

BRITISH CHANNEL TUNNEL COMPANY
SOCIETE FRANÇAISE DU TUNNEL SOUS LA MANCHE

TUNNEL SOUS LA MANCHE

RAPPORT INTERIMAIRE

JANVIER 1973

COOPER BROTHERS & C^o

SETEC ECONOMIE
58, Quai de la Rapée
75583 PARIS. CEDEX 12

PARTIE A
Données statistiques de base

LES TRAFICS A TRAVERS LA MANCHE

TRAFIC ANNUEL PAR LIGNE EN 1971

L'année 1971 a été choisie comme base pour la prévision des trafics de passagers entre la Grande-Bretagne et le Continent. Les enquêtes effectuées par la SETEC en 1971 et 1972 ont donc été ajustées sur le trafic par lignes de cette année particulière, et, par conséquent l'étude du trafic total et de sa répartition par ligne et par catégorie en 1971 ont fait l'objet d'une étude détaillée dont les résultats sont consignés dans le présent chapitre.

Les données de base de ce trafic ont été communiquées par la S.N.C.F. et les BRITISH RAILWAYS.

11 Passagers

111 Lignes maritimes (bateaux et aéroglisseurs)

Le tableau N°1 figurant à la page suivante indique le trafic des passagers par ligne: On a distingué deux catégories de passagers, les passagers automobilistes qui sont tous ceux qui ont traversé la Manche accompagnés d'un véhicule et les passagers piétons. Sur certaines lignes pour lesquelles il n'existe pas de statistiques distinguant le trafic des automobilistes de celui des piétons, le trafic des automobilistes a été estimé à partir du nombre d'unités-voitures sur la ligne.

Le trafic des passagers ayant traversé la Manche par voie maritime s'établit donc comme suit :

Passagers automobilistes	4 070 milliers
Passagers piétons	4 812 milliers
Total	8 882 milliers,

soit une augmentation de 4,32 % par rapport au trafic de l'année 1970.

TABLEAU N° 1

TRAFIC MARITIME EN 1971						
Lignes	Type de bateau	Compagnie	Passagers			Véhicules U.V.
			Automobilistes	Piétons	Total	
CALAIS-DOUVRES	A	BR/SNCF	41 799	25 436	67 235	17 500
CALAIS-DOUVRES	P	BR/SNCF	-	351 386	351 386	-
CALAIS-DOUVRES	CF	BR/SNCF	488 263	54 866	543 129	169 499
CALAIS-DOUVRES	CF	TOWNSEND	475 000*	111 135	586 135	169 706
CALAIS-FOLKESTONE	P	BR/SNCF	-	455 070	455 070	-
CALAIS-RAMSGATE	A	HOVERLLOYD	310 162	283 490	593 652	84 430
BOULOGNE-DOUVRES	A	BR/SNCF	209 316	309 292	518 608	83 151
BOULOGNE-DOUVRES	CF	BR/SNCF	415 818	100 462	516 280	157 074
BOULOGNE-DOUVRES/FOLKESTONE	P	BR/SNCF	-	340 731	340 731	-
DUNKERQUE-DOUVRES	T.F	BR/SNCF	65 584	166 132	231 716	16 350
DIEPPE-NEWHAVEN	CF	BR/SNCF	272 477*	280 756	503 233	108 232
LE HAVRE-SOUTHAMPTON	CF	NORMANDY F.	129 434	50 834	180 268	43 108
LE HAVRE-SOUTHAMPTON	CF	THORESEN	155 443	58 230	213 673	54 318
CHERBOURG-SOUTHAMPTON	CF	THORESEN	233 922	66 564	300 486	84 670
ZEEBRUGGE-HARWICH	T.F	BR	903	1 757	2 660	481
ZEEBRUGGE-DOUVRES	CF	TOWNSEND	323 200*	198 679	521 879	115 421
OSTENDE-DOUVRES	CF	RMTB	730 400*	68 977	799 377	260 848
OSTENDE-DOUVRES	P	RMTB	-	1157 556	1157 556	-
OSTENDE-FOLKESTONE	P	RMTB	-	97 803	97 803	-
OSTENDE-HARWICH	CF	RMTB	32 800*	2 993	35 793	11 701
HOOK-HARWICH	CF	BR/SNCF	185 931	679 698	865 629	82 734
TOTAL			4070 452	4811 847	8882 299	1459 223

* estimé : 2,8 passagers par unité-véhicule

On peut remarquer que les cars-ferries assurent une part importante du trafic des passagers piétons. Ceci s'explique par le remplacement progressif des paquebots en service par des cars ferries ou même par des bateaux de type "multipurpose" qui transportent aussi bien les "passagers-trains" en correspondance que les automobiles et leurs occupants ou le fret suivant la technique du roll on-roll off. En 1972 la mise en service des nouveaux cars-ferries a permis de diminuer encore la part des paquebots dans le transport des passagers et à partir du mois d'Octobre 1972, aucune ligne du détroit français ne sera desservie par des paquebots.

Le tableau suivant montre l'importance relative des différentes lignes en ce qui concerne le seul transport des passagers piétons.

POURCENTAGE DU TOTAL DU TRAFIC MARITIME DES PASSAGERS PIETONS EN 1973			
Lignes maritimes	Car-ferry ou aéroglesseur	Paquebot	TOTAL
CALAIS-DOUVRES } CALAIS-FOLKESTONE }	3,98	16,76	20,74
CALAIS-RAMSGATE	5,89	-	5,89
BOULOGNE-DOUVRES } BOULOGNE-FOLKESTONE }	8,52	7,08	15,60
DUNKERQUE-DOUVRES	3,45	-	3,45
DIEPPE-NEWHAVEN	4,79	-	4,79
OSTENDE-DOUVRES } OSTENDE-FOLKESTONE }	1,43	26,09	27,52
HOOK-HARWICH	14,13	-	14,13
Autres lignes	7,88	-	7,88
TOTAL	50,07	49,93	100,00

En 1970, 54 % des passagers ordinaires étaient transportés par paquebot et 46 % par car-ferry.

112 Lignes aériennes

Les statistiques dont nous disposons ne permettent pas de connaître le trafic des passagers qui traversent la Manche par origine-destination. Cependant, les publications du "Business Monitor" indiquent pour l'année 1971, et par période, le trafic entre le Royaume-Uni et les différents pays de l'Europe de l'Ouest.

Unité: millier de passagers

Répartition du trafic aérien trans-Manche						
Liaisons aériennes	1971				1970	
	régulier	charter	total	%	trafic total	%
Royaume-Uni - Belgique	801,0	30,5	831,5	5,6	818,4	6,5
Royaume-Uni - Pays-Bas	1 228,9	205,9	1 434,8	9,7	1 306,0	10,5
Royaume-Uni - France	2 143,4	355,9	2 499,3	16,9	2 365,5	18,7
Royaume-Uni - R.F.A.	1 370,5	564,2	1 934,7	13,1	1 803,5	14,3
Royaume-Uni - Suisse	744,6	360,4	1 105,0	7,4	1 053,4	8,3
Royaume-Uni - Espagne	771,4	4 034,3	4 805,7	32,5	3 471,8	27,4
Royaume-Uni - Portugal	204,9	190,3	395,2	2,7	295,1	2,3
Royaume-Uni - Italie	706,4	962,9	1 669,3	11,3	1 429,8	11,3
Royaume-Uni - Autriche	96,0	19,8	115,8	0,8	106,6	0,9
TOTAL	8 067,1	6 724,2	14 791,3	100	12 650,1	100
dont passagers motorisés	25,6	-	25,6	0,2	107,9	0,9

On constate donc que le trafic des lignes aériennes entre le Royaume-Uni et les pays de l'Europe de l'Ouest cités ci-dessus a augmenté de près de 17 % entre 1970 et 1971.

Au cours de l'enquête effectuée par la SETEC dans les aéroports on a procédé à l'interview des passagers qui avaient pour destination, soit un des pays cités ci-dessus, soit le DANEMARK, la GRECE, la YOUGOSLAVIE ou le LUXEMBOURG. Le trafic entre le Royaume-Uni et ces quatre pays est rappelé ci-dessous.

Unité: millier de passagers

Trafic en 1971			
Liaisons aériennes	Régulier	Charter	Total
Royaume-Uni - Danemark	340,3	84,7	425,0
Royaume-Uni - Grèce	212,2	269,0	481,2
Royaume-Uni - Luxembourg	37,5	5,6	43,1
Royaume-Uni - Yougoslavie	56,8	233,9	290,7
TOTAL	646,8	593,2	1 240,0

Soit un total de 16 031,3 milliers de passagers sur les liaisons aériennes enquêtées.

Seuls, les aéroports de HEATHROW, GATWICK, LUTON, MANCHESTER, SOUTHBEND et ASHFORD ont été enquêtés. Le trafic total de ces aéroports à destination de l'ensemble des pays enquêtés est égal à 13 907,3 passagers. L'enquête a donc couvert plus de 85 % du trafic aérien entre le ROYAUME-UNI et le CONTINENT.

Rappelons que les chiffres indiqués ci-avant pour le trafic aérien incluent les passagers en transit.

12 Véhicules accompagnés

121 Lignes maritimes

Le tableau suivant indique le nombre de véhicules accompagnés calculés en nombre d'unités-voiture** (u.v.) ainsi que la ventilation par catégorie de véhicule pour les lignes entre la France et la Grande-Bretagne.

Trafic des véhicules accompagnés								
Lignes	Type de bateau	Compagnies	Automobiles	Remorques	Caravanes	Autocars	2 roues	Total en U.V.
CALAIS-DOUVRES	A	BR/SNCF	16 484	90	89	144	191	17 500
CALAIS-DOUVRES	C.F.	BR/SNCF	145 329	2 424	7 367	1 632*	2 951	169 499
CALAIS-DOUVRES	C.F.	Townsend	128 359	2 851	12 213	3 408	2 644	169 706
CALAIS-RAMSGATE	A	Hoverlloyd	75 664	892	1 229	1 276	442	84 430
BOULOGNE-DOUVRES	A	BR/SNCF	77 247	1 204	972	518	1 209	83 151
BOULOGNE-DOUVRES	C.F.	BR/SNCF	133 500	3 154	6 523	1 762	2 093	157 074
DUNKERQUE-DOUVRES	T.F.	BR/SNCF	14 337	267	308	264	397	16 350
DIEPPE-NEWHAVEN	C.F.	BR/SNCF	91 626	2 899	5 772	469	1 711	108 232
LE HAVRE-SOUTHAMPTON	C.F.	Normandy ferries	36 872	775	2 056	314	558	43 108
LE HAVRE-SOUTHAMPTON	C.F.	Thoresen	45 015	1 167	2 771	600	1 154	54 318
CHERBOURG-SOUTHAMPTON	C.F.	Thoresen	65 793	2 044	7 268	488	2 064	84 670
ZEEBRUGGE-HARWICH	T.F.	BR						481
ZEEBRUGGE-DOUVRES	C.F.	Townsend						115 421
OSTENDE-DOUVRES	C.F.	RBMT						260 848
OSTENDE-HARWICH	C.F.	RBMT						11 701
HOOK-HARWICH	C.F.	BR/SNCF						82 734
TOTAL			1226 152*	26 240*	68 776*	16 061*	22 764*	1459 223
dont, entre France et Grande-Bretagne			830 226	17 767	46 568	10 875	15 414	988 038

* estimé

** Le trafic en U.V. est calculé de la manière suivante :

1 automobile = 1 U.V.

1 autocar = 4 U.V.

1 caravane = 2 U.V.

1 deux roues = 1/6 U.V.

1 remorque = 1 U.V.

Le nombre total de véhicules accompagnés ayant traversé la Manche en 1971 sur les lignes maritimes est donc de

1 459 200 unités-voitures

soit une augmentation de 6,2 % sur le trafic de véhicules accompagnés en 1970.

La part du trafic des lignes maritimes les plus importantes est indiquée ci-dessous avec rappel des chiffres de 1957, 1967 et 1970.

Lignes maritimes	Pourcentage du trafic maritime total en U.V. assuré par chaque ligne			
	1957	1967	1970	1971
CALAIS - DOUVRES	10,6	26,5	25,5	24,45
CALAIS - RAMSGATE	-	-	4,4	5,79
BOULOGNE - DOUVRES	42,8	17,7	15,9	16,46
DIEPPE - NEWHAVEN	4,3	9,2	7,9	7,42
LE HAVRE - SOUTHAMPTON	1,4	7,1	6,4	6,67
ZEEBRUGGE - DOUVRES	-	3,3	6,5	7,91
OSTENDE - DOUVRES	18,5	24,3	18,0	17,88
HOOK - HARWICH	5,4	2,4	5,8	5,67
Autres	17,0	9,4	9,6	7,75
TOTAL	100	100	100	100
dont : port de DOUVRES	87,2	74,5	68,8	67,82
lignes d'aéroglesseurs	-	-	8,47	12,69

On constate que les aéroglesseurs qui ont commencé à circuler régulièrement sur la Manche en 1968 ont pris très rapidement une part importante du marché.

122 Lignes aériennes

Le trafic des véhicules accompagnés qui traversent la Manche par voie aérienne après avoir atteint un maximum en 1963 a décru régulièrement depuis cette année. Les seules lignes qui restaient en service en 1971 sont les lignes de SOUTHEND - LE TOUQUET, SOUTHEND-OSTENDE et SOUTHEND-ROTTERDAM. Le trafic sur ces lignes est donné dans le tableau ci-après.

Trafic des air-ferries en 1971				
Lignes	Passagers			Véhicules U.V.
	Automobilistes	Piétons	Total	
SOUTHEND-LE TOUQUET	7 530	33 078	40 608	4 186
SOUTHEND-OSTENDE	13 060	182 653	195 713	7 256
SOUTHEND-ROTTERDAM	5 010	36 747	41 757	2 880
TOTAL	25 600	252 478	278 078	14 332

Le trafic de ces lignes nous a été communiqué par la Compagnie BRITISH AIR FERRIES qui estime l'occupation moyenne de chaque véhicule à 1,8 passager. Tous les véhicules accompagnés sur ces lignes sont des voitures particulières.

.123 *Récapitulation des trafics de véhicules*

Le nombre total de véhicules accompagnés ayant traversé la Manche en 1971 par lignes maritimes ou aériennes est résumé dans le tableau suivant :

Trafic des véhicules accompagnés en 1971		
Mode	Nombre	Pourcentage
Maritime	1 459 223	99,0
Aérien	14 322	1,0
TOTAL	1 473 545	100,0

STRUCTURE DU TRAFIC A TRAVERS LA MANCHE

21 Définition du trafic tunnelable

Dans une première approche, sera considéré comme tunnelable :

- (i) tout le trafic maritime de passagers sur les lignes situées entre SOUTHAMPTON-CHERBOURG et HARWICH-HOOK,
- (ii) le trafic aérien entre la Grande-Bretagne et les pays de l'Europe de l'Ouest suivants :

BELGIQUE et LUXEMBOURG	PORTUGAL
PAYS-BAS	ITALIE
FRANCE	AUTRICHE
ALLEMAGNE DE L'OUEST	DANEMARK
SUISSE	GRECE
ESPAGNE	YUGOSLAVIE

Le problème du trafic en transit, qui ne peut être analysé qu'à l'aide de l'enquête, sera traité ultérieurement.

22 Structure du trafic maritime

221 Catégories de passagers

Les passagers accompagnés d'un véhicule peuvent être ventilés entre :

- passagers accompagnant un véhicule privé,
- passagers accompagnant un autocar,
- passagers accompagnant un cycle.

De plus, sur certaines lignes les conducteurs des véhicules commerciaux sont inclus dans les passagers automobilistes. On a estimé à cent mille le nombre de conducteurs de camions pris en compte.

Le trafic des passagers maritimes se décompose donc comme suit :

Unité: millier de passagers

Trafic des passagers maritimes	
Trafic maritime total	8 882
passagers piétons	4 812
passagers accompagnés	4 070
dont : chauffeurs de camion	100
accompagnés d'une voiture	3 376
accompagnés d'un autocar	562
accompagnés d'un cycle	32

222 *Ventilation par motif et lieu de résidence*

Les résultats de l'enquête I.P.S. et de l'enquête complémentaire effectuée en 1971 nous permettent de ventiler ce trafic par lieu de résidence et par motif pour les résidents en Europe.

On a alors :

Pourcentage			
Répartition des passagers maritimes			
Motif	Lieu de résidence		
	Royaume-Uni	Europe continentale	Hors d'Europe
Professionnel	4,0	2,6	} 13,0
Personnel	52,5	27,9	
TOTAL	56,5	30,5	13,0

23 *Structure du trafic aérien*

Le nombre de passagers ayant traversé la Manche par voie aérienne en 1971 (y compris les passagers en transit en Grande-Bretagne ou sur le Continent) s'élève à 16,031 millions. Comme pour les passagers maritimes, la ventilation par lieu de résidence et par motif pour les voyageurs européens se déduit de l'enquête I.P.S. et de l'enquête complémentaire.

Pourcentage			
Passagers aériens			
Motif	Lieu de résidence		
	Royaume-Uni	Europe continentale	Hors d'Europe
Professionnel	13,2	10,3	} 11,9
Personnel	51,3	13,3	
TOTAL	64,5	23,6	11,9

PARTIE B
Méthodes et hypothèses de prévision

CHAPITRE 1

LES DIVERSES ETAPES DU CALCUL DES TRAFICS DE PASSAGERS EMPRUNTANT LE TUNNEL

1.1 DESCRIPTION SCHEMATIQUE DES DIVERSES ETAPES

1.11 Projection de la demande globale

La demande globale des passagers se déplaçant à travers la Manche a été fondée sur des modèles de type gravitaire faisant intervenir des variables explicatives spécifiques selon le motif du voyage.

(i) En ce qui concerne les voyages des Continentaux pour motif personnel le modèle a pris la forme :

$$V_{ij} = \frac{K r_i^\alpha}{(c_{ij} + \lambda t_{ij})^\gamma}$$

- . r_i étant le revenu moyen de la zone d'origine
- . $c_{ij} + \lambda t_{ij}$ le coût généralisé du voyage sur la relation considérée
- . V_{ij} le volume du trafic de la zone d'origine i à la zone de destination j

(ii) En ce qui concerne les déplacements des Continentaux pour motif professionnel, le modèle finalement retenu est du type :

$$V_{ij} = K r_i^\alpha e_{ij}^\beta$$

. e_{ij} étant un indice du commerce extérieur entre les zones i et j.

Cette formulation a l'avantage de faire intervenir des variables bien définies et dont l'estimation peut être relativement homogène quel que soit le pays considéré. Par ailleurs l'extrapolation de ces variables aux années horizons ne pose pas de problème majeur dans la mesure où le commerce peut être estimé d'une manière relativement satisfaisante par les modèles mis au point par la SETEC à partir d'hypothèses sur les accroissements des productions intérieures brutes.

On trouvera les travaux réalisés jusqu'à ce jour par la SETEC en annexe au présent rapport.

1.12 Remarques générales concernant les problèmes d'affectation

Les affectations de trafics entre le tunnel et les modes concurrents sont fondées sur les deux principes suivants :

- La définition de catégories de trafics homogènes et la projection de ces trafics aux divers horizons considérés dans l'étude.
- L'affectation de chacune de ces catégories de trafic au tunnel et l'estimation du trafic engendré s'il y a lieu. Le principe de ces affectations est l'utilisation des modèles prix - temps, mais différentes variantes de ces modèles peuvent être utilisées selon les catégories de trafics à affecter.

En outre, l'hypothèse n'est faite qu'à moyen ou long terme, les capacités de transport offertes seront adaptées à la demande, sauf le cas échéant en période de pointe aiguë, et pour cette raison, la capacité de transport sur chaque mode (air, mer, tunnel) ou sur chaque ligne, ne sera pas considérée comme une variable explicative de la demande potentielle.

1.2 DEFINITION DES DIVERSES CATEGORIES DE TRAFIC PRISES EN COMPTE

1.21 Le motif du voyage

Une distinction fondamentale est le motif du voyage. Cinq postes ont été distingués dans l'enquête :

- . affaires
- . vacances
- . visites à parents ou amis
- . étude des langues
- . autres.

En fait, il apparait suffisant pour les besoins de la présente étude de distinguer entre le motif professionnel et le motif personnel. La connaissance de la personne supportant les frais de voyage (le voyageur, son entreprise ou une tierce personne) grâce à une question particulière posée dans l'enquête origine-destination effectuée par la SETEC a permis de résoudre les cas litigieux et de classer le motif de tout voyage dans l'une des deux rubriques "personnel ou professionnel".

1.22 Le pays de résidence

Le pays de résidence intervient à divers titre dans l'estimation des trafics et en particulier :

- par la localisation des origines ou des destinations et leur éloignement de la Grande-Bretagne,
- par le niveau de vie de ses habitants qui influe sur leur valeur du temps,
- par le comportement de ses habitants en matière de déplacement, leur propension à voyager, de façon générale, et en particulier entre la Grande-Bretagne et le Continent.

Pour cette raison, deux niveaux de désagrégation ont été considérés selon les cas :

(i) Une ventilation des pays de résidence en trois rubriques :

- Grande-Bretagne
- Continent européen
- Résidents hors d'Europe.

(ii) Une ventilation plus fine des pays de résidence sur le Continent qui nous a amenés à distinguer les divers pays suivants sur le Continent :

- France
- Belgique-Luxembourg
- Pays-Bas
- Allemagne
- Suisse
- Autriche
- Italie
- Espagne
- Autres.

1.23 Le "type" de voyage

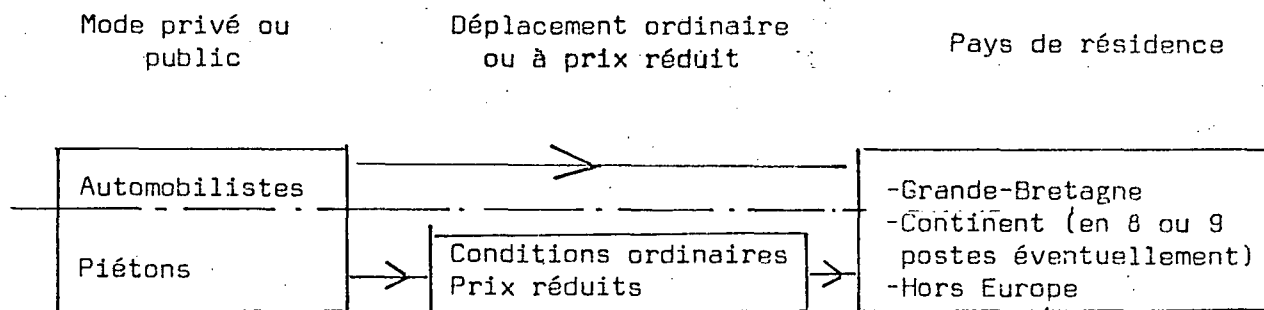
Le type de voyage est une notion complexe qui fait intervenir à la fois l'utilisation d'un mode de transport individuel ou public et, dans ce dernier cas, les déplacements à prix réduits ou les déplacements aux conditions ordinaires de tarifs.

Pour cette raison, les voyages ont été répartis entre voyages avec un véhicule accompagné et voyages utilisant les modes de transport public et ceux-ci ont été eux-mêmes ventilés, dans le cas des déplacements pour motif personnel, entre voyages aux conditions ordinaires et voyages organisés.

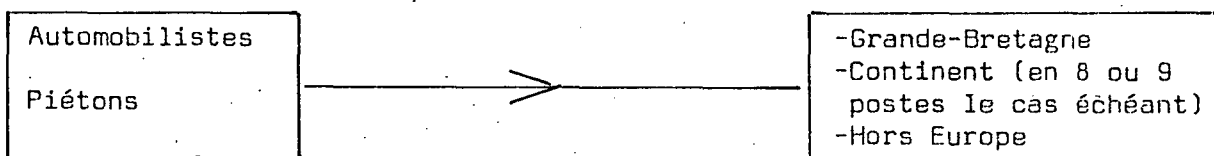
1.24 Récapitulation

En résumé, il nous est apparu souhaitable de faire intervenir les différentes catégories de trafic selon la structure qui est donnée sur le schéma suivant :

(i) *Motif personnel*



(ii) *Motif professionnel*



En résumé, on obtient donc, si l'on ne tient pas compte de la ventilation par pays du Continent quinze catégories de trafics que l'on doit répartir entre le tunnel et les modes concurrents.

1.3 LES DIVERSES ETAPES DE L'AFFECTATION DE LA DEMANDE GLOBALE PAR CATEGORIE DE TRAFIC

La demande globale de passagers traversant la Manche ayant été déterminée précédemment par motif en tenant compte des conditions actuelles de l'offre de transport, nous indiquons brièvement ci-dessous les divers modèles qui permettent de passer de cette demande globale à celle relative à chacune des catégories considérées.

1.31 Affectations entre piétons et automobilistes

Ces affectations sont fondées sur l'utilisation d'un modèle faisant intervenir des variables discriminantes :

- la variable expliquée est la probabilité P d'utiliser une automobile pour traverser la Manche. En pratique, au niveau individuel $P = 1$ si l'individu traverse la Manche avec un véhicule et $P = 0$ si l'individu traverse la Manche sans véhicule (nous disons alors qu'il s'agit d'un piéton),
- les variables explicatives sont essentiellement, la valeur du revenu par unité de consommation de l'individu considéré, le fait qu'il possède une voiture et éventuellement d'autres variables telles que la taille de la famille à laquelle appartient cet individu.

Ce modèle s'applique naturellement aux déplacements personnels. Des méthodes différentes doivent être utilisées pour les automobilistes se déplaçant à travers la Manche pour motif professionnel car :

- ces automobilistes sont moins nombreux,
- leurs motivations sont différentes de celles des automobilistes utilisant leur voiture pour motif personnel.

1.32 Affectations entre voyages à prix réduit et voyages ordinaires

Par voyage à prix réduit nous entendons :

- les voyages organisés,
- les voyages en groupe,
- les voyages "charter",

et de façon générale tout type de voyage qui se fait à des conditions de prix inférieures aux tarifs officiels. Le problème de la répartition entre types de voyages ne se pose évidemment que pour les voyages personnels, tous les déplacements professionnels étant supposés se faire dans des conditions de prix "normales", c'est-à-dire à plein tarif.

Le modèle mis en oeuvre pour répartir les piétons selon les conditions de transport est analogue dans son principe à celui utilisé pour séparer les piétons des automobilistes :

- la variable expliquée est la probabilité P de voyager aux conditions de tarif officielles. Au niveau individuel $P = 1$ si l'individu voyage sans réduction forfaitaire et $P = 0$ si l'individu bénéficie de réductions,
- les variables explicatives peuvent être a priori assez nombreuses. par exemple la tranche de revenu, le nombre d'enfants de la famille et divers indicateurs des prix de transport selon le type de voyage.

1.4 LES DIVERSES ETAPES DE L'AFFECTATION DE CHAQUE CATEGORIE DE TRAFIC PAR MODE DE TRANSPORT.

1.41 Les affectations de trafic par mode de transport sont fondées sur les modèles prix-temps. Le calcul du trafic empruntant le tunnel résulte d'une affectation bi- ou tri-modale à partir des modèles qui ont été décrits au cours de la phase préliminaire, le tunnel étant considéré comme l'un des modes possibles, et n'étant pas assimilé à une route maritime supplémentaire.

Toutefois, dans le cas des automobilistes pour lesquels des ruptures de charges sont inéluctables de part et d'autre de la Manche, une version particulière du modèle prix-temps, de forme probabiliste, a été développée et sera explicitée ultérieurement.

1.42 Principe de l'ajustement des modèles

L'ajustement des modèles prix-temps implique la détermination des divers paramètres suivants :

- Les coefficients α et γ de la fonction de propension à voyager soit :

$$V = \frac{r^\alpha}{(c + \lambda t)^\gamma}$$

- . r étant le revenu
- . c étant le coût du voyage
- . t étant la durée du voyage
- . λ étant la valeur du temps de l'individu considéré

- L'élasticité de la valeur du temps par rapport au revenu, $\frac{1}{\delta}$ supposée constante, et le coefficient de proportionnalité ce qui conduit à écrire :

$$r = h \lambda^\delta$$

- Les coefficients μ et σ de la distribution des revenus dans chacun des pays considérés, que nous avons estimés à partir des statistiques publiés dans divers annuaires.

1.43 Séquence des ajustements

Les paramètres μ et σ sont connus par des sources exogènes, comme nous venons de le dire. Les coefficients α et γ sont déduits des élasticités de la demande par rapport au revenu et au coût. Les paramètres de l'ajustement sont donc en fait h et δ . Pour des raisons qui seront indiquées ultérieurement, nous avons généralement admis que $\delta = 1$. Il reste donc un seul paramètre à calculer, h , en recherchant le meilleur ajustement des trafics calculés par rapport aux trafics observés.

1.431 Déplacements pour motif personnel

(i) Les seuls trafics pour lesquels les tarifs de transport sont connus avec une assez bonne certitude sont ceux relatifs aux déplacements sans véhicule pour lesquels les voyageurs ne bénéficient pas de réduction. Pour ces déplacements, il est possible - h étant paramétré - de déterminer les diverses valeurs corrélatives du pourcentage du trafic aérien dans le trafic total par application des modèles prix-temps. La valeur de h finalement retenue est celle qui réalise la meilleure adaptation des trafics calculés aux trafics observés.

(ii) δ , ayant été supposé égal à 1, les valeurs du temps sont proportionnelles aux revenus. Les valeurs du temps des autres catégories de passagers se déduisent donc de celles obtenues pour les piétons se déplaçant aux conditions normales de tarif par proportionnalité par rapport aux revenus. En d'autres termes, si l'on désigne par :

- p_n l'indice des piétons se déplaçant aux conditions normales de tarif,
- p_r l'indice des piétons se déplaçant aux conditions de tarif réduites,
- a l'indice des automobilistes,
- $\bar{\lambda}$ et \bar{r} étant les valeurs moyennes du temps et des revenus,

la séquence de détermination des paramètres des modèles prix-temps est celle qui est indiquée ci-dessous :

(iii) - h_{pn} est déterminé comme il a été indiqué aux conditions (i) du présent paragraphe, d'où il résulte λ_{pn}

$$\bar{\lambda}_{pn} = \frac{\bar{r}_{pn}}{h_{pn}}$$

- la proportionnalité des revenus et des valeurs du temps permet ensuite d'écrire :

$$\bar{\lambda}_{pr} := \bar{r}_{pr} \frac{\bar{\lambda}_{pn}}{\bar{r}_{pn}}$$

$$\bar{\lambda}_a = \bar{r}_a \frac{\bar{\lambda}_{pn}}{\bar{r}_{pn}}$$

Les revenus \bar{r}_{pn} , \bar{r}_{pr} et \bar{r}_a sont déduits des enquêtes effectuées auprès des voyageurs se déplaçant à travers la Manche.

1.432 *Déplacements pour motif professionnel*

La séquence de la détermination des paramètres est en principe la même que pour les déplacements pour motif personnel. Toutefois, comme nous l'avons indiqué, la détermination d'une valeur moyenne du temps pour les passagers se déplaçant à des conditions de prix inférieures aux tarifs officiels est en principe sans objet.

Les élasticités α et γ ont été déterminées par la SETEC :

- pour la demande globale des déplacements des résidents du Continent vers la Grande-Bretagne,
- pour la demande globale des résidents de Grande-Bretagne vers le Continent,

(en pratique, une élasticité γ significativement différente de 0 n'a pas été mise en évidence à ce jour). Tout retard dans l'accord sur les valeurs à retenir pour ces élasticités α et γ se répercute nécessairement dans l'ajustement des modèles d'affectation des passagers professionnels sans que le Consultant français puisse en être tenu pour responsable.

CHAPITRE 2

DESCRIPTION GENERALE DE L'AFFECTATION DES TRAFICS TRANS-MANCHE AU TUNNEL ET DE L'ENGENDREMENT PAR LES MODELES PRIX-TEMPS

2.1 PRINCIPES DE L'AFFECTATION ET DU CALCUL DU TRAFIC ENGENDRE

2.11 Cadre général du modèle prix-temps

2.111 Formulation élémentaire du modèle

2.1111 De nombreuses études ont montré que les voyageurs attachent plus ou moins consciemment une valeur à leur temps et qu'ils choisissent leur mode de transport en fonction de cette valeur. De façon plus précise, un voyageur choisit un mode de transport plus rapide qu'un autre si la valeur monétaire du gain de temps que lui procure le mode de transport le plus rapide compense le supplément de tarif qu'il doit acquitter.

2.1112 Pour formaliser ce qui vient d'être dit, considérons sur une liaison donnée deux modes de transport T et M, le mode de transport T (tunnel) étant plus rapide et plus onéreux que le mode de transport M (maritime)*

Désignons par :

- P_T le prix de transport par le mode T
- P_M le prix de transport par le mode M
- t_T le temps de transport par le mode T
- t_M le temps de transport par le mode M
- h la valeur de l'unité de temps pour le voyageur considéré
- $C = p + ht$ le coût généralisé du transport par un mode donné

* Cette hypothèse est faite pour la commodité de l'exposé et ne préjuge pas la valeur du péage qui sera effectivement appliqué.

Le voyageur utilisera le mode T si et seulement si :

$$C_T < C_M$$

Ce qui est équivalent à la condition :

$$h \geq \frac{P_T - P_M}{t_M - t_T}$$

Dans la suite de ce rapport, le quotient de $P_T - P_M$ par $t_M - t_T$ sera noté λ_e et nous le désignerons sous le nom de valeur d'équilibre ou valeur discriminante du temps.

2.1113 On introduit parfois également un terme appelé "bonus" qui tient compte des autres facteurs de décision de l'individu : confort, commodité des horaires, fréquence des services, liberté de choix du mode de transport (des passagers en correspondance dans des gares ou sur des aéroports étant "captifs" du mode qu'ils viennent de quitter). Si $B_{T/M}$ est le bonus du mode T par rapport au mode M, la formule précédente donnant la valeur de h pour laquelle le mode T devient préférable au mode M s'écrit :

$$h \geq \frac{P_T - P_M - B_{T/M}}{t_M - t_T}$$

Si $B_{T/M} > 0$, ce qui signifie que les facteurs non pris en compte donnent un avantage au mode T sur le mode M, la valeur discriminante du temps se trouve réduite; inversement, si $B_{T/M} < 0$, la valeur discriminante du temps est augmentée.

Cependant, la détermination des bonus pose des problèmes statistiques délicats et il n'est pas toujours possible d'en tenir compte.

2.112 Courbe de distribution des valeurs du temps

2.1121 Etant donnée une certaine population, les valeurs du temps des divers individus qui la composent suivent une certaine loi statistique. On peut d'ailleurs penser que les valeurs du temps sont assez fortement corrélées avec les revenus. Les distributions de revenus suivant de façon généralement satisfaisante des lois gaussio-logarithmiques, on peut admettre qu'il en est de même des valeurs du temps.

2.1122 Nous verrons ci-dessus comment nous avons déterminé la distribution des valeurs du temps des voyageurs. Nous nous bornerons à indiquer ici que les paramètres de ces distributions peuvent être obtenus de deux manières différentes :

- (i) Soit en recensant un ensemble de valeurs discriminantes et les pourcentages des voyageurs qui, pour ces valeurs, utilisent le mode le plus onéreux. L'ensemble de valeurs discriminantes peut être fourni :
 - par une série chronologique relative à une liaison donnée,
 - par une coupe géographique permettant de comparer différentes liaisons à un instant donné.
- (ii) Soit en faisant une hypothèse sur la relation fonctionnelle ou stochastique qui existe entre revenus et valeurs du temps, et en déterminant les paramètres de cette relation qui permettent d'obtenir le meilleur ajustement entre trafics calculés et trafics observés.

La première méthode avait été utilisée au cours de la phase d'études préliminaires. La seconde est celle qui a servi de base au présent rapport. On a pu constater que les deux méthodes conduisaient bien à des estimations voisines.

2.113 *Utilisation du modèle prix-temps pour l'affectation bi-modale des trafics*

- (i) Cas de l'affectation des automobilistes entre le tunnel et la voie maritime

La courbe des valeurs du temps (C) étant connue pour les années-horizons ainsi que les prix et les temps de transport par voie maritime et par le tunnel, la valeur discriminante s'obtient en calculant :

$$h = \frac{P_T - P_M}{t_M - t_T}$$

L'ordonnée P (T,M) du point de C ayant pour abscisse h fournit le pourcentage de voyageurs traversant la Manche par le tunnel. Son complément à 1 donne au contraire le pourcentage des voyageurs qui continueront à se déplacer en utilisant la voie maritime

Les prix P_T et P_M sont les prix de transport par passager et varient donc selon le motif du déplacement puisque le nombre moyen de passagers par véhicule est un peu plus élevé pour les déplacements personnels (3,1) que pour les déplacements professionnels (2,6).

- (ii) Cas de l'affectation des passagers ordinaires entre l'avion et le tunnel

L'affectation des passagers ordinaires entre le tunnel et la voie aérienne est analogue au cas précédent. Toutefois l'ordonnée P(A,T) du point de la courbe des valeurs du temps ayant pour abscisse h ne définit plus le pourcentage de voyageurs utilisant le tunnel, mais au contraire celui des voyageurs restant à la voie aérienne après la mise en service du tunnel.

Dans chacun des deux cas décrits ci-dessus, le péage à acquitter pour l'utilisation du tunnel peut être introduit comme paramètre. La valeur d'équilibre du temps est alors fonction de ce paramètre de même que les trafics et les recettes du tunnel. Diverses formules de péage peuvent être étudiées. En particulier, pour les automobilistes on peut considérer :

- une tarification taxant la voiture d'une part, les passagers d'autre part
- une tarification unique par véhicule indépendamment du nombre de passagers de ce véhicule.

2.12 Forme définitive du modèle prix-temps utilisé

2.121 Critique du modèle prix-temps présenté ci-dessus

Le modèle prix-temps décrit au paragraphe 2.11 permet de calculer le pourcentage des personnes utilisant le tunnel par rapport au total des voyageurs se déplaçant sur la liaison considérée. Mais il présente toutefois deux imperfections :

- (i) La grandeur que l'on cherche à estimer est le pourcentage de voyages détournés vers le tunnel. Or, ce pourcentage n'est égal à celui des voyageurs détournés que si chaque individu a la même propension à voyager. On a toutes raisons de penser que la propension à voyager (c'est-à-dire la "demande de voyages") est une fonction du revenu et de la valeur du temps de chaque personne. Elle n'est donc pas constante mais variable d'un individu à l'autre.
- (ii) Le modèle prix-temps qui a été décrit précédemment ne permet pas d'expliquer l'engendrement de trafic qu'on observe généralement lors de la mise en service d'un mode de transport nouveau, plus rapide que ceux qui existaient auparavant, ou moins cher, ce qui revient au même en termes de coût généralisé. Or, il est reconnu que l'engendrement représente souvent une part non négligeable du trafic total d'un nouveau mode de transport et ne pas le prendre en compte conduirait à des sous-estimations importantes.

Pour pallier ces inconvénients, nous avons élargi le cadre du modèle prix-temps en prenant en compte les inégalités de la propension à voyager.

2.122 Relation entre le nombre moyen de voyages par personne sur un axe donné, la valeur du temps et le revenu

2.1221 Soient C_{ijm} et t_{ijm} les coûts et les temps sur un axe donné par un mode m donné, λ et r , la valeur du temps et le revenu d'un individu. Il est clair que le nombre annuel de voyages v_{ijm} de cet individu sur cet axe, par le mode m , est une fonction croissante de r et décroissante du coût généralisé $C_{ijm} + \lambda t_{ijm}$.

Une formulation du type :

$$v_{ijm} = \frac{k_1 r^\beta}{(C_{ijm} + \lambda t_{ijm})^\gamma} \quad (1)$$

est donc assez naturelle.

2.1222 A partir de la formulation précédente de la propension à voyager (v_{ijm}) on peut construire des modèles à une ou deux dimensions :

- (i) Si l'on connaît la distribution à deux dimensions des voyageurs selon leur valeur du temps et leur revenu $f(\lambda, r) d\lambda dr$, on peut calculer le trafic empruntant le tunnel en intégrant la fonction v_{ijT} dans la portion du plan (λ, r) définie par :

$$0 < \lambda < \lambda_e \text{ et } r > 0$$

- (ii) Si l'on ignore la fonction $f(\lambda, r)$, ou si l'on souhaite de toute façon n'utiliser qu'un modèle à une dimension, on peut se ramener à la seule variable λ de la façon suivante :

- on détermine la distribution marginale des voyageurs selon leur valeur du temps, indépendamment de leur revenu, soit $f(\lambda)d\lambda$.
- on estime l'élasticité des valeurs du temps par rapport au revenu selon une formule du type

$$\lambda = A r^\delta$$

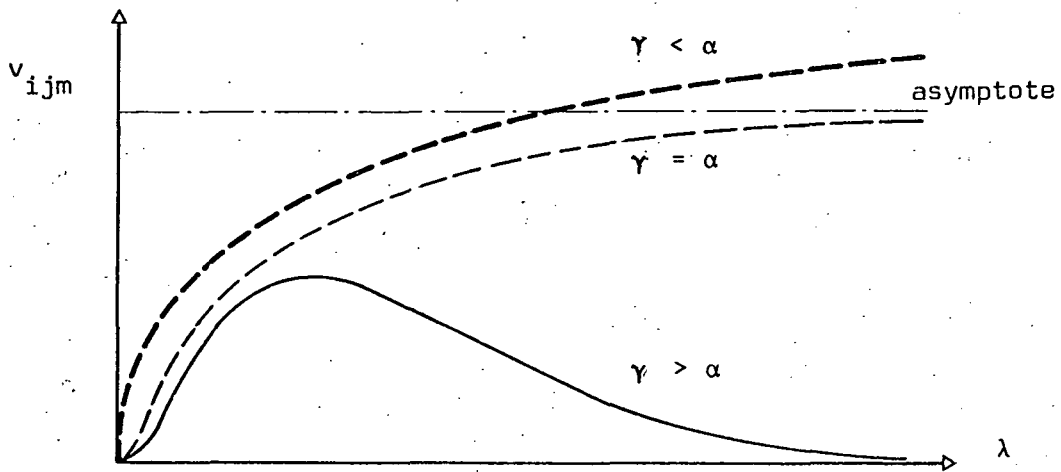
Dans ces conditions, la formule (1) devient :

$$v_{ijm} = \frac{k_2 \lambda^\alpha}{(C_{ijm} + \lambda t_{ijm})^\gamma} \quad (2)$$

avec $\alpha = \frac{\beta}{\delta}$

C'est sur cette seconde formulation que nous fonderons la suite de la présentation du modèle prix-temps car c'est celle que nous avons utilisée dans le cadre de cette étude.

2.1223 Selon les valeurs de α et γ , la forme de v_{ijm} en fonction de λ peut être l'une des suivantes :



La pente de la tangente à l'origine dépend de la position de α par rapport à 1

2.123 Détermination des exposants α et γ

Trois méthodes étaient a priori possibles que nous rappelons brièvement ci-dessous :

2.1231 Etude de la fréquence des voyages trans-Manche déclarée au cours de l'enquête origine-destination. Cette fréquence peut être corréllée au coût du déplacement et au revenu déclaré par l'enquêté.

2.1232 Etude du nombre de voyages par tranche de revenu et tranche de coût du déplacement pour une population donnée, celle d'une région de programme par exemple, de façon qu'il soit possible de mesurer les dépenses de transport avec une assez bonne précision.

2.1233 Utilisation des élasticités déterminées au cours des études relatives à la demande globale de transport.

Ces modèles prennent en effet généralement la forme suivante :

$$T_{ij} = \frac{K r_i^{\alpha_0}}{(\bar{C}_{ij} + \lambda \bar{t}_{ij})^{\gamma_0}} \times f(V_1, V_2, \dots)$$

V_1, V_2 , étant éventuellement d'autres variables explicatives des trafics et \bar{C}_{ij} et \bar{t}_{ij} les coûts et temps moyens calculés pour la relation ij en prenant en compte l'ensemble des modes de transport.

On peut penser, au moins a priori, que :

$$\alpha = \alpha_0 \text{ et } \gamma = \gamma_0$$

C'est-à-dire que les élasticités calculées au niveau individuel se retrouvent dans les ajustements macro-économiques effectués sur les trafics globaux.

Toutefois, il est certain que les agrégations qu'on est amené à faire (somme sur les divers revenus individuels et les valeurs du temps des voyageurs de la région i) ne permettent pas d'affirmer que les égalités précédentes sont rigoureusement satisfaites.

2.124 Calcul du trafic détourné

2.1241 Nous nous plaçons dans les hypothèses suivantes :

$$v_1 = \frac{k \lambda^\alpha}{(C_M + \lambda t_M)^\gamma}$$

C_M et t_M sont les valeurs moyennes de C_{ijm} et t_{ijm} (coûts et temps de transport par voie maritime pondérés par les trafics) pour l'ensemble des itinéraires existants avant la mise en service du tunnel, ou encore les coûts et les temps de transport par voie maritime pour l'itinéraire de plus court chemin.

On introduit sur la relation considérée un nouveau mode de transport, le tunnel en l'occurrence, caractérisé par un coût C_T et un temps t_T , et l'on considère qu'en l'absence des modes classiques, le nombre de voyages par personne, par le nouveau mode (2), serait :

$$v_2 = \frac{k \lambda^\alpha}{(C_T + \lambda t_T)^\gamma} \text{ (même coefficient } k \text{ que précédemment)}$$

2.1242 Dans le cadre du modèle prix-temps généralisé, la valeur d'équilibre λ_e entre les modes traditionnels et le nouveau est encore donnée par :

$$C_T + \lambda t_T = C_M + \lambda t_M \text{ si l'on néglige les bonus,}$$

soit
$$\lambda_e = \frac{C_T - C_M}{t_M - t_T}$$

Si un voyageur a une valeur du temps λ telle que $\lambda > \lambda_e$ il utilisera le mode (T) ; sinon il continuera à utiliser les modes traditionnels (M). On est donc dans le cas de la figure 4.1

- (i) L'aire couverte de hachures horizontales correspond aux voyages détournés
- (ii) L'aire hachurée obliquement correspond aux voyages engendrés

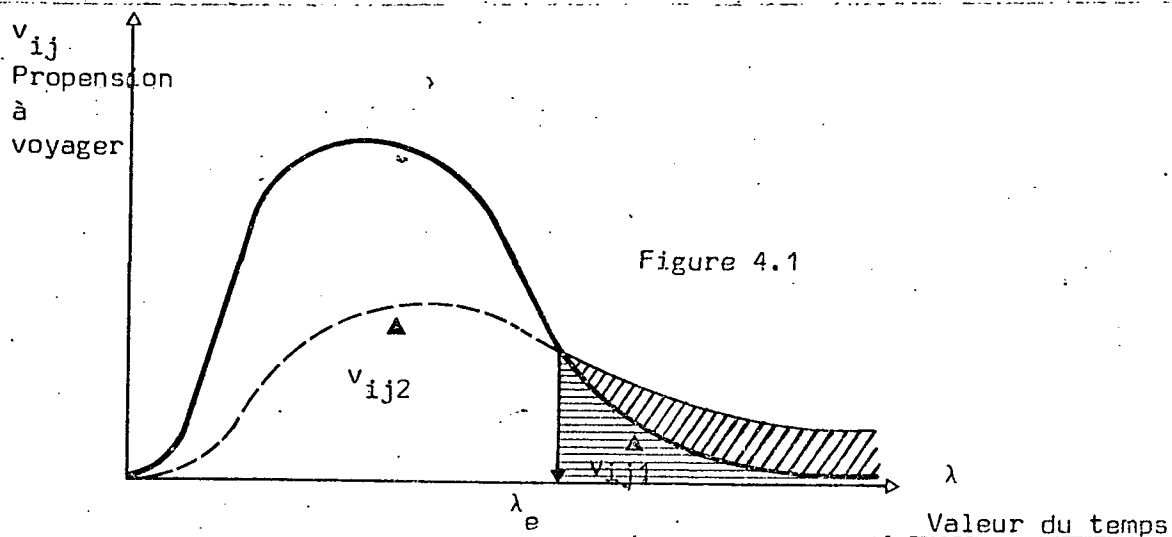
Désignons par $f(\lambda)d\lambda$ la densité de probabilité associée à la loi des valeurs du temps. L'estimation du trafic détourné (δ_2) ne se réduit plus au calcul du pourcentage de voyageurs (δ_1) pour lesquels la valeur du temps est supérieure à λ_e , soit :

$$\delta_1 = \int_{\lambda_e}^{\infty} f(\lambda) d\lambda$$

En effet, la "propension à voyager" n'est plus constante mais dépend au contraire de λ .

Le nombre annuel moyen de voyages des voyageurs détournés par le nouveau mode est :

$$n_d = \frac{1}{\delta_1} \int_{\lambda_e}^{\infty} v(\lambda) f(\lambda) d\lambda$$



Le nombre annuel de voyages de l'ensemble des voyageurs est :

$$n_e = \int_0^{\infty} v(\lambda) f(\lambda) d\lambda$$

La part δ_2 du trafic détourné au profit du nouveau mode est :

$$\delta_2 = \frac{\delta_1 \times n_d}{1 \times n_e}, \text{ soit par conséquent :}$$

$$\delta_2 = \delta_1 \times \frac{n_d}{n_e} = \frac{\int_{\lambda_e}^{\infty} \frac{\lambda^\alpha}{(C_M + \lambda t_M)^\gamma} f(\lambda) d\lambda}{\int_0^{\infty} \frac{\lambda^\alpha}{(C_M + \lambda t_M)^\gamma} f(\lambda) d\lambda}$$

En d'autres termes, δ_1 représente le pourcentage des voyageurs détournés et δ_2 le pourcentage des voyages détournés. C'est évidemment cette dernière grandeur qui nous intéresse.

2.125 Calcul du trafic engendré

Pour un voyageur ayant une valeur du temps $\lambda > \lambda_e$ l'engendrement, en nombre de voyages annuels, est donc :

$$(\delta v) = \frac{k \lambda^\alpha}{(C_T + \lambda t_T)^\gamma} - \frac{k \lambda^\alpha}{(C_M + \lambda t_M)^\gamma}$$

Il est usuel de calculer le trafic engendré en le rapportant au trafic détourné. Soit donc δ_3 le rapport du trafic engendré au trafic détourné.

Pour la sous-population des voyageurs détournés, on a :

(i) Nombre moyen de voyages détournés par personne :

$$n_d = \frac{1}{\delta_1} \int_{\lambda_e}^{\infty} v(\lambda) f(\lambda) d\lambda$$

(ii) Nombre moyen de voyages engendrés par personne :

$$e = \frac{1}{\delta_1} \int_{\lambda_e}^{\infty} (\delta v) f(\lambda) d\lambda$$

δ_3 est naturellement le quotient de e par n_d . Le trafic engendré, exprimé en pourcentage du trafic détourné est donc donné par la formule :

$$\delta_3 = \frac{e}{n_d} = \frac{\int_{\lambda_e}^{\infty} \left\{ \frac{\lambda^\alpha}{(C_T + \lambda t_T)^\gamma} - \frac{\lambda^\alpha}{(C_M + \lambda t_M)^\gamma} \right\} f(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_e}^{\infty} \frac{\lambda^\alpha}{(C_M + \lambda t_M)^\gamma} f(\lambda) d\lambda}$$

2.126 Remarques diverses

2.1261 Problèmes posés par la convergence des intégrales

- (i) Si $\gamma \geq \alpha$ il est clair que les intégrales précédentes convergent quelle que soit la densité de probabilité $f(\lambda)$.
- (ii) Si $\gamma < \alpha$ les fonctions intégrées tendent vers l'infini avec λ et l'on ne peut rien dire sans particulariser $f(\lambda)$.

Dans le cas où λ suit une loi gaussio-logarithmique, on montre facilement que les deux intégrales sont bien convergentes. Elles sont en effet de même nature que :

$$\int_{\mu_0}^{\infty} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} \mu^2 + 2\sigma \mu(\alpha - \gamma) + 2\mu m - m^2} d\mu$$

2.162 Prise en compte des motifs de déplacement

Nous n'avons pas fait de distinction selon les motifs des voyages dans les paragraphes précédents. En effet, le principe du calcul des trafics détournés et engendrés est le même dans les deux cas. Toutefois il est clair qu'en pratique il faut effectivement faire des calculs séparés pour les voyages professionnels et personnels et ceci pour deux raisons :

- (i) les distributions de valeurs du temps ne sont pas les mêmes,
- (ii) les fonctions de demande de transport diffèrent par les exposants α et γ dans les deux cas.

2.1263 Agrégation des coûts et des temps de transport

Le problème se pose principalement dans le cas de l'affectation au tunnel des automobilistes. En effet, pour des zones origine et destination données, il existe - au moins dans certains cas - plusieurs itinéraires possibles empruntant chacun des lignes maritimes différentes. Tous les automobilistes ne choisissent pas nécessairement l'itinéraire de moindre coût, et cet itinéraire peut d'ailleurs varier selon la valeur du temps des voyageurs. Or, il est difficilement envisageable de procéder à une affectation au tunnel selon les trois critères :

origine X itinéraire X destination

Deux procédures peuvent alors être envisagées :

- (i) Calculer un coût et un temps de transport moyens pondérés pour les divers itinéraires reliant la zone origine "i" à la zone destination "j", les coefficients de pondération étant naturellement les trafics sur chaque itinéraire.
- (ii) Calculer le coût et le temps de transport correspondant à l'itinéraire de plus court chemin déterminé par les programmes PCD et considérer ce coût et ce temps comme représentatif des conditions de transport entre "i" et "j" tant que le tunnel ne sera pas mis en service.

Nous avons utilisé en principe la seconde méthode de préférence à la première. En effet, l'approximation faite en remplaçant les temps et les coûts de transport sur chaque itinéraire par ceux relatifs à l'itinéraire de plus court chemin est assez légitime dans la mesure où ces temps et ces coûts sont nécessairement peu dispersés. De plus, en utilisant dans chaque cas les coûts et les temps minimums, nous ferons nécessairement une estimation prudente des trafics empruntant le tunnel. Cependant, en ce qui concerne l'affectation des automobilistes au tunnel, une procédure plus complexe a été utilisée qui sera décrite ultérieurement.

Le détournement de chaque ligne maritime vers le tunnel a été estimé ensuite en analysant la structure des trafics par ligne et par couple origine-destination et en affectant à chacun d'eux les coefficients de détournement et d'engendrement calculés à partir de l'itinéraire du plus court chemin.

2.1264 Choix des couples origine-destination servant au calcul des coûts et des temps de transport

A chaque relation zone à zone "i-j" peuvent être attribués, par application du modèle prix-temps, un coefficient d'affectation et un coefficient d'engendrement. Toutefois, on peut se demander s'il convient d'affecter à cette relation les trafics origine-destination correspondants ou les trafics pour lesquels la zone "i" est la dernière étape sur le Continent et la zone "j" la première étape en Grande-Bretagne ou vice-versa.

Nous pensons qu'en fait l'ouverture du tunnel est de nature à modifier notablement les itinéraires et que la donnée la plus stable est celle relative aux trafics entre zones d'origine et de destination. Toutefois, les derniers lieux d'étape en Grande-Bretagne ou sur le Continent constituent, dans la situation actuelle des moyens de traversée de la Manche, les points au niveau desquels s'effectue le choix entre modes ou itinéraires concurrents et il pourrait paraître naturel de calculer les valeurs du temps à partir des trafics entre derniers ou premiers lieux d'étape de part et d'autre de la Manche plutôt qu'en utilisant les trafics entre zones d'origine et de destination. Mais cette procédure implique presque nécessairement l'utilisation d'une distribution unique des valeurs du temps et c'est la raison pour laquelle nous l'avons en fait écartée. Nous avons retenu les couples "première origine et dernière destination" pour le calcul des coûts et des temps de transport.

2.126'5 Définition du coût du voyage

- (i) La présentation que nous avons faite ci-dessus des modèles prix-temps suppose que la propension à voyager dépend du coût généralisé du transport et non du coût total du voyage. En d'autres termes, le coût généralisé tel que nous l'avons défini jusqu'ici est la somme :

$$c_{ij} + \lambda t_{ij}$$

c_{ij} étant le coût du transport pour l'usager et t_{ij} les temps de transport correspondant entre l'origine i et la destination j .

- (ii) Cette formulation est certainement légitime pour les déplacements personnels de courte durée pour lesquels les dépenses de transport représentent une part importante, sinon prépondérante, des débours occasionnés par le voyage. Elle peut aussi s'appliquer aux déplacements professionnels qui sont généralement assez brefs et pour lesquels le temps de transport est un élément prépondérant du choix modal. Elle peut être plus controversée pour les déplacements personnels de longue durée dans la mesure où le coût du transport représente une part plus faible des dépenses totales occasionnées par le voyage, la part des frais de restauration et d'hébergement étant corrélativement plus importante.
- (iii) Pour cette raison, nous avons envisagé d'utiliser pour les déplacements personnels une formulation de la propension à voyager faisant intervenir, outre le coût généralisé du transport, les frais de séjour k , soit :

$$K + c_{ij} + \lambda t_{ij}$$

K étant un terme fixe indépendant du mode de transport, mais variant avec le pays ou le groupe de pays de résidence.

- (iv) Les élasticités de la demande globale des déplacements personnels par rapport au coût faisant intervenir le terme K comme cela a été indiqué précédemment, ces élasticités ont donc pu être utilisées telles quelles dans les modèles d'affectation et d'engendrement de trafic.
- (v) L'introduction d'une constante K dans le terme "coût" intervenant dans la propension à voyager ne change rien à la formulation décrite précédemment. En effet, K étant supposé indépendant du mode, la valeur d'équilibre du temps λ_e demeure la même. Seuls, les termes $(c + \lambda t)^Y$ sont remplacés par $(K + c + \lambda t)^Y$.

CHAPITRE 3

METHODE DE PREVISION DE COMMERCE EXTERIEUR

3.1 OBJECTIFS ASSIGNES AU MODELE DE PREVISION DES ECHANGES EXTERIEURS

On a cherché à mettre au point un modèle de prévision des échanges commerciaux d'un pays quelconque avec le reste du Monde qui permette de distinguer simultanément un certain nombre de branches de produits, et de pays ou zones géographiques avec lesquels sont faits ces échanges.

En particulier, l'un des buts de ce modèle était de permettre d'estimer de manière simple quelle pourrait être la répercussion de l'adhésion de la Grande-Bretagne au Marché Commun sur le volume de son commerce extérieur avec les pays de cette zone économique. Cette adhésion aura des conséquences immédiates qu'il sera assez facile de prendre en compte comme :

- la suppression des droits de douane auxquels étaient soumis jusqu'ici les échanges commerciaux avec les pays du Marché Commun,
- l'alignement des droits de douane britanniques vis-à-vis des pays tiers sur le tarif extérieur commun pratiqué par les pays du Marché Commun.

De nombreuses autres mesures devraient être prises en compte; mais elles ne sont encore qu'à peine esquissées et auraient exigé l'élaboration d'un modèle de prévision très complexe, qui ne pouvait en aucun cas devenir opérationnel à court terme. Il n'en a donc pas été tenu compte.

3.2 DESCRIPTION SCHEMATIQUE DU MODELE

On est parti de l'hypothèse admise par un certain nombre d'économistes que les baisses de prix ont essentiellement un effet générateur d'échanges, ceci n'excluant pas leur incidence sur la répartition des échanges par zone, moins importante et beaucoup plus difficile à saisir. La suppression des

barrières douanières entraînera une réduction des prix des produits importés et aura donc un effet générateur incontestable sur les échanges commerciaux internationaux. On verra plus loin que cela peut être mis en évidence dans le cas des pays du Marché Commun ou de la zone de "Libre Echange".

On a donc procédé en deux étapes successives :

- (i) prévision des échanges en tenant compte seulement des croissances industrielles des pays ou zones,
- (ii) prise en compte de l'effet-prix traduit par un facteur multiplicatif de l'effet mécanique de croissance précédent.

La principale originalité des travaux de recherche de la SETEC pour cette partie de l'étude a consisté à mettre en évidence l'effet des prix sur les échanges commerciaux internationaux et à en trouver une formulation mathématique simple qui permette de le quantifier.

3.21 Effet mécanique de croissance des échanges commerciaux

On s'est proposé de projeter séparément importations et exportations du pays étudié (la Grande-Bretagne) sous forme de matrices donnant la ventilation des importations ou des exportations suivant le croisement des zones respectivement exportatrices ou importatrices et des branches de produits (14 branches correspondant à un certain regroupement de la nomenclature C.T.C.I. détaillée).

- (i) Dans une première phase, on détermine le volume global des importations ou des exportations en ne tenant compte que de la croissance industrielle du pays étudié,
- (ii) On détermine ensuite la ventilation du volume global par zone, compte-tenu de la croissance industrielle de chacune d'elles, et par branche à partir d'élasticités du commerce extérieur par branche (import ou export), par rapport au commerce extérieur total, préalablement déterminées.
- (iii) A l'aide d'un programme de calcul itératif, il est alors possible de construire une nouvelle matrice horizon, dont les marges ont été déterminées en (ii), obtenue par adaptation de la matrice relative à l'année de base à ces nouvelles marges.

3.22 Effet des prix

L'étude de l'effet des prix sur le volume des échanges commerciaux internationaux a été effectuée par étapes successives. Le but du processus de cette étude était de pouvoir trouver une expression mathématique simple et susceptible d'être extrapolée au cas des échanges entre la Grande-Bretagne et les pays du Marché Commun. La principale difficulté résidait dans le

fait qu'on ne pouvait étudier l'effet des prix directement sur le cas des échanges entre la Grande-Bretagne et les pays du Marché Commun, car les variations relatives des prix étaient trop faibles, puisqu'il ne s'agissait pratiquement que des prix de gros et des prix à l'exportation, les droits de douane n'ayant que faiblement varié au cours des dernières années.

Pour mettre en évidence l'effet des prix, il convenait d'en faire l'étude dans un cas où les variations relatives des prix étaient assez importantes pour que leur influence fût sensible au niveau d'une analyse macroéconomique. Sinon les variations de la variable explicative auraient pu être inférieures à la précision même que peut atteindre une telle analyse.

On a fait porter cette étude sur les échanges entre la Grande-Bretagne et les autres pays de la zone de "Libre Echange".

L'analyse de l'effet des prix a été effectuée sur la période transitoire de la zone de Libre Echange de 1959 à 1967, au cours de laquelle les variations des prix à l'importation ont été importantes en raison de l'abaissement progressif des droits de douane.

3.3 ETUDE DE L'EFFET-PRIX

Comme au cours des travaux de la Phase Préliminaire l'étude de l'effet prix a été scindée en plusieurs parties :

- (i) supposant d'abord la constance dans le temps des élasticités par rapport aux prix, on en a effectué le calcul,
- (ii) on a mis en évidence à partir de là, une relation entre les élasticités et une variable caractérisant les pays correspondants par une coupe horizontale faite pour l'année médiane de la période étudiée,
- (iii) on a testé le modèle sur une série chronologique pour adapter les résultats de la coupe horizontale de l'étape précédente à la formulation de phénomènes évoluant dans le temps.

3.31 Calcul des élasticités

A l'aide du modèle global qui décrit l'effet de croissance mécanique des échanges, on a établi une série chronologique de ce qu'auraient été les échanges entre la Grande-Bretagne et les pays de l'A.E.L.E. si des relations de libre échange n'avaient pas été créées entre ces pays. Sur la base de cette série chronologique calculée et de la série chronologique statistique des échanges réels, on a déterminé par régression les élasticités-prix qui permettaient d'expliquer les écarts entre ces deux séries de données en partant du sous-modèle prix suivant :

$$\frac{\frac{[V_{ij}^k]_R}{IPE_{ij}^k}}{[V_{ij}^k]_c} = \left[\frac{IPE_i^k \left(\frac{1 + \delta_{ji}^k}{1 + \delta_{ji}^k} \right)}{IPG_j^k} \right] C_{ij}^k$$

$[V_{ij}^k]_R$ échanges réels en valeur courante de la zone i vers la zone j dans la branche de produits k (en indice par rapport à l'année 0)

$[V_{ij}^k]_c$ échanges calculés en valeur constante de la zone i vers la zone j dans la branche de produits k, dans l'hypothèse où l'effet-prix n'aurait pas eu d'influence (en indice par rapport à l'année 0)

IPE_i^k prix à l'exportation des produits de la branche k dans la zone i (en indice par rapport à l'année 0)

δ_{ji}^k droit de douane moyen en % appliqué aux produits de la branche k provenant du pays i et entrant dans le pays j.

C_{ij}^k élasticité-prix relative aux exportations de la zone i vers la zone j dans la branche de produits k.

3.32 Formulation des élasticités C_{ij}^k en fonction de paramètres caractérisant les pays

Séparément pour les importations et les exportations, on a cherché à expliquer la différence entre les élasticités relatives à chaque pays échangeant avec la Grande-Bretagne. Il est apparu que le modèle retenu au cours de la Phase Préliminaire dans ce but n'était pas pleinement satisfaisant, notamment pour les pays avec lesquels les échanges au départ étaient faibles dans une branche donnée, mais non négligeables toutefois; le modèle n'étant pas destiné à expliquer les accroissements considérables qu'on peut constater sur des trafics qui se créent et dans le développement desquels l'effet-prix joue un rôle difficile à estimer et qui n'est sans doute plus prépondérant.

Le modèle retenu finalement est de la forme :

$$c^k = \lambda^k \frac{(\pi^k)^{\alpha^k}}{(\pi^k + \mu^k) \beta^k}$$

c^k = élasticité-prix

$$\pi^k = \frac{V_j^k}{\text{PIB}_j} \quad j : \text{indice de la zone qui échange avec la Grande-Bretagne}$$

V_j^k : montant des échanges (importation ou exportation) en Grande-Bretagne et en zone j.

PIB_j : montant de la PIB de la zone j

λ^k, μ^k constantes

α^k, β^k constantes vérifiant les inégalités suivantes :

$$0 < \alpha^k < \beta^k$$

Trois remarques sont à faire au sujet de cette formulation :

- (i) si $\pi^k = 0$, $c^k = 0$: cela signifie que si un pays n'est pas implanté sur un marché extérieur, une diminution des droits de douane à l'importation n'aura que peu d'influence sur l'évolution des échanges, car il n'y a pas un réseau commercial suffisant en place.
- (ii) si $0 < \pi^k < \pi_0^k$, c^k est une fonction croissante de π^k : cela signifie en relation avec ce qui vient d'être dit que jusqu'à un certain seuil, plus l'implantation d'un pays est forte sur un marché extérieur, plus grande sera la possibilité de se développer sur ce marché, au bénéfice d'une baisse des droits de douane, car le réseau commercial en place sera d'autant mieux constitué.
- (iii) si $\pi_0^k < \pi^k$, c^k est une fonction décroissante de π^k , cela signifie qu'à partir d'un certain seuil d'implantation sur un marché extérieur, il devient de plus en plus difficile de pénétrer davantage sur ce marché car la concurrence devient de plus en plus dure; en effet, lorsqu'on représente 1 % du marché, accroître de 10 % ses ventes, c'est conquérir 0,1 % du marché de la concurrence; si on représente 30 % du marché, parvenir au même accroissement c'est conquérir une part 40 fois plus grande du marché de la concurrence.

Ce phénomène de saturation s'explique aussi par d'autres raisons; les importateurs cherchent à diversifier leurs sources d'approvisionnement en ce qui concerne les produits industriels; les goûts des consommateurs sont divers pour ce qui est des produits de consommation finale; par ailleurs, à l'exportation, les industriels cherchent à diversifier leur clientèle pour ne pas être tributaires de la conjoncture chez un seul client qui représenterait une part trop importante de leurs ventes à l'étranger.

3.33 Test sur série chronologique

On a testé sur la série chronologique 1959-1967 le modèle pour les importations comme pour les exportations et effectué certains ajustements sur les coefficients intervenant dans la formulation des élasticités-prix afin de les adapter à l'explication des phénomènes dans le temps. Ces tests ont permis de conclure que le modèle constituait un outil satisfaisant pour effectuer les projections du commerce extérieur entre la Grande-Bretagne et les pays de la zone du Tunnel, notamment en ce qu'il pouvait évaluer l'incidence de l'adhésion de la Grande-Bretagne au Marché Commun, principal but et principale réussite de ce modèle.

CHAPITRE 4

NOTION DE BONUS - COURBES D'AFFECTATION

4.1 DEFINITION ET UTILITE DES COURBES D'AFFECTATION

4.11 Les facteurs intervenant dans le choix d'un mode de transport

Le choix d'un mode d'acheminement d'une marchandise vers son destinataire ne dépend pas seulement de la différence du coût de transport qui résulte de l'application des tarifs en vigueur et des ristournes qui peuvent être consenties; d'autres facteurs interviennent dans le processus du choix.

- (i) L'utilisation d'un mode de transport prend en compte, outre le coût de transport proprement dit, les frais annexes liés au transport de la marchandise, qui sont :
 - les frais d'emballage de la marchandise,
 - les frais d'assurance qui couvrent divers risques encourus par la marchandise au cours du transport.
- (ii) Toute une série d'autres facteurs qui caractérisent la qualité du service ont une influence très importante sur la décision; ce sont :
 - la durée du transport,
 - la régularité et la fréquence des services,
 - l'arrangement des correspondances dans le cas d'un transport combiné,
 - la sécurité en matière de délais d'acheminement,
 - le taux du risque encouru par la marchandise pendant le transport,
 - le degré de souplesse d'utilisation du mode de transport,
 - les conditions de partage des responsabilités avec le transporteur.

4.12 Notion de courbe d'affectation

La prise en compte de facteurs de choix exogènes aux tarifs de transport proprement dits, conduit à introduire la notion de bonus d'un mode par rapport à un autre, telle qu'elle a été définie dans le rapport de la Phase Préliminaire (Tome 2 - Volume 2.7).

Lorsque l'on cherche à définir le bonus d'un mode par rapport à un autre à un niveau agrégé de marchandises, de relations origine-destination, d'agents procédant au choix entre ces deux modes, ce paramètre devient une variable aléatoire admettant une certaine loi de distribution.

La connaissance de cette loi de distribution permettra d'en déduire la courbe d'affectation entre les deux modes considérés. En effet, considérant une différence de coût $\Delta C = C_{M_1} - C_{M_2} > 0$ entre les modes M_1 et M_2 , le pourcentage du trafic pour lequel le bonus du mode 1, par rapport au mode 2, B_1^2 est supérieur à la différence ΔC . Ce dernier pourcentage se calcule aisément à partir de la fonction cumulative de la loi de distribution du bonus B_1^2 .

4.2 METHODE DE DETERMINATION DES DISTRIBUTIONS DU BONUS

4.21 Description de la méthode générale

La méthode qu'on a retenue a consisté à procéder par enquêtes auprès d'utilisateurs éventuels du tunnel. Elle était destinée à apprécier les avantages procurés par le tunnel par rapport aux autres modes de transport, en se plaçant dans l'hypothèse ou le tunnel pourrait offrir ses services dès 1973, dans la situation actuelle du trafic et avec le contexte de la politique de distribution présente des entreprises qui ont répondu à l'enquête.

Cet aspect du cadre général dans lequel les enquêtes ont été menées présente le risque d'avoir figé le bonus dans une situation sans doute assez différente de la situation future. En revanche, il a permis d'étudier de manière très concrète et approfondie sur le terrain les problèmes du transport des marchandises à travers la Manche et d'estimer l'ordre de grandeur du bonus du tunnel de manière beaucoup plus sûre que par toute autre méthode, en tenant compte des besoins réels des utilisateurs quant à l'amélioration de la qualité du service.

4.22 L'objectif de l'enquête

- (i) Chaque enquête a pour but de fournir un élément de la distribution de la valeur accordée par l'utilisateur aux avantages procurés par le tunnel.

Pour chaque catégorie de modes concurrents (roll on-roll off ou container), on a étudié les avantages du tunnel de manière très détaillée, en distinguant deux familles d'avantages :

- les avantages liés à la qualité du service,
- les avantages liés aux frais annexes d'emballage et d'assurance.

Au cours des interviews réalisées auprès du service de transport des entreprises enquêtées, on a d'abord analysé qualitativement les conditions de transport actuelles, les motivations pouvant conduire à utiliser le tunnel; puis on a cherché à quantifier les avantages du tunnel comparé aux voies et modes d'acheminement concurrents.

Pour chacune de ces catégories, on a cherché à évaluer soit le bonus du tunnel, c'est-à-dire la majoration du coût de transport pour laquelle l'utilisateur est prêt à recourir au tunnel pour ses expéditions dans le cas de la qualité de service, soit l'économie que le tunnel permet de réaliser à partir de laquelle il était ensuite possible de déduire une valeur du bonus correspondante; c'est le cas des frais annexes.

Après cette analyse détaillée, on a essayé de préciser la forme de la courbe d'affectation relative à l'entreprise en étudiant deux points particuliers de cette courbe :

- la valeur du bonus maximum et la part du trafic auquel il pouvait être affecté,
- le taux d'utilisation du tunnel en cas d'égalité des coûts de transport par cette voie ou par la voie concurrente habituellement utilisée.

- (11) On a cherché seulement à déterminer deux courbes d'affectation, l'une entre le tunnel et le roll on - roll off, l'autre entre le tunnel et le wagon-ferry ou la combinaison du container et du transport ferroviaire. En effet, le cargo classique n'est plus guère utilisé que pour certains transports de caractère particulier. Ce sont principalement des affrètements qui concernent des trafics spécifiques qu'il est prévu de traiter, cas par cas, et non pas à un niveau plus agrégé. De plus, l'enquête met en évidence la disparition à peu près totale de l'utilisation du cargo classique à l'horizon 1980 pour les marchandises diverses.

4.23 L'exploitation des enquêtes

- (1) Pour une firme individuelle, l'affectation entre routes concurrentes se fait souvent par tout ou rien. La connaissance du bonus est alors suffisante pour construire la courbe d'affectation élémentaire relative à la firme. Elle prend l'allure d'une courbe décroissante par paliers successifs, si plusieurs bonus ont été avancés par l'entreprise enquêtée selon ses catégories de trafic pour lesquels les avantages du tunnel peuvent être différenciés. Le plus souvent, cette courbe ne comportera que deux paliers :

$$100 \% \text{ si } \Delta C < B_0 \qquad 10 \% \text{ si } \Delta C > B_0$$

- (ii) Lorsque l'on agrège l'ensemble des résultats concernant l'échantillon des firmes enquêtées dans une sous-branche de produit particulière, on obtient une courbe de même allure mais comportant un grand nombre de paliers successifs.
- (iii) La courbe d'affectation relative à la sous-branche est une courbe continue, qu'on détermine comme étant la limite de la précédente, si l'on suppose que le nombre de paliers devient très grand, lorsqu'on prend en considération toutes les entreprises de la sous-branche.

4.3 L'ETUDE DE L'AFFECTION

- (i) A partir des 250 enquêtes effectuées sur le Continent à raison de 100 et en Grande-Bretagne pour le reste, on cherchera à déterminer huit à dix groupes de courbes d'affectation entre :
 - tunnel et roll on - roll off classique (route)
 - et tunnel et container ferroviaire (fer),
 pour un nombre correspondant de catégories de marchandises. On répartira au mieux entre ces dernières le trafic potentiel du tunnel.
- (ii) On utilisera les courbes d'affectation dans le modèle global d'affectation qui sera retenu en commun par les deux Consultants pour tenir compte du bonus du tunnel par rapport aux autres modes concurrents.

CHAPITRE 5

HYPOTHESES DE PROJECTION DES TRAFICS, DES RECETTES ET DES RENTABILITES

La projection des trafics et des recettes en monnaie constante implique la connaissance de l'évolution des populations, des revenus par tête, et donc des productions intérieures brutes. Celle des rentabilités financières suppose en outre, que l'on se donne des hypothèses en matière de taux d'inflation. Enfin diverses hypothèses doivent être faites également en ce qui concerne l'accroissement de certains biens ou services particuliers pour connaître par exemple l'évolution des coûts de transport.

5.1 ACCROISSEMENT DES POPULATIONS ET DES PRODUCTIONS INTERIEURES BRUTES

Le tableau ci-après récapitule les hypothèses que les Administrations françaises et britanniques ont demandé aux Consultants de prendre en compte.

Taux annuel d'accroissement des populations et des productions intérieures brutes			
Pays	Population période 1972-1980 (en %)	Population période 1980-1990 (en %)	Production inté- rieure brute période 1972-1990 (en %)
France	0,7	0,6	5,0
Allemagne	0,5	0,2	5,0
Italie	0,6	0,4	5,0
Pays-Bas	1,0	0,9	4,5
Belgique- Luxembourg	0,5	0,4	4,2
Ensemble de l' "Europe des Six"	0,7	0,4	4,9
Grande-Bretagne	0,5	0,6	3,5
Suisse	0,5	0,3	4,0
Autriche	0,5	0,3	4,3
Espagne	0,9	0,7	6,0
Portugal	0,5	0,3	5,0
Reste de l'Europe de l'Ouest	0,5	0,3	5,0
Reste du Monde	-	-	5,0

Il nous semble que le maintien des taux d'accroissements des productions intérieures brutes ci-dessus sur une période aussi longue est quelque peu optimiste. Ces taux, sont en effet relativement élevés et par ailleurs la tendance supposée de l'accroissement des populations sur la période considérée est généralement à la baisse.

5.2 ACCROISSEMENT DES PRIX

5.21 Prix directement liés à la rentabilité financière du tunnel

Les Administrations françaises et britanniques nous ont demandé de prendre en compte les trois hypothèses suivantes sur la période 1972-1990.

Taux d'accroissement moyen annuel des prix (en %)			
	Hypothèse 1	Hypothèse 2	Hypothèse 3
Prix de détail	4,0	5,0	6,0
Salaires	7,0	8,0	9,0
Coût de construction du tunnel	5,0	6,0	7,0

Ces Administrations estiment toutefois que le taux retenu pour l'accroissement du coût de construction du tunnel est probablement un peu trop élevé et que la probabilité pour qu'il soit légèrement inférieur aux chiffres retenus n'est sans doute pas négligeable. D'autre part, les taux d'accroissement retenus pour les productions intérieures brutes par tête ne sont pas tous parfaitement homogènes avec l'évolution des salaires et des prix. Ceci ne peut être évité si l'on ne différencie pas les accroissements de salaires et de prix par pays.

5.22 Prix de certains biens ou services intervenant dans l'évolution des coûts de transport.

Pour extrapoler les coûts de transport, nous nous sommes placés dans l'hypothèse moyenne d'accroissement des prix de détail et des salaires et avons admis les évolutions suivantes :

(i) Transports routiers

Accroissement du prix du fuel =: + 4 % par an.

Accroissement des licences et des assurances : + 4 % par an.

Accroissement des charges d'amortissements et d'intérêts : +3,5%/an.

(ii) Transports ferroviaires

Accroissement de l'énergie de traction : + 3 % par an.

Accroissement des coûts en matières diverses et matériels peu élaborés : + 3,5 % par an.

Accroissement des charges d'amortissements et d'intérêts du matériel roulant : + 5 % par an.

Gain moyen de productivité pour l'ensemble des réseaux concernés : + 1 % par an.

CHAPITRE 6

BILAN FINANCIER ET ANALYSE DES PLANS DE FINANCEMENT

L'établissement du bilan financier et l'analyse du plan de financement doivent reposer sur un modèle qui utilisera le langage de programmation GAMMA mis au point par SETEC Informatique et qui correspondra aux spécifications dont les grandes lignes ont été établies avec l'accord des comités financiers français et anglais et dont la mise au point définitive devrait intervenir courant janvier.

Les caractéristiques principales du modèle sont exposées dans le présent chapitre.

6.1 HYPOTHESES GENERALES

Le modèle est un modèle comptable qui décrit sous une forme adaptée à l'analyse, les flux monétaires qui concernent les diverses sociétés ou organismes qui financeront ou exploiteront le tunnel. Ces flux monétaires sont naturellement exprimés en francs courants.

6.11 Le modèle s'appliquera à l'ensemble des organismes concernés par la construction et l'exploitation du tunnel et couvrira la période qui s'étend de 1973 jusqu'au terme des 50 premières années d'exploitation. Pour la phase de construction, il tiendra compte des conditions de financement particulières à chacune des sociétés de construction. Pour la phase d'exploitation, il supposera que les conditions sont uniques.

6.12 Hypothèses d'inflation

Le modèle sera programmé de façon à permettre l'étude de deux possibilités :

- taux d'inflation constant et unique pour la période de construction et la période de rémunération ;
- taux d'inflation constant mais différent pour la période de construction et la période de rémunération.

Ces taux représenteront une moyenne entre la situation en Grande Bretagne et la situation sur le continent.

6.13 Le modèle fonctionnera sur la base de taux de change fixes.

6.14 Tarifs

Le modèle permettra aux tarifs d'évoluer :

- comme l'indice général des prix ;
- différemment de l'indice général des prix.

6.15 Régime fiscal

- La TVA est supposée s'appliquer seulement aux installations terminales françaises. Elle sera récupérable selon des conditions qui restent à préciser.
- Le régime d'imposition des bénéficiaires des sociétés sera supposé unique pour l'organisme d'exploitation et les deux sociétés de construction. Le taux d'imposition est de 50 %.
- Les règles d'amortissement fiscal des sociétés de construction sont :
 - . à établir pour la société de construction anglaise ;
 - . à confirmer pour la société française : régime de la concession ou non.

6.2 PLAN DE FINANCEMENT

Le plan de financement de l'ensemble de l'opération résultera de la juxtaposition d'un plan de financement français et d'un plan de financement anglais supposés satisfaire chacun la moitié des besoins (égalité assurée année par année). Chacun des plans de financement portera sur des titres qui peuvent être différents et qui sont précisés :

- pour la société française, par le plan de financement remis à la réunion du 24 novembre 1972 ;
- pour la société britannique, selon le document qui doit être fourni par le comité financier de la BCTC le 15 janvier 1973 au plus tard.

Dans chacun de ces plans, on supposera que la valorisation des actions de la 2ème phase se fait au coefficient 2 et celle de la 1ère phase au coefficient 2,8.

Pour chacun des plans de financement, le montant des fonds propres, qui sera une donnée exogène pour le modèle, devra correspondre sensiblement à 10 % du total des besoins de financement à la charge de chacune des sociétés.

6.3 PERIODE DE REMUNERATION

6.31 Amortissement de la dette

L'amortissement de la dette sera unique pour l'ensemble des emprunts concernés (côté français et côté anglais).

Les prélèvements effectués sur les recettes d'exploitation seront établis, conformément aux dispositions de la convention n° 1, sur les bases suivantes :

- taux d'intérêt constant (y compris les frais de gestion et de refinancement) : la valeur 9 % pour ce taux est à confirmer.
- remboursement du principal
 - Pendant les 5 premières années, différé total de remboursement ;
 - pendant les 5 années suivantes, la part annuelle de remboursement du principal ira croissant ;
 - à partir de la 10ème année, le taux de remboursement du principal sera tel que la dette soit amortie au bout de 25 ans et que l'annuité totale (intérêts et principal) soit constante.

6.32 Définition du taux de référence et calcul de X et Y

Le taux de référence (fixé à 15 % après impôt, soit 28 % avant impôt) sera calculé sur la situation de la première année complète d'exploitation selon une méthode qui consiste à exprimer en francs de l'année 1975 les recettes et dépenses d'exploitation de cette première année ainsi que les dépenses de construction complétées par les intérêts intercalaires.

Le taux de référence sera obtenu par une rémunération qui résultera de l'addition de deux termes :

- une fraction des recettes brutes d'exploitation : terme en X
- une fraction des recettes nettes d'exploitation (recettes brutes moins paiement de la dette obligataire) : terme en Y.

On testera diverses hypothèses pour la formule de rémunération (importance relative des termes X et Y) de façon à pouvoir apprécier l'effet, sur la rémunération des actionnaires, des hypothèses suivantes :

- proportion différente dans la rémunération totale de la part provenant du terme en Y (cette part variera de 10 % à environ 40 %) ;
- définition du taux de rendement sur la base, non pas de la première année d'exploitation mais d'une moyenne des 3 ou 5 premières années.

6.33 Résultats du modèle

Le modèle produira la répartition des recettes d'exploitation entre les charges de l'organisme d'exploitation, les charges de gestion des sociétés de construction, la charge de la dette obligataire, la rémunération des fonds propres, les impôts, l'excédent restant au profit de l'organisme d'exploitation, le cash-flow, année par année.

On calculera, pour la totalité de la période d'exploitation :

- le taux de rentabilité financière interne (en francs constants) ;
- le taux de rentabilité avant impôt des fonds propres, en supposant que la totalité de la rémunération possible leur soit affectée (francs courants) ;
- le taux de rentabilité effectif après impôt des divers fonds propres compte tenu des hypothèses de rémunération (francs courants).

Chacun de ces résultats donnera lieu à une analyse de sensibilité en fonction des principales hypothèses suivantes chaque fois que cela est justifié :

- Développement économique
- Montant de l'investissement
- Evolution des prix
- Composition et caractéristiques des plans de financement.

6.4 PLANNING DES TRAVAUX

La programmation du modèle pourra être entreprise dès qu'aura été achevée l'analyse fonctionnelle du problème et qu'auront été totalement définies les stipulations. Il reste notamment à préciser :

- les règles d'amortissement fiscal qui s'appliqueront aux sociétés de construction ;
- le régime de récupération de la TVA sur les installations terminales françaises ;
- les caractéristiques et le contenu du plan de financement de la part anglaise du coût de construction.

Il faut compter trois mois pour la programmation des tests du modèle, puis quatre semaines pour la production des résultats complets à partir du jour où tous les éléments concernant les coûts de construction et d'exploitation et les recettes d'exploitation sont connus.

Annexe 1

ETUDE DES DEPLACEMENTS DES RESIDENTS DU CONTINENT
SE RENDANT EN GRANDE-BRETAGNE POUR MOTIF PERSONNEL

1 PRESENTATION DU MODELE UTILISE

1.1 Description générale

1.1.1 *Objet de l'étude*

Cette partie de l'étude a porté sur les trafics de passagers continentaux voyageant pour motif personnel vers la Grande-Bretagne. Les pays du Continent pris en compte ont été :

- 1a FRANCE
- 1a BELGIQUE et le LUXEMBOURG
- les PAYS-BAS
- 1'ITALIE
- 1'ESPAGNE
- 1'ALLEMAGNE DE L'OUEST
- 1a SUISSE
- 1'AUTRICHE

Pour affiner les données, nous avons considéré une partition des pays en régions regroupées :

- 17 régions pour la FRANCE
- 4 régions pour la BELGIQUE et le LUXEMBOURG
- 3 régions pour les PAYS-BAS
- 8 régions pour 1'ITALIE
- 7 régions pour 1'ESPAGNE

- 8 régions pour l'ALLEMAGNE
- 1 région pour la SUISSE
- 1 région pour l'AUTRICHE
- 11 régions pour la GRANDE-BRETAGNE.

112 *Modèle de base*

Nous avons recherché à expliquer les trafics par couples origine-destination grâce à un modèle de type gravitaire comportant trois termes explicatifs.

Le modèle de départ est de la forme :

$$T_{ij} = K A_i B_j f(d_{ij})$$

dans lequel :

T_{ij} est le nombre de voyages de la région i à la région j

A_i est le potentiel d'émission de la région origine i

B_j est le potentiel d'attraction de la région de destination j

$f(d_{ij})$ est un indice d'éloignement entre les régions i et j .

Ce modèle a été testé par la méthode des régressions multiples.

.12 Détermination du potentiel d'émission de chaque région continentale

Ce critère peut être estimé par deux variables :

- la population de la région : P_i
- le revenu moyen dans la région : R_i

Dans ce but, nos calculs ont porté en fait sur les nombres de voyages par habitant des diverses régions continentales

$$f_{ij} = \frac{T_{ij}}{P_i}$$

et une de nos variables explicatives a été le revenu R_i . Le paramètre A_i est donc de la forme $A_i = P_i R_i^\alpha$ α étant une élasticité-revenu à déterminer.

13 Prise en compte des coefficients d'attraction des diverses régions britanniques

Pour atténuer les dispersions des nombres de voyages par habitant dues aux différences d'attraction des régions britanniques, nous avons rapporté les trafics par origine-destination au trafic moyen vers la destination considérée. Le potentiel d'attraction B_j a été représenté dans notre modèle par le nombre moyen de voyages par habitant vers la destination j : \bar{f}_j . Les régressions étudiées ont donc été effectuées sur la variable $\frac{f_{ij}}{\bar{f}_j}$.

.14 Prise en compte de l'éloignement

Nous l'avons exprimé par l'intermédiaire d'un coût C_{ij} fonction à la fois du coût réel du voyage et de la valeur du temps du voyageur (cf. § .22)

$$f(d_{ij}) = C_{ij}^{-\gamma}$$

γ étant une élasticité coût à déterminer.

En résumé, le modèle que nous nous sommes proposé de tester était de la

forme
$$\frac{f_{ij}}{\bar{f}_j} = K R_i^\alpha C_{ij}^{-\gamma}$$

2 RECUEIL DES DONNEES

21 Données concernant les revenus

Les relevés de revenus par tête ont été faits dans les annuaires statistiques nationaux les plus récents et dans celui de l'O.S.C.E.

Pour homogénéiser ces données, nous les avons ajustées aux estimations du produit national brut par habitant. La variable "revenu" obtenue est donc le revenu moyen par habitant et par région, exprimée en dollar courant. Les revenus moyens par région ainsi déterminés figurent dans le chapitre consacré à l'étude des revenus et de leur dispersion.

22 Données concernant les coûts

221 Coût par mode

Les coûts de base considérés ont été tirés du programme P.C.D. ("Plus Courtes Distances"). Nous disposons ainsi des coûts par origine-destination pour les trois modes de transport route, air, fer. Ces coûts sont des coûts "simples" qui ne tiennent pas compte des temps de transport.

222 Réduction charter

Pour prendre en compte les coûts plus faibles proposés par les vols charter nous avons effectué une correction sur les coûts du P.C.D. "air".

Pour chaque pays origine nous avons relevé :

- le pourcentage des vols charter ou de voyages organisés en avion par rapport au trafic total air (déterminé par l'enquête préliminaire),
- le pourcentage des prix moyens des vols charter par rapport aux prix en classe économique des vols réguliers (par étude des tarifs proposés),

et calculé le coût moyen avion en pourcentage du prix en classe économique des vols réguliers.

Données relatives aux déplacements par avion vers la Grande-Bretagne à partir des principaux pays du Continent			
	Pourcentage des vols charter	Coût moyen du déplacement charter (en % du prix en classe économique)	Coût moyen avion (en % du prix en classe économique)
FRANCE	27,5	56	88
BELGIQUE	9,7	60	96
PAYS-BAS	18,6	60	93
ITALIE	55,4	51	73
ESPAGNE	47,9	50	76
ALLEMAGNE	33,0	55	85
SUISSE	22,3	59	91
AUTRICHE	24,3	55	89

223 *Pondération par mode*

Pour chaque pays origine, nous avons calculé les pourcentages respectifs des voyages effectués par les trois modes considérés vers la Grande-Bretagne. Ces calculs ont été menés à partir de l'enquête préliminaire 1971.

Pour obtenir un coût représentatif de ces trois modes, nous avons considéré la somme pondérée des coûts respectifs donnant un coût simple moyen :

$$\sum_{m=1}^3 \Pi_{m,k} C_{ij}^m$$

$m = 1,3$ représentant les trois modes

k représentant le pays

$\Pi_{m,k}$ proportion du mode m pour les voyages émis par le pays origine k

Répartition des voyages par mode				
	Route	Air	Fer	Total
FRANCE	29,4 %	20,3 %	50,3 %	100,0 %
BELGIQUE-LUXEMBOURG	27,5 %	8,0 %	64,5 %	100,0 %
PAYS-BAS	26,3 %	12,5 %	61,2 %	100,0 %
ITALIE	19,1 %	56,6 %	24,5 %	100,0 %
ESPAGNE	12,0 %	65,5 %	22,5 %	100,0 %
ALLEMAGNE de l'OUEST	42,6 %	17,0 %	40,4 %	100,0 %
SUISSE	16,7 %	47,0 %	36,3 %	100,0 %
AUTRICHE	14,3 %	38,0 %	47,7 %	100,0 %

224 *Coût du séjour*

Dans l'enquête préliminaire nous disposions des dépenses totales des voyageurs continentaux s'étant rendus en Grande-Bretagne (dépenses de transport et de séjour). Ces données sont résumées ci-après.

Coût et durée moyens de séjour en GRANDE-BRETAGNE selon le pays d'origine sur le Continent		
	Coût total (en livres)	Durée totale (en nombre de nuits)
FRANCE	174	15,3
BELGIQUE-LUXEMBOURG	158	10,8
PAYS-BAS	176	12,5
ITALIE	205	15,6
ESPAGNE	223	19,3
ALLEMAGNE	271	21,2
SUISSE	293	19,4
AUTRICHE	281	23,2

On doit remarquer, en fait, que le coût de séjour d'un voyageur en Grande-Bretagne est relativement indépendant du pays d'origine. Etant donné les contraintes dues à la suite de l'étude, nous avons estimé ce coût pour trois groupes de pays :

- La FRANCE,
- la BELGIQUE, le LUXEMBOURG, l'ITALIE, l'ESPAGNE, la SUISSE et l'AUTRICHE
- l'ALLEMAGNE de l'OUEST.

Pour obtenir ce coût de séjour, nous avons retranché au coût total moyen par personne déduit de l'enquête, le coût de transport moyen aller et retour du voyage (2 fois le coût du P.C.D.).

Coût de séjour selon la zone de résidence sur le Continent par personne en GRANDE-BRETAGNE	
	Coût de séjour par personne
FRANCE	44 ₤
BELGIQUE-LUXEMBOURG, ITALIE, ESPAGNE, SUISSE, AUTRICHE	47 ₤
ALLEMAGNE de l'OUEST	42 ₤

On constate comme nous l'avons dit, que ces coûts sont à peu près constants dans les trois cas considérés.

225 *Durée du voyage et valeur du temps*

Les durées de voyages par origine-destination sont calculées dans les P.C.D. parallèlement aux calculs de coûts pour chaque mode. Pour disposer de temps de transport représentatifs des trois modes considérés, nous avons calculé des temps pondérés avec les mêmes pondérations que celles utilisées pour les coûts (cf. § .223).

La valeur du temps λ prise en compte est celle définie dans la phase préliminaire :

0,49 £ par personne.

Nous avons vérifié que les élasticités déterminées par régression sont peu sensibles aux variations de cette valeur du temps.

Pour obtenir des coûts généralisés prenant en compte les valeurs du temps des voyageurs, nous avons ajouté aux coûts simples par origine-destination c_{ij} un terme proportionnel aux temps de transport, pondéré par l'importance relative du revenu par tête de la région origine considérée. Le coût "généralisé" utilisé est donc en fait de la forme :

$$C_{ij} = c_{ij} + \lambda \cdot \frac{R_i}{\bar{R}} T_{ij}$$

c_{ij} et T_{ij} étant les coûts simples et temps de transport de la région i à la région j .

R_i le revenu par tête de la région émettrice i

\bar{R} le revenu moyen par tête dans l'ensemble des pays pris en compte.

23 *Données concernant les trafics*

Les trafics T_{ij} entre les régions continentales i et les régions britanniques j ont été obtenus par exploitation de l'enquête origine-destination effectuée par la SETEC.

3 METHODE DE CALCUL

31 Situations diverses des pays du Continent

311 *Problème posé par la dispersion du coût des voyages d'une région à l'autre d'un même pays du Continent*

Pour la plupart des pays, nous avons constaté la très faible dispersion des coûts de transport. Cette faible dispersion de la variable explicative coût entraînait, dans certains cas, une grande imprécision dans la détermination des élasticités par rapport à cette variable. En effet, la dispersion des coûts de transport vers chacune des diverses régions britanniques n'intervient pas dans le modèle puisqu'elle est prise en compte implicitement par la plus ou moins grande fréquence moyenne des déplacements vers cette région. L'effet coût ne peut donc être mesuré dans le modèle que nous avons considéré, qu'en étudiant les fréquences des voyages vers la Grande-Bretagne, selon la région d'origine sur le Continent. Il est donc nécessaire de disposer d'un ensemble de régions continentales dont l'éloignement par rapport à la Grande-Bretagne soit suffisant pour que l'on puisse mettre en évidence un effet coût correspondant à cet éloignement.

C'est pourquoi, pour tous les pays excepté la France dont les coûts étaient assez dispersés, nous avons été amenés à poursuivre l'étude du modèle en deux temps :

- nous avons d'abord recherché une élasticité revenu pays par pays. Pour cela nous avons ajusté, par des régressions simples sur les logarithmes, les fréquences relatives de trafic $\frac{f_{ij}}{\bar{f}_j}$ aux revenus par tête des régions origines i ; ainsi, pour chaque pays k nous avons été conduit à une expression de la forme

$$\frac{f_{ij}}{\bar{f}_j} = K R_i^{\alpha_k} \quad \text{pour les régions du pays } k,$$

- ensuite, nous avons recherché une élasticité coût en regroupant les pays et en leur affectant leurs élasticités revenus respectives. Cependant, pour diminuer la disparité des revenus entre les pays du Continent, nous les avons rapportés au revenu moyen dans chacun

des pays pris en compte en considérant en fait le rapport $\frac{R_i}{\bar{R}}$. La deuxième régression effectuée portait donc sur l'expression :

$$\frac{\frac{f_{ij}}{\bar{f}_j}}{\left(\frac{R_i}{\bar{R}}\right)^{\alpha_k}} = K \cdot C_{ij}^{-\gamma}$$

\bar{R} étant le revenu moyen par tête dans la zone formée par l'ensemble des pays considérés.

312 *Les divers groupes de pays qui ont été constitués*

Nous avons été amenés à regrouper pour l'étude de l'élasticité coût, les pays suivants :

BELGIQUE-LUXEMBOURG, PAYS-BAS, ITALIE, ESPAGNE, SUISSE et AUTRICHE.

Nous avons pu faire une étude particulière pour la France qui présentait une bonne disparité des coûts. Cela nous a permis, par régression multiple, de calculer directement une élasticité revenu et une élasticité coût.

Quant à l'Allemagne, nous n'avons pu mettre en valeur une élasticité coût représentative en traitant les résultats de l'enquête et nous avons été amenés à étudier la série chronologique des trafics observés pour en déduire l'élasticité des trafics par rapport au coût du déplacement.

32 Agrégation des "cases vides" de la matrice des trafics

Le modèle étant de forme exponentielle, le problème se pose de savoir ce que l'on fait des points de la régression pour lesquels l'une des variables est nulle. Les écarter du champ des observations prises en compte dans le calcul des élasticités conduit à un biais évident.

Aussi, pour ne pas supprimer du modèle gravitaire les couples origine-destination qui avaient un trafic trop faible pour être décelé par les résultats de l'enquête, (trafics inférieurs à 100 voyages), nous avons regroupé les cases de la matrice des fréquences dans lesquelles les trafics observés étaient nuls, avec des cases proches non "nulles". Cela revient en fait à regrouper des couples origine-destination sur une même destination et à affecter à la nouvelle classe ainsi obtenue les moyennes arithmétiques des variables calculées sur les cases regroupées.

Cette méthode de régression, avec regroupement systématique des observations lorsque la variable expliquée est nulle, a été effectuée sur ordinateur par un programme spécial de régression.

4 ANALYSE DES RESULTATS

41 Cas de la France

411 Formulation du modèle

Ainsi que nous l'avons expliqué plus haut, nous avons effectué pour la France une régression multiple sur l'expression :

$$\frac{f_{ij}}{\bar{f}_j} = K R_i^\alpha C_{ij}^{-\gamma}$$

pour déterminer les élasticités revenu et coût

où

$f_{ij} = \frac{T_{ij}}{P_i}$ est le nombre de voyages par habitant entre la région i et la région j, unité : pour mille

\bar{f}_j la moyenne des fréquences pour une région destination j

R_i le revenu par habitant de la région i
 unité : dollar US/habitant/an

$$C_{ij} = 2 \left(c_{ij} + \lambda \frac{R_i}{R} T_{ij} \right) + CF$$

{ coût total du déplacement par personne

avec :

c_{ij} le coût simple du trajet i, j par personne

T_{ij} le temps du trajet i, j

λ la valeur du temps

CF le coût fixe de séjour par personne,

tous les coûts étant exprimés en livres sterling.

412 Jeu de données utilisé pour l'ajustement

Après regroupement sur les fréquences nulles, l'ajustement du modèle a été réalisé sur 123 observations.

413 Résultats et qualité de l'ajustement

.4131 Résultats

Elasticité revenu $\alpha = 1,93$

Elasticité coût $\gamma = 2,05$

$K = 0,00475$

Soit

$$\frac{f_{ij}}{f_j} = 0,00475 R_i^{1,93} C_{ij}^{-2,05}$$

.4132 Qualité de l'ajustement

- Coefficient de corrélation $R^2 = 0,44$

- Variable de Fisher $F = 14,38$

F doit être comparée à $F_{0,95}(2,120) = 3,07$

la valeur de Fisher calculée est très supérieure au seuil, l'ajustement est donc satisfaisant

- variable de Student $T_\alpha = 4,60$

$T_\gamma = -2,97$

42 Cas du Bénélux, de l'Italie, de l'Espagne, de la Suisse et de l'Autriche

.421 Formulation du modèle

Pour ces pays, nous avons procédé en deux temps :

- détermination de l'élasticité revenu pour chaque pays origine. On obtient ainsi pour chaque pays origine k l'élasticité revenu α_k .

- détermination de l'élasticité coût pour l'ensemble des pays origine, par régression sur l'expression

$$\frac{\frac{f_{ij}}{f_j}}{\left(\frac{R_i}{R}\right)^{\alpha_k}} = K C_{ij}^{-\gamma}$$

où

f_{ij} , \bar{f}_j , R_i , C_{ij} ont les mêmes significations que précédemment (cf. .411)

\bar{R} est le revenu moyen par tête, calculé pour tous les pays origine

α_k l'élasticité revenu du pays auquel appartient la région origine i (élasticité calculée dans la première étape).

422 Jeu de données utilisé pour l'ajustement

.4221 Ajustement par rapport au revenu

42211 BELGIQUE-LUXEMBOURG, PAYS-BAS, ITALIE, ESPAGNE

Pour chacun de ces pays, nous avons effectué une régression $\frac{f_{ij}}{\bar{f}_j} = K R_i^{\alpha_k}$ et déterminé ainsi les élasticités revenu α_k .

Après regroupement sur les fréquences nulles, l'ajustement a été réalisé sur :

41 points pour l'ensemble BELGIQUE-LUXEMBOURG

32 points pour les PAYS-BAS

54 points pour l'ITALIE

37 points pour l'ESPAGNE

42212 SUISSE, AUTRICHE

Pour ces pays, qui n'ont pu être découpés en régions, il a été nécessaire de faire une étude à part pour la détermination de l'élasticité revenu.

Nous aurions pu, grâce aux résultats de l'enquête, définir cette élasticité par étude directe sur les trafics émis dans chaque tranche de revenu. Mais il s'avère que les résultats d'enquête concernant les revenus présentent souvent un certain biais.

On est donc dans un cas où l'on doit utiliser un modèle "à erreurs sur les variables". L'une des techniques adéquates pour estimer les paramètres de ces modèles est celle des variables instrumentales. Une variable instrumentale implicite, souvent utilisée dans ce cas, est le groupement des données.

Pour être licite, le groupement des données doit être fait selon une variable qui répond aux deux critères suivants :

- être en bonne corrélation avec la partie exacte de la variable explicative, à savoir le revenu réel,
- être sans corrélation avec les erreurs sur la variable explicative, c'est-à-dire en fait avec la différence entre le revenu déclaré et le revenu véritable.

Dans ces conditions, les régressions effectuées sur les données groupées permettent d'éviter les biais qu'on aurait en effectuant une régression sur les données brutes.

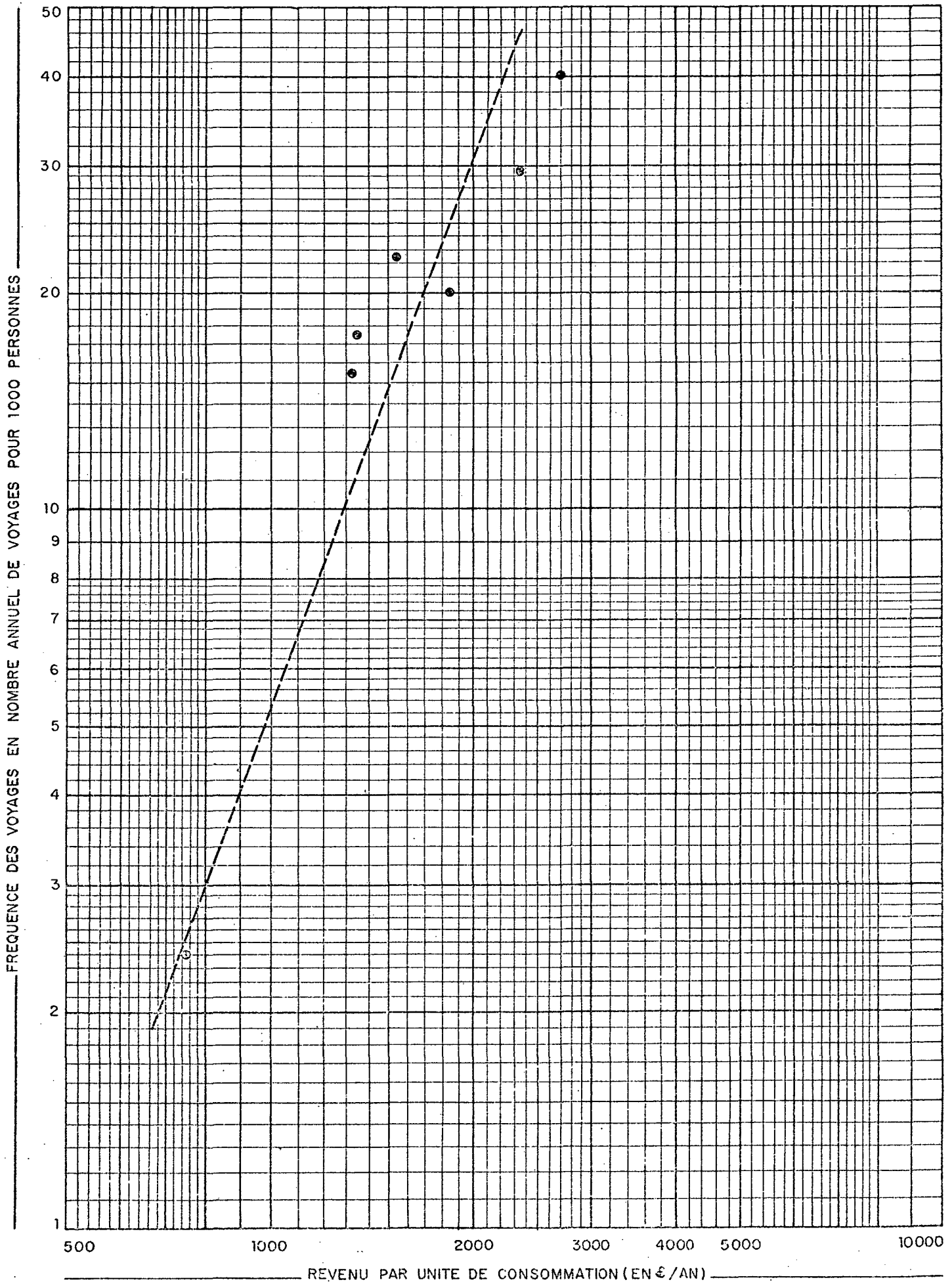
Il reste naturellement à choisir la variable de groupement. La catégorie socio-professionnelle présente généralement les deux qualités que l'on requiert des variables instrumentales et c'est cette variable que nous avons choisie dans le cadre de la présente étude.

Nous avons donc déterminé la décomposition par catégorie socio-professionnelle (C.S.P.) des divers trafics (décomposition fournie par l'enquête) et nous avons ajusté les fréquences de voyages par C.S.P. aux revenus annuels par unité de consommation (se reporter aux tableaux et graphiques ci-joints).

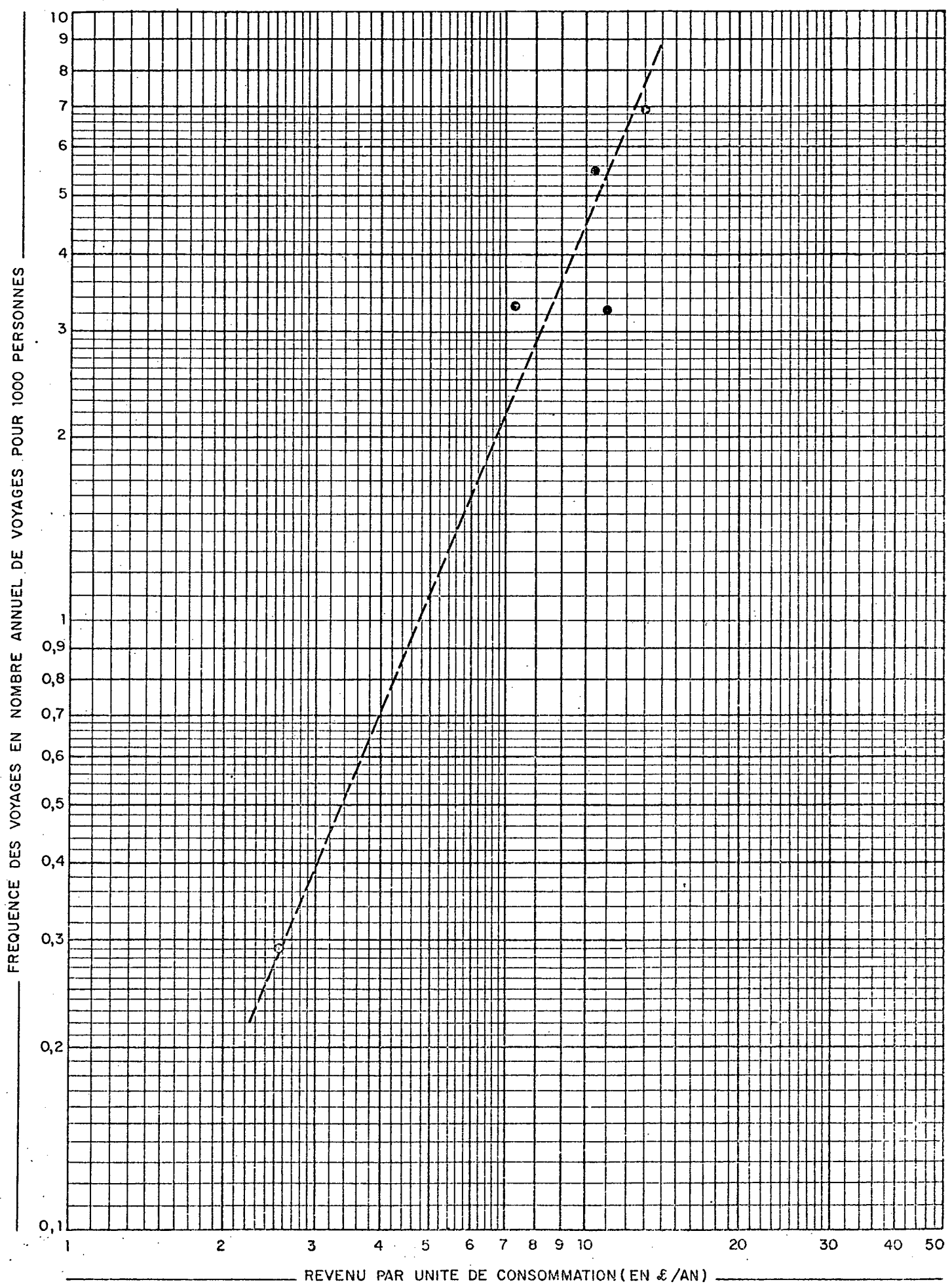
Fréquence et revenu moyens par catégorie socio-professionnelle pour la SUISSE							
	Chefs d'entreprise	Cadres supérieurs	Cadres moyens	Commerçants	Employés	Ouvriers	Autres actifs
Fréquence en nombre de voyages pour 1000 habitants	29,2	21,4	14,6	13,0	16,2	1,7	11,2
Revenu annuel par U.C. en Livres	2 676	2 361	1 853	1 345	1 541	746	1 326

Fréquence et revenu moyens par catégorie socio-professionnelle pour l'AUTRICHE					
	Chefs d'entrep. commerçants artisans	Cadres supér. Cadres moyens	Employés Ouvriers	'Autres actifs	Etudiants ou élèves
Fréquence en nombre de voyages pour 1000 habitants	6,90	3,24	3,31	0,29	5,54
Revenu annuel par U.C. en Livres	1 290	1 100	931	257	1 022

FREQUENCE DES VOYAGES EN FONCTION DU REVENU PAR UNITE DE CONSOMMATION EN SUISSE



FREQUENCE DES VOYAGES EN FONCTION DU REVENU PAR UNITE DE CONSOMMATION EN AUTRICHE



4222 Ajustement par rapport aux coûts

Pour cet ajustement nous avons regroupé les données concernant tous les pays. Après regroupement sur les fréquences nulles, les régressions ont été effectuées sur 186 points.

423 Résultats et qualité de l'ajustement

4231 Elasticités revenus

Les résultats concernant les régressions sur les revenus sont explicités dans le tableau suivant.

Elasticités revenus - Résultats					
	Elasticité revenu	Valeur du T	Coeff. de corrélacion	Valeur de F	Seuil de comparaison pour F
BELGIQUE - LUXEMBOURG	2,58	5,1	0,635	26,41	4,08
PAYS-BAS	3,50	2,8	0,460	8,05	4,17
ITALIE	2,41	6,6	0,676	43,9	4,00
ESPAGNE	3,05	3,3	0,488	10,96	4,12
SUISSE	2,02	5,8	0,933	33,48	6,61
AUTRICHE	1,90	6,8	0,970	47,24	10,13

Comme on peut le constater, ces élasticités sont déterminées avec une très bonne précision.

4232 Elasticité coût

L'élasticité coût trouvée est de $\gamma = 1,09$

Qualité du résultat :

- valeur du T de Student 2,52
- coefficient de corrélation 0,182
- valeur du Fisher 6,34

F doit être comparé à $F_{0,95} (1,184) = 3,85$

43 Cas de l'ALLEMAGNE de l'OUEST

431 Formulation du modèle

Pour ce pays origine, nous avons été amenés à opérer en deux étapes :

- Première étape : détermination de l'élasticité revenu par étude des trafics par catégorie socio-professionnelle,
- Deuxième étape : détermination de l'élasticité-coût.

432 Jeu de données utilisé pour l'ajustement

4321 Ajustement par rapport au revenu

Nous avons considéré la répartition des trafics par catégorie socio-professionnelle obtenue dans l'enquête préliminaire et avons ajusté les fréquences de voyage par C.S.P. aux revenus annuels par unité de consommation, (se reporter au tableau et graphiques ci-joints).

Fréquence et revenu moyens par catégorie socio-professionnelle pour l'ALLEMAGNE						
	chefs d'entreprises	cadres supérieurs	cadres moyens	commerçants	employés	ouvriers et autres actifs
Fréquence en voyages pour 1000 habitants	15,6	10,9	10,6	4,1	7,2	2,22
Revenu annuel par U.C. en Livres	2 137	1 843	1 691	1 130	1 442	877

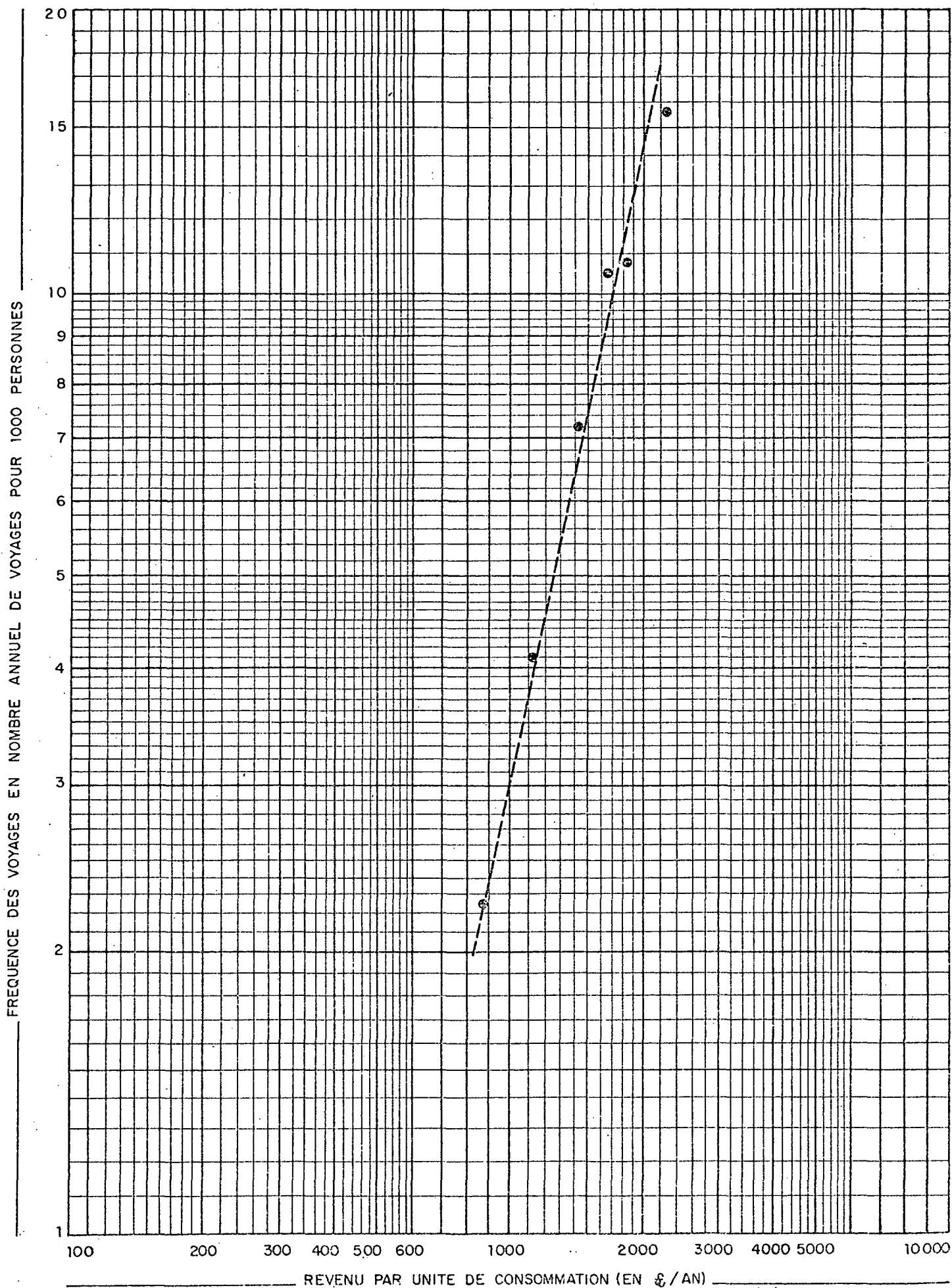
4322 Ajustement par rapport au coût

Nous nous sommes efforcés d'ajuster, par rapport aux coûts, les trafics résultant de l'enquête préliminaire. Nous avons constaté que la faible dispersion des coûts pour les régions allemandes ne pouvait pas conduire à une régression représentative, bien que les coûts soient corrélés aux trafics (coefficient de corrélation de -0,175).

Nous avons donc été amenés à déterminer l'élasticité coût par étude des séries chronologiques de 1964 à 1971, sur les trafics observés et la variable explicative coût. Nous avons effectué en fait une régression sur les données chronologiques concernant les variables $\frac{T_{ij}}{P_i R_i^\alpha}$ d'une part, et les coûts C_{ij} d'autre part.

Des informations plus détaillées sur la nature des données utilisées figurant au paragraphe 5 où sont décrits l'ensemble des ajustements sur les séries chronologiques.

FREQUENCE DES VOYAGES EN FONCTION DU REVENU PAR UNITE DE CONSOMMATION EN ALLEMAGNE



ALLEMAGNE - Séries temporelles								
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
Voyages pour motif personnel (en milliers)	251	268	308	309	361	443	530	534
Populations (milliers)	56 097	56 839	57 485	57 699	58 015	58 707	59 554	61 284
Revenu moyen (en indice)	105,4	109,8	111,8	111,1	118,5	126,4	131,4	133,9
Coût moyen (en indice)	100	102,0	100,8	96	91,2	86,6	86,9	87,3

433 Résultats et qualité de l'ajustement

4331 Ajustement par rapport aux revenus

Elasticité revenu	$\alpha = 2,18$
Valeur de Student	$T = 2,35$
Coefficient de corrélation	$R^2 = 0,996$
Valeur de Fisher	$F = 554$
(à comparer avec $F_{0,95}(1,4)$)	$= 7,71$

l'ajustement par rapport au revenu est donc très satisfaisant.

4332 Ajustement sur la série chronologique

Elasticité coût	$\gamma = 0,95$
Valeur du T de Student	$T = 4,14$
Coefficient de corrélation	$R^2 = 0,86$
Valeur de Fisher	$F = 17,17$
(à comparer avec $F_{0,95}(1,6)$)	$= 5,99$

5 AJUSTEMENT DU MODELE SUR LA SERIE CHRONOLOGIQUE DISPONIBLE

51 Présentation de la série chronologique

Une estimation particulière des trafics pour motif personnel des résidents de chaque pays du Continent a été réalisée spécialement par le "Board of Trade" pour la SETEC dans le cadre de la présente étude. Bien que ces données constituent sans aucun doute la source statistique la plus sûre concernant l'évolution des trafics trans-Manche au cours des dernières années, le "Board of Trade" a attiré notre attention sur le fait, qu'à ce niveau de détail, certaines estimations peuvent être entachées d'une erreur aléatoire importante. Il importe de conserver présente à l'esprit cette relative imperfection des données statistiques de base lorsqu'on juge de l'adéquation du modèle à l'évolution temporelle des trafics.

On observera, en particulier, que les trafics ont peu augmenté ou ont même parfois diminué de 1970 à 1971 ce qui corrobore bien la liaison entre le volume du trafic et les revenus par tête, que nous avons mise en évidence précédemment. L'année 1971 a en effet été marquée par une stagnation économique assez générale.

Les données concernant les trafics observés ont été tirés de l'enquête aux frontières appelée "International Passenger Survey" (I.P.S.). Notre étude a porté sur les années 1964 à 1971.

Nous avons estimé les trafics de voyageurs se déplaçant pour motif personnel, en soustrayant du trafic total par pays-origine du Continent, le trafic de voyageurs déclaré "business" dans l'enquête I.P.S. pour ce même pays. Cette définition n'est pas parfaitement correcte dans la mesure où le poste motifs divers, comporte aussi certains trafics professionnels, mais nous n'avions pas la possibilité d'effectuer une étude plus détaillée.

La série des trafics observés pour les pays de notre étude est indiquée dans le tableau suivant.

Unité: milliers de voyages

Voyages pour motif personnel entre certains pays de l'Europe de l'Ouest et la Grande-Bretagne								
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
FRANCE	262	281	300	332	359	442	512	575
BELGIQUE-LUXEMBOURG	88	108	99	132	164	196	243	214
PAYS-BAS	95	120	124	150	160	246	291	294
ITALIE	71	63	83	98	111	136	172	152
ESPAGNE	22	26	31	30	41	52	71	67
ALLEMAGNE	251	268	308	309	361	443	530	534
SUISSE	58	60	67	77	87	106	131	125
AUTRICHE	22	25	21	23	24	28	41	40

52 Recueil de la série des variables explicatives

521 Populations

Les séries chronologiques concernant les populations ont été tirées de statistiques mondiales publiées par les Nations-Unies.

Unité: milliers d'habitants

Séries chronologiques des populations de certains pays de l'Europe de l'Ouest								
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
FRANCE	48 310	48 758	49 164	49 548	49 914	50 320	50 775	51 280
BELGIQUE-LUXEMBOURG	9 706	9 796	9 862	9 916	9 955	9 983	10 015	10 070
PAYS-BAS	12 127	12 292	12 455	12 597	12 725	12 873	13 019	13 190
ITALIE	51 119	51 576	51 973	52 354	52 750	53 170	53 670	54 803
ESPAGNE	31 339	31 604	31 967	32 291	32 621	32 949	33 290	33 900
ALLEMAGNE	56 097	56 839	57 485	57 699	58 015	58 707	59 554	61 284
SUISSE	5 874	5 945	5 999	6 071	6 147	6 224	6 280	6 324
AUTRICHE	7 215	7 255	7 290	7 323	7 349	7 373	7 420	7 457

522 Indice des coûts de transports

Cet indice a été déterminé par l'intermédiaire des indices de prix et des indices de taux de change pour les divers pays considérés. Le problème est en effet de déterminer la façon dont les prix relatifs des déplacements personnels en Grande-Bretagne d'une part, et dans le pays d'origine d'autre part, ont évolué au cours de la période considérée. Ceci fait donc intervenir:

- la croissance des prix dans les deux pays concernés,
- la variation du pouvoir d'achat de la monnaie du pays i quand on l'exprime en Livres sterling.

Le calcul de l'indice a porté sur l'expression :

$$I = \frac{I_{\text{prix}}^{\text{GB}}}{I_{\text{prix}}^i} \times \frac{I_{\text{change}}^i}{I_{\text{change}}^{\text{GB}}}$$

I_{prix} indice de prix

I_{change} indice des taux de change

i étant le symbole du pays considéré

Dans ce calcul nous avons atténué l'effet de la dévaluation anglaise de 1967 sur les indices de coûts de tous les pays en adoptant pour indices de cette année, les moyennes des indices des années 1966 et 1968. De même, nous avons atténué les effets de la dévaluation française de 1969 sur les coûts français en prenant pour cette année l'indice calculé sur la moyenne des années 1968 et 1970. Ceci se justifie par le fait que l'effet d'une dévaluation ne se répercute pas intégralement sur les décisions de voyage des individus au moment où cette dévaluation a lieu. En effet, certaines décisions prises à l'avance, ne peuvent être rapportées sans préjudice pour la personne concernée.

Les indices des coûts de voyage calculés comme il a été indiqué précédemment sont récapitulés ci-dessous.

Indice des coûts de transport (base 100 en 1964)								
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
FRANCE	100	102,3	103,9	96,6	89,3	94,5	99,6	106,7
BELGIQUE-LUXEMBOURG	100	101,4	100,8	94,8	88,7	89,1	90,8	94,1
PAYS-BAS	100	101	99,1	92	84,8	84	84,6	84,5
ITALIE	100	100,5	101,9	95,6	89,3	92,3	92,8	98,8
ESPAGNE	100	93,1	90,2	87,6	86,9	90,3	90,2	91,9
ALLEMAGNE	100	102,0	100,8	96	91,2	86,6	86,9	87,3
SUISSE	100	101,4	100,3	93,5	86,7	89,7	91,9	91,1
AUTRICHE	100	100,5	102,1	95	87,8	89,7	91,3	94

523 *Indice des revenus*

Nous avons estimé cet indice par le rapport du produit national brut aux prix des marchés sur la population et avons pris comme année de base 1963. Les estimations retenues sont réunies dans le tableau suivant.

Indice du revenu en valeur constante pour différents pays de l'Europe de l'Ouest (PNB aux prix des marchés/population) Base 100 en 1963								
	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
FRANCE	105,5	109,4	114,7	119,4	124	132,4	139,1	144,8
BELGIQUE-LUXEMBOURG	105,8	108,9	111,3	115,1	118,7	126,4	133,6	137,3
PAYS-BAS	107,5	111,8	113,1	118,4	124,9	130,5	136,2	139,9
ITALIE	101,9	104,7	110	116,7	123,2	129,4	134,8	134,8
ESPAGNE	105	111,4	119,2	122,9	128,5	136,8	144,5	149,4
ALLEMAGNE	105,4	109,8	111,8	111,1	118,5	126,4	131,4	133,9
SUISSE	103,2	106,4	108,5	109,1	112,3	117,5	121,6	125,2
AUTRICHE	105,6	108,5	113,4	116,0	120,8	127,8	136,0	140,0

53 Comparaison de la série reconstituée par le modèle à la série observée.

531 Obtention de la série calculée

Nous avons calculé en premier lieu la série des indices de nombres de voyages par habitant (base 100 en 1964). Connaissant les élasticités coût et revenu, élasticités calculées par le modèle, les indices calculés pour chaque pays sont donnés par l'expression :

$$I_t = \frac{P_t}{P_{1964}} \times \left(\frac{R_t}{R_{1964}} \right)^\alpha \times \left(\frac{C_t}{C_{1964}} \right)^{-\gamma}$$

t étant l'année courante

P_t étant la population de l'année t

R_t étant l'indice du revenu moyen à l'année t

C_t étant l'indice du coût moyen du transport

Elasticités prises en compte pour l'obtention de la série calculée		
	Elasticité revenu	Elasticité coût
FRANCE	1,93	2,05
BELGIQUE-LUXEMBOURG	2,58	1,09
PAYS-BAS	3,50	1,09
ITALIE	2,41	1,09
ESPAGNE	3,05	1,09
ALLEMAGNE DE L'OUEST	2,18	0,95
SUISSE	2,02	1,09
AUTRICHE	1,90	1,09

Puis nous sommes passés au calcul de la série des trafics proprement dits.

531 Comparaison des deux séries

Les résultats obtenus sont regroupés dans les deux tableaux ci-après.

Dans l'ensemble, les résultats sont assez satisfaisants, sauf pour la SUISSE où l'écart entre les trafics observés et les trafics projetés atteint 25 %. Pour la FRANCE, l'ajustement est assez satisfaisant jusqu'en 1970, mais il l'est moins pour l'année 1971. Le trafic à destination de la GRANDE-BRETAGNE a en effet continué à croître régulièrement, alors que pour tous les autres pays on a noté une diminution assez sensible.

En règle générale les trafics apparaissent légèrement sousestimés par les modèles, mais compte-tenu du fait que les élasticités par rapport au revenu sont déjà très élevées, il ne nous paraît pas opportun d'ajouter aux formules déduites des coupes instantanées un terme correctif.

INDICES DU NOMBRE DE VOYAGES POUR MOTIF PERSONNEL

Pays	Indices	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
FRANCE	observé	100.00	106.26	112.51	123.55	132.61	161.96	185.93	206.75
	calculé	100.00	101.43	106.75	132.90	166.72	167.11	163.56	151.97
	différence	0.00	4.83	5.75	- 9.35	-34.10	- 5.15	22.36	54.78
BELGIQUE-LUXEMBOURG	observé	100.00	121.59	110.72	146.82	181.70	216.54	267.61	234.39
	calculé	100.00	105.14	111.19	128.93	149.51	174.48	196.55	201.75
	différence	0.00	16.45	- 0.47	17.88	32.19	42.06	71.06	32.64
PAYS-BAS	observé	100.00	124.62	127.08	152.00	160.50	243.94	285.32	284.53
	calculé	100.00	111.95	117.45	147.82	192.83	224.55	255.87	277.75
	différence	0.00	12.66	9.63	4.17	-32.32	19.38	29.45	6.77
ITALIE	observé	100.00	87.94	114.98	134.77	151.50	184.16	230.73	197.06
	calculé	100.00	105.23	115.86	142.19	173.22	186.59	202.80	185.50
	différence	0.00	-17.28	- 0.88	- 7.41	-21.71	- 2.43	27.93	11.56
ESPAGNE	observé	100.00	117.19	138.14	132.34	179.03	224.81	303.81	281.53
	calculé	100.00	128.39	161.51	181.20	207.29	238.22	278.97	197.17
	différence	0.00	-11.20	-23.37	-48.86	-28.25	-13.40	24.83	-15.63
ALLEMAGNE DE L'OUEST	observé	100.00	105.37	119.74	119.68	139.06	168.64	198.89	194.74
	calculé	100.00	105.88	110.13	113.36	136.24	162.78	174.06	175.47
	différence	0.00	- 0.50	9.61	6.32	2.82	5.85	24.83	19.26
SUISSE	observé	100.00	102.21	113.11	128.45	143.33	172.48	211.26	200.18
	calculé	100.00	103.51	107.98	116.48	132.42	138.09	142.85	151.91
	différence	0.00	- 1.29	5.12	11.96	10.91	34.39	68.40	48.26
AUTRICHE	observé	100.00	113.00	94.47	103.00	107.10	124.54	181.21	175.91
	calculé	100.00	104.13	110.78	124.54	146.07	158.30	173.65	176.86
	différence	0.00	8.87	-16.31	-21.54	-38.96	-33.75	7.56	- 0.94

NOMBRES DE VOYAGES POUR MOTIF PERSONNEL

(en milliers)

Pays		1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970	1971
FRANCE	observé	262	281	300	332	359	442	512	575
	calculé	262	268	284	357	451	456	450	422
	différence	0.	12	15	-25	-92	-14	61	152
BELGIQUE-LUXEMBOURG	observé	88	108	99	132	164	196	243	214
	calculé	87	93	99	115	134	157	178	184
	différence	0	14	-0	16	29	38	64	29
PAYS-BAS	observé	95	120	124	150	160	246	291	294
	calculé	95	107	114	145	192	226	260	286
	différence	0	12	9	4	-32	19	30	7
ITALIE	observé	71	63	83	98	111	136	172	150
	calculé	71	75	83	103	126	137	151	141
	différence	0	-12	-0	-5	-15	-1	20	8
ESPAGNE	observé	22	26	31	30	41	52	71	67
	calculé	22	28	36	41	47	55	65	70
	différence	0	-2	-5	-11	-6	-3	5	-3
ALLEMAGNE de l'OUEST	observé	251	268	308	309	361	443	530	534
	calculé	250	269	283	292	353	427	463	481
	différence	0	-1	24	16	7	15	66	52
SUISSE	observé	58	60	67	77	87	106	131	125
	calculé	57	60	63	69	80	84	88	94
	différence	0	-0	3	7	6	21	42	30
AUTRICHE	observé	22	25	21	23	24	28	41	40
	calculé	22	23	24	27	32	35	39	40
	différence	0	1	-3	-4	-8	-7	1	-0

Annexe 2

PREVISION DES TRAFICS GLOBAUX POUR MOTIF PROFESSIONNEL

1 PREVISION DU NOMBRE DE VOYAGES POUR MOTIF PROFESSIONNEL PAR UN MODELE DU TYPE GRAVITAIRE

1.1 Position du problème

Pour prévoir les trafics globaux, nous avons repris et développé la méthodologie utilisée dans les études de la phase préliminaire. Postulant que le trafic global pouvait être approché d'une manière satisfaisante par un modèle gravitaire, nous avons déterminé les élasticités du trafic, par rapport aux différentes variables explicatives par une analyse de l'importance des déplacements professionnels entre chaque couple origine-destination, fondée sur la technique des régressions multiples.

1.2 Les différents modèles testés

Nous avons retenu comme variables explicatives a priori possibles, le commerce extérieur, le revenu moyen par habitant de la région émettrice du trafic et le coût du voyage par couple origine-destination. Trois modèles ont plus particulièrement retenu notre attention :

$$\text{Modèle 1 : } V_{ij} = K R_i^\alpha C_{ij}^\beta d_{ij}^\gamma$$

$$\text{Modèle 2 : } V_{ij} = K R_i^\alpha C_{ij}^\beta$$

$$\text{Modèle 3 : } V_{ij} = K C_{ij}^\beta d_{ij}^\gamma$$

sachant que :

- (i) V_{ij} représente le nombre de voyages pour motif professionnel entre la région émettrice i et la région réceptrice j

- (ii) R_i le revenu de la région émettrice,
- (iii) C_{ij} le commerce extérieur entre la région émettrice i et la région réceptrice j . On totalise les importations et les exportations,
- (iv) d_{ij} le coût du voyage avion entre la région i et la région j .

13 Remarques concernant les divers modèles

- (i) Nous ne disposons pas de données de commerce extérieur ventilées par zone d'origine ou de destination en Grande-Bretagne. Les données utilisées concernaient les importations ou les exportations du Continent en provenance ou vers l'ensemble de la Grande-Bretagne. La Grande-Bretagne a donc toujours dû être considérée dans son ensemble et cette contrainte a imposé le découpage géographique dans lequel les couples origine-destination ont été constitués.
- (ii) Après avoir envisagé d'introduire les populations, nous y avons renoncé. En effet, l'effet "taille" de chaque pays ou de chaque région est déjà pris en compte par la variable C_{ij} caractérisant le volume des échanges et il ne nous a pas paru nécessaire de faire intervenir explicitement les populations.
- (iii) Les formulations faisant intervenir le commerce extérieur présentent divers avantages importants :
 - La corrélation entre le trafic professionnel et le commerce extérieur est très élevée comme on le verra ci-dessous. On dispose donc d'une bonne variable explicative ce qui corrobore les idées que l'on peut avoir a priori sur la dépendance du trafic professionnel par rapport au commerce.
 - Disposant d'un modèle de prévision du commerce extérieur, on est en mesure d'estimer dans des conditions satisfaisantes l'évolution de cette variable explicative.
 - L'introduction du commerce extérieur comme variable explicative permet de prendre en compte "ipso facto" l'engendrement du trafic entre la Grande-Bretagne et le Continent qui résultera de la suppression des barrières douanières et de l'entrée de la Grande-Bretagne dans le Marché Commun. En effet, le modèle de prévision du commerce extérieur britannique a été spécialement conçu pour étudier l'incidence de ces modifications tarifaires sur le niveau des échanges. Les modèles mis au point permettront donc d'obtenir une estimation du trafic professionnel engendré par l'élargissement de la Communauté Européenne mieux fondée que celle qui avait été fournie au cours des études préliminaires.

14 Pour chaque modèle considéré, les élasticités du trafic par rapport aux différentes variables explicatives ont été déterminées par une régression sur les différentes observations provenant d'une coupe géographique. Le travail a donc comporté les diverses étapes suivantes :

- (i) Recueil des données nécessaires pour chaque couple origine-destination considéré,
- (ii) Pour chaque modèle, régressions sur certains sous-ensembles de couples origine-destination pour mettre en évidence des différences dans les coefficients selon les zones géographiques considérées.
- (iii) Interprétation des différences avec les modèles ainsi définis et le trafic réellement constaté.
- (iv) Prévision des trafics sur dix et vingt ans grâce au modèle retenu et ceci pour différentes valeurs déterminées a priori des variables explicatives de façon à mettre en évidence l'évolution probable du trafic à divers horizons et dans diverses hypothèses de croissance.

2 RECUEIL DES DONNEES

21 Découpage géographique

C'est en principe le découpage en régions programmées telles qu'elles sont définies dans les divers pays concernés par l'étude. En effet, ce découpage permet de recueillir plus facilement et plus exactement les différentes données dont nous avons besoin pour le calibrage de nos modèles.

Nous avons donc retenu :

- 20 régions pour la France
(L'Auvergne et le Limousin ont été regroupés en une seule région).
Ce sont les régions programmées.
- 10 régions pour l'Allemagne
Ce sont les 10 "Länder" de l'Allemagne fédérale, BERLIN-Ouest a été exclus de l'étude étant donné son caractère particulier.
- 1 région pour chacun des pays suivants : Pays-Bas, Belgique, Luxembourg, Suisse, Autriche, Italie, Espagne. En effet, ces pays ne possédant pas de statistiques régionales pour le commerce extérieur, il aurait été inutile de pousser le découpage d'une manière plus détaillée.

22 Estimation des trafics

Nous avons utilisé les résultats de l'enquête origine-destination effectuée par la SETEC et ajustée sur les données de trafic relatives à l'année 1971.

Les données utilisées se réfèrent aux résidents des divers pays du Continent vers la Grande-Bretagne et permettent de connaître le trafic selon l'origine et la destination du voyage selon une nomenclature détaillée.

23 Données relatives au commerce extérieur

L'enquête étant ajustée sur les trafics de l'année 1971, il eût été souhaitable de disposer des données de commerce extérieur pour cette même année. Toutefois, on a de bonnes raisons de penser que la structure régionale du commerce extérieur d'un pays varie peu d'une année sur l'autre. Dans ces conditions, une analyse sur une coupe instantanée peut être entreprise sur des variables explicatives ou expliquées dont la ventilation régionale ne se réfère pas à la même année de base.

231 *Données relatives au commerce extérieur français*

Nous avons utilisé pour répartir le commerce extérieur 1970 donné par les annuaires, le relevé des déclarations faites aux Douanes des importations et exportations des différentes régions françaises à destination de la Grande-Bretagne.

232 *Données relatives au commerce extérieur allemand*

Les renseignements nous ont été fournis directement par les Chambres de Commerce des différents "Länder" allemands. Nous avons pu obtenir les données de l'année 1970 sauf pour le pays de Brême où nous avons pondéré les résultats de 1969 par un coefficient moyen d'augmentation.

233 *Données relatives au commerce extérieur des autres pays*

Elles sont toutes issues de l'annuaire 1970 de l'O.C.D.E., les importations étant comptabilisées selon le schéma CIF et les exportations selon le FOB.

24 Données relatives au revenu par habitant

C'est en principe le produit national brut au coût du marché divisé par le nombre d'habitants qui a été retenu comme dans les études antérieures. Nous avons utilisé les chiffres de l'étude de la phase préliminaire, relatifs à l'année 1968, estimant qu'en trois ans la structure des revenus ne pouvait pas s'être modifiée d'une manière significative. L'augmentation globale de tous les revenus de 1968 à 1971 se retrouve donc dans la constante du modèle gravitaire.

25 Données relatives au coût du voyage

C'est le coût du voyage avion en classe touriste, sans réduction, que nous avons retenu. En effet, plus des trois quarts des personnes qui voyagent pour motif professionnel prennent la voie aérienne, la grande majorité de celles-ci voyageant sur les lignes régulières. Le trajet choisi est celui entre la ville principale de la région considérée et Londres. Lorsqu'il existe une liaison directe avec Londres et qu'elle comporte au moins un aller et retour par jour ouvrable, celle-ci a été retenue. Les tarifs sont ceux de Mai 1971. Le prix considéré est celui du voyage aller en classe touriste, plein tarif (classe Y).

26 Données relatives aux taux de change

Lorsqu'une donnée monétaire est exprimée dans une autre monnaie que le dollar U.S., elle a été convertie en dollars sur la base du taux de change de l'année considérée. Les taux appliqués sont ceux donnés par l'annuaire statistique de l'O.N.U.

3 ANALYSE DES RESULTATS

31 Les jeux d'essais

Nous avons testé le modèle avec différents jeux d'essais. En effet, il nous a paru intéressant d'observer dans quelle mesure les coefficients pouvaient différer selon les pays ou groupes de pays retenus pour effectuer l'analyse. L'Allemagne et la France ont été le cadre de tests particuliers et nous verrons que les élasticités propres sont quelque peu différentes. Pour les autres pays, ne disposant pas de statistiques régionales, nous n'avons pu effectuer d'études propres mais nous les avons regroupés sous le terme d' "Europe de l'Ouest".

D'autre part, nous avons été amenés à éliminer certains "points aberrants" lors de la calibration de nos modèles. Ce fut le cas des régions françaises qui possédaient un faible volume de voyages pour motif professionnel et aussi celui de deux régions d'Allemagne pour lesquelles les estimations de trafic déduites de l'enquête étaient vraisemblablement erronées.

Nous avons donc retenu trois jeux d'essais. Ces jeux d'essais sont décrits ci-après.

311 *Jeu d'essai : "France"*

Nous avons éliminé six régions françaises qui présentaient un nombre de voyages trop faible pour être prises en compte (un test incluant ces régions montre une erreur systématique).

L'Auvergne a été regroupée avec le Limousin comme cela était déjà fait dans le découpage le plus détaillé, retenu pour l'exploitation de l'enquête origine-destination effectuée par la SETEC. Il nous est donc resté les 14 régions françaises suivantes :

Nord	Picardie	Région Parisienne	Centre
Haute Normandie	Basse Normandie	Bretagne	Aquitaine
Midi - Pyrénées	Lorraine	Alsace	Rhône - Alpes
Languedoc	Provence		

312 *Jeu d'essai : "Allemagne"*

Les huit régions qui ont servi de cadre aux études effectuées pour l'Allemagne sont indiquées ci-dessous :

Schleswig-Holstein	Hamburg	Brême
Basse-Saxe	Westphalie	Hesse
Sarre	Bade-Würtemberg	

313 *Jeu d'essai : "Europe"*

Outre les quatorze régions françaises et les huit régions allemandes, nous regroupons dans cet ensemble les pays suivants :

Luxembourg	Belgique	Pays-Bas
Suisse	Autriche	

32 Les résultats obtenus

321 *Le modèle : "revenu - commerce - distance"*

Son expression mathématique est :

$$V_{ij} = K R_i^\alpha C_{ij}^\beta d_{ij}^\gamma$$

.3211 Résultats

Nous donnons ici sous forme de tableau les valeurs des différents paramètres du modèle selon le jeu d'essai utilisé.

	K	α	β	γ
France	$e^{-16.7}$	1.459	0.795	0.349
Allemagne	$e^{-6.93}$	0.821	1.116	- 1.767
Europe	$e^{-12.3}$	0.956	0.910	- 0.104

3212 Qualités de l'ajustement

On trouvera ci-dessous :

- (i) le coefficient de corrélation R^2
- (ii) la variable de Fisher F
- (iii) les variables de Student T_i

	R^2	F	T_α	T_β	T_γ
France	0.918	17.79	1.35	3.09	0.75
Allemagne	0.955	13.87	1.01	6.14	- 1.39
Europe	0.946	65.74	2.12	12.94	-0.34

Les valeurs correspondantes de F sont :

- pour la France : $F_{0.95}^{++} (3, 13) = 3,41$
- pour l'Allemagne : $F_{0.95}^{++} (3, 7) = 4,35$
- pour l'Europe : $F_{0.95}^{++} (3, 26) = 2,98$

On note que les élasticités par rapport à la distance sont mal déterminées, en particulier pour l'Europe, alors que les autres élasticités sont connues avec une précision satisfaisante.

322 Le modèle : "commerce - distance"

Son expression est : $V_{ij} = K C_{ij}^\beta d_{ij}^\gamma$

3221 Résultats

	K	β	γ
France	$e^{-9.39}$	1.07	0.57
Allemagne	$e^{-2.10}$	1.13	1.44
Europe	$e^{-5.13}$	0.94	- 0.149

3222 Qualités de l'ajustement

	R ²	F	T _β	T _γ
France	0.902	23.99	6.74	1.27
Allemagne	0.943	20.22	6.23	1.17
Europe	0.935	83.99	12.89	-0.46

Les valeurs F à considérer sont les mêmes que pour le modèle précédent. On note que si l'élasticité par rapport au commerce est bien déterminée, celle par rapport à la distance l'est d'une manière beaucoup moins précise. La faible valeur de γ pour l'Europe en fait une variable peu explicative.

323 Le modèle : "revenu - comerce"

Son expression est :

$$v_{ij}^t = K R_i^\alpha C_{ij}^\beta$$

3231 Résultats

	K	α	β
France	e ^{-16.48}	1.75	0.70
Allemagne	e ^{-10.89}	0.53	1.03
Europe	e ^{-12.81}	0.967	0.911

3232 Qualités de l'ajustement

	R ²	F	T _α	T _β
France	0.913	27.47	1.76	3.21
Allemagne	0.933	16.70	0.62	5.53
Europe	0.946	102.32	2.20	13.21

Les résultats de ce modèle peuvent être jugés très satisfaisants pour l'Europe. Il ne faut pas trop s'étonner des différences obtenues sur α et β pour les différents jeux d'essais, c'est en réalité le couple (α, β) qu'il faut considérer. On notera pour l'Europe la très bonne précision sur la valeur de β. La valeur de F est également très élevée et l'on doit donc considérer que le modèle calibré sur l'ensemble des pays européens est dans l'ensemble bien adapté à l'étude des déplacements pour motif professionnel.

33 Le modèle retenu

Il nous est apparu au cours des essais que la distance ne peut être retenue comme une variable explicative satisfaisante. En effet, son élasticité est faible, mal déterminée, tantôt positive, tantôt négative, en dépit de variations non négligeables de la variable correspondante pour les divers points échantillon.

Nous en tirons la conclusion que le coût du voyage n'est pas une variable explicative satisfaisante des déplacements pour motif professionnel. Nous avons donc renoncé à la faire intervenir dans les modèles de prévision de la demande globale aussi bien que dans ceux permettant de calculer les trafics détournés ou engendrés par le tunnel.

Le modèle retenu sera donc celui que nous avons désigné sous le terme de "revenu - commerce" et qui s'écrit :

$$V_{ij} = e^{-12.81} R_i^{0.967} C_{ij}^{0.911}$$

Le coefficient constant calculé englobe des réductions d'échelles, en particulier, l'indice d'augmentation des revenus de 1968 à 1971 et celui du commerce extérieur de 1970 à 1971. Il est donc préférable de donner à la formule une forme indicielle en écrivant :

$$\frac{V_{ij}^t}{V_{ij}^o} = \left(\frac{R_i^t}{R_i^o} \right)^{0.967} \left(\frac{C_{ij}^t}{C_{ij}^o} \right)^{0.911}$$

L'indice du haut "t" ou "o" voulant dire que les valeurs correspondantes sont relatives à l'année "t" ou à l'année "o". Nous verrons au paragraphe suivant qu'il est nécessaire de corriger un peu ce modèle afin de l'utiliser pour la prévision des trafics.

4 L'ADEQUATION DU MODELE RETENU AUX DONNEES CHRONOLOGIQUES DISPONIBLES.

41. Position du problème

Nous avons essayé de faire "fonctionner" le modèle retenu avec les données dont nous disposons. Pour chaque année, nous pouvons calculer

$$v_{ij}^t = e^{-12.81} (R_i^t)^{0.967} (C_{ij}^t)^{0.911}$$

l'adjonction de l'indice t signifie que toutes ces valeurs sont relatives à l'année t. Nous verrons qu'il a été nécessaire d'ajouter un terme correctif pour obtenir ainsi les trafics réellement constatés.

42 Les données chronologiques

421 Données relatives aux revenus

A l'aide du tableau du P.N.B. en volume donné par l'annuaire de l'O.N.U. entre les années 1961 et 1970 et d'une table correspondante pour la population, nous avons calculé l'indice du revenu par habitant pour les différents pays d'Europe* (voir le tableau à la fin du chapitre).

422 Données relatives aux commerces extérieurs

Il nous a fallu corriger les chiffres des exportations des différents pays étudiés, exprimés en valeur courante, par l'indice des prix à l'exportation de ces pays respectifs. Pour les importations, nous avons utilisé l'indice des prix à l'exportation de la Grande-Bretagne (voir le tableau à la fin du chapitre).

423 Données relatives aux trafics

L'International Passenger Survey (I.P.S.) fournit annuellement les résultats d'une enquête sur les voyageurs à destination de la Grande-Bretagne? Les données sont disponibles pays par pays et par motif (business, holiday, ...). Ce sont ces chiffres que nous avons utilisés pour vérifier l'adéquation du modèle. A cause d'une reclassification des motifs en 1964 et 1971, nous n'avons pu utiliser que les résultats de sept années consécutives (1964 à 1970).

* sous l'expression "trafic de l'Europe vers la Grande-Bretagne" il faut entendre que c'est le trafic des pays que nous avons étudiés. Nous y avons inclus aussi l'Italie car le trafic de ce pays vers la Grande-Bretagne est très bien expliqué par le modèle retenu.

43 Le fonctionnement du modèle non corrigé

La formule
$$\frac{V_{ij}^t}{V_{ij}^o} = \left(\frac{R_i^t}{R_i} \right)^{0.967} \left(\frac{C_{ij}^t}{C_{ij}^o} \right)^{0.911}$$
 fournit les valeurs

de V_{ij}^t pour les années 1965 à 1970 et pour l'Europe de l'Ouest.

Unité: millier de voyages

Comparaison des trafics calculés et des trafics observés							
Trafics	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Volume constaté	274	298	331	366	416	502	558
Volume calculé	274	288	315	342	392	450	505
Ecart entre observations et prévisions	0	10	16	24	14	52	53

Le modèle déduit de la coupe instantanée explique donc assez bien l'évolution des trafics. Il laisse toutefois apparaître une tendance résiduelle, le volume calculé étant systématiquement inférieur au volume expliqué. Pour cette raison, nous avons cherché une formulation permettant de tenir compte de cette tendance résiduelle.

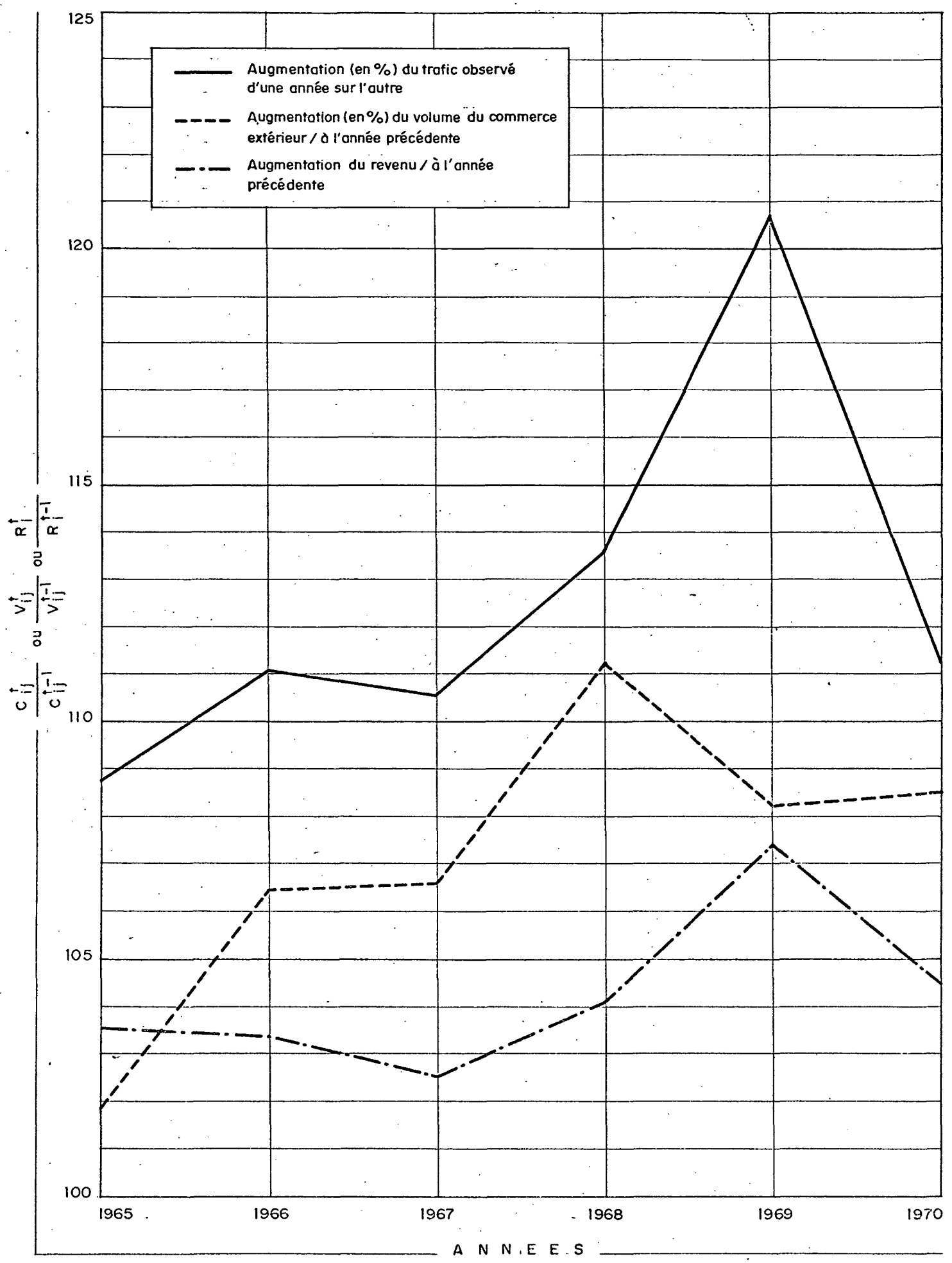
Après différents essais, nous avons trouvé une formulation qui explique d'une manière satisfaisante les écarts que l'on constatait.

44 L'explication des écarts par le commerce extérieur

441 La formule sélectionnée

Le graphique ci-après suggère une corrélation entre le nombre de voyages d'une année et le commerce extérieur de l'année antérieure. On peut en effet, penser que le trafic d'une année donnée s'explique non seulement par le commerce de l'année considérée, mais aussi par celui des années antérieures, et en particulier, par celui de l'année précédente. En effet, des liens commerciaux se développent, qui subsistent en partie, même si les courants d'échanges se modifient d'une année sur l'autre. Pour cette raison, on peut penser qu'un modèle du type indiqué ci-dessous permet d'expliquer en partie l'écart qui subsiste entre les trafics observés et le trafic projeté par le modèle déduit des coupes instantanées.

EVOLUTIONS COMPAREES DU TRAFIC, DU COMMERCE EXTERIEUR ET DU REVENU ENTRE L'EUROPE DE L'OUEST ET LA GRANDE-BRETAGNE



$$\frac{\frac{v_{ij}^t}{v_{ij}^o}}{\left(\frac{R_i^t}{R_i^o}\right)^{0.967} \left(\frac{C_{ij}^t}{C_i^o}\right)^{0.911}} = K \text{ Log. } \frac{C_{ij}^{t-1}}{C_{ij}^{-1}} + K'$$

les coefficients K et K' ont été calculés par la méthode des régressions. Nous obtenons :

$$K = 0.2185 \quad T_k = 4.69 \quad K' = 1.024$$

$$R^2 = 0.92 \quad F = 21.97$$

le test comportait 6 observations, la valeur de F à considérer ici est $F_{0.95}^{++}(1,5) = 5.05$

.442 Les résultats obtenus

En appliquant la formule

$$v_{ij}^t = v_{ij}^o \left(\frac{R_i^t}{R_i^o}\right)^{0.967} \left(\frac{C_{ij}^t}{C_i^o}\right)^{0.911} \left[0.219 \text{ Log } \frac{C_{ij}^{t-1}}{C_{ij}^{-1}} + 1.024 \right]$$

nous obtenons les résultats suivants pour l'Europe de l'Ouest.

Unité: millier de voyages

Comparaison des trafics calculés et des trafics observés							
Trafics	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Volume du trafic observé	274	298	331	366	416	502	558
Volume du trafic calculé	274	300	329	362	420	494	563
Ecart entre observations et prévisions	0	- 2	+ 2	+ 4	- 4	+ 8	- 5

5 LA PROJECTION DES DEPLACEMENTS POUR MOTIF PROFESSIONNEL

51 La méthode de projection

Il nous a paru intéressant de calculer le trafic trans-Manche futur, pour motif professionnel, en utilisant le modèle obtenu précédemment (cf. § .44) On observera naturellement que les taux d'accroissement des revenus par tête et ceux du commerce extérieur ne sont pas entièrement indépendants, ce qu'on peut traduire également en disant que les différentes cases des tableaux ci-après n'ont pas une égale probabilité.

On a donc utilisé la formule que l'on a sélectionnée au paragraphe .44, c'est-à-dire :

$$\frac{V_{ij}^t}{V_{ij}^o} = \left(\frac{R_i^t}{R_i^o} \right)^{0.967} \left(\frac{C_{ij}^t}{C_{ij}^o} \right)^{0.911} \left[0.219 \text{ Log. } \frac{C_{ij}^{t-1}}{C_{ij}^{o-1}} + 1.024 \right]$$

et l'on a calculé l'accroissement du trafic sur dix et vingt ans pour différents taux d'accroissement du revenu et du commerce extérieur fixés à l'avance.

L'année "zéro" doit être ici l'année 1964 car le terme correctif a été "calé" sur cette année-là. Si l'on voulait partir d'une autre année, il faudrait recalculer les coefficients numériques du terme correctif.

On trouve ci-après les tableaux de projection sur dix ans et vingt ans en prenant l'année 1970 comme année d'origine.

52 Remarque sur les tableaux de projection

Si l'on applique la formule avec un taux d'accroissement nul pour le revenu et le commerce extérieur à partir de 1970, les trafics n'augmentent plus à partir de l'année 1971, c'est ce qui explique l'égalité de la première case des deux tableaux. Par contre, le trafic de l'année 1971 est légèrement supérieur à celui de 1970 à cause de l'effet de retard introduit par le terme correctif. On obtient donc un chiffre légèrement supérieur à 100 dans la première case des deux tableaux.

Accroissement en indice du nombre de voyages pour motif professionnel entre l'Europe de l'Ouest et la Grande-Bretagne selon différentes hypothèses sur le taux d'accroissement du revenu et du commerce extérieur.						
Année d'origine : 1970			Année de projection : 1980			
Taux commerce % \ Taux revenu %	0	1	2	3	4	5
0	101	111	123	135	148	162
2	125	138	152	167	183	201
4	155	170	187	206	226	248
6	190	209	230	253	278	305
8	232	255	281	309	339	372
10	282	310	341	375	412	452
11	341	376	413	454	499	547

Accroissement en indice du nombre de voyages pour motif professionnel entre l'Europe de l'Ouest et la Grande-Bretagne selon différentes hypothèses sur le taux d'accroissement du revenu et du commerce extérieur.						
Année d'origine : 1970			Année de projection : 1990			
Taux commerce % \ Taux revenu %	0	1	2	3	4	5
0	101	123	149	179	216	261
2	156	189	229	276	337	401
4	237	287	348	420	507	610
6	356	432	523	631	761	916
8	529	642	776	938	1130	1360
10	778	944	1142	1379	1662	2000
11	1134	1375	1664	2009	2422	2914

EUROPE DE L'OUEST

COMPARAISON ENTRE LES TRAFICS CALCULÉS PAR LES DIFFÉRENTES FORMULATIONS ET LE TRAFIC RÉELLEMENT CONSTATÉ.

Unité : millier de voyages

TRAFICS	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Volume constaté	274	298	331	366	416	502	558
Volume calculé	274	288	315	342	392	450	505
Ecart entre les volumes constaté et calculé	0	+10	+16	+24	+14	+52	+53
Volume calculé avec correction	274	300	329	362	420	494	563
Ecart avec le volume constaté	0	- 2	+ 2	+ 4	- 4	+ 8	- 5

FRANCE

Unité : millier de voyages

TRAFICS	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Volume constaté	68	73	84	86	99	101	123
Volume calculé	68	67	75	85	93	100	120
Ecart entre volumes constaté et calculé	0	+6	+9	+1	+6	- 8	+ 3
Volume calculé avec coefficients propres	68	70	79	91	101	122	139
Ecart avec volume constaté	0	+3	+5	-5	-2	-21	-16
Volume calculé avec correction	68	70	77	89	99	117	132
Ecart avec volume constaté	0	+3	+7	-3	0	-16	- 9
Volume calculé avec recalage	68	70	79	91	100	121	135
Ecart avec volume constaté	0	+3	+5	-5	-1	-20	-12

BELGIQUE

COMPARAISON ENTRE LES TRAFICS CALCULES PAR LES DIFFERENTES FORMULATIONS ET LE TRAFIC REELLEMENT CONSTATE

Unité: millier de voyages

TRAFICS	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Volume constaté	27	30	34	44	45	61	64
Volume calculé	27	28	30	31	37	43	44
Ecart entre volumes constaté et calculé	0	+2	+4	+13	+8	+18	+20
Volume calculé avec correction	27	30	32	33	39	47	49
Ecart avec volume constaté	0	0	+2	+11	+6	+14	+15
Volume calculé avec décalage	27	30	32	34	40	48	50
Ecart avec volume constaté	0	0	+2	+10	+5	+13	+14

PAYS-BAS

Unité: millier de voyages

Trafics	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
VOLUME constaté	58	66	71	79	96	111	126
Volume calculé	58	63	65	72	84	91	106
Ecart entre volumes constaté et calculé	0	+3	+6	+7	+12	+20	+20
Volume calculé avec correction	58	65	69	77	90	100	118
Ecart avec volume constaté	0	+1	+2	+2	+6	+11	+ 8
Volume calculé avec recalage	58	65	69	77	90	101	120
Ecart avec volume constaté	0	+1	+2	+2	+6	+10	+ 6

ALLEMAGNE DE L'OUEST

COMPARAISON ENTRE LES TRAFICS CALCULES PAR LES DIFFERENTES FORMULATIONS ET LE TRAFIC REELLEMENT CONSTATE.

Unité : millier de voyages

TRAFICS	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Volume constaté	70	74	75	88	102	127	133
Volume calculé	70	75	79	80	99	111	128
Ecart entre volumes constaté et calculé	0	-1	-4	+8	+3	+16	+5
Volume calculé avec coefficients propres	70	74	77	79	97	107	123
Ecart avec volume constaté	0	0	-2	+9	+5	+20	+10
Volume calculé avec correction	70	78	83	85	106	123	143
Ecart avec volume constaté	0	-4	-8	+3	-4	+4	-10
Volume calculé avec recalage	70	78	83	85	106	123	144
Ecart avec volume constaté	0	-4	-8	+3	-4	+4	-11

SUISSE

Unité : millier de voyages

TRAFICS	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Volume constaté	22	26	30	34	36	50	55
Volume calculé	22	23	26	28	30	38	43
Ecart entre volumes constaté et calculé	0	+3	+4	+6	+6	+12	+12
Volume calculé avec correction	22	24	27	31	34	43	49
Ecart avec volume constaté	0	+2	+3	+3	+2	+7	+6
Volume calculé avec recalage	22	24	27	30	33	43	48
Ecart avec volume constaté	0	+2	+3	+4	+3	+7	+7

ITALIE

COMPARAISON ENTRE LES TRAFICS CALCULES PAR LES DIFFERENTES FORMULATIONS ET LE TRAFIC REELLEMENT CONSTATE.

Unité : millier de voyages

TRAFICS	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Volume constaté	24	23	29	29	31	44	47
Volume calculé	24	24	28	33	36	39	43
Ecart entre volumes constaté et calculé	0	-1	+1	-4	-5	+5	+4
Volume calculé avec correction	24	24	29	34	39	41	46
Ecart avec volume constaté	0	-1	0	-5	-8	+3	+1
Volume calculé avec recalage	24	25	30	35	39	43	48
Ecart avec volume constaté	0	-2	-1	-6	-8	+1	-1

AUTRICHE

Unité : millier de voyages

TRAFICS	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Volume constaté	5	6	8	6	7	8	10
Volume calculé	5	5	6	7	8	11	13
Ecart entre volumes constaté et calculé	0	+1	+2	-1	-1	-3	-3
Volume calculé avec correction	5	5	6	7	9	12	16
Ecart avec volume constaté	0	+1	+2	-1	-2	-4	-6
Volume calculé avec recalage	5	5	6	7	9	12	15
Ecart avec volume constaté	0	+1	+2	-1	-2	-4	-5

ESPAGNE

COMPARAISON ENTRE LES TRAFICS CALCULES PAR LES DIFFERENTES
FORMULATIONS ET LE TRAFIC REELLEMENT CONSTATE

Unité : millier de voyages

TRAFICS	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Volume constaté	9	11	11	12	16	20	23
Volume calculé	9	9	11	11	12	14	14
Ecart entre volumes constaté et calculé	0	+2	0	+1	+4	+6	+9
Volume calculé avec correction	9	11	11	12	16	21	24
Ecart avec volume constaté	0	+1	0	0	+3	+6	+8
Volume calculé avec recalage	9	10	11	12	13	15	16
Ecart avec volume constaté	0	+1	0	0	+3	+5	+7