$$

Connaissant la date de saturation X_S , on calcule :

$$T(X_S) = \frac{T_{70}}{(1,14)^{(1970 - X_S)}}$$

$$k(X_S) = T(X_S) / \Theta(X_S)$$

L'application de la formule (6) au temps X_S conduit à :

$$\log \log \frac{k(X_S)}{k_M} = -0,368 (X_S - X_0)$$

d'où :

$$X_0 = X_S + 2,72 \log \log \frac{k(X_S)}{k_M} \quad (7)$$

où k_M est connu par les 2 ajustements (ζ , $\log k$).

Le trafic T_{66} estimé par le modèle est donc donné par :

$$\log T_{66} = \log k_M \Theta_{66} - e^{-0,368(1966 - X_0)} \quad (8)$$

3212 - Les taux d'accroissement en 1966

$$\begin{aligned} \text{On a : } \log k_{66} &= -\alpha \zeta_{66} + \beta \\ \log k_{66} &= \log k_M - e^{-0,368(1966 - X_0)} \end{aligned}$$

$$\text{avec : } \log k_M = \beta$$

donc :

$$\zeta_{66} = \frac{1}{\alpha} e^{-0,368(1966 - X_0)} \quad (9)$$

X_0 étant donné par (7).

NB : L'année X_0 est caractéristique de la ligne et l'écart $X_S - X_0$ ne dépend pas de la liaison.

322 - Comparaison aux statistiques 1963-1966

3221 - Cas de Paris-Nice

Cette ligne étant stable en 1963, son taux de croissance est estimée par :

$$\zeta_A = t_S + e \frac{\Delta R}{R}$$

t_S est le taux de croissance du train dont la valeur moyenne sur la période 1963/1965 est 1,52 %.

$$\text{On a pris } e = e^{(T_A/T_S, R)} = 1,5$$

La comparaison entre les taux estimés ζ_A et les taux réels t_A donne les résultats suivants :

Période	Croissance des revenus $\Delta R/R$ %	Taux prévu ζ_A	Taux réel t_A
1962/1963	9,5	15,7	29,5
1963/1964	10,5	17,2	14,0
1964/1965	2,6	5,3	5,9
1965/1966	5,0	9,0	24,0
Valeurs moyennes 1963/1966	6,0	10,5	14,0

3222 - Autres lignes

Le taux uniforme de 14 % sur lequel reposent les prévisions du modèle se révèle insuffisant pour la plupart des liaisons (exceptions : Paris-Clermont et Paris-Nantes) : le trafic 1966 est sous estimé pour 7 des 9 liaisons du tableau 3.

L'insuffisance de ce taux apparaît clairement pour les liaisons parvenues à maturité en 1966, ou sur le point de l'être (1967), par comparaison aux taux élevés atteints à cette date (de 24 à 60 % si l'on met de côté Paris-Brest), et compte tenu de la tendance passée.

Pour Paris-Mulhouse et Paris-Nîmes dont la stabilité était prévue entre 1967 et 1968, le taux prévu en 1966 à l'aide de la loi d'évolution exponentielle amortie de $\log T$, semble également insuffisant (cette insuffisance est cependant due pour une part à l'afflux particulièrement brusque de trafic en 1966, 76 % et 109 %, que la croissance antérieure ne paraissait pas indiquer).

Seules les liaisons Paris-Nantes et Paris-Clermont voient leurs trafics surestimés par le modèle.

On trouvera en annexe les tableaux des calculs correspondants (T. 3.1, 3.2 et 3.3).

323 - Etude des écarts $\Delta \mathcal{C}$ des taux réels t_A aux taux prévus \mathcal{C}_A (1) :
 il s'agit d'étudier les séries spatiales et temporelles de ces écarts, afin de pouvoir dégager des facteurs explicatifs de cette sous estimation.

a) Valeur des écarts

Pour Paris-Nice les valeurs de $\Delta \mathcal{C} = t_A - \mathcal{C}_A$ sont :

1963	-	$\Delta \mathcal{C} = + 16 \%$
1964	-	$\Delta \mathcal{C} = 0 \%$
1965	-	$\Delta \mathcal{C} = - 8 \%$
1966	-	$\Delta \mathcal{C} = + 10 \%$

Année	1966	1965	1964	1963
Ecart $\Delta \mathcal{C} = t_A - \mathcal{C}_A$ pour liaisons Paris-Province				
Marseille	- 10,3	- 23,0	- 34,2	- 42,5
Bordeaux	35,0	12,5	12,5	73,0
Strasbourg	10,0	24,0	21,5	39,0
Toulouse	44,0	33,6	- 24,0	- 7,2
Brest	(- 1,5)	23,1	-	-
Lyon	28,6	16,4	- 8,1	18,0
Nîmes	51,0	0	- 4,5	- 42,0
Mulhouse	79,0	- 25,0	- 48,2	-
Nantes	- 16,2	- 3,5	(400)	-
Clermont	+ 5,3	+ 39,0	- 27,7	-

On obtient l'estimation \mathcal{C}_A du taux de croissance à l'aide des formules (1) et (2) :

$$\log T(X) = \log k_M \Theta(X) - e^{-0,368\Delta X} \quad (1)$$

$$T(X) = k(X) \cdot \Theta(X) \quad (2)$$

(1) \mathcal{C}_A = taux limite de 14 % pour Paris-Nice.

avec :

$$\log k(X) = - 0,0118 \mathcal{C}(X) + \log k_M$$

d'où :

$$\mathcal{C}(X) = \frac{36,8}{10^{0,16 \Delta X}}$$

Si l'on isole la croissance t'_A du trafic Air Inter, on obtient (avec $\Delta' \mathcal{C} = t'_A - \mathcal{C}_A$) :

Liaisons radiales	1966		1965		1964		1963	
	t'	$\Delta' \mathcal{C}$	t'	$\Delta' \mathcal{C}$	t'	$\Delta' \mathcal{C}$	t'	$\Delta' \mathcal{C}$
Marseille	54	23	43	4	224	158	395	302
Bordeaux	57	43	38	21	39	13	180	143
Strasbourg	-	-	47	30	48	22	182	145
Toulouse	60	46	60	40	1	- 30	38	- 6
Brest	12	- 2	44	23	-	-	-	-
Lyon	53	33	47	16	31	- 13	-	-
Nîmes	76	51	36	0	48	- 45	35	- 42
Mulhouse	84	53	19	- 25	126	60	-	-

Pour les liaisons exploitées concurremment par Air Inter et d'autres compagnies, la part du trafic acheminé par Air Inter a évolué ainsi (pourcentage du trafic total sur la liaison) :

Liaisons radiales	1963	1964	1965	1966
Marseille	16,7	41,2	50,5	65,0
Mulhouse	35,2	51,4	51,6	45,0
Bordeaux	75,6	78,0	83,0	87,0
Toulouse	89,7	86,5	88,4	90,0
Strasbourg	94,5	96,0	99,0	0
Lyon	97,3	94,5	94,5	96,5

Les autres liaisons - Paris-Brest, Paris-Clermont, Paris-Nantes, Paris-Nîmes - sont exploitées exclusivement par Air Inter.

b) Observations

On constate que le modèle surestime les taux de croissance au début de la période étudiée, surtout pour les liaisons exploitées uniquement par Air Inter, pour ensuite les sous estimer ($\Delta \bar{C} = t_A - \bar{C}_A > 0$). Cette sous estimation est très variable suivant les liaisons ; il est toutefois possible d'effectuer des comparaisons entre liaisons :

Liaisons anciennes, où la compagnie Air Inter occupe une place comparable sur le marché des transports aériens, Paris-Bordeaux et Paris-Toulouse

De 1964 à 1966, les valeurs moyennes des écarts sont respectivement de 20 % et 17,8 %, pour ce qui est des taux de croissance du trafic total, de 25,8 et 18,6 pour les taux de croissance du trafic Air Inter ($\Delta \bar{C}' = t'_A - \bar{C}'_A$).

Sur ces deux lignes la tendance passée (taux annuels et taux moyens observés) fait apparaître l'écart mesuré en 1966 comme exceptionnel. On remarque par ailleurs la croissance parallèle du trafic ferroviaire (respectivement 6,9 % et 4,6 % entre 1963 et 1965).

. Paris-Lyon et Paris-Strasbourg, liaisons sur lesquelles Air Inter assure la même part du trafic ($\simeq 96\%$)

En tenant compte du décalage des dates de maturité des deux liaisons (Lyon en 1967, Strasbourg en 1965/1966), les moyennes des écarts sur 1962/1966 pour Lyon, sur 1964/1965 pour Strasbourg sont de $\Delta \mathcal{C}' = 24,4$ et $26,2$ (on a de même pour $\Delta \mathcal{C} = 22,5$ et $22,7$). La croissance de cet écart, au cours du temps, semble devoir s'arrêter plus rapidement que pour les liaisons précédentes (cette hypothèse est liée au fait que la croissance du trafic est souvent d'autant moins rapide que la part acheminée par Air Inter est plus grande - à l'exception des liaisons ouvertes par cette compagnie).

Si l'on ne tient pas compte de l'année 1966 pour Paris-Strasbourg (où la croissance a été perturbée du fait de l'arrêt momentané des services d'Air Inter), l'évolution du trafic avion. Sur ces deux lignes depuis 1963 est très voisine, ainsi que l'évolution du trafic train 1ère classe ($\mathcal{C}_s = 1,5\%$).

. Paris-Mulhouse et Paris-Marseille

Air Inter n'assure pour ces deux liaisons qu'une fraction relativement réduite du trafic (respectivement, de 1963 à 1966, de $35,2\%$ à 51% et de $16,7\%$ à 65%) ; d'autre part le modèle indique la même date de maturité (1968). Les moyennes des écarts $\Delta \mathcal{C}$, de 1964 à 1966 sont de $-4,7$ et $22,9$.

Les taux prévus sur ces deux liaisons, à un instant donné étant les mêmes, la croissance réelle est beaucoup plus forte sur Paris-Mulhouse, comme le suggère d'ailleurs la croissance comparée des trafics de surface ($8,5\%$ vers Mulhouse contre 0%).

. Liaisons Air Inter

De Paris à Brest, Clermont, Nîmes et Nantes à la différence des précédentes, ces liaisons ont été toujours exclusivement exploitées par Air Inter.

La comparaison des moyennes des écarts de 1964 à 1966 sur Paris-Clermont, de 1963 à 1965 sur Paris-Lyon qui doit attendre sa phase théorique de maturité un an avant, donne $\Delta \mathcal{C}_m = 5,5$ et $8,8$.

La comparaison relative à Paris-Brest et à une liaison de même âge" (Paris-Toulouse) donne :

$$\begin{aligned} \Delta \mathcal{C}_m &\neq 11 && \text{(pour 1965 et 1966)} \\ \Delta \mathcal{C}_m &= 17,8 && \text{(de 1964 à 1966 sur Paris-Toulouse)} \end{aligned}$$

La moyenne des écarts sur Paris-Nîmes est de même substantiellement moins élevée que sur Paris-Lyon, mais voisine de celle sur Paris-Mulhouse.

c) Conclusions

Il paraît hasardeux d'avancer des relations intangibles à partir de séries temporelles et spatiales fluctuantes et dispersées ; on peut toutefois indiquer :

1/ le taux de croissance est moins sous estimé sur les liaisons Paris-Provence vers les villes d'importance moyenne (Brest-Nîmes-Clermont) que vers les métropoles régionales telles que Lyon, Strasbourg, Toulouse ou Bordeaux (1) ;

2/ une certaine corrélation se dégage entre la sous estimation moyenne du taux de croissance et la croissance du trafic en train 1ère classe, du moins à l'intérieur de groupes de liaisons, caractérisées par une importance comparable de la part de trafic acheminé par Air Inter (ainsi Paris-Mulhouse et Paris-Marseille, Paris-Bordeaux et Paris-Toulouse, Paris-Strasbourg et Paris-Lyon).

(1) On retrouve cette sous estimation en appliquant le modèle de demande ajusté sur série spatiale (voir chapitre 2).

33 - REAJUSTEMENT DU MODELE PRIX-TEMPS EN 1966 ET APPLICATION A LA PROJECTION 1985 -

Le chapitre précédent a montré que le taux uniforme de 14% ne permettrait pas de traduire les différences notables apparaissant d'une liaison à l'autre. On s'efforcera donc, lors du réajustement du modèle, de tenir compte des diverses tendances observées, en actualisant le taux de croissance à maturité théorique par liaison ainsi que la corrélation ($\log K, \mathcal{C}$) (K rapport du trafic de l'année x au trafic théorique $Q = \sqrt{P_i P_j / d_{ij}}$; \mathcal{C} taux de croissance annuel moyen sur une période centré à la date X) permettant de définir l'évolution du trafic de chaque liaison jusqu'à ce que sa croissance atteigne le rythme théorique.

331 - Actualisation du taux de croissance à maturité \mathcal{C}_A

\mathcal{C}_A est donné par la formule :

$$\mathcal{C}_A = \mathcal{C}_S + \frac{\Delta R}{R} \cdot e\left(\frac{T_A}{T_S}, h\right) \cdot e(h, R)$$

On déterminera en premier lieu une valeur de $e(T_A/T_S, h)$ par groupe homogène de liaisons.

3311 - Actualisation en 1966 de l'élasticité de T_A/T_S (rapport du trafic annuel avion du trafic annuel train 1ère classe sur une même liaison) par rapport à la valeur du temps h .

a) Données de calcul -

Il serait théoriquement nécessaire d'effectuer les calculs en séparant les trafics selon les motifs. En effet, cette élasticité étant estimée par la pente des droites ajustées sur les points de coordonnées $\log T_A/T_S, \log P_A - P_S / t_S - t_A$ on peut penser que les voyageurs pour le motif affaire sont plus nombreux à utiliser les cartes d'abonnement ou des billets à tarif réduit.

Toutefois cette information n'étant pas directement accessible on peut, semble-t-il, postuler que l'estimation de l'élasticité à partir des trafics tous motifs et des tarifs normaux conduit vraisemblablement à l'ajustement d'une droite parallèle à la droite réelle si d'une liaison à l'autre le rapport des écarts des tarifs pleins et des tarifs normaux, ainsi que le rapport des trafics pour chaque motif sont peu différents.

b) Calcul des écarts de temps de trajet $\Delta t = t_S - t_A$

On peut écrire $\Delta t = \Delta t' + \Delta \Theta$

où : $\Delta t'$ est la différence des temps de voyage entre l'avion et le train les plus rapides

$\Delta \Theta$ est la différence des délais terminaux (enregistrement, attente, trajets terminaux moyens)

Les délais moyens utilisés seront les suivants (médiane des distributions sur l'ensemble des liaisons) :

	Train	Avion
Parcours terminaux	19 mn	37 mn
Attente au départ	21 mn	39 mn

- Les transports terminaux avion sont un peu plus longs pour Orly, Marseille, Nîmes, Mulhouse (40 mn).
- L'attente moyenne est en général plus faible pour les voyages professionnels : 35 mn au lieu de 50 mn à Orly, 36 mn dans les autres aéroports.

c) Calcul des écarts de tarif

Le tarif kilométrique en train 1ère classe en 1966 était en moyenne de 0,1487 F/km.

Pour l'avion on a utilisé le prix d'un billet plein tarif en 1966.

d) Calcul du rapport T_A/T_S par liaison

Si l'on dispose des courants de trafic aérien, c'est-à-dire du nombre total de voyages avion, en ce qui concerne le trafic ferroviaire, seules les statistiques de voyageurs-billets sont disponibles. On ne prend donc pas en compte le trafic dû aux possesseurs de cartes d'abonnement dont on connaît le nombre mais dont la fréquence de voyage n'est pas accessible simplement (on pourrait affecter à chaque abonné un nombre de voyages calculé à partir du seuil de rentabilité de la carte). Dans l'optique du modèle prix-temps, cette lacune est regrettable dans la mesure où il s'agit là d'usagers voyageant fréquemment. On peut toutefois penser qu'ils sont totalement captifs du train 1ère classe et qu'ils n'ont donc pas à être pris en compte dans le modèle.

Les trafics ferroviaires 1966 sont calculés à partir des trafics 1965 par application du taux annuel moyen de croissance observé entre 1963 et 1965.

Pour les lignes (Paris-Lorient et Paris-Quimper) où le trafic 1965 n'était pas connu, on a appliqué un taux annuel de 4 % au trafic 1963.

On trouvera en annexe :

- les tableaux T. 3. 4 et T. 3. 5 ayant permis le calcul de la valeur du temps,
- les tableaux T. 3. 6 et T. 3. 7 correspondant au calcul de T_S/T_A .

e) Résultat des ajustements : $e(T_A/T_S, h)$

Lignes radiales

En portant sur un même graphique les points correspondants aux valeurs de 1963 et de 1966, on constate une assez bonne stabilité des ajustements.

La disposition des points sur les graphiques G. 3. 1, 3. 2, 3. 3 et 3. 4 (en annexe) suggère les regroupements des lignes en 3 catégories :

Paris / Marseille	$e = 1, 3$
Nice	
Nantes	
Clermont	

Paris / Lyon]	e = 4
Bordeaux		
Toulouse		
Strasbourg		
Mulhouse		
Paris / Lorient]	e = 3
Brest		
Quimper		
Pau		
Perpignan		

Lignes transversales

Les points obtenus sur le graphique n° 35, nous amène à prendre une élasticité plus faible et de l'ordre de 1.

Un taux à maturité plus faible indique une phase de jeunesse plus longue (d'après le modèle de croissance exponentielle amortie) et traduit la diffusion moins rapide de l'avion sur le marché de transport des liaisons transversales.

f) Elasticité de la valeur du temps par rapport au revenu

On supposera fixes, les élasticités par motif estimées en 1963 :

$$\begin{cases} e = 1,6 & \text{voyages personnels} \\ e = 0,7 & \text{voyages d'affaires} \end{cases}$$

La proportion de voyages d'affaires qui est actuellement supérieure à 80 % sera certainement amenée à diminuer. On fait l'hypothèse qu'elle sera en 1985 voisine de 70 % ce qui conduit à prendre comme valeur moyenne de l'élasticité $e(h, R) = 1$.

3312 - Calcul des taux à maturité τ_A

Ce taux étant donné par la formule :

$$\tau_A = \tau_S + e(T_A/T_S, h) \cdot e(h, R) \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

$$\left[\begin{array}{l} \tau_S \text{ est estimé par liaison par la valeur moyenne du taux observé entre} \\ \text{1963 et 1965} \\ e(T_A/T_S, h) \text{ prend les valeurs 1, 1,3, 3 ou 4 suivant la liaison} \\ e(h, R) = 1 \\ \frac{\Delta R}{R} = 4 \% \text{ taux annuel de croissance des revenus} \end{array} \right.$$

Avec ces hypothèses on obtient les estimations suivantes des taux à maturité :

<u>liaisons radiales</u>	- Bordeaux	21 %
	Toulouse	19 %
	Strasbourg	16 %
	Mulhouse	23 %
	Lyon	16 %
	Marseille	9 %
	Nice	8 %
	Nantes	8 %
	Clermont	8 %
	Nîmes	13 %
	Lorient	14 %
	Brest	19 %
	Quimper	14 %
	Rennes	26 %
	Pau	19 %
	Perpignan	17 %
liaisons transversales		8 %

332 - Corrélation (log K, τ)

On a cherché à établir cette corrélation à l'intérieur de groupes homogènes de liaisons (liaisons anciennes, liaisons récentes exploitées par Air Inter, liaisons transversales).

Pour chaque liaison on dispose de plusieurs points caractérisant les périodes 1962-1964, 1963-1965, 1964-1966, 1965-1967.

Liaisons anciennes

Paris / Toulouse Bordeaux Mulhouse	$\log K = - 0,0118 \mathcal{C} + \log 46$
Paris / Strasbourg	$\log K = - 0,0118 \mathcal{C} + \log 23,5$
Paris / Nice Marseille	$\log K = - 0,0216 \mathcal{C} + \log 217$

Liaisons plus récentes exploitées par Air Inter

Paris / Lyon Nîmes	$\log K = - 0,020 \mathcal{C} + \log 209$
Autres liaisons	$\log K = - 0,004 \mathcal{C} + \log 10,3$

Liaisons transversales

Lyon / Nice Nantes Mulhouse Lille	$\log K = - 0,0118 \mathcal{C} + 36,9$
Marseille / Lyon Bordeaux Nice Toulouse	
Lyon / Clermont	$\log K = - 0,0118 \mathcal{C} + \log 19,2$

Les graphiques correspondants sont donnés en annexe (G. 3. 5 à 3. 9).

333 - Evolution du trafic3331 - Forme du modèle

L'évolution se fera suivant la loi :

$$\log T(X) = \log (k_M \cdot \Theta) - e^{-\frac{0,4343}{100^\alpha} (x - x_0)}$$

où :

α est la pente de la droite de corrélation ($\log k$, \mathcal{C}) relative à la liaison considérée

k_M est l'ordonnée à l'origine de cette droite

x_0 est une constante caractéristique de la ligne qui correspond à la date à laquelle le trafic atteint la valeur :

$$T(X) = \frac{k_M \cdot \Theta}{2,72} = \frac{T_M}{2,72}$$

X est le temps en année

$T(X)$ le trafic en milliers de voyageurs

L'évolution du taux de croissance est la suivante :

$$\log \frac{k}{k_M} = -\alpha \mathcal{C} = -0,4343 \times e^{-\frac{0,4343}{100^\alpha} \Delta x}$$

d'où :

$$\mathcal{C} = \frac{0,4343}{\alpha} e^{-\frac{0,4343}{100^\alpha} \times \Delta x}$$

3332 - Processus de calcul

Soit une liaison (ij).

D'après la corrélation $\log K = -\alpha \mathcal{C} + \log k_M$, vérifiée par l'évolution passée de la liaison on connaît k_M . D'après les statistiques INSEE on connaît $\Theta_{ij} = \sqrt{P_i P_j} / d_{ij}$ avec $P_i P_j$ populations des agglomérations en milliers d'habitants.

Par suite on détermine $T(x_0) = k_M \cdot \Theta_{ij} / 2,72$ et x_0 d'après les statistiques de trafic de la liaison.

Connaissant le taux à maturité \mathcal{C}_S de la liaison, on calcule x_S d'après la formule précédente.

Puis le trafic T_S atteint à cette date :

$$T_S = K_S \Theta_{ij} \quad \text{avec} \quad \log K_S = -\alpha \mathcal{C}_S + \log k_M$$

Enfin le trafic prévu en 1985 aura pour valeur :

$$T_{85} = T_s (1 + \tau_s)^{(1985 - x_s)}$$

Les résultats relatifs aux liaisons radiales et aux liaisons transversales se trouvent dans les deux tableaux ci-dessous.

(Traffics annuels exprimés en milliers de voyages)

Projections 1985 - Lignes Paris-Province							
Destination	$T(x_o) =$	x_o	x_s	τ_s	K_s	$T(x_s)$	T_{85}
	$k_M \cdot \Theta$						
	$\frac{\quad}{2,72}$						
Bordeaux	66,5	1965	1966/1967	21	26	102	3 550 (910)
Toulouse	48	1963	1965	19	27,2	77,5	2 550 (1 100)
Mulhouse	34	1965/1966	1967	23	22,4	45,7	1 830 (480)
Strasbourg	34	1965	1967	16	15,2	60	855 (420)
Lyon	525	1968	1970	16	100	685	6 060 (2 400)
Marseille	310	1966/1967	1970/1971	9	169	655	1 150 (3 900)
Nice	185	1962	1967/1968	6,5	117	365	1 125 (3 900)
Nantes	18,1	1964	1966/1967	8	9,6	46	192 (1 100)
Clermont	12,5	1964	1966/1967	8	9,6	32	132 (920)
Nîmes	123	1968	1971	13	115	185	920 (560)
Lorient	6,91	1964	1966	14	9	16,5	175 (200)
Brest	7,7	1963/1964	1965	19	8,6	17,7	495 (180)
Quimper	4,95	1967	1969	14	9	12	97,5 (99)
Rennes	13,3	1970	1971	26	8	28,4	655 (206)
Pau	4,7	1964	1965/1966	19	8,6	10,7	350 (137)
Perpignan	4,58	1968	1970	17	8,8	10,6	114 (98)

Les chiffres entre parenthèses suivant T_{85} , indiquent le niveau de trafic en T_{85} estimé par le modèle prix-temps ajusté en 1963 (taux de croissance à maturité de 14 %).

Projection 1985 - Liaisons transversales ($\mathcal{C}_A = 8 \%$)						
Liaison	$T(x_0)$	x_0	x_s	K_s	T_s	T_{85}
Lyon-Nice	25,5	1964/1965	1968/1969	29,7	55,6	190 (180)
Lyon-Nantes	13,6	1965	1969	-	29,7	98 (330)
Lyon-Mulhouse	13,7	1964/1965	1968/1969	-	30	102 (380)
Lyon-Lille	18,3	1964/1965	1968/1969	-	40	137 (420)
Lyon-Marseille	23,2	1964	1968	15,5	51	188 (980)
Marseille-Bordeaux	9,1	1967	1971	-	20	58 (200)
Marseille-Nice	23	1968	1972	-	50,5	137 (510)
Marseille-Toulouse	12	1968	1972	-	26,2	71 (274)
Lyon-Clermont	20,3	1968	1972	-	44,7	121

Remarques

Outre les objections possibles à la méthodologie adoptée, puis simplifiée face à la difficulté d'accès à certaines données (distribution des valeurs du temps h), on peut mettre en cause les taux de croissance du trafic ferroviaire dont dépendent directement les taux de croissance à maturité de l'avion.

Ces valeurs ne sont calculées que sur une période relativement courte et ne traduisent peut être pas des tendances à long terme (cf. paragraphe 121).

On a indiqué entre parenthèses le niveau du trafic en 1985 pour un taux uniforme de croissance de l'avion de 14 % (selon le modèle prix-temps initial). D'autre part, une fois la phase de maturité atteinte il faudrait envisager des variations de l'élastixité de T_A/T_S à la valeur du temps - traduisant des modifications de l'offre de transports rapides, modifications quantitatives et qualitatives (aérotrain) - induisant les fluctuations du taux de croissance.

La projection établie suppose que certaine stabilité de la structure de cette offre, et n'a de sens que dans cette hypothèse.

Le taux à maturité pourrait être estimé à l'aide d'un ajustement à la tendance moyenne observée pendant une période suffisamment longue : soit \mathcal{C}_m le taux moyen observé durant la période $x_2 - x_1$ (années).

Dans l'hypothèse d'une évolution de $\log T$ suivant une loi exponentielle amortie, on cherche la date x_s , et la valeur du taux à maturité \mathcal{C}_m , faisant coïncider la valeur du taux moyen théorique au taux observé.

Or, sur la courbe théorique, le taux moyen entre x_1 et x_2 vaut :

$$\frac{\mathcal{C}_{m1}}{100} = \frac{e^{-\frac{0,434}{100\alpha}(x_s - x_0)} \cdot (1 - e^{-\frac{0,434}{100\alpha}(x_s - x_1)})}{(x_s - x_1)}$$

a) Si $x_1 < x_s < x_2$

$$\mathcal{C}_m = \frac{(x_s - x_1) \mathcal{C}_A + \frac{(x_2 - x_s) \times 100 \times e^{-K(x_s - x_0)} \times (1 - e^{-K(x_s - x_1)})}{(x_s - x_1)}}{x_2 - x_1}$$

x_s et \mathcal{C}_A étant liés par la relation $\mathcal{C}_A = 43,4/100 \times \exp 0,434/100 \times (x_s - x_0)$ il sera possible d'effectuer une résolution graphique de l'équation proposée avec x_s ou \mathcal{C}_A comme inconnue.

b) On fera également le calcul dans l'hypothèse $x_1 < x_2 < x_s$

Il faudrait pour parvenir à une mesure plus satisfaisante de $P_A - P_S/t_S - t_A$ qui conditionne ensuite le calcul du taux de croissance, évaluer l'écart moyen des tarifs, en tenant compte de la répartition entre billets et abonnements sur l'un et l'autre mode, et l'écart moyen des durées de voyage à l'aide de la répartition par mode de transport terminal (cf. le rapport sur les transports terminaux de l'aéroport du Bourget).

CHAPITRE 4 - LES TRAFICS AERIENS NON PREVUS PAR LE MODELE

41 - INTRODUCTION AU CHAPITRE 4

Le modèle prix-temps présenté au chapitre 3 donne une projection des trafics sur les lignes qui, en 1967, existaient et réalisaient un trafic non négligeable.

Il est donc nécessaire, pour avoir une vision globale des flux de projeter également les trafics sur les lignes qui seront créées avant 1985. Il s'agit là d'un problème complexe pour une raison liée à la nature même du bien "transports aériens".

On sait, en effet, qu'en raison du coût des investissements aériens on peut considérer que, dans une certaine mesure, c'est la demande qui s'adapte à l'offre et non l'inverse. Par ailleurs, la diffusion de la consommation de transport aérien est un phénomène mal connu.

Les liaisons sur lesquelles le modèle prix-temps a été appliqué joignent des villes importantes pour lesquelles il existe a priori une forte demande potentielle. Que ces lignes soient dans leur phase de jeunesse ou bien à maturité, on peut admettre que l'offre s'adapte à une demande potentielle déjà forte.

Il en est tout autrement des lignes à créer après 1967 où l'offre joue un rôle d'incitation beaucoup plus marqué vis-à-vis d'une demande potentielle extrêmement difficile à formaliser. L'ajustement de modèles de génération pose des problèmes complexes et ceux-ci (1) ne semblent pas convenir pour une projection à long terme.

On a donc cherché à projeter le trafic (globalement ou par groupe de ligne) puis à soustraire de ces chiffres les prévisions fournies par le modèle prix-temps pour en déduire une estimation de la demande sur les lignes à créer, en postulant donc que les prévisions par ligne calculées par cette méthode, la plus formalisée, étaient les meilleures qu'il nous soit possible d'obtenir et ne devraient pas, par conséquent, être remis en cause.

(1) Cf. notes Pralon n° 749 (CERAU 7/9/1968) et n° 946 (CERAU 4/11/1968) et rapport "Ajustement de modèles de trafic aérien intérieur" réalisé pour le SGAC, Service des Etudes Economique et du Plan, CERAU décembre 1968.

42 - ESSAI D'AJUSTEMENT D'UN MODELE GLOBAL

L'influence des variables P (population urbaine) et PNB étant mise en évidence, on a cherché à ajuster un modèle :

$$T = f(P, PNB, t)$$

où t représente le temps et traduit les phénomènes de diffusion ou de saturation.

Les graphiques du § 241 et 242 suggéraient un modèle de la forme :

$$\log T = \alpha P + \beta \log PNB + \gamma t + \delta$$

Analyse en composantes principales

On a trouvé, à partir des variables P, log (PNB/tête) et t une première composante principale :

$$u = 0,941 \log PNB + 0,3025 P - 0,1537 (t - 1949)$$

expliquant plus de 95 % de la variance.

Toutefois, l'ajustement $\log T = 0,1451 u - 3,1304$, quoi que satisfaisant dans la période 1950-1966, a conduit à une valeur projetée du trafic en 1975 manifestement excessive (30 millions) qui a amené à le rejeter.

Modèles empiriques

En utilisant les 2 régressions partielles :

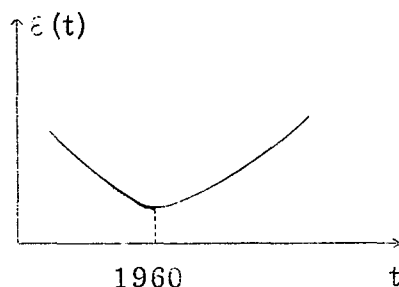
$$\log T = a P + b$$

$$\log T = c \log (PNB/tête) + d$$

où T représente le trafic intérieur (Corse exclue) on a cherché à corrélérer avec le temps le résidu :

$$\hat{\varepsilon}(t) = \log T - \frac{1}{2} (a P + b + c \log PNB + d)$$

On a trouvé pour $\xi(t)$ l'évolution schématisée sur le figure ci-dessous :



En ne considérant que la période postérieure à 1960, la relation est la suivante :

$$\xi(t) = 0,0217 (t - 1960) + 0,138$$

soit :

$$\log T = 0,24692 P + 2,841 \log \text{PNB} + 0,0217 (t - 1960) - 11,54188$$

En projetant le trafic en 1975, on trouve pour le trafic une valeur plausible :

$$T = 7\,867\,000 \text{ voyageurs/an}$$

avec :

$$\left\{ \begin{array}{l} P = 14,823 \text{ millions (source INSEE)} \\ \log \text{PNB/tête en F 1959} = 4,031 \text{ par extrapolation} \end{array} \right.$$

Par contre, la projection en 1985 ($P = 16,714$ et $\log \text{PNB/tête} = 4,186$) conduit à une valeur excessive du trafic (supérieure à 100 millions).

En effet, le coefficient positif de t dans $\xi(t)$ traduit une diffusion croissante de l'avion qui semble inacceptable pour une projection à long terme.

Ce terme était d'un signe plus vraisemblable dans la composante principale, mais comme nous l'avons vu le modèle correspondant n'a pas conduit à un résultat admissible.

En outre, les modèles de cette forme sont extrêmement sensible au terme P puisque le logarithme du trafic varie comme P . Une prévision erronée de P entraîne donc une erreur très importante sur T .

Toutefois un modèle (construit comme le précédent) de la forme :

$$\log T = 6,33 \log P + 2,841 \log \text{PNB/tête} + 0,0361 (t - 1960) - 15,0640$$

n'a pas, non plus, donné de bons résultats.

Le résidu sur la période 1950-1960 est faible et le modèle conduit à $T = 9,780$ millions de voyageurs (Corse exclue) en 1975, ce qui est admissible mais donne en 1985 une valeur excessive du trafic (127 millions).

Les différents modèles présentés dans ce paragraphes se révèlent donc inapplicables pour une projection à long terme.

43 - SECONDE APPROCHE : PROJECTION DES CONSOMMATIONS INDIVIDUELLES

Les 3 recensements (1954-1962 et 1968) joints aux interpolations (DATAR) et aux projections démographiques (INSEE) par agglomération nous permettent de constituer 5 séries chronologiques de 1954 à 1968, 1970, 1975, 1980 et 1985 de population urbaine :

P = population de Paris + toutes les villes ayant plus de 100 000 habitants en 1962

P' = population de Paris + toutes les villes ayant plus de 100 000 habitants en 1962 et desservies en 1967 par une ligne aérienne régulière

P_1 = Paris + Lyon + Marseille + Nice + Toulouse + Bordeaux

P_3 = Paris + autres villes de plus de 100 000 habitants desservies en 1967

P_{46} = $P - \text{Paris}$

On a donc $P_3 = P' - P_1 + \text{Paris}$

Ces séries sont portées dans le tableau T.43-A.

431 - Evolution des trafics par habitantGroupe des grandes radiales (trafic noté T_1)

Soit P_1 la somme des populations de Paris et villes correspondant aux 5 grandes radiales (Lyon, Marseille, Nice, Toulouse et Bordeaux).

Le trafic par habitant T_1/P_1 suit l'évolution représentée sur le graphique G. 43-A (tableau T. 433). Il vaut 0,109 en 1967.

En 1985 avec $T_1 = 14\,432\,000$ (SETEC) et $P_1 = 14,15$ (INSEE) il vaudrait 1,022, soit une multiplication par 10.

Groupe des radiales secondaires existant en 1967 (trafic noté T_3)

P_3 désignant la somme des populations de Paris et de toutes les villes de plus de 100 000 habitants desservies en 1967 par une ligne aérienne régulière (sauf les 5 grandes villes), le rapport T_3/P_3 atteint la valeur 0,035 en 1967.

En 1985 avec $T_3 = 5\,816\,000$ (SETEC) et $P_3 = 13,126$ (INSEE) il vaudrait 0,440, soit une multiplication par 12.

Dans ce paragraphe nous utiliserons ces ordres de grandeur pour estimer les trafics sur le groupe de ligne $T_4 + T_6$ (ensemble des transversales) et sur les nouvelles radiales.

432 - Liaisons radialesa) Lignes créées avant 1967

Il convient de projeter séparément les trafics sur les liaisons qui existent déjà actuellement mais dont le trafic est trop faible pour qu'une utilisation du modèle prix-temps ait pu être envisagée.

On admettra un taux d'accroissement moyen estimé soit à partir de l'évolution des lignes (lorsqu'elles existent depuis 1962), soit forfaitairement à 20 % pour les autres, ce qui conduit aux chiffres suivants :

Ligne origine à Paris	Trafic 1967	Taux moyen %	Trafic 1985 en 1 000 voyageurs
Biarritz	14 256	14	150,5
Dinard	1 086	10	6
Lille	15 163	20	403
Metz	7 853	20	209
Montpellier	19 645	20	523
St Nazaire	1 256	10	7
Tarbes	13 007	9,7	190
Vichy	767	10	4,3
Total	73 033	18	1 492,8

b) Lignes créées entre 1967 et 1985

On admet comme hypothèse (1) la création de 9 radiales entre 1967 et 1985, reliant Paris aux villes suivantes : Nancy, Poitiers, Limoges, Valence, La Rochelle, Dijon, Besançon, Annecy, Roanne.

La population totale correspondante prévue en 1985 est $P = 11\,230\,000$ habitants. Pour tenir compte grossièrement des dates (inconnues) de mise en service de ces lignes, on suppose que le trafic par habitant en 1985 est compris entre la valeur actuelle pour les radiales R_3 soit 0,035 voyages par habitant (après une période d'existence d'environ 10 ans) et le double de cette valeur soit 0,07 qui pourrait être une valeur vraisemblable pour 1985 si toutes ces lignes étaient créées dès maintenant. On prendra donc 0,05 voyages par habitant, ce qui correspond à un trafic de $0,05 \times 11\,230\,000 = 561\,500$ voyageurs/an.

(1) Liste établie comme hypothèse de travail par le SGAC.

Ce trafic sera affecté sur les lignes proportionnellement à un "trafic théorique" calculé à l'aide d'un modèle gravitaire ajusté sur la période 1962-1967 et de la forme :

$$\log \Theta_{ij} = 1,48 \log d_{ij} + 1,2 \log P_j - 5,48$$

On estimera le trafic T_{ij} par $(\Theta_{ij} / \sum \Theta_{ij}) \times 561\,500$

Liaison Paris	Population du département (en milliers)	Distance d km	Θ en milliers	Trafic T prévu en 1985 en milliers
Nancy	715	307	42,280	66,8
Poitiers	338	337	19,750	31,2
Limoges	337	374	22,960	36,3
Valence	333	572	42,450	67,1
La Rochelle	483	473	50,060	79,1
Dijon	409	328	23,860	37,7
Besançon	424	387	31,820	50,3
Annecy	362	546	43,800	69,2
Roanne	722	462	78,330	123,8
			$\sum \Theta = 355,310$	$\sum T = 561,5$

433 - Transversales

L'évolution très voisine des taux T_3/P_3 (radiales secondaires) et $(T_4 + T_6)/P_{46}$ (transversales) nous conduit à retenir pour ce dernier une valeur en 1985 égale à celle prévue (par le modèle "prix-temps") pour T_3/P_3 . C'est-à-dire 0,44 voyages par habitant, soit une multiplication par 16 du taux actuel.

La population P_{46} prévue à cette date étant de 12 104 000 habitants, le trafic correspondant sera donc :

$$12\,104\,000 \times 0,44 = 5\,340\,000 \text{ voyageurs/an}$$

Ce chiffre comporte 2 termes :

- les liaisons reliant 2 à 2 les 12 villes suivantes : Nantes, Toulouse, Bordeaux, Lyon, Strasbourg, Lille, Nancy, Marseille, Nice, Rennes, Caen et Rouen (1) ;
- les autres liaisons transversales.

L'évolution de la répartition du trafic entre ces 2 termes au cours des 5 dernières années, permet de faire l'hypothèse que le trafic des transversales reliant les villes d'importance secondaire entre elles ou avec des villes très importantes, représentera, en 1985, une proportion du trafic total des transversales (Corse exclue) voisine de sa valeur actuelle soit 20 %.

Le tableau suivant montre que cette proportion est relativement stable.

	Total transversales (sauf Corse) A	Transversales grande ville * B	% B/A
1962	40 800	40 784	100
1963	71 300	56 913	79,8
1964	103 300	78 543	76
1965	172 000	129 695	75,4
1966	245 300	185 347	75,8
1967	270 000	221 977	82,3

* on entend ici par "grande ville" : les 12 villes importantes citées dans le paragraphe précédent

(1) Considérées comme des métropoles d'équilibre et devant donner lieu à des échanges aériens importants en 1985 (source : SGAC).

Il est bien évident qu'une modification importante des comportements en matière de voyage pourront faire varier ce chiffre, mais nous ne disposons d'aucun moyen de la projeter.

Les trafics correspondants seront donc :

$$0,8 \times 5\,340\,000 = 4\,272\,000 \quad (\text{métropoles} \times \text{métropoles})$$

$$0,2 \times 5\,340\,000 = 1\,068\,000 \quad (\text{autres})$$

On décomposera chacun des 2 termes en 3 groupes :

- prévisions du modèle "prix-temps" (1er groupe : 529 000 ; 2ème groupe : 223 000) ;
- lignes existant en 1967 et pour lesquelles sera effectué une prévision à l'aide d'un taux moyen de croissance ;
- lignes à créer entre 1967 et 1985 dont le trafic calculé par différence entre le total et la somme des 2 termes précédents sera affecté à l'aide de 2 modèles spécifiques.

4331 - Lignes transversales existant en 1967

On appliquera au trafic 1967 un taux moyen déterminé de la façon suivante :

- pour les relations entre métropoles d'équilibres, on a vu (chapitre 3) que le taux de croissance à maturité était de 8 %. On prendra un taux moyen, sur la période, de 12 % (valeur intermédiaire entre le taux correspondant à la phase de jeunesse et le taux à maturité) ;
- pour les autres, on escompte un développement plus rapide des échanges et un taux moyen de croissance de 20 %.

Les résultats des calculs sont donnés dans le tableau T. 433-A.

Ce qui conduit aux chiffres suivants :

. métropole x métropole	: 414,6 millions de voyageurs/an
. autres	: 596,1 millions de voyageurs/an

4332 - Nouvelles transversalesa) Métropole à métropole

On doit répartir entre les 12 métropoles sur les liaisons n'ayant pas encore fait l'objet d'une prévision le trafic résiduel :

$$4\,272 \text{ (total} \times 0,8) - 829 \text{ (prix-temps)} - 414,6 \text{ (taux moyen)}$$

soit :

$$3\,028,4 \text{ milliers de voyageurs/an.}$$

Ne disposant d'aucune autre clé de répartition, nous affecterons ce trafic total aux liaisons proportionnellement à un "trafic théorique" calculé à l'aide d'un modèle gravitaire ajusté entre 1962 et 1967 qui, malgré sa médiocre qualité ($R = 0,6$) est le meilleur de ceux que nous avons pu trouver.

Le modèle est le suivant :

$$\log \Theta_{ij} = -4,59672 + 0,6 (\log P_i + \log P_j) + 0,4 \log d_{ij}$$

P_i et P_j étant les populations des départements des extrémités de la liaison

On trouvera dans les cases du tableau T. 433-B donné en annexe la distance à vol d'oiseau et le trafic théorique Θ . (En raison du caractère très approché de ce calcul il aurait été illusoire de chercher à projeter les populations, ces termes n'intervenant que comme facteur forfaitaire d'affectation).

Les cases barrées correspondent aux trafics prévus par d'autres méthodes.

En remplaçant chaque terme Θ_{ij} par :

$$\frac{\Theta_{ij}}{\sum \Theta_{ij}} \times 3\,028,4$$

on obtient une estimation des trafics sur ces liaisons en 1985.

Ces chiffres sont portés dans le tableau T. 433-C.

b) Autres transversales

Pour les autres liaisons transversales, en l'absence de toute hypothèse supplémentaire nous adopterons un critère de répartition encore plus forfaitaire des trafics dont l'affectation n'a pas encore été réalisée.

Ces échanges correspondent à :

1 068,0 (total x 0,2) - 223,0 (prix-temps) - 596,0 (taux moyen)

soit :

249,0 milliers de voyageurs/an.

Nous ferons les hypothèses suivantes :

- ce trafic s'effectuera exclusivement sur des liaisons ayant une extrémité dans l'une des 8 villes les plus importantes au point de vue des échanges aériens (Lyon, Nice, Marseille, Bordeaux, Lille, Toulouse, Nantes, Strasbourg) ;
- l'autre extrémité des liaisons sera dans une zone comportant, soit un aéroport commercial actuellement en service (c'est-à-dire 10 zones (1) dans le zonage SAEI), soit l'une des 8 villes citées au § 432 (Poitiers, Nancy, Limoges, Valence, La Rochelle, Dijon, Besançon, Roanne) ;
- le partage du trafic entre les 8 pôles importants sera fait en fonction d'un coefficient traduisant approximativement leur importance actuelle et déterminé par le tableau suivant :

(1) Après avoir écarté les zones de Paris et des métropoles d'équilibres.

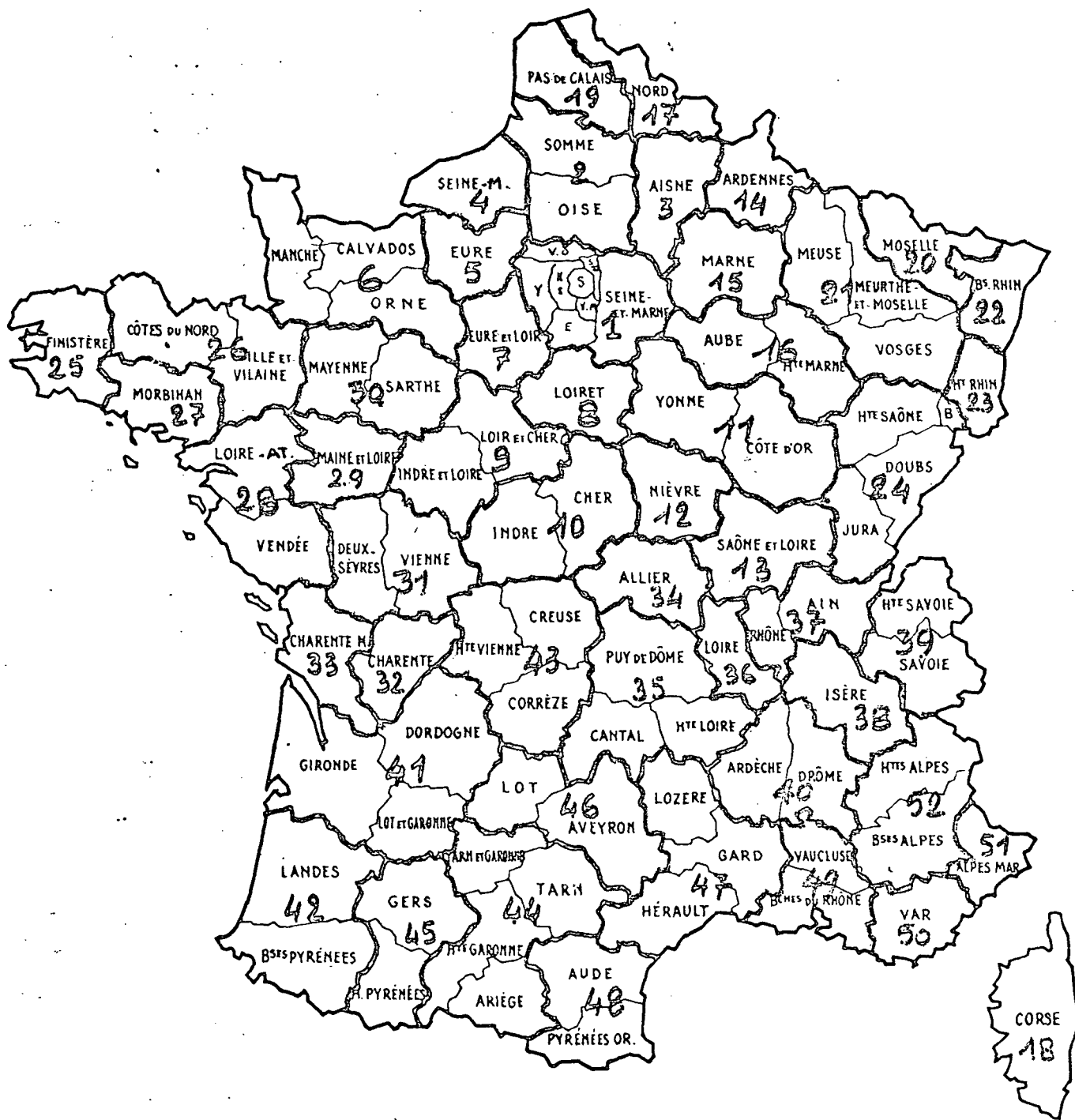
Zone de	T_e : trafic (transversal) ayant une extrémité dans la zone en 1967	Coefficient $\frac{T_e}{\sum T_e}$	Affectation du trafic résiduel
Lyon	204 422	0,43	107,0
Marseille	60 464	0,13	32,4
Nantes	22 003	0,05	12,5
Toulouse	29 121	0,06	15,0
Bordeaux	33 874	0,07	17,5
Strasbourg	17 570	0,02	4,6
Lille	31 948	0,07	17,5
Nice	79 954	0,17	42,5
Total			249,0

- on affectera à chacune des 18 zones 1/18ème du trafic d'échange avec chacune des métropoles déterminé selon la règle exposée au § précédent.

Par exemple : Lyon correspond à un trafic annuel (1) de 107 000 passagers, c'est-à-dire 6 000 passagers avec les zones de Brest, de Metz, de Dijon, etc....

On trouvera à la page suivante la carte du zonage retenu.

(1) Résiduel.



Découpage de la France en 52 zones

Relations avec la Corse	Trafic actuel milliers	Trafic projeté en 1985 milliers
Marseille	177, 0	947, 0
Nice	134, 4	720, 0

Dans notre estimation des trafics, il manquera donc les échanges des autres grandes villes avec la Corse pour lesquels nous ne disposons d'aucun élément de prévision.

CHAPITRE 5 - LES ECHANGES AERIENS EN 1985

(Synthèse des différents calculs)

51 - MATRICE DES ECHANGES ZONE A ZONE

La matrice figurant dans ce paragraphe représente la projection des échanges dans le zonage utilisé par le SAEI.

On trouvera en annexe, dans le tableau T.51-A :

- les trafics région de programme à région de programme en 1 000 voyageurs/an ;
- les facteurs multiplicatifs de ces trafics entre 1967 et 1985 (entre parenthèses).

Trafics aériens projetés en 1985 (en 1 000 voyageurs/an)

	4	6	11	17 (Lille)	18 (Corse)	20	21 (Nancy)	22 (Strasb.)
zone 1 Rég.Pari.			37,7	403,0	1537,0	209	66,8	855,0
zone 4		23,3		75,0			47,1	57,1
zone 6				56,4			32,1	38,2
zone 11				1,0				0,3
zone 17						1,0	73,5	89,9
zone 18								
zone 20								0,3
zone 21								49,4

zone 22

Les zones sont identifiées par leur numéro (voir carte page 47)

23	24	25	26 (Rennes)	27	28 (Nantes)	31	33	34	
1830,0	50,3	593,0	661,0	175,0	199,0	31,2	79,1	4,3	z.1
			37,4		48,6				z.4
			18,9		33,5			3,1	z.6
					0,7				z.11
1,0	1,0	1,0	75,7	1,0	94,8	1,0	1,0	1,0	z.17
									z.18
					0,7				z.20
			40,0		48,5				z.21
26,9	0,3	0,3	46,9	0,3	56,6	0,3	0,3	0,3	z.22
zone 23					0,7				
	zone 24				0,7				
		zone 25	0,8	0,9	204,8				
			zone 26		3,4				
				zone 27	37,4				

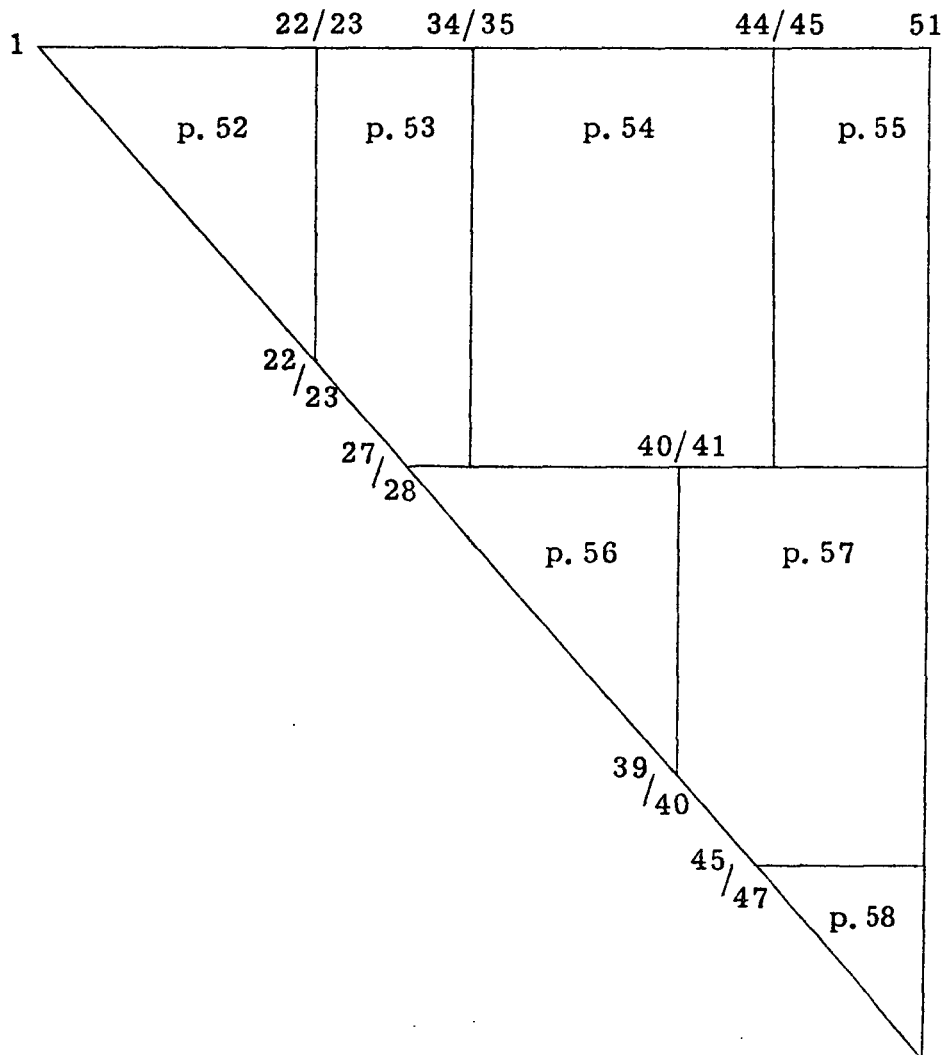
35	36	37 (Lyon)	39	40	41 (Borde.)	42	43	44 (Toul.)	
132,0	123,8	6060,0	69,2	67,1	3550,0	500,5	36,3	2550,0	z.1
		74,8			64,7			56,4	z.4
		48,1			39,4			34,9	z.6
		6,0			1,0			0,8	z.11
1,0	1,0	137,0	1,0	1,0	116,6	1,0	1,0	98,9	z.17
									z.18
		6,0			1,0			0,8	z.20
		48,6			56,9			45,9	z.21
0,3	0,3	92,9	0,3	0,3	65,7	0,3	0,3	52,1	z.22
		108,0			1,0			0,8	z.23
		6,0			1,0			0,8	z.24
		6,0			1,0			0,8	z.25
		55,2			41,0			38,9	z.26
		6,0			1,0			0,8	z.27

45	47	48	49 (Mars.)	51	
190,0	1443,0	114,0	1150,0	1122,0	zone 1
			96,4	66,9	zone 4
			56,3	48,1	zone 6
			1,8	2,4	zone 11
1,0			159,5	110,3	zone 17
			947,0	720,0	zone 18
			1,8	2,4	zone 20
			67,3	47,6	zone 21
0,3	0,3	0,3	74,5	47,6	zone 22
			1,8	2,4	zone 23
			1,8	2,4	zone 24
			1,8	2,4	zone 25
			70,0	48,5	zone 26
			1,8	2,4	zone 27

41 (Borde.)	42	43	44 (Toul.)	45	47	48	49 (Mars.)	51	
21,6	0,7	0,7	40,1	0,7	0,7	0,7	81,8	56,9	z.28
1,0			0,8				1,8	2,4	z.31
1,0			0,8				1,8	2,4	z.33
1,0			0,8				1,8	55,3	z.34
1,0			0,8				1,8	2,4	z.35
1,0			0,8				1,8	2,4	z.36
70,3	6,0	6,0	87,0	6,0	157,0	6,0	138,0	190,0	z.37
1,0			0,8				1,8	2,4	z.39
1,0			0,8				1,8	2,4	z.40
zone 41	1,9	1,0	19,8	1,0	1,0	1,0	58,0	34,0	
	zone 42		0,8	3,7			1,8	2,4	
		zone 43	0,8				1,8	2,4	
			zone 44	23,0	0,8	0,8	71,0	54,4	
				zone 45			1,8	43,5	

	47	48	49 (Mars.)	51
zone 47		7,9	1,8	2,4
	zone 48		1,8	2,4
		zone 49		137,0

Découpage de la matrice des trafics



52 - REGROUPEMENT DES PREVISIONS PAR TYPE DE LIGNE

521 - Selon la méthode employée

Le trafic total prévu en 1985 est voisin de 31 millions de voyageurs/an, alors qu'il était en 1967 de 2,3 millions. Cet accroissement très important (taux moyen annuel : 15,4 %) correspond donc à une multiplication par 13 du trafic actuel.

5 méthodes différentes ont été utilisées pour projeter les différents groupes de ligne qui contribuent à former ce chiffre global :

- modèle prix-temps,
- extrapolation (par groupe de lignes),
- utilisation de taux de croissance moyens par ligne,
- projection de la consommation moyenne de trafic aérien,
- affectation forfaitaire d'un résidu.

La part des groupes de lignes correspondant à ces diverses méthodes, est donnée dans le tableau suivante (en 1967 et en 1985) :

	% du trafic total	
	en 1967	en 1985
Modèle prix-temps	75,5	69,2
Extrapolation	17,9	10,3
Taux moyen	6,6	8,1
Consommation/tête	0	11,6
Résidu	0	0,8

On constate que les lignes pour lesquelles la projection du trafic a été la plus précise (modèle prix-temps) représentent une part majeure du trafic total (plus des 3/4 en 1967 et plus des 2/3 en 1985).

Le tableau suivant donne la décomposition détaillée des trafics projetés :

Type de ligne		Méthode de projection ou d'affectation	Trafic 1967	Trafic 1985	Taux moyen annuel
1	5 radiales principales	Modèle prix-temps	1 249 800	14 432 000	14,6
2	Radiales Paris-Corse	Extrapolation	104 200	1 537 000	16,1
3	11 radiales importantes existant en 1967	Modèle prix-temps	309 020	5 816 000	17,7
	8 radiales secondaires existant en 1967	Taux moyen annuel par ligne	75 033	1 492 800	18
	9 radiales nouvelles créées entre 1967 et 1985	Projection du nombre de voyages par hab. et affectation par un modèle gravitaire	0	561 500	-
4	9 transversales principales à origine ou destination Lyon ou Marseille existant en 1967	Modèle prix-temps	193 691	1 102 000	10,2
	4 transversales secondaires de ce type	Taux moyen par ligne	38 229	401 400	13,9

Type de ligne		Méthode de projection ou d'affectation	Trafic 1967	Trafic 1985	Taux moyen annuel
5	Transversales vers la Corse existant en 1967	Extrapolation	311 500	1 667 000	9,8
6	Transversales existant en 1967 (OD ≠ Lyon ou Marseille)	Taux moyen par ligne	38 069	609 300	16,7
	Transversales n'existant pas en 1967 et reliant les 12 plus grandes villes entre elles	Projection du nombre de voyages par habi. et affectation à l'aide d'un modèle gravitaire	0	3 028 400	-
	Autres transversales	Affectation forfaitaire du solde	0	249 000	-
TOTAL			2 320 300	30 897 200	15,4

522 - Selon la typologie des liaisons présentées au chapitre 2

En recomposant le tableau précédent suivant les 6 groupes de liaisons, on fait apparaître 2 résultats :

- les taux moyens de croissance annuelle s'ordonnent de la façon suivante :

Province/Corse	: 9,8 %
Transversales principales (une extrémité à Lyon ou Marseille)	: 14,1 %
5 radiales principales	: 14,6 %
Paris/Corse	: 16,1 %
Autres radiales	: 18,3 %
Autres transversales	: 27,3 %

- la répartition du trafic total entre ces 6 groupes de lignes et l'importance de ces trafics sont conformes à l'évolution historique telle qu'elle est représentée sur les graphiques G. 221-A (trafics) et G. 23-B (répartition).

en milliers

	Trafic 1967	Trafic 1968	Taux moyen annuel	% du trafic total
Radiales principales T ₁	1 249,8	14 432,0	14,6	46,7
Radiale/Corse T ₂	164,2	1 537,0	16,1	5
Autres radiales T ₃	384,8	7 870,3	18,3	25,5
Transversales T ₄ extré- mité à Lyon ou Marseille	231,9	2 475,3	14,1	8
Transversales/Corse T ₅	311,5	1 667,0	9,8	5,4
Autres transversales	38,1	2 914,8	27,3	9,4

53 - Confrontations des données françaises avec des séries internationales531 - Trafic total (Voir graphique p. 117)

Pour tester la vraisemblance de nos projections, il est intéressant de les rapprocher des séries observées dans les divers pays : les USA où le trafic intérieur est beaucoup plus élevé, l'Angleterre où sa diffusion est plus ancienne, l'Espagne et l'Italie où les chiffres sont comparables.

Les trafics et les passages - km, sont rapportés à la population afin de permettre la comparaison.

	U. S. A.		Gde Bretagne		Italie		Espagne		France	
	p/h	p. k/h	p/h	p. k/h	p/h	p. k/h	p/h	p. k/h	p/h	p. k/h
1960	296	286	54	18,4	9	3,9	32	13,8	9	
1961	299	289	74	35,3	14	5,8	38	17,2	11	
1962	313	322	71	25,0	18	7,4	41	19,2	14	6,6
1963	352	365	78	28,0	21	8,6	44	20,6	19	9,1
1964	398	416	84	29,5	25	10,1	54	24,7	24	11,6
1965	455	482	92	32,6	28	11,3	62	25,4	30	14,1
1968(x)	705	778	98	36,4	46	18,4	85	37,4	52	26,8

(x) populations estimées

Source S. G. A. C.

{ passagers pour 1000 habitants p/h
passagers -km par habitant p. k/h

Nos projections étant p = 31 millions de voyages (ou pk = 12944 Millions de passagers - Km/ an nous conduisent aux chiffres suivants:

	hypothèse démographique en 1985		
	56 MILLIONS	58 M	60 M
p/h pour 1000 h	553	534	516
p. k/h	231	223	215

Ces chiffres semblent vraisemblables. Ils correspondent au nombre de passagers/habitant observés aux U. S. A. en 1956.

532 - Trafic par lignes

Ces comparaisons feront l'objet d'un additif au présent rapport.

ANNEXES

Les documents fournis en annexe sont identifiés par une lettre
(T = tableau G = graphique)

- le numéro du paragraphe auquel ils se rapportent
- une lettre servant de numéro d'ordre

TABLEAU T. 221-A

TRAFICS PAR GROUPE DE LIGNE

en 1 000 voyageurs/an

Trafics Années	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	T ₅	T ₆	Trafic total (Corse exclue)	Trafic total
1950	52,9	1,6	-	-	54,6	-	52,9	109,1
1951	61,8	1,7	-	0,3	70,6	-	62,1	134,4
1952	53,7	1,2	-	3,6	63,0	-	57,3	121,5
1953	66,1	0,3	-	3,4	76,7	-	69,5	146,5
1954	84,7	1,0	-	5,0	87,1	-	89,7	177,8
1955	102,7	3,0	-	6,2	102,8	-	108,9	214,7
1956	147,0	7,3	-	8,9	126,7	-	155,9	289,9
1957	176,8	11,1	-	11,2	131,8	-	188,0	330,9
1958	183,0	15,7	-	13,0	140,1	-	196,0	351,8
1959	178,9	18,6	-	25,0	133,7	-	203,9	356,2
1960	204,2	29,3	-	23,0	132,7	-	227,3	388,8
1961	281,0	33,4	-	21,8	148,8	-	302,8	485,0
1962	347,6	33,2	37,2	37,7	179,8	3,1	425,6	638,6
1963	512,3	47,3	79,5	62,8	194,2	8,5	663,1	904,6
1964	636,0	75,2	126,2	90,1	224,8	13,2	865,5	1 165,5
1965	780,0	84,7	181,6	146,4	257,5	25,6	1 133,6	1 475,8
1966	1 042,8	93,6	286,8	196,5	287,3	48,8	1 481,4	1 955,7
1967	1 249,8	104,2	384,2	231,9	311,5	38,1	1 904,6	2 320,3

G. 221-A Evolution du trafic par groupe de lignes (en 1 000 voyageurs/an)

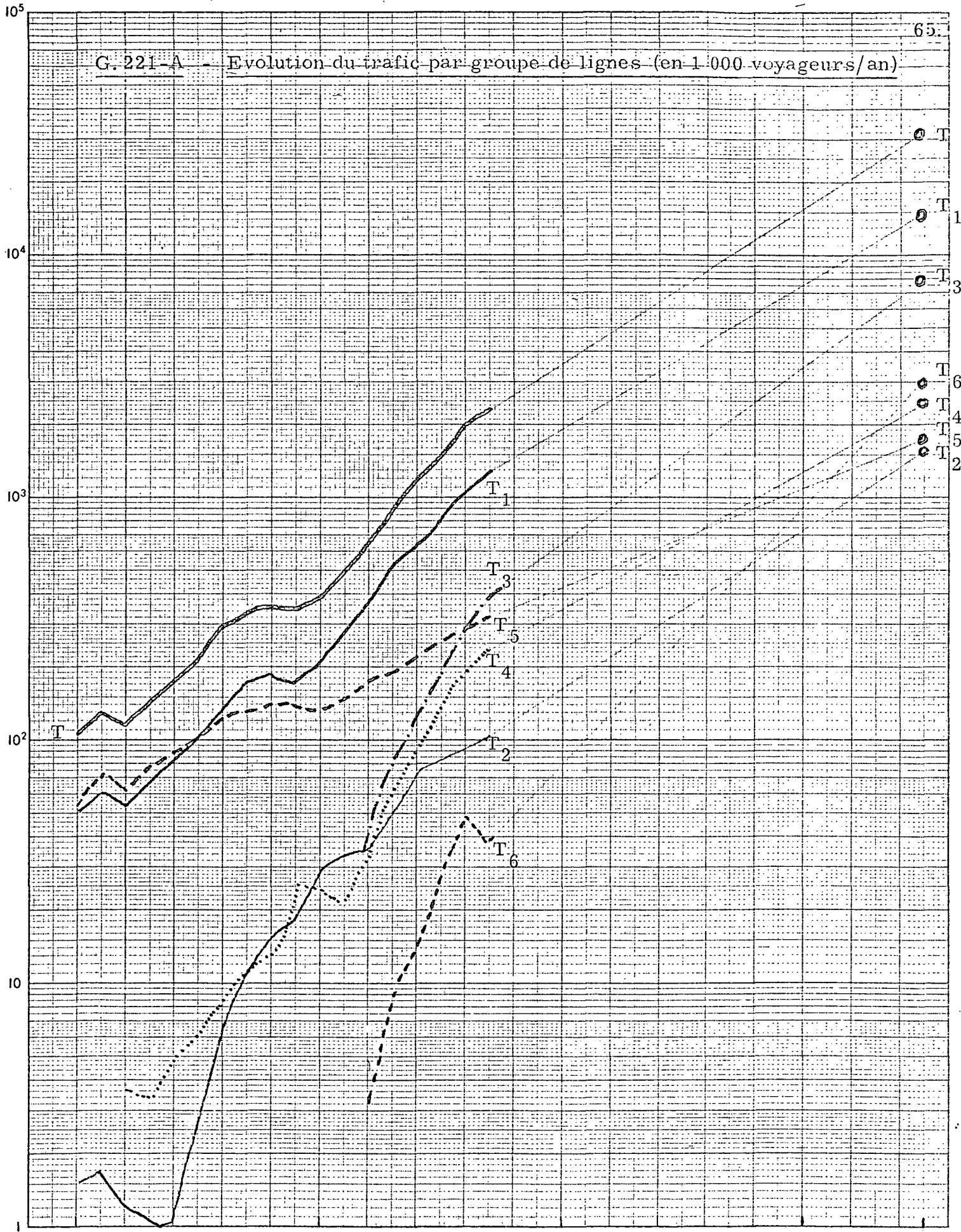


TABLEAU T. 221-B

TAUX ANNUELS DE VARIATION DES TRAFICS PAR GROUPE DE LIGNE

(en %)

Taux Années	\mathcal{C}_{T_1}	\mathcal{C}_{T_2}	\mathcal{C}_{T_3}	\mathcal{C}_{T_4}	\mathcal{C}_{T_5}	\mathcal{C}_{T_6}	\mathcal{C}_T
1951	16,8	6,2	-	-	29,3	-	23,2
1952	- 13,1	- 29,4	-	110,0	- 10,8	-	- 9,6
1953	23,1	- 75,0	-	- 5,6	21,7	-	20,6
1954	28,1	233,3	-	47,1	13,6	-	21,4
1955	21,3	200,0	-	24,0	18,0	-	20,7
1956	43,1	143,3	-	43,5	23,2	-	35,0
1957	13,5	52,0	-	25,8	4,0	-	14,1
1958	3,5	41,4	-	16,1	6,3	-	6,3
1959	- 2,2	18,5	-	92,3	- 4,6	-	1,2
1960	14,1	57,5	-	- 8,0	- 1,1	-	9,1
1961	37,6	14,0	-	- 5,2	12,5	-	24,7
1962	23,7	- 0,6	-	72,9	20,8	-	31,6
1963	47,4	42,5	113,7	66,6	8,0	274,2	41,6
1964	24,2	59,0	58,7	43,5	15,8	55,3	28,8
1965	22,6	12,6	43,9	62,5	14,5	93,9	26,6
1966	33,7	10,4	59,0	34,2	11,6	- 90,6	32,5
1967	19,8	11,4	34,2	18,0	8,4	21,9	18,6

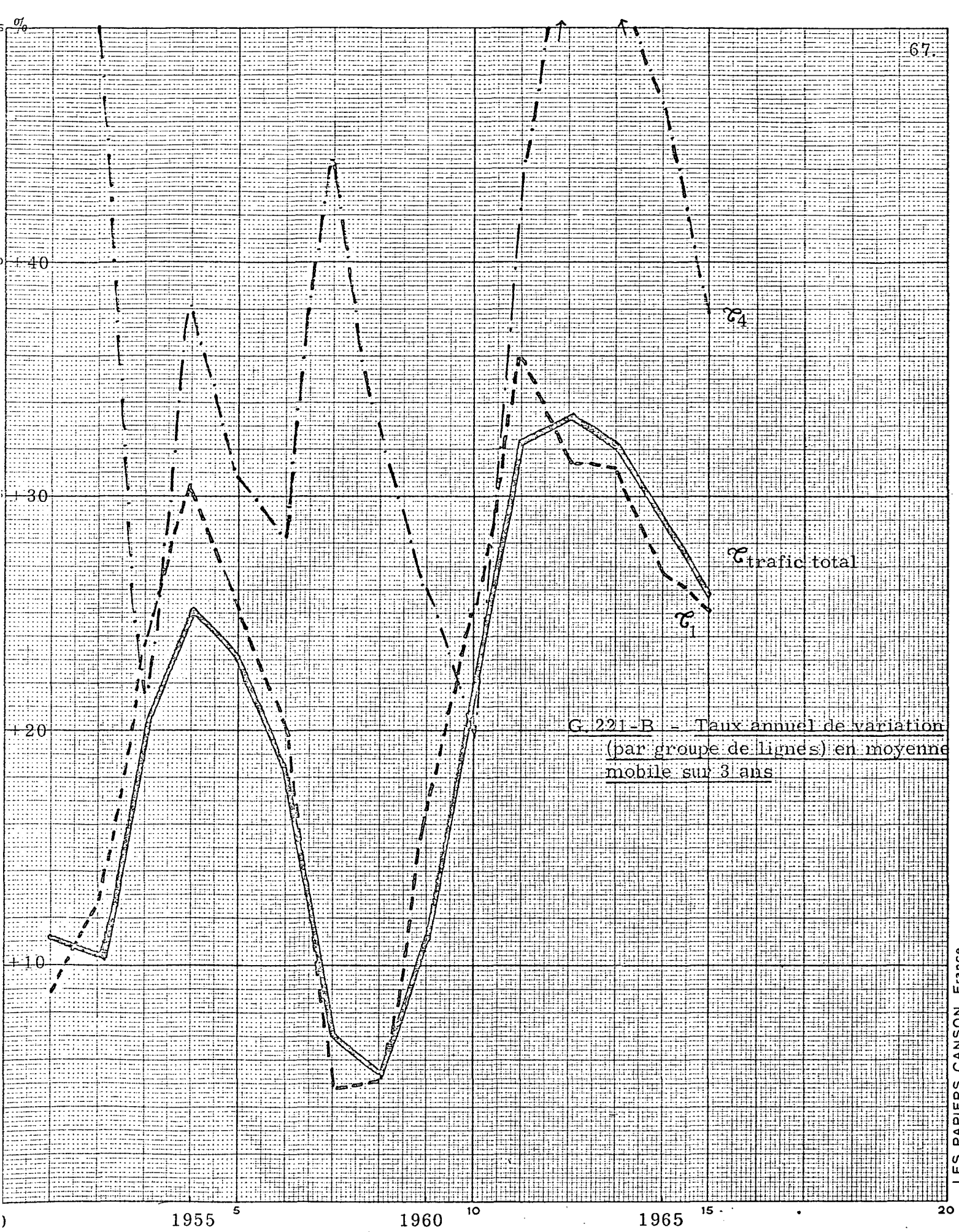


TABLEAU T. 222-A

TRAFIC SUR LES 7 LIGNES LES PLUS ANCIENNES

(trafic en 1 000 voyageurs/an)

Trafics Années	R ₁	R ₂	R ₃	R ₄	R ₅	T ₁	$\frac{T_1}{T_1+T_3}$ %	T _{r1}	T _{r2}	T _{r1} +T _{r2}	$\frac{T_{r1}+T_{r2}}{T_4+T_6}$ %
1950	4,7	16,4	30,4	0,9	0,5	52,9	100	-	-	-	-
1951	0,1	20,3	39,6	1,1	0,7	61,8	100	0,1	0,2	0,3	100
1952	-	22,0	28,5	0,8	2,4	53,7	100	3,6	-	3,6	100
1953	-	27,4	31,4	2,7	4,6	66,1	100	3,4	-	3,4	100
1954	-	32,9	42,1	4,7	5,0	84,7	100	4,4	0,6	5,0	100
1955	0,6	39,0	53,5	5,0	4,6	102,7	100	5,2	1,0	6,2	100
1956	14,8	48,7	64,9	13,6	5,0	147,0	100	7,9	1,0	8,9	100
1957	15,6	58,7	77,5	18,9	6,1	176,8	100	9,8	1,4	11,2	100
1958	10,2	61,1	89,6	17,2	4,9	183,0	100	10,2	2,8	13,0	100
1959	1,6	57,1	104,8	10,2	5,2	178,9	100	19,6	5,4	25,0	100
1960	1,4	59,7	119,3	17,2	6,6	204,2	100	18,9	4,1	23,0	100
1961	22,1	80,4	149,8	26,5	2,2	281,0	100	17,0	4,8	21,8	100
1962	38,9	86,3	171,0	36,9	14,5	347,6	90,3	9,7	5,8	15,5	37,9
1963	72,7	133,4	225,0	49,4	31,8	512,3	86,6	12,3	5,9	18,2	25,6
1964	99,4	182,2	258,4	51,2	44,8	636,0	83,4	23,4	6,4	29,8	28,9
1965	145,8	221,9	273,9	81,4	57,0	780,0	81,1	30,8	9,7	40,5	23,5
1966	217,6	265,9	341,7	129,0	88,6	1042,8	78,4	34,7	9,4	44,1	18,0
1967	278,7	297,6	405,8	154,8	112,9	1249,8	76,5	33,1	10,6	43,7	16,2

en 1 000 voyageurs/an

69.

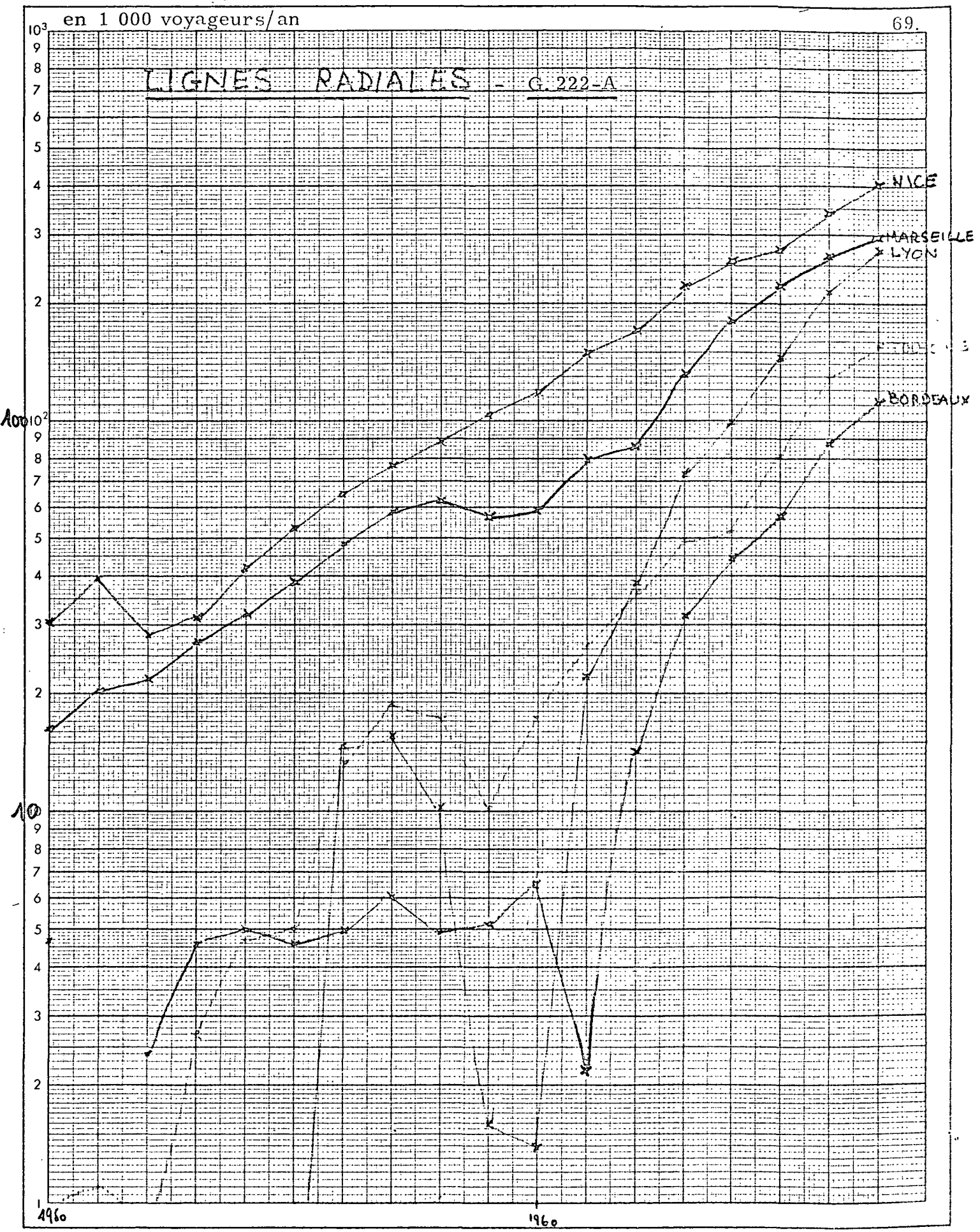
LIGNES RADIALES - G. 222-A

1000

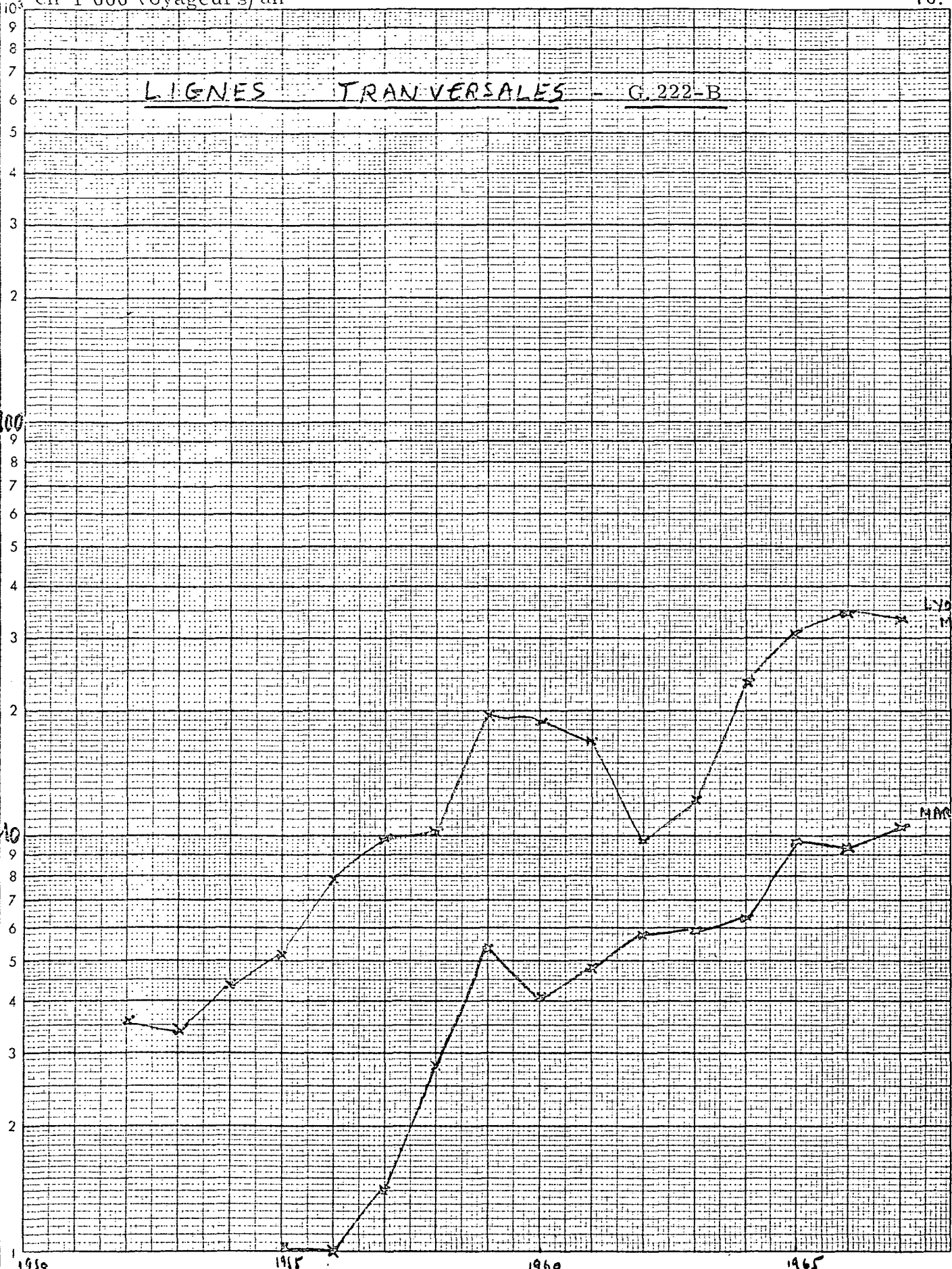
10

1960

1960



LIGNES TRANSVERSALES - G. 222-B



LYON-MARSEILLE

MARSEILLE-NICE

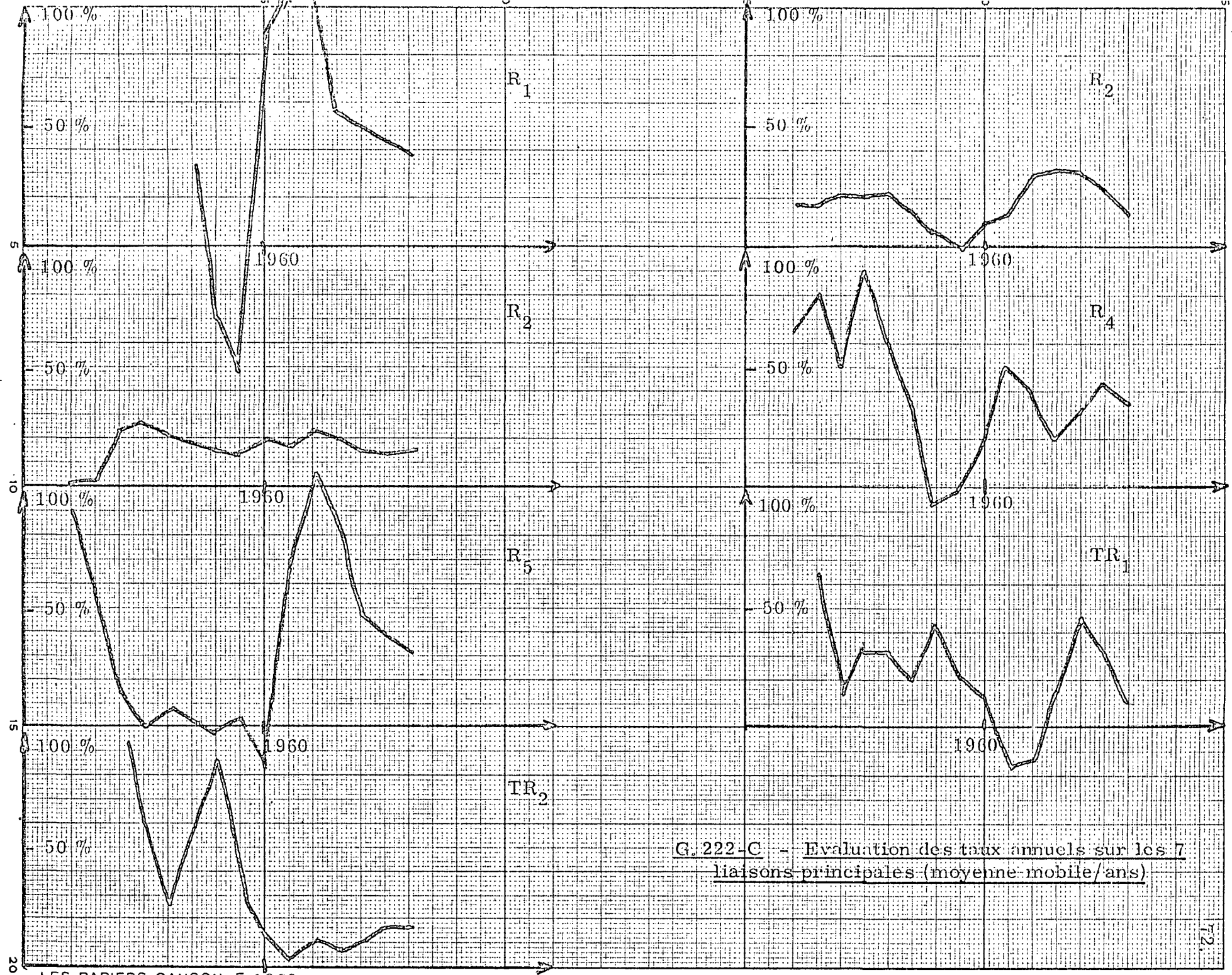
1950 1955 1960 1965

TABLEAU T. 222-B

TAUX ANNUELS DE VARIATION DES TRAFICS

(par ligne)

Taux Années	\mathcal{C}_{R_1}	\mathcal{C}_{R_2}	\mathcal{C}_{R_3}	\mathcal{C}_{R_4}	\mathcal{C}_{R_5}	\mathcal{C}_{TR_1}	\mathcal{C}_{TR_2}
1951	-	23,8	33,3	22,2	40,0	-	-
1952	-	8,4	- 28,0	- 27,3	242,9	-	-
1953	-	24,5	10,2	237,5	91,7	- 5,5	-
1954	-	20,1	34,1	74,0	8,7	29,4	-
1955	-	18,5	27,1	6,4	- 8,0	18,2	66,7
1956	-	24,9	21,3	172,0	8,7	51,9	0
1957	5,4	20,5	19,4	39,0	22,0	24,0	40,0
1958	- 34,6	4,1	15,6	- 9,0	- 19,7	4,1	100,0
1959	- 84,3	- 6,5	17,0	- 40,7	6,1	92,2	92,9
1960	- 12,5	4,6	13,8	68,6	26,9	- 3,6	- 24,1
1961	1478,6	34,7	25,6	54,1	- 66,7	- 10,0	17,1
1962	76,0	7,3	14,2	39,2	559,1	- 42,9	20,8
1963	86,9	54,6	31,6	33,9	119,3	26,8	1,7
1964	36,7	36,6	14,8	3,6	40,9	90,2	8,5
1965	46,7	21,8	6,0	59,0	27,2	31,6	51,6
1966	49,2	19,8	24,8	58,5	55,6	12,7	- 3,1
1967	28,1	11,9	18,8	20,0	27,4	- 4,6	12,8



R₁

R₂

R₂

R₄

R₅

TR₁

TR₂

G. 222-C - Evaluation des taux annuels sur les 7 liaisons principales (moyenne mobile/ans)

TABLEAU T. 23-A'

Années	$\frac{T_i}{T}$ %					
	$\frac{T_1}{T}$ %	$\frac{T_2}{T}$ %	$\frac{T_3}{T}$ %	$\frac{T_4}{T}$ %	$\frac{T_5}{T}$ %	$\frac{T_6}{T}$ %
1950	48,5	1,5	-	-	50,0	-
1951	46,0	1,3	-	0,2	52,5	-
1952	44,2	1,0	-	3,0	51,8	-
1953	45,1	0,2	-	2,3	52,4	-
1954	47,6	0,6	-	2,8	49,0	-
1955	47,8	1,4	-	2,9	47,9	-
1956	50,7	2,5	-	3,1	43,7	-
1957	53,4	3,4	-	3,4	39,8	-
1958	52,0	4,5	-	3,7	39,8	-
1959	50,2	5,2	-	7,0	37,6	-
1960	52,6	7,5	-	5,9	34,0	-
1961	57,9	6,9	-	4,5	30,7	-
1962	54,4	5,2	5,8	5,9	28,2	0,5
1963	56,6	5,2	8,8	7,0	21,5	0,9
1964	54,6	6,5	10,8	7,7	19,3	1,1
1965	52,9	5,7	12,3	9,9	17,5	1,7
1966	53,3	4,8	14,7	10,0	14,7	2,5
1967	53,9	4,5	16,6	10,0	13,4	1,6

G. 23-A - Part représentée par les 6 types de lignes dans le trafic total

