

Université Lumière Lyon 2
Faculté de Sciences Economiques et de Gestion

**MODELISATION A LONG TERME
DE L'EVOLUTION DES TRAFICS VOYAGEURS
A LONGUE DISTANCE EN FRANCE**

Thèse

pour le doctorat de Sciences Economiques, option Economie des Transports

présentée et soutenue publiquement par

Isabelle CABANNE

le 29 avril 2005

Directeur de thèse : Professeur Alain BONNAFOUS

Membres du Jury :

M. Alain BONNAFOUS, Professeur de Sciences Economiques à l'Université Lumière Lyon 2
(Directeur de thèse)

M. Patrick BONNEL, Directeur de Recherche au Laboratoire d'Economie des Transports,
ENTPE - Université Lumière Lyon 2

M. Jean-Loup MADRE, Directeur de Recherche à l'INRETS

M. Andres MONZON, Professeur à l'Université Politécnica de Madrid (Rapporteur)

M. Enrico MUSSO, Professeur à l'Université de Gênes (Rapporteur)

**Agora Jules Dupuit – Publication AJD-93
Université de Montréal**

Résumé :

Dans la présente thèse, nous modélisons l'évolution des trafics nationaux de voyageurs à longue distance, ferroviaires, aériens et autoroutiers, à l'aide de modèles macro-économiques calés sur séries temporelles. Les modèles calés sur séries temporelles offrent l'avantage de s'appuyer sur de l'information dynamique et permettent de mettre en évidence des relations de long terme entre les fluctuations de certaines variables et celles des trafics. Toutefois, ces modèles ne sont pas sans présenter des inconvénients. Ces modèles sont généralement des modèles de demande directe et perdent la logique de génération – partage modal. Par ailleurs, les variables explicatives sont généralement en nombre restreint et fortement agrégées, ce qui n'est pas sans soulever des problèmes de pertinence. Ainsi une même vitesse ferroviaire moyenne peut correspondre à des structures de temps de parcours différentes et donc à des impacts différents sur les trafics. Dans la présente thèse nous proposons un indicateur de vitesse ferroviaire qui permet d'intégrer des effets de structure et de seuils de concurrence air/fer. Nous testons par ailleurs différentes architectures, demande directe ou génération - partage modal. La thèse est divisée en 4 chapitres. Après avoir présenté les bases de données disponibles et décrit l'évolution des trafics, nous explicitons les principaux déterminants de la mobilité à longue distance puis effectuons une analyse bibliographique des différentes méthodes de modélisation existantes. Dans un dernier temps, nous construisons, et analysons sous l'angle de l'opérationnalité, différents modèles.

Mots-clés : modélisation – demande de transport – voyageurs – longue distance – interurbain – partage modal – modèle logit

Summary :

This thesis models long distance traffic in France, by rail, plane and motorway, at a national level, with macro-economic time series models. Time series models are based on dynamic information and thus enable to show long term links between traffic variations and explanatory factors variations. However time series models also have some drawbacks. Direct demand models are often used and miss the generation / modal share logic. Only a few variables can be used and these variables are highly aggregated. A certain amount of average national train speed may correspond to different time travel structures and thus to different impacts on rail traffic. In the models that we fit, we use a rail speed indicator that takes travel times structure and thresholds in air / plane competition into account. Besides, we test different model structures, both direct demand and generation and modal split. This thesis is divided into four chapters. Chapter 1 presents the data available and describes past traffic variations. Chapter 2 focuses on long distance travel main explanatory factors. The various methods for long distance travel modelling are analysed in chapter 3. In chapter 4, we produce and analyse different model forms.

Key words: modelling – transport demand – passengers – long distance – interurban – modal split – logit model

Sommaire

INTRODUCTION	7
CHAPITRE 1. APPROCHES DE LA LONGUE DISTANCE	13
I. DEFINIR LA LONGUE DISTANCE	13
1. LES MARCHES DE LA LONGUE DISTANCE	13
2. PLUSIEURS LOGIQUES D'APPROCHES	14
3. UNE DEFINITION QUI DOIT ETRE OPERATIONNELLE	16
II. LE SYSTEME DE PRODUCTION DE DONNEES EN INTERURBAIN.....	17
1. LES DONNEES MODALES	18
2. LES DONNEES D'ENQUETES MULTIMODALES	44
3. BILAN SUR LES DONNEES	48
III. TRAFICS SUR RESEAU ET ENQUETES TRANSPORTS : MESURES DE L'EVOLUTION DES DEPLACEMENTS A LONGUE DISTANCE ET COMPARAISON	49
1. EVOLUTION DE LA LONGUE DISTANCE A TRAVERS LES TRAFICS SUR RESEAU	49
2. EVOLUTION DE LA LONGUE DISTANCE A TRAVERS LES ENQUETES TRANSPORTS ET COMMUNICATION	58
3. DONNEES OPERATEURS ET ENQUETES TRANSPORTS : COMPARAISON DES RESULTATS	62
IV. CONCLUSION	70
CHAPITRE 2. LES DETERMINANTS DE LA LONGUE DISTANCE	73
I. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE ET ANALYSE DES DONNEES : LES DETERMINANTS DE LA LONGUE DISTANCE	73
1. CADRE GENERAL DE L'ANALYSE	74
2. NATURE DES DEPLACEMENTS A LONGUE DISTANCE.....	77
3. LES FACTEURS EXPLICATIFS DU NIVEAU DE MOBILITE	87
4. LES FACTEURS EXPLICATIFS DU CHOIX MODAL.....	100
5. CONCLUSION	113
II. EVOLUTION DES PRINCIPAUX DETERMINANTS ENTRE 1980 ET 2000	114
1. LE CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE : DES FLUCTUATIONS DE LA CONJONCTURE.....	114
2. L'OFFRE DE TRANSPORT : PLUS VITE, MOINS CHER	115
III. CONCLUSION	127
CHAPITRE 3. LES METHODES DE MODELISATION DE LA LONGUE DISTANCE	129
I. LES METHODES DE MODELISATION	129
1. LES MODELES AGREGES CALES SUR DONNEES OPERATEURS	130
2. LES MODELES CALES SUR DONNEES D'ENQUETES.....	155
3. UN CAS ORIGINAL : MATISSE	158

4. BILAN SUR LES METHODES DE MODELISATION.....	165
II. LES MODELES APPLIQUES AU CONTEXTE FRANÇAIS	166
1. LES MODELES EXISTANT EN FRANCE	166
2. LES ELASTICITES OBTENUES	174
III. CONCLUSION	178
CHAPITRE 4. CONSTRUCTION D'UN MODELE DE SIMULATION A LONG TERME DES DEPLACEMENTS DE VOYAGEURS A LONGUE DISTANCE EN FRANCE	181
I. CADRE DE LA DEMARCHE	181
1. UN MODELE MACRO-ECONOMIQUE CALE SUR SERIES TEMPORELLES	181
2. UN OBJECTIF D'OPERATIONNALITE	184
3. OPERATIONNALITE DES MODELES ENVISAGES	193
II. CONSTRUCTION DES VARIABLES EXPLICATIVES	196
1. LES VARIABLES SOCIO-ECONOMIQUES.....	197
2. PRISE EN COMPTE DES COUTS DES DIFFERENTS MODES	199
3. INDICATEURS DE DEVELOPPEMENT DES RESEAUX	210
4. BILAN DE L'OPERATIONNALITE DES VARIABLES EXPLICATIVES	218
III. LES MODELES DE DEMANDE DIRECTE	220
1. MODELISATION DU TRAFIC AUTOROUTIER PAR UN MODELE DE DEMANDE DIRECTE	220
2. MODELISATION DU TRAFIC AERIEN PAR UN MODELE DE DEMANDE DIRECTE	228
3. MODELISATION DU TRAFIC FERROVIAIRE PAR UN MODELE DE DEMANDE DIRECTE	231
4. CONCLUSION SUR LES MODELES DE DEMANDE DIRECTE	233
IV. LES MODELES DE PARTAGE MODAL	235
1. LES DIFFERENTES ARCHITECTURES ENVISAGEES	235
2. MODELE "MIXTE" ROUTE / FER / AIR	239
3. MODELE "MIXTE" A 4 MODES.....	251
V. CONCLUSION.....	256
CONCLUSION GENERALE	261
BIBLIOGRAPHIE	265
ANNEXES.....	281
ANNEXE 1. CARTES DES RESEAUX FERROVIAIRE ET AUTOROUTIER.....	283
ANNEXE 2. LES FORMULATIONS TESTEES.....	287
ANNEXE 3. NOTATIONS ET ABREVIATIONS	351

Remerciements

Je tiens à remercier en premier lieu le Professeur Alain BONNAFOUS de m'avoir confié ce travail de thèse et de l'avoir encadré. Je le remercie pour ses conseils de méthode et sa disponibilité. Son expérience scientifique m'a beaucoup apporté.

J'exprime aussi ma reconnaissance à Patrick BONNEL pour m'avoir suivi tout au long de cette thèse. Ses suggestions et ses relectures toujours précieuses ont permis d'enrichir ce travail.

Je voudrais aussi remercier tout particulièrement Jean-Loup MADRE pour l'intérêt qu'il a témoigné pour le présent travail tout au long de son déroulement et pour ses encouragements.

Je tiens à remercier le Professeur Andres MONZON et le Professeur Enrico MUSSO de me faire l'honneur de participer au jury et d'avoir accepté la charge d'être rapporteurs.

Je remercie les membres du Laboratoire d'Economie des Transports pour leur accueil pendant ces années de thèse.

Enfin, je tiens à remercier mes proches pour leur soutien affectueux.

Introduction

Les trafics interurbains de voyageurs circulant sur les réseaux à grande vitesse français (autoroutes, trains grandes lignes, avions) croissent à un rythme rapide, particulièrement les trafics des modes les plus polluants (avion, voiture) malgré des investissements considérables dans le ferroviaire. Entre 1980 et 2000, le trafic air intérieur métropole a été multiplié par 3. L'indice de circulation sur autoroutes concédées a été multiplié par 2,5. Le trafic ferroviaire intérieur est en revanche resté relativement stable puisqu'il n'a progressé que de 10% malgré des investissements massifs : construction d'un réseau de 1200 kilomètres de lignes à grande vitesse et fortes réductions de temps de parcours sur les principales liaisons entre métropoles.

Dans ce contexte, il est nécessaire de s'interroger sur l'évolution de ces trafics longue distance à un horizon de long terme et de disposer d'instruments de simulation permettant d'évaluer la croissance des volumes de trafics autoroutiers, ferroviaires et aériens selon différents scénarios de croissance économique et de politiques de transports. L'évolution future de ces trafics, tant en termes de croissance globale qu'en termes de partage modal, est en effet source d'enjeux majeurs aussi bien sur le plan de la congestion des infrastructures que d'environnement ou de coûts d'investissement.

Les trafics routiers et ferroviaires longue distance se concentrent sur un certain nombre d'axes menacés de saturation à court ou moyen terme sur certaines sections. Le risque de congestion est particulièrement aigu au niveau des grandes agglomérations où les trafics longue distance de voyageurs se superposent aux trafics marchandises ainsi qu'aux trafics périurbains et régionaux (Routhier et alii, 2000). Les couloirs du Rhône et du Languedoc-Roussillon, le sillon mosellan, l'axe Paris-Lille, puis dans un second temps les accès à la Côte d'Azur et aux stations des Alpes du Nord seront saturés à court ou moyen terme : les périodes de congestion, aujourd'hui limitées à des périodes spécifiques, risquent de s'étendre à des heures de semaines ordinaires (Inspection Générale des Finances, Conseil Général des Ponts et Chaussée, 2003). S'agissant du réseau ferroviaire, les grandes gares parisiennes ainsi que les noeuds Bordeaux-Angoulême, Montpellier-Nîmes, ou Lyon risquent d'être de plus en plus engorgés, au détriment du fret. En matière aéroportuaire, compte tenu de la croissance rapide des trafics aériens, les grands aéroports parisiens risquent de manquer de créneaux de décollage et d'atterrissage à court ou moyen terme.

Sur le plan environnemental, les transports sont responsables d'une part importante des rejets de polluants dans l'atmosphère, particulièrement en matière de gaz à effet de serre. Dans le cadre du protocole de Kyoto, la France s'est engagée à ne pas produire davantage de gaz à effet de serre en 2010 qu'en 1990, année de référence (Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre, 2000). Or les émissions du secteur transport, gros producteur de CO₂, ont augmenté de 22% entre 1990 et 2001 pour représenter 28% du total des émissions à cette date (Mission Interministérielle sur l'Effet de Serre, 2002). Ces données sont relatives à l'ensemble du

secteur transports. Toutefois la longue distance voyageurs participe aux émissions¹ et inquiète d'autant plus que sa croissance est rapide. Au-delà du niveau de croissance des trafics, la répartition modale constitue un enjeu majeur car les consommations d'énergie sont bien moindres pour le train que pour les autres modes de transport (17greq/voy.km pour le train contre 30greq/voy.km pour la route² et 46greq/voy.km pour l'avion (Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Équipement et des Transports, 1995)) ; par ailleurs l'énergie consommée par l'avion et la voiture est pétrolière à 100% contre seulement 13% pour le train (Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Équipement et des Transports, 1995). Outre les gaz à effets de serre, les transports routiers et aériens sont à l'origine d'émissions de polluants (oxydes d'azote ou, dans une moindre proportion, oxydes de soufre), qui contribuent tous deux à des pollutions régionales (pluies acides) (Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement, 2003).

Par rapport à ces enjeux – congestion et environnement – différentes politiques de transport sont possibles en termes d'investissements en infrastructures comme en termes de politiques tarifaires, et il est souhaitable de pouvoir anticiper l'impact de ces politiques sur l'évolution de long terme des trafics longue distance, en termes d'évolution du trafic total et de partage modal, afin d'évaluer leur efficacité. Il est d'autant plus important de prévoir les évolutions des trafics, que les politiques d'investissement sont coûteuses et engagent le long terme. Chaque ligne TGV (Sud-Est, Atlantique, Méditerranée ou Est) représente un investissement de plus de 3 milliards d'euros. Une autoroute coûte de 6 millions d'euros au kilomètre en rase campagne à plusieurs dizaines de millions d'euros en urbain dense (Bonnel, 2004) et les coûts des investissements risquent de croître en raison des exigences de plus en plus fortes en matière d'insertion environnementale et de sécurité. Or la rentabilité financière des projets est de plus en plus précaire et les futurs projets d'infrastructures ne pourront se faire sans l'apport de subventions publiques conséquentes, dans un contexte de rareté budgétaire. Coûteux à mettre en place, les projets de transport sont des projets de longue haleine dont l'utilité doit être évaluée dans la durée. Entre les premières études relatives au débat préalable et la mise en service d'un projet, il s'écoule une quinzaine d'années (Inspection Générale des Finances, Conseil Général des Ponts et Chaussée, 2003) et les infrastructures mises en place doivent pouvoir être adaptées aux besoins au moins une dizaine d'années supplémentaires. Les politiques tarifaires (augmentation éventuelle de la TIPP visant à freiner l'usage de la voiture) sont également "coûteuses" à mettre en place sur un plan politique dans la mesure où elles soulèvent des problèmes d'acceptabilité et ne peuvent être improvisées.

Dans ce contexte, il paraît nécessaire de disposer d'outils de simulation permettant d'évaluer l'évolution de long terme des trafics interurbains de voyageurs sur le réseau à grande vitesse, selon différents scénarios de politiques de transport et selon différentes hypothèses de croissance économique. L'objectif consiste à étudier la faisabilité d'un outil de simulation macro-économique de long terme apte à tester des scénarios stratégiques. L'objectif n'est pas

¹ D'après les Comptes Transports de la Nation 1999 (INSEE, [1]-vol.1999), 4% des émissions de gaz à effet de serre du secteur transport (transport intérieur hors DOM-TOM) sont dues au trafic aérien des lignes intérieures métropoles et 56% aux véhicules légers ; le fer est négligeable ; le reste relève du transport de marchandises. Les autoroutes concédées supportent 12% du trafic routier total en véhicules.kilomètres, le réseau national total un peu plus du tiers du trafic (contre un tiers pour l'urbain et un tiers pour le reste du réseau), (INSEE, [1]-vol.1999). Les émissions de polluants varient toutefois suivant les conditions de circulation, de 81g.équ.CO₂/voy.km pour une voiture particulière en interurbain contre 160g.équ.CO₂/voy.km pour une voiture particulière en urbain (CORINAIR, 1993).

² 60greq/véh.km selon (Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Équipement et des Transports, 1995), compte tenu d'un taux d'occupation moyen de 2 personnes/véhicule pour les trajets autoroutiers (d'après l'enquête nationale transport de 1993).

de tester l'impact de projets de transport précis ou d'évaluer un niveau de congestion (ce dernier point nécessitant d'intégrer une dimension temporelle et une échelle d'appréciation spatiale fine), mais de pouvoir tester des scénarios globaux de politiques de transport (niveaux d'investissement sur les réseaux autoroutiers et TGV, politiques de tarification), afin d'évaluer l'ordre de grandeur de la croissance des trafics au niveau national, globalement et par mode. La modélisation doit permettre d'identifier les principaux facteurs explicatifs à l'œuvre dans la formation des déplacements de voyageurs à longue distance et d'évaluer leurs poids respectifs dans l'évolution des trafics. La modélisation doit être de long terme, un horizon de 20 ans constituant l'échelle de temps adaptée pour tester l'impact de scénarios de politiques de transport.

Problématique de la modélisation

La construction d'un modèle suppose une schématisation de la réalité : définition de l'objet d'étude, construction d'un schéma causal, spécification du modèle tant sur le plan de la forme fonctionnelle que des facteurs explicatifs, sélection des bases de données adéquates, calibrage du modèle. Toutefois, il existe une forte interaction entre ces différentes étapes. La définition de l'objet d'étude et le choix de la méthodologie de modélisation doivent être pensés conjointement, et en tenant compte des bases de données existantes. La qualité essentielle d'un modèle est d'être opérationnel, autrement dit de réaliser les performances qu'on attend de lui : "Un modèle apte à réaliser les performances que l'on attend de lui sera dit opérationnel. L'opérationnalité du modèle constitue donc sa qualité fondamentale" (Bonnafous, 1989). L'opérationnalité d'un modèle est soumise à trois conditions nécessaires et suffisantes : la pertinence (le modèle doit être conforme à ce qu'on croit être la réalité des choses), la cohérence (le modèle ne doit pas comporter de contradictions tant d'un point de vue interne que par rapport à ses objectifs) et la mesurabilité (il faut être capable de mesurer les variables avec des échantillons accessibles suffisamment significatifs et de paramétrer les coefficients de calage du modèle avec un minimum de fiabilité statistique), ces trois exigences étant malheureusement souvent contradictoires (Bonnafous, 1989). La triple exigence d'opérationnalité doit s'imposer à toutes les étapes de la modélisation sachant qu'il existe une interaction entre les différentes étapes.

Il existe plusieurs modèles de déplacements à longue distance construits sur le contexte français. Ces différents modèles reflètent la pluralité des objectifs, définitions et méthodes de modélisation envisageables, ainsi que l'interaction entre ces différentes composantes. Les caractéristiques de sorties et les buts assignés à ces modèles varient : modélisation des trafics à l'échelle nationale (Blain, NGuyen, 1994a, b ; Sauvart, 2002a ; Madre, Lambert, 1989), modèles spatialisés (Calio, Méteyer, 2001) voire spatialisés / temporalisés (INRETS, 1997a), modèles "de projet" fournissant des méthodologies d'évaluation de projets ponctuels de transport (Chopinnet, 1998). Les définitions des objets d'études sont différentes : déplacements à plus de 100km de distance du domicile (Calio, Méteyer, 2001) ou trafics sur réseau (Blain, NGuyen, 1994a, b ; Sauvart, 2002a). Les données et les méthodologies utilisées le sont aussi : modèle génération / partage modal calé en coupe instantanée sur la dernière enquête nationale transport (Calio, Méteyer, 2001), modèles de demande directe calés sur données opérateurs (Blain, NGuyen, 1994a, b ; Sauvart, 2002a ; Madre, Lambert, 1989). Dans le présent travail, nous effectuons une revue bibliographique, en France et à l'étranger, des différentes méthodes de modélisation applicables dans le cas des déplacements à longue distance ; ces méthodes sont présentées en fonction du type de données qu'elles requièrent et analysées sous l'angle de l'opérationnalité afin de mettre en évidence leurs avantages et inconvénients dans l'optique d'une simulation de long terme.

Dans un objectif de modélisation macro-économique de long terme, privilégier les modèles calés sur séries temporelles apparaît fondamental. Les modèles calés sur séries temporelles permettent en effet de mettre en évidence des relations de long terme entre les fluctuations de certaines variables et celles des trafics, alors que les modèles calés en coupe instantanée manquent d'information dynamique et risquent de conduire à des élasticités biaisées. Les modèles calés sur séries temporelles sont très fréquemment utilisés pour modéliser des trafics à l'échelle nationale, bien plus que les modèles à quatre étapes calés en coupe instantanée sur une enquête (US Department of Transportation - FHA, 1999). Ces modèles présentent toutefois des inconvénients. Ces modèles sont presque toujours des modèles de demande directe. Les exemples de modèles de demande directe pour modéliser des trafics nationaux de voyageurs mode par mode sont courants dans la littérature (Fitzroy, Smith, 1998 ; Koshal et alii, 1996 ; Coto-Millan et alii, 1996). Par ailleurs, des équations de demande directe calées sur séries temporelles ont déjà été mises en œuvre sur le contexte français (Blain, NGuyen, 1994a, b ; Sauvart, 2002a). Or, ces modèles perdent la logique de marché génération / partage modal et on peut s'interroger sur leur pertinence et la constance des élasticités lorsqu'un mode est fortement soumis à la concurrence de modes alternatifs. Par ailleurs, ces modèles nécessitent la présence d'un nombre restreint de variables explicatives agrégées. Ce caractère agrégé n'est pas sans soulever des problèmes de pertinence, notamment pour caractériser l'offre de transport. Un enjeu du présent travail consiste à étudier ces difficultés, proposer des indicateurs agrégés les plus pertinents possibles compte tenu des données à disposition, tester différentes structures et spécifications de modèles.

Déroulement du travail

La construction de notre outil de simulation s'effectue par étapes successives : définition de l'objet d'étude et caractérisation de cet objet à l'aide des données existantes ; identification des principaux déterminants de la mobilité à longue distance et analyse de leurs évolutions ; recherche bibliographique sur les modèles macro-économiques calés sur séries temporelles et analyse de leur opérationnalité ; essais de simulation sur le cas des trafics longue distance en France. La thèse est divisée en quatre chapitres correspondant à chacune de ces étapes.

Dans un premier temps (chapitre 1), nous définissons notre objet d'étude. Notre thèse s'intitule "Modélisation à long terme de l'évolution des trafics voyageurs à longue distance", mais le terme "longue distance" peut désigner des objets d'étude très différents suivant que ce terme renvoie à l'ensemble des déplacements sortant du bassin de vie, aux seuls déplacements interrégionaux ou bien à l'ensemble des trafics empruntant les réseaux à grande vitesse. La définition des "déplacements à longue distance" peut renvoyer à une définition en termes de longueur de déplacements (le critère de longueur pouvant être un critère métrique comme un critère d'interzonalité) ou bien à une définition en termes de logiques de réseau. Ce premier chapitre vise à clarifier la (les) définitions habituelles de la longue distance et les différents marchés qui la constituent. Il vise aussi à mettre en évidence les différences de champs entre une définition conventionnelle lors d'enquêtes et les trafics sur réseaux. Nous étudions les différentes sources de données disponibles pour appréhender les déplacements à longue distance, ainsi que leur niveau de fiabilité statistique, la définition de notre objet d'étude ne pouvant être choisie indépendamment des bases de données nécessaires à sa mesure. La présentation du système d'information français en matière de déplacements à longue distance et la comparaison des évolutions des images de la longue distance proposées nous éclairent aussi sur les sources de connaissances en termes de déterminants de la mobilité et permettent

de situer les champs des possibles en matière de segmentations de notre objet d'étude et de modélisation.

Dans un deuxième temps (chapitre 2), nous analysons les principaux déterminants de la mobilité à longue distance. Les déterminants de la mobilité à longue distance sont multiples et ne peuvent pas être tous pris en compte au sein d'un modèle agrégé, pour une question de mesurabilité. Il est alors nécessaire de hiérarchiser ces déterminants afin d'en conserver les principaux. Dans ce chapitre 2, nous étudions les facteurs explicatifs de la longue distance à la fois à partir de sources bibliographiques (Rouquette, 2001 ; Pochet, Schéou, 2002 ; Bonnafous, 1987 ; Klein, Claisse, 1997 ; INRETS, 1997b) et de traitements effectués par nous-mêmes sur des données opérateurs et sur l'enquête transports et communication de 1993. L'identification des déterminants s'achève par un regard historique sur l'évolution des principaux facteurs explicatifs depuis 1980. Nous présentons ainsi l'évolution des réseaux d'offre de transport ainsi que les niveaux de prix et les politiques tarifaires des principaux opérateurs de transport.

Dans un troisième temps (chapitre 3), nous analysons les différentes méthodes de modélisation des déplacements à longue distance, aussi bien les méthodes s'appuyant sur des enquêtes à une date donnée, que celles s'appuyant sur des données de trafic. Cette analyse bibliographique permet de suggérer les structures de modèles que nous utilisons dans le chapitre suivant ; elle permet aussi de mettre en lumière les avantages et les difficultés de notre approche sur le plan de l'opérationnalité, tant en termes de pertinence et de cohérence des modèles qu'en termes de fiabilité d'estimation des paramètres. Cette analyse bibliographique nous permet aussi de recenser les valeurs de certaines élasticités dans des contextes français et étrangers, ce qui fournit un certain nombre de points de comparaison pour notre propre recherche.

Enfin (chapitre 4), nous étudions différentes structures de modèles calés sur séries temporelles. Nous testons aussi bien des équations de demande directe que des architectures de partage modal. Par ailleurs, nous attachons un soin particulier à la construction des variables explicatives. Les réseaux de transport sont ainsi généralement caractérisés par des indicateurs de longueurs de réseau ou de vitesses moyennes. Or, une même variation de vitesse moyenne peut correspondre à des structures de vitesses très différentes entre origines-destinations et par voie de conséquence à des impacts différents sur le trafic. Afin d'améliorer la pertinence de la prise en compte de la vitesse ferroviaire, nous proposons un indicateur de vitesse écrêtée qui intègre les effets de structure. La construction des variables de prix soulève des problèmes analogues mais se heurte à un problème de mesurabilité. Les différentes architectures et spécifications de modèles sont analysées sous l'angle de l'opérationnalité et les élasticités obtenues sont comparées aux résultats d'autres travaux de recherche. A l'issue du travail, nous comparons les intérêts et limites de notre démarche.

Chapitre 1. Approches de la longue distance

Les déplacements à longue distance constituent un objet à géométrie variable suivant qu'on appelle longue distance l'ensemble des déplacements à plus de 100km, les seuls déplacements interrégionaux ou bien l'ensemble des trafics circulant sur le réseau à grande vitesse. L'objectif de ce chapitre est de préciser les contours possibles de la longue distance, ainsi que le système de recueil de données permettant de l'appréhender. Nous pouvons alors définir notre objet d'étude. La définition de l'objet d'étude doit être cohérente avec les objectifs de la thèse ; elle dépend aussi des données à disposition et de la méthode de calage désirée. Dans un premier temps (section 1) nous considérons les différentes approches de la longue distance. Dans un deuxième temps (section 2) nous décrivons le système de production de données en interurbain. Les données existantes nous permettent d'appréhender le niveau de croissance des déplacements à longue distance au cours des vingt dernières années (section 3). Grâce à l'éclairage apporté par l'analyse des données à disposition, nous revenons à notre problématique afin de choisir une définition de notre objet d'étude et de sa mesure (section 4).

I. Définir la longue distance

Dans un premier temps (1.1.) nous présentons la définition conventionnelle de la longue distance et les différents marchés de la mobilité. Dans un deuxième temps (1.2.) nous présentons les différentes approches possibles pour évaluer l'évolution des déplacements longue distance : approche par les enquêtes ou approche par les logiques de réseau. Nous présentons alors les enjeux de la définition de notre objet d'étude en termes d'opérationnalité (1.3.).

1. Les marchés de la longue distance

La longue distance est généralement définie par opposition à la mobilité locale, la frontière conventionnelle entre déplacements locaux et déplacements longue distance étant une longueur de déplacement de 80km à vol d'oiseau ou de 100km en distance déclarée. C'est le cas dans les enquêtes transports et communication françaises. La mobilité des résidents y est décomposée en une mobilité locale de semaine, une mobilité locale de week-end et la mobilité à longue distance (Orfeuil, Soleyret, 2002), la frontière de la longue distance étant cette limite de 100km. L'idée sous-jacente à l'établissement de ce rayon d'action est d'opposer les territoires où il est possible de développer une mobilité quotidienne ayant une certaine forme de répétitivité et des déplacements plus rares en rupture avec la quotidienneté, même s'il existe une certaine porosité des concepts "qui ira sans nul doute en s'accroissant" (Orfeuil, Soleyret, 2002). Cette approche de la longue distance comme mobilité à plus de 100km est également adoptée dans diverses études à l'étranger. Le modèle longue distance des Pays-Bas conserve les déplacements à plus de 100km (The Netherlands Ministry of Transport and Public Works, 1992). Le Long Distance Travel Survey britannique utilisé par Rickard pour son analyse des

déplacements ferroviaires (Rickard, 1988), retient les déplacements de plus de 50 miles (soit environ 80km).

Le marché de la longue distance ainsi défini se révèle toutefois très hétéroclite en termes de longueurs de déplacements et de compétition modale et mélange aussi bien des déplacements de portée régionale comme Bordeaux – Pau (200km) ou Rennes-Brest (240km) que des déplacements d'envergure interrégionale (Paris-Lyon) voire des déplacements d'envergure internationale en partie effectués sur le territoire français. Or les enjeux en termes de compétition modale et de politiques de transport ne sont pas les mêmes. La compétition avion / train / voiture est présente à partir de 300km minimum (Klein, Claisse, 1997). En deçà seuls le train et la voiture sont en compétition. Le développement des réseaux à grande vitesse concerne les liaisons entre grandes métropoles régionales. Les liaisons inférieures à cette distance relèvent des dessertes régionales de transport. Le marché de la longue distance défini comme l'ensemble des déplacements de plus de 80km à vol d'oiseau peut ainsi se décomposer en plusieurs sous-marchés : marché des déplacements "de portée régionale", marché des déplacements "de portée interrégionale", marché des déplacements internationaux dont la longueur peut aller jusqu'à plusieurs milliers de kilomètres. Les termes "portée régionale", "portée interrégionale" et "portée internationale" sont à entendre au sens large, non pas dans un sens administratif mais en termes d'envergure de déplacements.

Dans notre thèse notre objectif est de simuler l'impact de politiques de transport nationales relatives aux réseaux structurants (autoroutes, TGV, aérien). Les déplacements internationaux sortent pour l'essentiel de notre centre d'intérêt. Seules les parties de déplacements internationaux effectuées sur les réseaux autoroutiers et ferroviaires ainsi que sur les lignes aériennes domestiques peuvent être concernées par l'étude. De même les déplacements de portée régionale relèvent de problématiques plus locales. Le segment des déplacements de portée interrégionale correspond bien à notre problématique.

2. Plusieurs logiques d'approches

Pour caractériser notre objet d'étude, deux types d'approches sont envisageables. Une première approche consiste à définir des critères métriques, géographiques ou socio-économiques afin de sélectionner un ensemble de déplacements "longue distance" concernés par les modifications du réseau national. Une deuxième approche par les logiques de réseau consiste à définir notre objet d'étude comme un ensemble de déplacements circulant sur tout ou partie du réseau national.

2.1. Une définition à travers des critères appliqués aux déplacements

Une manière habituelle de caractériser la longue distance consiste à appliquer un critère de longueur aux déplacements (distance parcourue supérieure à 100km, distance origine-destination supérieure à 80km) ou à appliquer un critère d'interzonalité.

Le critère métrique est le critère de caractérisation le plus classique. Les enquêtes transports françaises délimitent la longue distance selon un seuil critique de 100km. Afin de cerner des déplacements de plus longue portée, nous pouvons retenir un seuil de définition supérieur : 200km par exemple (ce qui réduit de 28% les déplacements concernés (d'après les Enquêtes-

Transports). Retenir un seuil kilométrique a l'avantage d'être simple pour la compréhension mais présente l'inconvénient de ne pas bien correspondre à la perception d'éloignement. Une distance kilométrique n'a pas la même signification dans le Massif Central ou dans une zone de plaine bien irriguée par un réseau autoroutier. La distance se mesure plus en termes de temps de parcours que de kilométrage (Klein, 2001). Utiliser le critère de temps de parcours pour définir notre objet d'étude présente toutefois un inconvénient : modifier l'offre de transports modifie les temps de parcours donc la définition de notre objet d'étude, ce qui soulève le problème de stabilité de la définition dans le temps.

Le seuil kilométrique est parfois complété par un critère "d'interzonalité administrative". Pour le modèle MATISSE (INRETS, 1997a) les déplacements à longue distance sont définis comme l'ensemble des déplacements *interdépartementaux* de plus de 50 km à vol d'oiseau. Il est clair que si on n'ajoute pas un critère de distance au critère d'interzonalité administrative, la définition inclut du trafic courte distance à cheval sur la frontière. Il est possible d'adopter une définition plus restrictive que celle des déplacements interdépartementaux de plus de 50km, en ne retenant par exemple que les déplacements interrégionaux entre régions non contiguës. Le critère d'interzonalité administrative complété le cas échéant par un critère de non contiguïté est pratique à adopter lorsqu'on dispose de matrices origine-destinations, souvent établies sur des découpages administratifs. Les zonages administratifs n'ont toutefois pas nécessairement du sens d'un point de vue socio-économique. Au lieu de définir la longue distance comme ensemble des déplacements interdépartementaux de plus de 50km à vol d'oiseau et les déplacements de portée interrégionale comme ensemble des déplacements interrégionaux non contigus, on pourrait utiliser des zonages correspondant à des observations socio-économiques, bassins d'emplois et bassins de vie définis par l'INSEE (Le Jeannic, 1997), ou à plus grande échelle macro-régions correspondant aux aires d'influence des grandes métropoles régionales (Noin, 1996). Les bassins d'emploi et les bassins de vie sont "deux découpages du territoire, élaborés à partir de statistiques de flux : déplacements domicile-travail pour les bassins d'emploi, fréquentations de commerces et de services pour les bassins de vie ; (...) ces zones [présentent] de fortes cohésions internes, minimisant les échanges avec l'extérieur". (Reynard, 1997). Généralement les bassins d'emplois sont plus vastes que les bassins de vie pour les grands pôles urbains ; en milieu rural c'est l'inverse (Reynard, 1997). Il serait ainsi possible de définir la mobilité à longue distance comme mobilité sortant de ces zones. A une échelle plus grande, certains auteurs ont défini un découpage du territoire en aires d'influence des grandes agglomérations françaises (Noin, 1996). Ces zones pourraient être utilisées pour définir un découpage en régions "socio-économiques", où les déplacements de portée interrégionale seraient les déplacements entre ces régions "socio-économiques". Il existe en effet une hiérarchie des villes (Damette, 1994) : les pôles urbains polarisent les flux locaux au sein des bassins d'emplois qui les entourent ; les métropoles régionales polarisent une part importante des flux de portée régionale dans leur zone d'influence – avec parfois des métropoles relais ; Paris polarise une part importante des flux nationaux. A cette hiérarchie de zones pourrait être adaptée une typologie d'envergures de flux. Bien sûr cette définition est difficilement opérationnelle et les régions administratives peuvent avantageusement remplacer ces zonages plus complexes.

2.2. Une définition par les logiques de réseau

Au lieu de définir notre objet d'étude comme ensemble de déplacements "de portée interrégionale", quel que soit le contour exact qu'on attribue au terme "portée interrégionale", on peut définir notre objet d'étude *comme ensemble de déplacements circulant sur un certain type de réseau*. On peut ainsi considérer l'ensemble des trafics circulant sur le réseau national (routes nationales, autoroutes, réseau ferré, lignes aériennes) ou, de façon plus restrictive, comme ensemble des trafics circulant sur le seul réseau à grande vitesse (autoroutes, trains grandes lignes, lignes aériennes). Il est clair qu'une telle définition de notre objet d'étude tranche avec l'approche précédente développée comme ensemble de déplacements répondant à certains critères. L'approche déplacements s'intéresse à un champ de mobilité. L'approche en terme de logiques de réseaux s'intéresse à des volumes de trafics. Les deux approches conduisent à des objets d'étude différents. La circulation sur réseaux à grande vitesse englobe des champs de mobilité différents, aussi bien de la mobilité locale que de l'international ; la mobilité "longue distance" utilise en partie le réseau à grande vitesse, en partie non.

3. Une définition qui doit être opérationnelle

Définir notre objet d'étude suppose de définir trois éléments : la nature des déplacements sélectionnés, le périmètre retenu et le cas échéant les personnes dont on sélectionne les déplacements. Il est nécessaire de définir le type d'approche : approche par des critères métriques ou en termes de circulations sur réseau et quel ensemble de déplacements ou de niveau hiérarchique de réseau on sélectionne. Il est par ailleurs nécessaire de définir un périmètre d'étude. Nous nous intéressons à l'évolution des déplacements à longue distance en France, toutefois le périmètre d'étude "France" peut s'entendre de façon plus ou moins large. Nous pouvons en effet conserver les seuls déplacements dont à la fois l'origine et la destination sont intérieures au périmètre "France", ou y inclure en plus la partie française des déplacements transitant en France. Dans le cas d'une mobilité appréhendée par des enquêtes au domicile des ménages français, seuls les résidents français sont pris en compte ; dans le cas de circulations sur réseau, les étrangers transitant en France sont comptabilisés. Plusieurs définitions sont possibles, toutefois ces définitions doivent être opérationnelles.

Pour être opérationnelle, notre définition des déplacements doit répondre à plusieurs critères : pertinence, cohérence, mesurabilité et possibilité de mettre en œuvre une technique de modélisation opérationnelle sur cette définition. Le triple critère pertinence, cohérence, mesurabilité (Bonnaïous, 1989) doit en effet être pris en compte dès le stade de la définition.

Le choix de la définition ne peut pas être pensé indépendamment de la *nature de la modélisation* que nous souhaitons mettre en œuvre. Une approche par les volumes de trafics circulant sur réseaux nous permet de bénéficier de séries chronologiques de volumes de trafics, d'indices de croissance de la circulation sur le réseau. Une approche en termes de champ de mobilité nous oblige à nous appuyer sur seulement deux enquêtes transports : celle de 1981 et celle de 1993.

La définition de notre objet d'étude doit avoir une *cohérence externe*, autrement dit être cohérente avec les objectifs de notre simulation. Comme nous souhaitons observer l'impact des politiques de transport nationales sur les trafics des réseaux à grande vitesse, notre

définition doit cerner du mieux possible les déplacements empruntant ou étant susceptibles d'emprunter le réseau à grande vitesse. Par ailleurs il serait souhaitable de cibler de préférence des déplacements suffisamment longs pour être sensibles aux modifications du système de transport mais pas trop longs pour qu'ils ne dépassent pas les enjeux des politiques de transport nationales. La définition peut inclure du trafic local, du trafic international en transit pour lesquels le choix modal dépasse l'échelle des réseaux de transport français, mais il faut veiller à ce que le trafic interrégional n'y soit pas noyé. Par ailleurs nous souhaitons mesurer une *évolution de l'usage* des différents modes de transport. Définir notre objet d'étude comme ensemble des trafics circulant sur les réseaux à grande vitesse présente l'avantage de cibler au mieux les dynamiques des réseaux auxquels nous nous intéressons. Cette définition présente toutefois un inconvénient : le réseau autoroutier s'est considérablement étendu au cours des 20 dernières années. L'évolution du volume de déplacements de voyageurs à longue distance traduit au moins autant l'extension du réseau autoroutier que l'augmentation de l'usage des autoroutes par les individus. L'évolution du volume de trafic sur autoroutes est intéressante en soi, toutefois il est souhaitable d'avoir, à côté de cette évolution en volume, une mesure de l'évolution de l'usage hors variation du réseau.

Outre la nécessité de cohérence externe, la définition doit avoir une *cohérence interne*. La cohérence interne d'une définition en termes de champ de mobilité comme ensemble de déplacements vérifiant un certain nombre de critères se vérifie aisément. C'est moins le cas lorsqu'on adopte une définition en termes de logiques de réseau. En effet si on cherche à expliquer la mobilité en termes de génération – partage modal, il est souhaitable qu'un déplacement autrefois effectué en train mais que l'individu effectue par la suite en voiture suite à une modification de l'offre de transport reste inclus dans la définition du volume total de mobilité considérée. Par ailleurs si un déplacement est exclu du champ de la définition à l'année n , il est souhaitable qu'il en reste exclu à l'année $n+1$. Bien sûr on peut avoir une définition à "système ouvert", toutefois notre objet d'étude sera plus délicat à modéliser, car moins cohérent entre modes.

De fait la logique de la modélisation est sous-tendue par des logiques socio-économiques. Plus la définition forme un tout cohérent et pertinent sur un plan socio-économique, plus elle est facilement modélisable.

La définition obtenue doit être *mesurable* : la définition théorique ne peut pas être pensée indépendamment des sources de données à disposition et aussi de leur qualité. C'est ce que nous étudions dans la section suivante. Nous devons nous pencher sur les différentes sources de données permettant d'appréhender les déplacements à longue distance et sur leur fiabilité.

II. Le système de production de données en interurbain

Dans cette section, nous présentons l'ensemble des données disponibles en interurbain, aussi bien les données opérateurs (sous-section 1) que les enquêtes transports (sous-section 2). Notre objectif est ici double : d'une part faire le point sur les données utilisables pour mesurer l'évolution des déplacements à longue distance à un échelon national et caler un modèle global, et d'autre part faire le point sur les données susceptibles de nous apporter un éclairage sur la répartition spatiale des déplacements ou la nature de la mobilité. Nous nous attachons systématiquement à présenter la nature des données à disposition, le système de recueil de

données, leur fiabilité et leur cohérence, et en particulier la fiabilité de la mesure de leurs évolutions. Nous nous interrogeons aussi sur les champs de la mobilité appréhendés.

1. Les données modales

Nous présentons de façon successive les données air, train et voiture particulière. A chaque fois, nous détaillons le système de recueil de données et les bases de données disponibles à partir de ces recueils. Nous nous intéressons à la qualité des données ; en particulier il est important de connaître et, dans la mesure du possible, de redresser les ruptures comptables dans les séries chronologiques. Nous étudions aussi ce que recouvrent les données collectées en termes de marchés de la longue distance.

1.1. Les données aériennes

Les données de trafic aérien que nous avons pu obtenir proviennent de la Direction Générale de l'Aviation Civile. Pour chaque vol, les compagnies aériennes sont tenues de déclarer aux aéroports de départ et d'arrivée le nombre de passagers transportés. Ces données sont centralisées par la Direction Générale de l'Aviation Civile. A partir de ces indications, la DGAC produit le nombre de passagers pour chaque liaison aéroport à aéroport. Par multiplication de ces nombres de passagers avec des distances inter-aéroports fixes dans le temps, la DGAC en déduit le nombre de passagers.kilomètres.transportés (en abrégé PKT). Ces données aéroport à aéroport sont assemblées pour produire un certain nombre d'agrégats : ensemble du trafic intérieur métropole (y compris la Corse), ensemble du trafic intérieur (intérieur métropole + DOM-TOM), trafic France-international. Nous disposons des agrégats année par année depuis 1970. Nous disposons des données de trafic aéroport à aéroport pour les principales radiales et quelques transversales au format papier depuis 1977. Suite à l'informatisation de la base de données en 1986 nous disposons des volumes annuels passagers et PKT pour la totalité des liaisons aéroport à aéroport depuis cette date (ainsi que des données France entière mensualisées).

1.1.1. Nature des données

Ce ne sont pas les passagers qui sont suivis mais les numéros de vol associés à leur nombre de passagers. Les données de trafic aéroport à aéroport sont donc des nombres de passagers par ligne mais en aucun cas des matrices origine-destination. Un passager à l'international qui subit un préacheminement sur une ligne intérieure à la France métropolitaine voit son préacheminement comptabilisé à l'intérieur du trafic intérieur métropole. De même un passager effectuant un déplacement à l'intérieur de la France métropolitaine avec une correspondance est comptabilisé 2 fois : un passager effectuant Nantes-Montpellier avec une correspondance à Clermont-Ferrand est comptabilisé une première fois sur Nantes-Clermont-Ferrand et une deuxième fois sur Clermont-Ferrand-Montpellier.

Par rapport à une matrice origine-destination la matrice de trafic aéroport à aéroport surestime le trafic au départ ou à l'arrivée des hubs (Paris bien sûr, mais aussi des hubs secondaires comme Clermont-Ferrand ou Lyon) : le trafic en lien avec Paris comprend, outre le trafic réellement en origine ou en destination à Paris, des préacheminements à l'international et du trafic province – province en simple transit à Paris ; de même le trafic en lien avec Clermont-

Ferrand est gonflé par le trafic des transversales en simple transit à Clermont. A l'inverse les volumes de déplacements sont sous-estimés sur les transversales autres que les rayons de hubs.

Au niveau du volume total de passagers intérieur métropole nous avons donc un problème de *double compte* des voyageurs métropole-métropole en correspondance (notre passager Nantes – Montpellier en correspondance à Clermont-Ferrand compte pour 2 passagers puisqu'il utilise 2 vols) : ce problème de double comptabilité existe au niveau du nombre de *passagers* mais *pas au niveau du nombre de PKT*.

1.1.2. Homogénéité des données dans le temps et points aberrants

Les séries de trafic sont en principe homogènes sur l'ensemble de la période 1970-2002. Pour passer des voyageurs aux voyageurs.kilomètres, la DGAC conserve des distances inter-aéroports fixes pour tous les vols d'une même relation et constantes dans le temps ; il n'y a donc en principe pas de biais à ce niveau. En revanche, les trafics ne sont pas redressés par rapport aux grèves, ce qui est susceptible d'entraîner des chutes de trafic inexplicables sur certaines années. Les Comptes Transports de la Nation (INSEE, [1]-vol.1988) mentionnent des grèves en 1988 dont l'impact peut être estimé à environ -2% de trafic, un "mouvement social de grande ampleur en octobre 1993" (INSEE, [1]-vol.1994) qui sera suivi d'une politique de promotion des sièges libres pendant la première moitié de 1994 par Air France afin de parvenir à "une reconquête commerciale des passagers perdus lors des grèves de 1993" (INSEE, [1]-vol.1994) ; les Comptes Transports signalent enfin un "mouvement social d'Air France en juin 1998" (INSEE, [1]-vol.1998). Cette liste de grèves est loin d'être exhaustive. Toutefois, un moyen de détecter des grèves particulièrement importantes consiste à observer la stabilité de la répartition mensuelle du trafic. Cette répartition est effectivement stable sur la période 1986 – 2000 pour laquelle nous disposons de l'information. La fiabilité des vols intérieurs n'a pas été stable dans le temps, mais il n'y a pas de points atypiques apparents liés aux grèves sur la période 1986-1999.

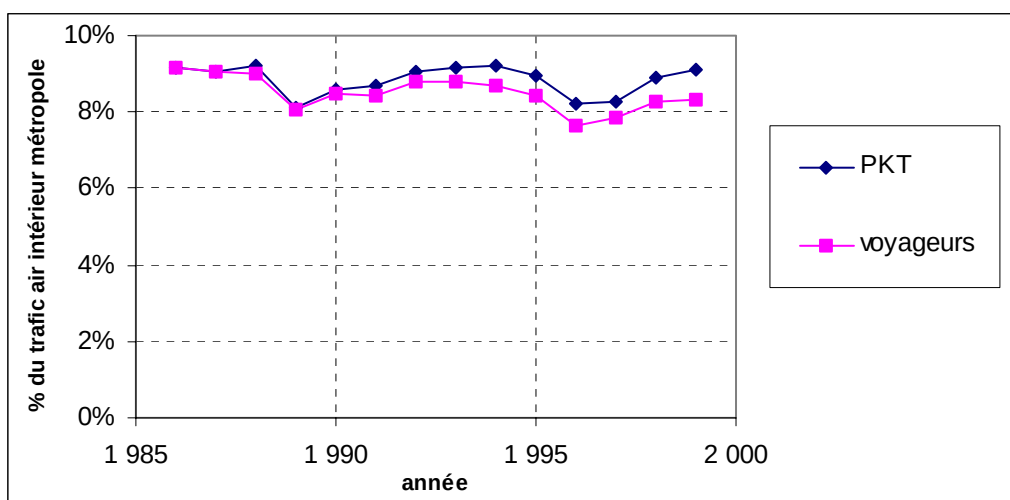
1.1.3. Les "marchés" de la longue distance concernés

Le trafic intérieur métropole inclut non seulement le trafic dont l'origine et la destination sont intérieurs à la France continentale mais aussi le trafic France continentale vers la Corse et Corse – Corse ainsi que les préacheminements à l'international et aux DOM-TOM. Le trafic vers la Corse correspond à une logique de partage modal particulière, de même que les préacheminements à l'international et aux DOM-TOM. Il est souhaitable d'évaluer la part de ces volumes de trafic et de s'interroger sur leur stabilité dans le temps à défaut de pouvoir les enlever.

Grâce aux données aéroport à aéroport dont nous disposons à partir de 1986 (date de mise en place de la base de données informatisée), nous calculons la part du trafic corse (France continentale vers Corse + Corse vers Corse) au sein du trafic intérieur métropole année après année depuis 1986. La part de la Corse a oscillé entre 8% et 9% au cours des 15 dernières années (Graphique 1). Faute de connaître précisément le trafic vers la Corse sur la période 1970-1986³, nous conservons la Corse à l'intérieur de la série trafic intérieur France. Ce trafic représente du trafic captif.

³ Nous connaissons le trafic des liaisons Paris vers Bastia, Ajaccio, Calvi de 1977 à 1985. En revanche nous ne connaissons pas l'évolution des volumes de trafic entre le reste de la France continentale et la Corse sur cette période. Or ce trafic France hors Paris vers Corse représentait 63% du nombre de voyageurs et 39% du nombre

Graphique 1 : Part de la Corse au sein du trafic aérien français.

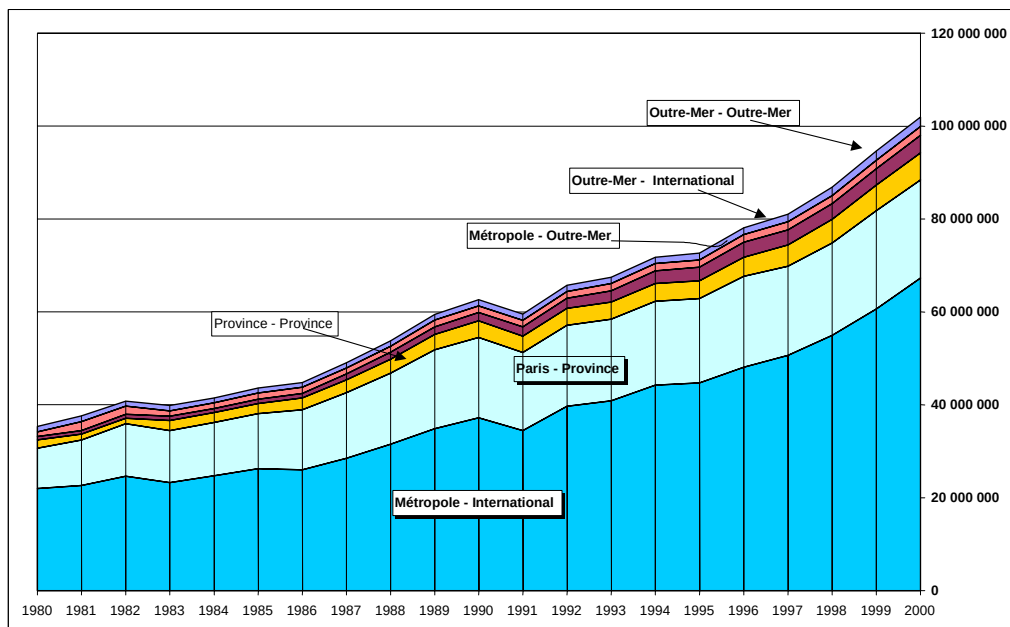


Nous n'avons pas d'informations en séries chronologiques sur la part du trafic de préacheminement à l'international et aux DOM-TOM au sein des lignes intérieures françaises. Nous sommes donc obligés de conserver ce trafic au sein de nos séries. Cette part n'est toutefois pas négligeable. Le trafic international est 3 fois plus important que le trafic intérieur France (Graphique 2). En 2000, le trafic sur les lignes intérieures françaises était de 27,0 millions de passagers contre 75,0 millions sur les liaisons entre la France métropolitaine et "l'international" (international + DOM-TOM) (d'après données DGAC). La part de trafic international subissant un préacheminement n'est pas nécessairement très élevée : une part du trafic international a pour origine ou destination finale Paris et y atterrit donc généralement directement ; les provinciaux disposent d'une offre importante de vols directs à destination des principales villes européennes au départ des grands aéroports de province ; par ailleurs, pour des destinations plus compliquées les provinciaux peuvent prendre un vol international depuis un aéroport de province vers un hub européen comme Londres ou Francfort pour ensuite être acheminés à destination, et ce sans transiter par Roissy. Toutefois, même avec une part de trafic en préacheminement à l'international faible (de l'ordre de quelques pour cent), comme ce pourcentage est appliqué à un volume de trafic qui représente le double du trafic intérieur métropole, le volume de trafic de préacheminement n'est pas négligeable. D'après (Morellet, Marchal, 1997), le trafic international au sein des lignes domestiques françaises était de 9% en 1992. Cette part est toutefois susceptible d'évoluer dans le temps, pour plusieurs raisons : différentiels de croissance entre trafic international et trafic français, évolution de la part de préacheminement des voyageurs. On note qu'entre 1980 et 2000 le trafic international + Outre-Mer a été multiplié globalement par 3, alors que le trafic intérieur France n'a été multiplié que par 2,6 (d'après données DGAC) (Graphique 3). Le trafic international + DOM-TOM a crû à un rythme régulier de 1995 à 1999 alors que le trafic intérieur France a marqué un palier à partir de 1990. Certains événements marquent le trafic international de façon plus spécifique que le trafic intérieur France : -6,2% pour le trafic international en 1991 suite à la crise du Golfe, contre -2,3% pour le trafic intérieur France. Une part du trafic des lignes domestiques françaises est donc autant soumise aux variations du trafic international et à la

de vkm en 1986. Nous aurions pu faire l'hypothèse que l'évolution du trafic corse sur 1977 – 1985 suivait l'évolution du trafic Paris vers la Corse sur cette même période. Ceci dit ce trafic ne représentant que 61% du total des vkm corses, il resterait une certaine incertitude dans l'évaluation ; nous conservons la série intérieure France complète, le trafic corse représentant du trafic captif.

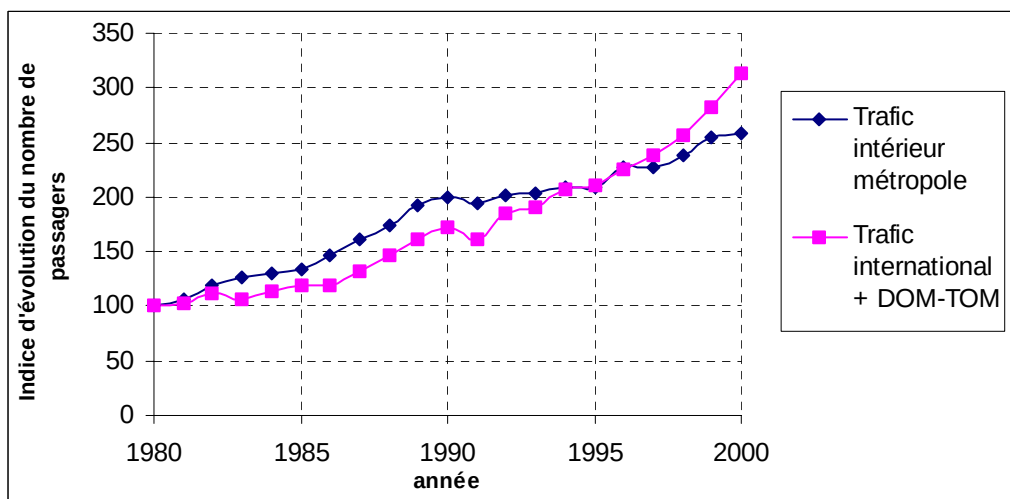
compétitivité du hub de Roissy par rapport aux autres hubs européens, qu'à l'évolution de la compétition air / fer à l'intérieur de l'hexagone.

Graphique 2 : Evolutions des trafics intérieurs France, international et Outre-Mer en terme de voyageurs entre 1980 et 2000



Source : DGAC

Graphique 3 : Comparaison des croissances des trafics intérieurs France et international + Outre-Mer en terme de voyageurs.



Source : d'après DGAC

1.2. Les données ferroviaires

La SNCF publie annuellement le total du nombre de voyageurs et de voyageurs.kilomètres pour son réseau hors Ile-de-France avec certaines décompositions entre trafics TGV, TRN

(Trains Rapides Nationaux) et SRV (Services Régionaux de Voyageurs). La SNCF publie également annuellement des éléments d'information sur la décomposition du volume de voyageurs.kilomètres TGV entre les différents axes de circulation (réseaux Sud-Est, Atlantique, Nord Europe, Jonction, Eurostar et Thalys). Ces différentes données sont publiées dans les Mémentos Statistiques de la SNCF (SNCF, [1]-annuel). A l'occasion des études préalables à des projets de TGV, la SNCF communique ponctuellement des données de trafics relatifs aux liaisons concernées ; ces informations sont présentes dans les dossiers d'études préliminaires, avant-projets sommaires et avant-projets détaillés de TGV. Outre ces données publiques, la SNCF nous a communiqué des données complémentaires : leurs cartes de trafic par tronçon bi-annuelles de 1974 à 1992 ainsi que des matrices annuelles région à région et Ile-de-France vers tous les départements français de 1996 à 2000.

1.2.1. Les données de trafic globales

La SNCF produit des séries de trafic sur différents périmètres :

- **Total trafic hors Ile-de-France (TGV+TRN+SRV)⁴ (1)**
- **Trafic Grandes Lignes (TGV+TRN) (2)**
- Trafic SRV (3)
- **Trafic intérieur français (4)**
- Trafic international (5)
- Trafic TGV seul (6)
- Trafic TRN seul (7)

$$(1) = (2) + (3) = (4) + (5)$$

Les séries (1), (4) et (5) sont disponibles aussi bien en voyageurs qu'en voyageurs.kilomètres ; les séries (2), (3), (6) et (7) sont disponibles en voyageurs.kilomètres seulement.

a) Nature des données

Les séries de trafic SNCF intègrent à la fois les billets individuels et les abonnements mais excluent les gratuits (5% du trafic environ).

Les volumes de voyageurs.kilomètres correspondent à des voyageurs × des distances **tarifaires** fixes au cours du temps. Autrement dit un voyageur effectuant à l'heure actuelle Paris-Lyon en TGV est considéré comme parcourant 512km, bien que la mise en service de la ligne à grande vitesse Paris-Lyon ait raccourci la distance d'une centaine de kilomètres depuis 1983. Cette stabilité des distances au cours du temps est un élément satisfaisant qui évite des incohérences d'évolutions de la fréquentation au cours du temps.

La distinction entre trafic Ile de France et trafic grandes lignes se fait selon un périmètre géographique : les déplacements dont l'origine et la destination sont internes au périmètre des Transports Parisiens sont des déplacements Ile-de-France. Les autres déplacements sont grandes lignes. Le périmètre des Transports Parisiens a été modifié en 1975 puis en 1991 : depuis 1991 ce périmètre est identique aux limites administratives de l'Ile-de-France alors qu'antérieurement il était un peu intérieur (SNCF, [1]-vol.1991). La distinction entre trafics grandes lignes et SRV se fait en fonction de l'étiquetage des trains. Les services grandes

⁴ Abréviations : TRN = trains rapides nationaux ; SRV = services régionaux de voyageurs ; GL = grandes lignes.

lignes et SRV comptent chacun un ensemble de trains dans leur portefeuille. Une même liaison peut être desservie à certaines heures de la journée par des trains grandes lignes et à d'autres par des TER. Par ailleurs, le portefeuille des SRV évolue dans le temps. En 1993 les Express d'Intérêt Régional ont été basculés des TER sur les grandes lignes (-3% du trafic TRN) (SNCF, [1]-vol.1993). Toutefois au-delà de cette modification signalée, d'autres changements de portefeuilles ont eu lieu. Les mises en service de TGV ont entraîné des recompositions des offres TER. Par ailleurs des modifications ponctuelles ont eu lieu, surtout depuis la régionalisation des TER : basculement de Paris-Auxerre dans l'offre SRV en 2002 par exemple.

b) Homogénéité des données

Utiliser des séries de trafic concaténées brutes n'est guère pertinent. En effet, les volumes de voyageurs.km dépendent de la façon dont ils ont été calculés. Dans le cas du train, la SNCF a changé de mode de comptabilité, périmètres d'action des TRN, ..., à 6 reprises au cours des 20 dernières années (dont 2 changements majeurs en 1991 avec l'extension du périmètre de l'Ile-de-France de ses anciennes limites 1975 à la région Ile-de-France (-1% de trafic TRN) et 1993 avec le basculement des Express d'Intérêt Régional des TRN vers les SRV (-3.7% de trafic TRN), ce qui entraîne des hausses et des baisses artificielles de trafic. Les -4.7% de baisse au début des années 1990 coïncident avec les mises en service des TGV Atlantique et Nord, ce qui risque d'avoir des conséquences fâcheuses en matière de modélisation. Il est nécessaire de redresser les données pour tenir compte de cet effet de définition. A chaque changement de comptabilité nous disposons pour chaque année précédant le changement des chiffres (parfois provisoires) calculés selon l'ancienne méthode et des chiffres définitifs recalculés par la nouvelle méthode, ce qui permet de rabouter les séries par règle de trois. En raboutant les séries par des règles de trois nous faisons l'hypothèse implicite que les trafics reportés d'une plage à l'autre croissent à peu près au même rythme que la série considérée. Cette hypothèse est plausible et même s'il existe un certain différentiel de croissance entre les trafic régionaux et internationaux par rapport à la longue distance métropole, comme ces trafics sont faibles en pourcentage, leur différentiel de croissance a un impact faible sur l'évolution du reste du trafic.

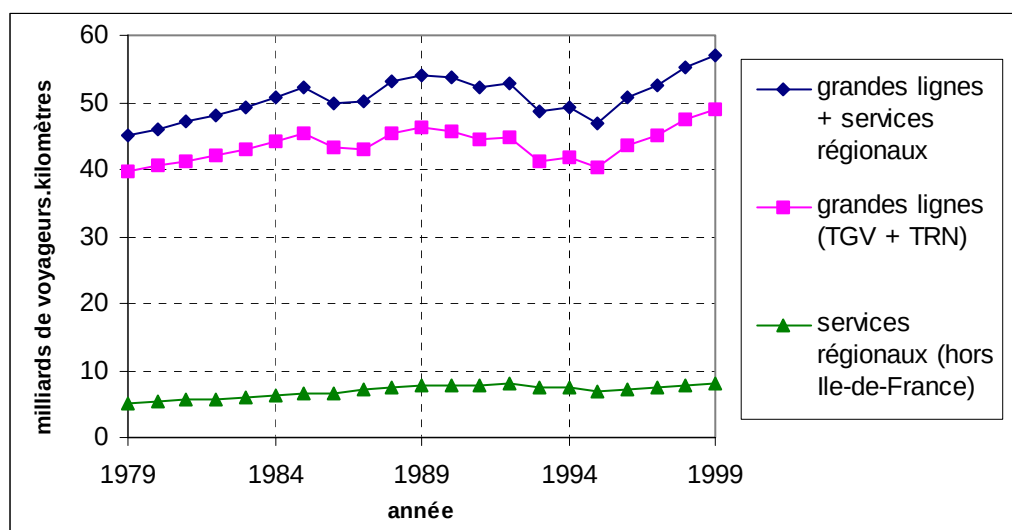
c) Les "marchés" de la longue distance concernés

Sur les diverses séries SNCF, trois séries peuvent être envisagées pour notre modèle : les séries grandes lignes (GL), total trafic hors Ile-de-France (GL+SRV) et intérieur France. Ces diverses séries mélangent des trafics de portée nationale avec du trafic de portée régionale, voire locale. Par ailleurs les séries, sauf la série intérieur France, incluent du trafic international. Pour choisir la série la plus adaptée, il est important d'évaluer les parts de trafic local et international susceptibles d'être présentes dans chaque série.

La SNCF sépare les trajets dont l'origine et la destination sont internes au Périmètre des Transports Parisiens du reste du trafic pour obtenir une série de trafic voyageurs "hors Ile-de-France". Le Périmètre des Transports Parisiens est toutefois un peu étroit. A l'heure actuelle le Périmètre des Transports Parisiens correspond aux limites administratives de l'Ile-de-France. Or les limites de l'Ile de France sont situées dans un rayon inférieur aux 80km à vol d'oiseau conventionnellement retenus pour séparer longue distance et mobilité locale. De plus l'aire

urbaine⁵ parisienne déborde des limites administratives de l'Ile-de-France (et donc de l'actuel périmètre des transports parisiens) au Nord et à l'Ouest. Avant 1991, le Périmètre des Transports Parisiens était encore un peu plus restreint. Du trafic de grande banlieue de la région parisienne se trouve inclus dans la série "trafic hors Ile-de-France". La délimitation du Périmètre des Transports Parisiens a une certaine influence sur le volume de trafic ferroviaire "hors Ile-de-France" : le changement de périmètre de 1991 entraîne une chute comptable du trafic TRN de 1% en termes de voyageurs.kilomètres. Il est probable qu'il reste une part de trafic local parisien au sein des trois séries, que ce soit grandes lignes, intérieur France ou GL+TER. En province, le trafic domicile-travail est essentiellement inclus dans les SRV. Exclure les SRV pour garder une série GL permet d'obtenir une série qui correspond mieux aux enjeux des politiques nationales de transport. Toutefois les SRV ne représentent que un peu moins de 15% du trafic GL+SRV. Par ailleurs, compte tenu des changements de portefeuille non signalés, le risque en gardant la seule série GL est de modéliser des changements de portefeuille des TRN autant que des variations de trafic TRN. En contrepartie, conserver les SRV dans notre objet d'étude nous amène à intégrer dans les variations de notre objet d'étude le différentiel de variation des SRV par rapport aux TRN. Compte tenu de la faible part des SRV dans la série en voyageurs.kilomètres, l'éventuel différentiel de croissance est dans tous les cas fortement amorti. Pour mieux évaluer les enjeux de la prise en compte des SRV au sein de notre objet d'étude, nous pouvons visualiser la part des SRV au sein du trafic GL+SRV (Graphique 4 et Graphique 5). Les séries présentées sont des séries redressées, c'est-à-dire corrigées du basculement des Express d'Intérêt Régional des TRN vers les SRV en 1993.

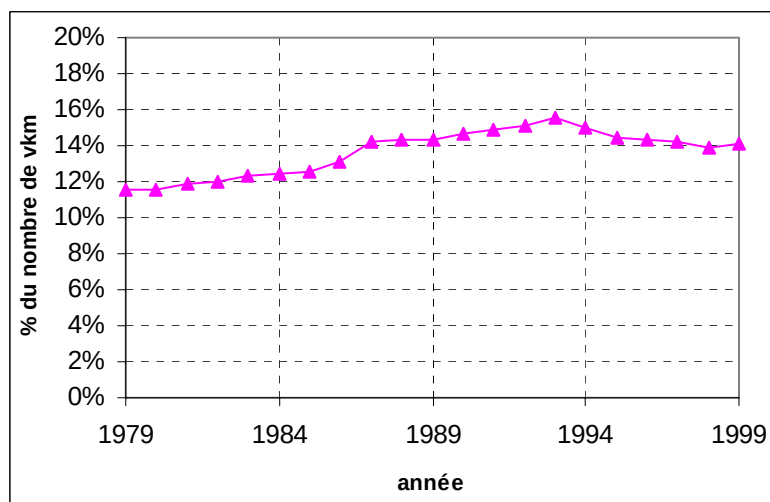
Graphique 4 : Répartition du trafic ferroviaire entre grandes lignes et services régionaux



Source : d'après données SNCF

⁵ Définition INSEE de l'aire urbaine (Le Jeannic, 1997) : ensemble de communes, d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain et par des communes rurales ou unités urbaines dont au moins 40% de la population résidente ayant un emploi travaille dans le pôle ou dans les communes attirées par celui-ci.

Graphique 5 : Evolution du pourcentage de trafic régional au sein de l'ensemble du trafic fer

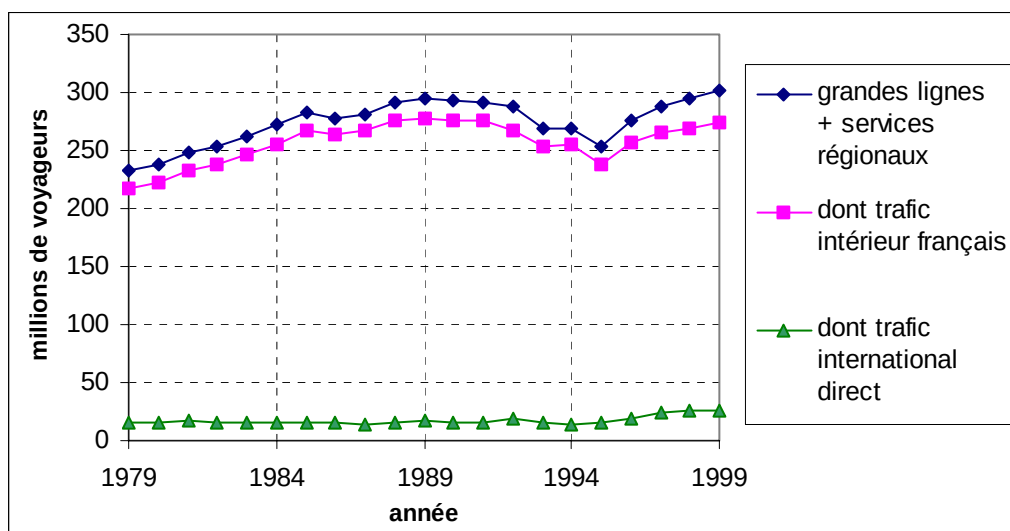


Source : d'après SNCF

La prise en compte ou non des TER n'est pas neutre, puisque leur part varie de 12% à 16% au cours du temps, avec surtout un retournement de tendance en 1993. Il est à noter que la rupture de 1993 coïncide avec le basculement des EIR (3,7% du portefeuille des TRN ; 20% de celui des SRV) du portefeuille TRN sur celui des SRV, sachant que les EIR n'ont peut-être pas eu le même rythme de croissance que les SRV. (Les variations de conjoncture autour de 1993 sont toutefois elles aussi aptes à entraîner des évolutions dans le différentiel de croissance TRN / SRV donc des évolutions de la part modale des SRV). En conservant les SRV au sein de la série de trafic à modéliser, on maintient des trafics courte distance aux dynamiques différentes des trafics grandes lignes. En retirant ces trafics, il faut toutefois être conscient que l'évolution des trafics ne se fait pas à portefeuille de trains tout à fait constant, d'où un risque de rupture comptable de nos séries. Enfin un éventuel retrait des SRV n'empêche pas les trafics trains pris en compte d'être essentiellement de la moyenne distance. En considérant une série GL+SRV, la distance moyenne parcourue par voyageur est de 190km (175km pour le seul trafic intérieur). Nous ne connaissons pas la distance moyenne GL seuls mais, même en supposant que la distance moyenne parcourue par les voyageurs SRV ne soit que de 1km, la distance moyenne parcourue par les GL seuls serait de $190 / 0,85 = 220\text{km}$, ce qui correspond à la distance Paris - Lille. La moitié des voyageurs.km des GL seuls correspond à des trafics inférieurs à 220km, soit à des trafics d'envergure régionale. Afin d'éviter les risques de rupture comptable, nous conserverons pour la modélisation une série GL+SRV et non une série GL seuls (bien que les SRV concernent des trafics de courtes et moyennes distances seulement).

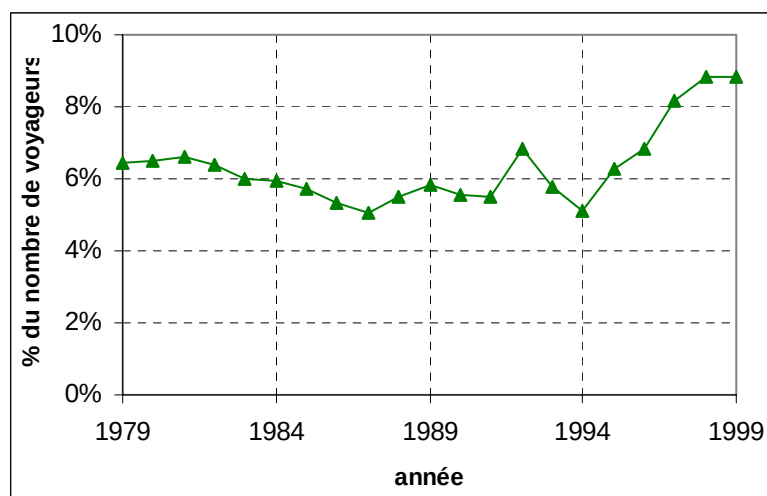
En matière de trafic international, il est clair que les fluctuations de trafic ne sont pas exclusivement liées aux variations de l'offre de transport en France. Pour appréhender les fluctuations du trafic international, nous comparons l'évolution des trafics de voyageurs GL+SRV, intérieur et international au cours des 20 dernières années, en termes de voyageurs (Graphique 6 et Graphique 7) puis de voyageurs.kilomètres (Graphique 8 et Graphique 9). Nous regardons aussi l'évolution de la distance moyenne parcourue par voyageur, car des ruptures de distance moyenne sont le signe manifeste de ruptures de nature de trafic ou de disparition / apparition de certaines catégories d'origines-destinations. (Graphique 10).

Graphique 6 : Répartition du nombre de voyageurs en train (GL+SRV) entre trafic intérieur et trafic international



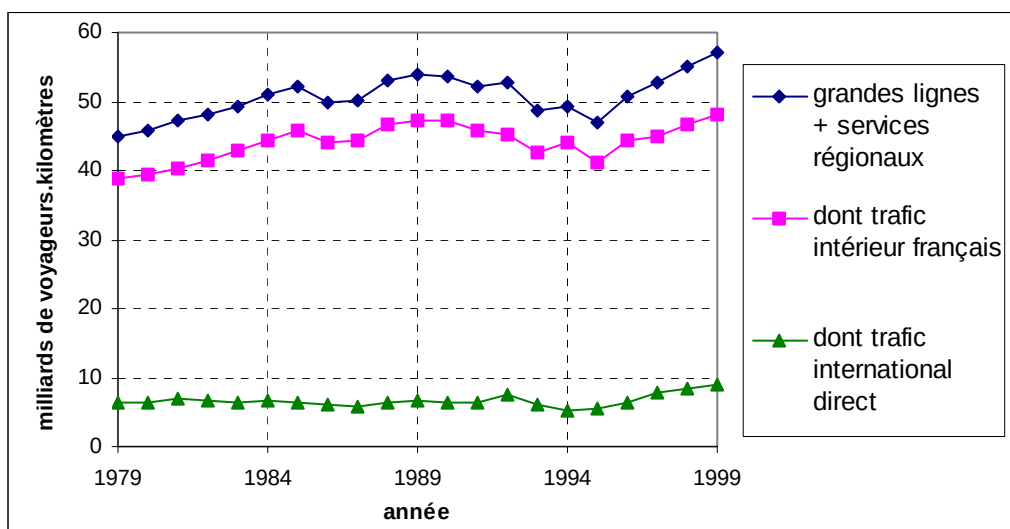
Source : d'après SNCF

Graphique 7 : Part du trafic international au sein de l'ensemble du trafic ferroviaire hors Ile-de-France (grandes lignes + services régionaux) exprimé en voyageurs



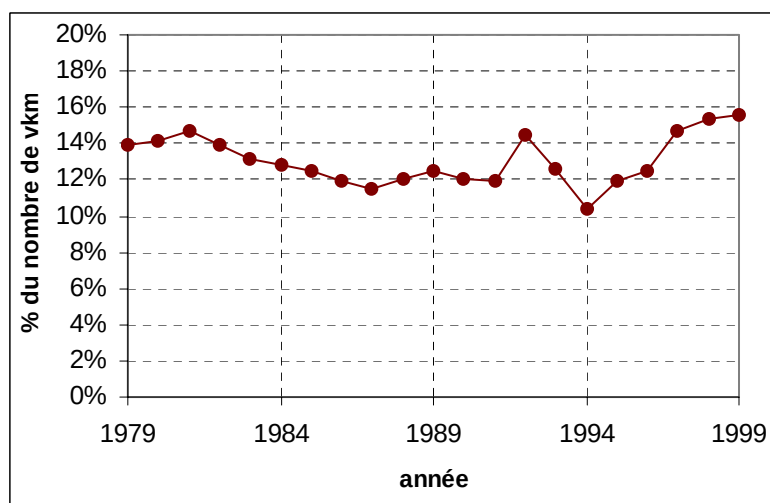
Source : d'après SNCF

Graphique 8 : Répartition du trafic ferroviaire GL+SRV entre trafic intérieur et international
(en voyageurs.kilomètres)



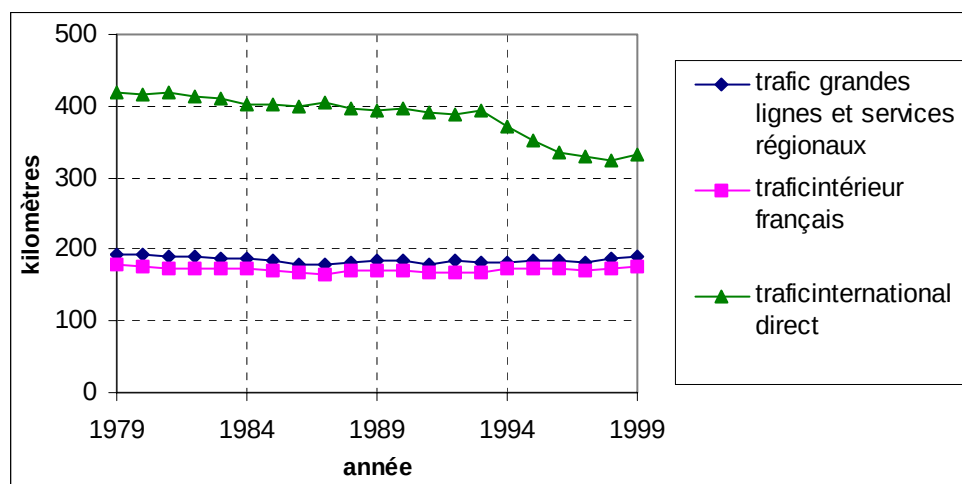
Source : d'après SNCF

Graphique 9 : Part du trafic international au sein de l'ensemble du trafic GL+SRV (en voyageurs.kilomètres)



Source : d'après données SNCF

Graphique 10 : Distance moyenne parcourue par un voyageur (trafic total, intérieur ou international)



Source : d'après données SNCF

La distance moyenne parcourue par les voyageurs internationaux chute brutalement entre 1993 et 1997, ce qui est le signe d'une rupture à cette date. Cette période correspond à la mise en service des TGV Nord et Nord-Europe. Le nombre de voyageurs à destination de Londres et de Bruxelles (destinations dans des tranches de distance basses : 250km pour Bruxelles) a fortement augmenté pendant cette période, ce qui a sans doute tiré la moyenne des distances vers le bas. De 1979 à 1994, la part du trafic international a tendance à diminuer, que ce soit en voyageurs ou en voyageurs.kilomètres, avant de progresser entre 1994 et 1998. L'augmentation sur cette période est à rapprocher de la mise en service du TGV Nord-Europe. Le renversement de tendance de la part du trafic international autour de 1994 est conséquent (4% de part de marché) et est de nature à biaiser la modélisation. Un surcroît de hausse du trafic train après 1994 est imputable à la mise en place d'Eurostar et Thalys mais risque d'être attribué à d'autres facteurs si les variables explicatives des trafics sont évaluées à un niveau interne à la métropole. Si on veut s'abstraire du trafic international, il faut considérer soit la série trafic intérieur France, soit une série GL "corrigée" afin de s'abstraire du trafic international. Pour bénéficier d'une série expurgée à la fois des trafics SRV et internationaux, on pourrait imaginer de soustraire le trafic international au trafic GL. Toutefois les TER acheminent du trafic transfrontalier. On risque d'avoir des doubles comptes.

1.2.2. Les données de trafic spatiales

Sur le plan spatial, la SNCF nous a communiqué des volumes de voyageurs.kilomètres sur les différents axes TGV (données par ailleurs publiées dans les Mémentos de Statistiques de la SNCF), des cartes bi-annuelles de trafic par grand tronçon pour la période 1974-1992 et des matrices origine-destination région à région et Ile-de-France à tous les départements français pour la période 1996-2000.

a) Depuis 1982 : les trafics TGV par axe

Depuis 1982, la SNCF publie les volumes de voyageurs.kilomètres par grande branche (Sud-Est, Atlantique, Nord-Europe, Jonction, Eurostar, Thalys). Toutefois ces volumes peuvent être délicats à interpréter. Les différents TGV ont connu des mises en service progressives. Pour le TGV Sud-Est, si les premiers TGV Paris-Lyon ont commencé à circuler dès septembre 1981 (d'abord en 3heures puis en 2heures après septembre 1983), la SNCF n'a mis en service des TGV Paris-Grenoble qu'en mars 1984 et des Paris-Nice qu'en avril 1986 (SNCF, [1]-vol.1984-1986). Les hausses de trafic du "TGV Sud-Est" peuvent être dues soit à des croissances de trafic liées aux variations de prix ou de temps de parcours, soit à des changements de périmètre de comptabilisation des voyageurs.

b) 1974-1992 : les cartes de trafic par grand tronçon

Avant 1992, des comptages étaient effectués dans les trains. Grand tronçon par grand tronçon, la SNCF connaissait ainsi approximativement le débit de trafic grande ligne. "A partir des états récapitulatifs annuels des fiches de comptage des contrôleurs de route dans les trains rapides et express réguliers et supplémentaires et de renseignements particuliers de certains trains spéciaux (trains auto et pèlerinage uniquement)" (SNCF, [3]-1974-1992), la SNCF a ainsi élaboré des cartes de trafic indiquant tronçon par tronçon les débits de trafic grande ligne. Lors des comptages, les contrôleurs comptabilisaient la totalité des voyageurs ; un coefficient moyen était ensuite appliqué pour éliminer les voyageurs gratuits. Les cartes représentent ainsi "un nombre journalier moyen de voyageurs payants grandes lignes par section de ligne" (SNCF, [3]-1974-1992). Nous disposons de ces cartes tous les 2 ans, jusqu'en 1992. La carte de 1992 présente une rupture par rapport aux cartes précédentes en raison du basculement des express d'intérêt régional de la catégorie "trains grandes lignes" à la catégorie "services régionaux de voyageurs". Les débits 1992 ne sont donc pas directement comparables à ceux de 1990. Les données étant issues de comptages sur des jours représentatifs et non de la billettique annuelle, ces débits moyens de trafic ne sont en principe pas sensibles aux grandes grèves annuelles de 1986-87.

c) 1986-1992 : pas de données détaillées

A partir de 1986 et jusqu'en 1992, la SNCF a mis en place un système d'enregistrement des informations contenues dans les billets et lues électroniquement au moment de la vente des billets. Ce système a été maintenu jusqu'en 1992, et a été enrichi partiellement avec la mise en place de compléments d'informations issus de la réservation obligatoire dans les TGV. Toutefois il semble que le système était difficilement exploitable ; nous n'avons en tout cas pas de bases de données issues de ce système d'informations.

d) Depuis 1996 : les matrices origine-destination

Depuis 1996, la SNCF possède un système d'informations appelé Aristote et connecté au système de distribution Socrate. Socrate a été mis en place en 1993 mais Aristote n'est opérationnel que depuis 1996, ce qui explique un certain vide de données entre 1992 et 1996. Depuis 1996, la SNCF possède des bases de données exploitables dont on peut tirer des

matrices origine-destination. La SNCF travaille sur plusieurs découpages : les régions, les départements et un découpage en bassins versants le long des axes et autour des gares : 146 zones plus ou moins lâches suivant la région de France et sa densité de desserte. La SNCF nous a communiqué des matrices origine-destination relatives aux deux premiers découpages : d'une part des matrices de trafic annuel grandes lignes région à région de 1996 à 2000 ; d'autre part une matrice Ile de France vers tous les départements de 1996 à 2000.

e) Quelques données ponctuelles

Les données des dossiers de mises en service de TGV constituent des sources d'informations ponctuelles sur les trafics de certaines relations. On citera notamment les données 1988 citées dans le document préparatoire (SNCF, 1990) au schéma directeur des lignes à grande vitesse, les données du bilan LOTI du TGV A (SNCF, 1998), quelques données éparses publiées dans les études préliminaires et/ou avant-projets sommaires des TGV Est, Rhin-Rhône, Méditerranée, Aquitaine et Bretagne.

1.3. Les données routières

Le réseau routier français se décompose en plusieurs réseaux : routes nationales, autoroutes concédées, autoroutes non concédées, réseau urbain, "autres routes". Le trafic de portée nationale circule essentiellement sur les trois premiers types de réseaux... mais à ce trafic longue distance se mêle une forte part de trafic local. Il est à noter que les autoroutes non concédées sont tantôt des autoroutes vraiment interurbaines, tantôt des autoroutes périurbaines (rocales...) qui drainent du trafic en réalité urbain. Il est difficile de distinguer trafic local et longue distance sur les différents réseaux. Par ailleurs, il est difficile de distinguer véhicules légers et poids lourds sauf sur les autoroutes concédées. Dans un premier temps nous présentons le système de recueil de données existant (1.3.1.) avant de présenter les données à disposition et leur signification (1.3.2.) puis d'étudier les marchés de la longue distance concernés (1.3.3.).

1.3.1. Nature des données à disposition

Les données à disposition sont plus ou moins étoffées selon le type de réseau concerné. Les péages des autoroutes concédées permettent de distinguer les trafics véhicules légers et poids lourds, ce qui n'est pas le cas sur les autres réseaux. Nous présentons tour à tour les données sur le réseau des autoroutes concédées, les données sur le reste du réseau national, les éléments d'informations complémentaires données par les enquêtes du SETRA, la méthode d'estimation totale de la circulation routière en France.

a) Les données sur le réseau des autoroutes concédées

Le trafic sur autoroutes concédées est connu grâce aux données de péage des sociétés d'autoroutes. L'évaluation du trafic s'effectue en véhicules.kilomètres uniquement. En effet, le réseau autoroutier est tronçonné en plusieurs réseaux séparés par des barrières de péage. Lorsqu'un automobiliste emprunte plusieurs réseaux successivement au cours d'un même

déplacement il est comptabilisé plusieurs fois. Les évolutions du nombre d'entrées-sorties ainsi que du kilométrage moyen des déplacements n'ont ainsi que peu de sens, surtout compte tenu de l'évolution de la configuration du réseau. Grâce aux données de péage, nous connaissons de façon séparée le trafic véhicules légers et poids lourds. L'ASFA établit des séries chronologiques annuelles des volumes totaux de véhicules légers et de poids lourds depuis 1970 ainsi que des volumes de trafic véhicules légers et poids lourds grand tronçon par grand tronçon depuis 1980.

b) Les données de comptage sur le réseau national

Les trafics sur réseaux des autoroutes non concédées et des RN sont connus grâce aux comptages du SETRA. Toutefois les séries globales chronologiques annuelles ne distinguent pas véhicules légers et poids lourds (SETRA, 2000). Les pourcentages Poids Lourds sont connus en un certain nombre de points, grâce aux stations SIREDO, mais il s'agit seulement de points d'observation. En 1990 et 1997, le SETRA a mené des sondages de circulation qui permettent d'évaluer la part du trafic local et du trafic international sur le réseau (SETRA, 1999). En termes de séries chronologiques, le SETRA fournit les parcours (les volumes de véhicules.kilomètres) véhicules légers + poids lourds. Des indices de circulation sont aussi disponibles sur les différents réseaux.

c) Les données d'enquête et les matrices SETRA

Outre ce suivi systématique de l'évolution de la circulation, les CETE et le SETRA mènent des enquêtes de circulation destinées à établir des ordres de grandeur de trafic sur diverses origines-destinations : enquêtes cordon autour des grandes agglomérations et enquêtes de circulation sur certains axes, souvent à l'occasion de projets autoroutiers (CETE du Sud-Ouest, 1998). A partir de ces enquêtes, le SETRA a élaboré des matrices origines-destinations véhicules légers et poids lourds régions à régions et départements à départements. Ces matrices sont des matrices creuses, c'est-à-dire que les enquêtes de circulation ne permettent de remplir qu'une partie de la matrice. En particulier les relations entre régions limitrophes et départements limitrophes ne sont pas connues.

d) L'évaluation de la circulation totale française

Le Ministère évalue annuellement le volume de circulation totale (à la fois urbaine et interurbaine). Cet exercice est effectué depuis le milieu des années 1980 et s'est progressivement perfectionné (INSEE, [1]-vol.1999). Initialement, la circulation totale était estimée à l'aide des parcs de véhicules (dont l'évolution était bien connue jusqu'en 2000 grâce aux ventes de vignettes automobiles) et des kilométrages moyens. Cette estimation a ensuite été confortée grâce aux estimations de la consommation moyenne unitaire des voitures, qui permettaient de vérifier la cohérence entre les données de circulation et les livraisons ou ventes de carburant. Le bilan "parc-circulation-énergie" est ainsi équilibré par étapes successives pour les voitures particulières, les véhicules utilitaires légers et les poids lourds, en distinguant l'essence et le diesel, et ceci selon la double formule :

- Pour les véhicules immatriculés en France :

$$\text{Parc} * \text{Kilométrage annuel moyen} = \text{Circulation}$$
- Pour l'ensemble des véhicules roulant en France :

$$\text{Circulation (véhicules français et étrangers)} * \text{Consommation unitaire} = \text{ventes de carburant (en France) + achats aux frontières}$$

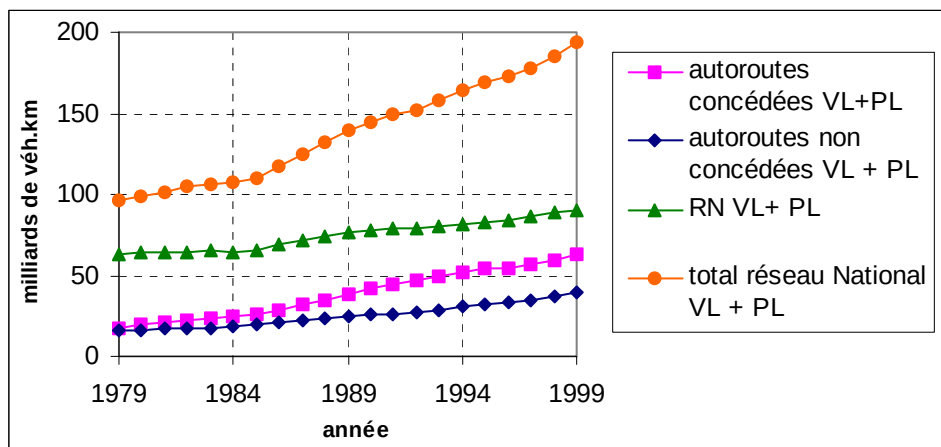
1.3.2. Séries à disposition

Grâce aux différents types de recueil précités, nous disposons de plusieurs séries de trafic annuel au niveau national :

- le volume de trafic total en voyageurs.kilomètres sur autoroutes concédées, véhicules légers d'une part et poids lourds d'autre part,
- le volume de trafic total en voyageurs.kilomètres sur autoroutes non concédées, véhicules légers et poids lourds confondus,
- le volume de trafic total en voyageurs.kilomètres sur routes nationales, véhicules légers et poids lourds confondus.

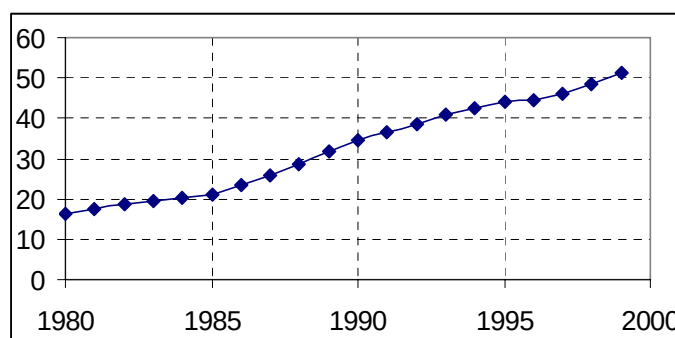
Les principales séries sont présentées ci-dessous (Graphique 11 et Graphique 12).

Graphique 11 : Evolution des volumes de trafics routiers VL + PL (en milliards de véhicules.kilomètres)



Source : SETRA

Graphique 12 : Evolution du volume de trafic véhicules légers sur autoroutes concédées (en milliards de véhicules.kilomètres)



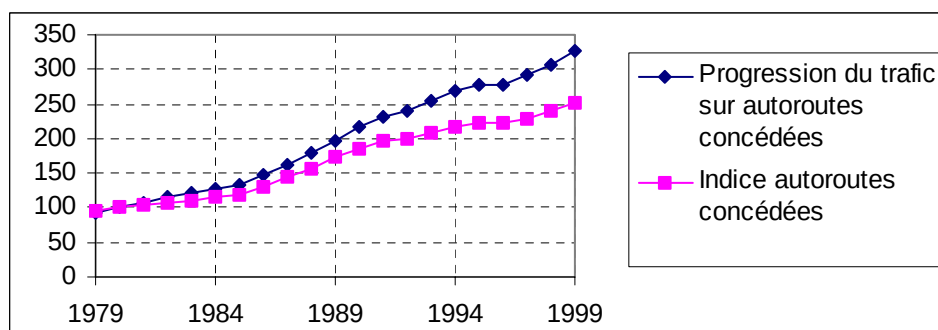
Source : SETRA

Nous disposons aussi des indices de croissance de la circulation à réseau stable VL et PL confondus sur le réseau national, les seules RN, les autoroutes concédées et non concédées. Les évolutions des indices de circulation sont sensiblement différentes des évolutions des volumes de trafic (Tableau 1). Pour le réseau autoroutier l'évolution du volume total de trafic intègre à la fois croissance du trafic à réseau stable et extension du réseau. Le volume de trafic croît bien plus vite que l'indice à réseau stable (Graphique 13 et Graphique 14). Le réseau RN n'a pas varié : les indices sont donc identiques (Graphique 15). Pour l'ensemble du réseau national, l'indice a crû moins vite (Graphique 16).

Tableau 1 : Comparaison entre indices de circulation et croissances de trafic à réseau variable.

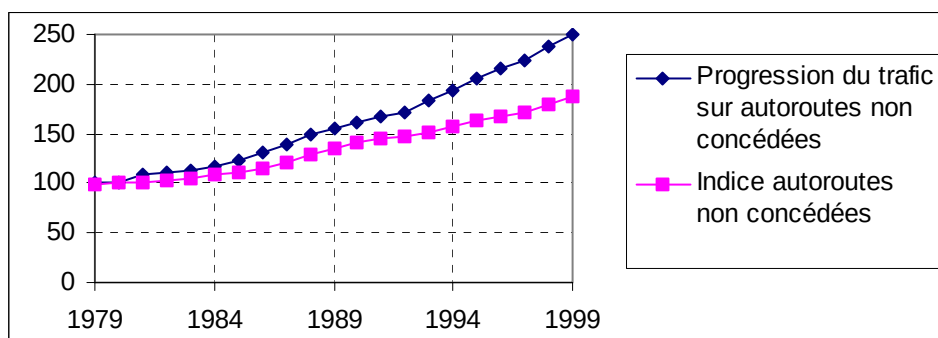
	A réseau variable	A réseau stable
Autoroutes concédées	3,27	2,51
Autoroutes non concédées	2,49	1,88
Ensemble des autoroutes	2,92	2,23
Routes Nationales	1,42	1,42
Réseau National	1,95	1,73

Graphique 13 : Comparaison entre progression du trafic à réseau variable et indice de croissance à réseau stable ; trafic sur autoroutes concédées.



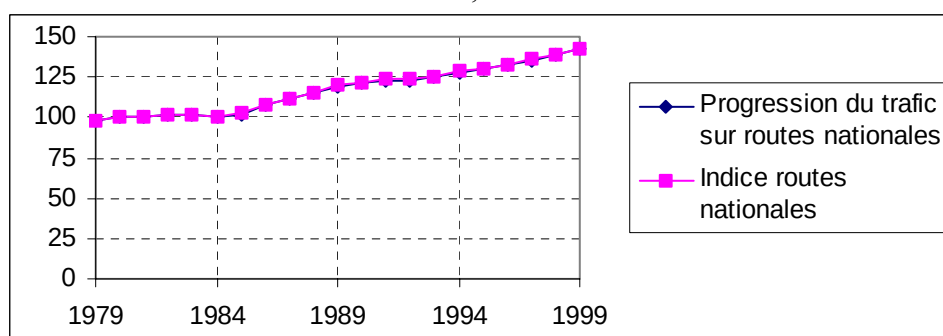
Source : d'après (SETRA, 2000).

Graphique 14 : Comparaison entre progression du trafic à réseau variable et indice de croissance à réseau stable ; trafic sur autoroutes non concédées (base 100 en 1979).



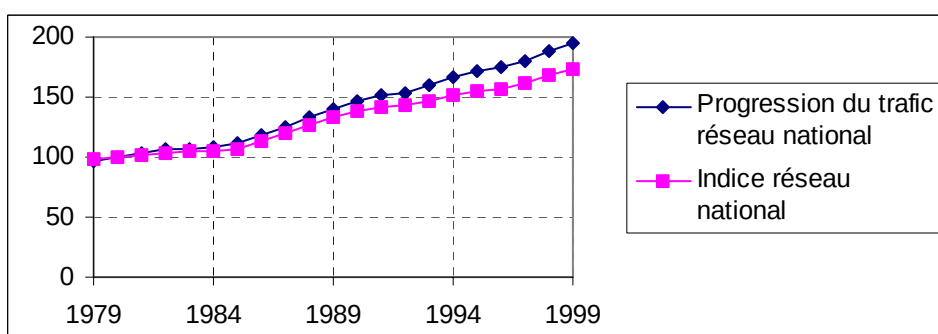
Source : d'après (SETRA, 2000).

Graphique 15 : Comparaison entre progression du trafic à réseau variable et indice de croissance à réseau stable ; trafic sur routes nationales.



Source : d'après (SETRA, 2000).

Graphique 16 : Comparaison entre progression du trafic à réseau variable et indice de croissance à réseau stable ; trafic sur l'ensemble du réseau



Source : d'après (SETRA, 2000)

Ces indices sont tous VL et PL confondus, y compris sur autoroutes non concédées. Comme le pourcentage PL n'est pas constant au cours du temps nous avons construit un indice de circulation sur autoroutes concédées « véhicules légers », c'est-à-dire corrigé de l'augmentation du pourcentage poids lourds :

$$I_{vlc}(n) = I_c(n) * [\%vl(n) / \%vl(1980)]$$

Avec :

$I_{vlc}(n)$: indice de circulation VL sur autoroutes concédées à l'année n (base 100 en 1980),

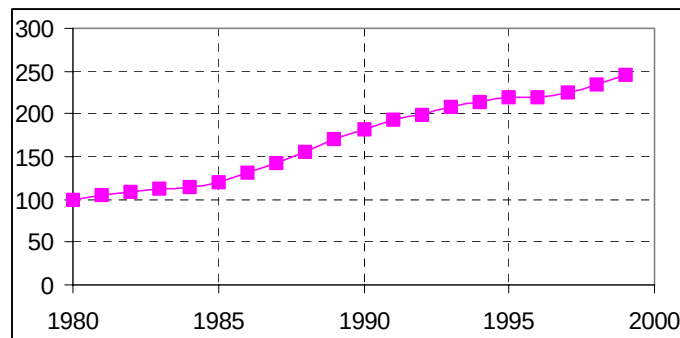
$I_c(n)$: indice de circulation VL+PL sur autoroutes concédées à l'année n (base 100 en 1980),

$\%vl(n)$: pourcentage de VL sur le réseau des autoroutes concédées à l'année n,

$\%vl(1980)$: le pourcentage de VL sur le réseau des autoroutes concédées à l'année 1980.

L'indice de circulation VL est présenté ci-dessous (Graphique 17).

Graphique 17 : Evolution de l'indice de circulation VL sur autoroutes concédées



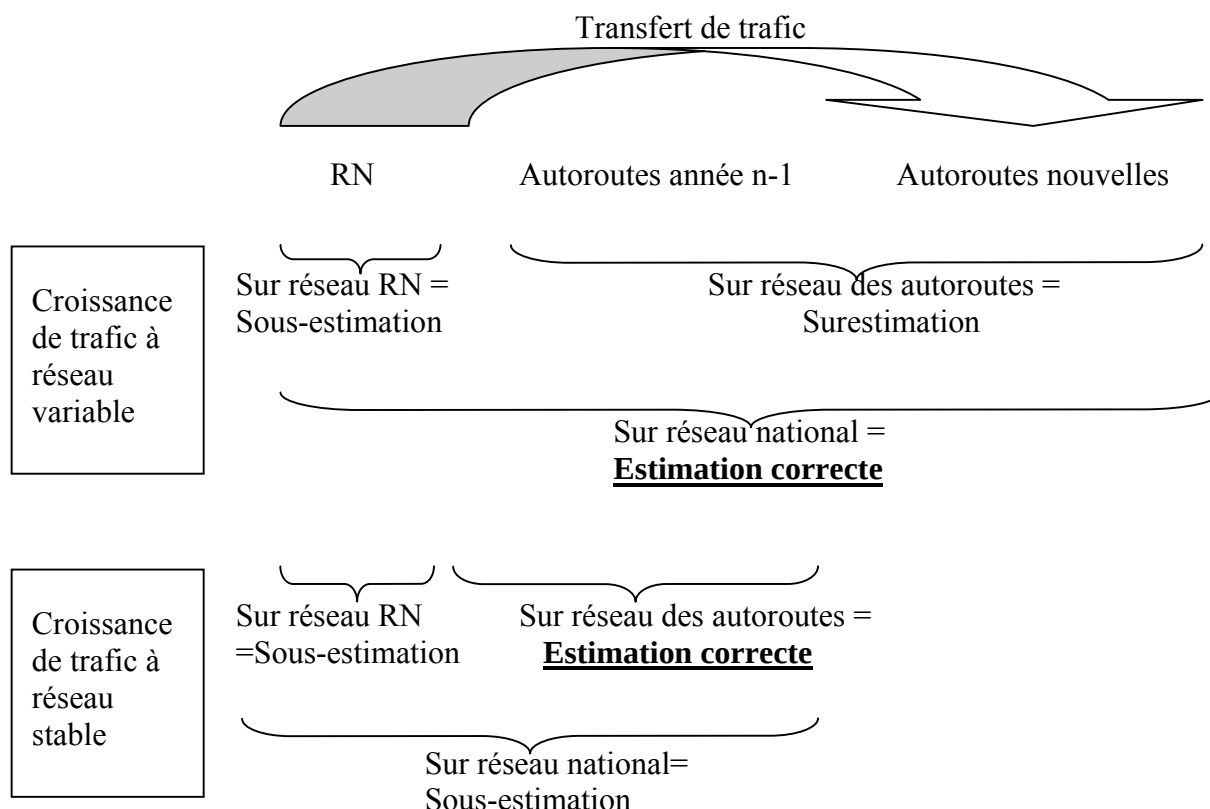
Source : à partir de données SETRA

Si on considère comme champ de mobilité l'ensemble des individus se déplaçant sur autoroutes concédées à une date donnée, l'évolution de ce champ de mobilité est mieux mesurée par l'évolution de l'indice de circulation sur autoroutes concédées que par l'évolution du volume de trafic sur autoroutes concédées. En effet l'évolution du trafic total sur le réseau autoroutier reprend à la fois l'évolution du trafic à réseau stable et les basculements de trafic RN vers autoroute liés à l'extension de réseau. La partie de croissance de la circulation liée à l'extension du réseau est liée à un simple basculement de trafic d'un réseau sur un autre, mais ne correspond pas à une évolution de l'usage du mode routier par rapport au trafic fer et air pour les déplacements longue distance. L'évolution du trafic total des autoroutes correspond à une augmentation de *trafics* circulant sur réseau à grande vitesse mais pas à une croissance de la *mobilité* à longue distance. L'indice de croissance à réseau stable présente toutefois quelques inconvénients. En effet cet indicateur intègre des effets du type :

- intégration de nouveaux espaces plus ou moins dynamiques en termes de croissance de trafic,
- basculement de trafic RN supplémentaire suite à l'effet réseau,
- prise en compte seulement partielle du report de trafic train vers autoroute au moment des mises en services d'autoroutes (le report de trafic train vers autoroute au moment de la mise en service d'un tronçon autoroutier apparaîtra sur la croissance à réseau stable du reste du réseau autoroutier déjà construit mais pas au niveau du nouveau tronçon concerné puisque celui ci n'est intégré dans les calculs qu'une fois sa mise en service effectuée ; par contre l'indice de trafic à réseau stable intègre parfaitement le report de trafic train vers autoroute lié aux variations de prix ou à la croissance économique ou à l'effet réseau au sein du réseau autoroutier) (au final, légère sous estimation de l'indice)
- non évacuation complète de l'effet montée en charge des infrastructures, même si la prise en considération du réseau réalisé depuis 2 ans en évacue l'essentiel (légère surestimation de l'indice)

Considérer des évolutions d'indice de croissance sur autoroutes concédées permet de cibler le champ de la mobilité auquel nous nous intéressons, en évacuant au maximum des déplacements régionaux. Si toutefois on souhaite considérer comme champ de mobilité l'ensemble des trafics du réseau national à une date donnée, l'évolution de ce volume de mobilité est a priori bien mesurée par l'évolution du *volume* de trafic voyageurs et non par l'*indice* de croissance. L'extension du réseau conduit en effet à un éparpillement de la mobilité sur les tronçons existants qui rend l'indice de circulation artificiellement trop faible (Figure 1).

Figure 1



1.3.3. Les "marchés" de la longue distance concernés

Les différentes séries de trafic comprennent du trafic de portée interrégionale, mais aussi du trafic courte distance et du trafic international en transit. Enfin, les trafics VL et PL sont mélangés. Les sondages de circulation du SETRA de 1990 et 1997 nous permettent d'appréhender la part de ces types de trafics au sein de la circulation sur les Routes Nationales d'une part et sur les autoroutes (autoroutes concédées et non concédées interurbaines) d'autre part ainsi que leur variation entre 1990 et 1997.

a) Mélange de trafic VL et PL

La part des PL est relativement modeste (13,7% sur l'ensemble du réseau, 15,5% sur les autoroutes concédées et non concédées interurbaines). Ces parts étaient identiques en 1990 et en 1997. Les taux de croissance VL seuls ou tous véhicules confondus entre 1990 et 1997 étaient donc identiques (+21% de croissance tous véhicules confondus sur l'ensemble du réseau contre +21% pour les VL seuls ; +33% tous véhicules confondus sur autoroutes contre +34% VL seuls) (Tableau 2). Toutefois l'identité de la part des PL au sein du trafic total ne signifie pas identité de la part tout au long de la période...

Tableau 2 : Part du trafic PL au sein du réseau national

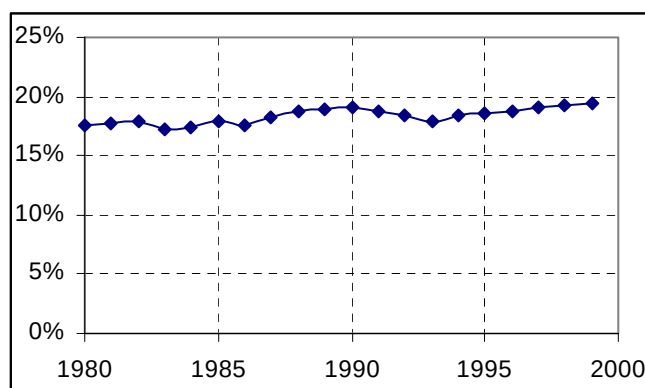
1990	VL français	VL étrangers	VL total	PL français	PL étrangers	PL total	Total (millions de vkm)
autoroutes	49900	6434	56334	7823	2480	10303	66637
RN	71214	3365	74579	9703	817	10520	85099
ensemble	121114	9799	130913	17526	3297	20823	151736
1997	VL français	VL étrangers	VL total	PL français	PL étrangers	PL total	Total (millions de vkm)
autoroutes	67695	7558	75253	9231	4243	13474	88727
RN	80815	2896	83711	10381	1191	11572	95283
ensemble	148510	10454	158964	19612	5434	25046	184010
%90	VL français	VL étrangers	VL total	PL français	PL étrangers	PL total	Total
autoroutes	75%	10%	84,5%	12%	4%	15,5%	100%
RN	84%	4%	87,6%	11%	1%	12,4%	100%
ensemble	80%	6%	86,3%	12%	2%	13,7%	100%
%97	VL français	VL étrangers	VL total	PL français	PL étrangers	PL total	Total
autoroutes	76%	9%	84,8%	10%	5%	15,2%	100%
RN	85%	3%	87,9%	11%	1%	12,1%	100%
ensemble	81%	6%	86,4%	11%	3%	13,6%	100%
croissance	VL français	VL étrangers	VL total	PL français	PL étrangers	PL total	Total
autoroutes	36%	17%	34%	18%	71%	31%	33%
RN	13%	-14%	12%	7%	46%	10%	12%
ensemble	23%	7%	21%	12%	65%	20%	21%

Source : sondages de circulation 1990 et 1997 du SETRA) (SETRA, 1999).

Partir de l'identité des parts modales PL en 1990 et 1997 pour en déduire la constance de la part des PL tout au long de la période est un pari audacieux. Pour vérifier l'hypothèse, nous regardons l'évolution de la part des PL au sein des trafics autoroutes concédées seules, cette évolution étant connue annuellement grâce aux données de l'ASFA. Au sein du trafic sur l'ensemble des autoroutes concédées et non concédées interurbaines la part des PL est estimée à 15% aussi bien en 1990 qu'en 1997 dans le cadre des sondages de circulation du SETRA.

Au sein du trafic sur autoroutes concédées seules, la part des PL était de 19% aussi bien en 1990 qu'en 1997. Toutefois cette part a fluctué sur l'ensemble de la période. Elle a globalement augmenté : de 18% en 1980 à 20% en 2000, avec des stagnations voire des baisses au cours des périodes de mauvaise conjoncture économique (-1 point entre 1990 et 1993) mais augmenté lors des périodes fastes (+1 point entre 1986 et 1990, +2 points entre 1993 et 2000) (Graphique 18). Le trafic PL est apparemment plus sensible à la conjoncture économique que le trafic VL, du moins sur le réseau des autoroutes concédées.

Graphique 18 : Evolution du pourcentage PL au sein du trafic sur autoroutes concédées



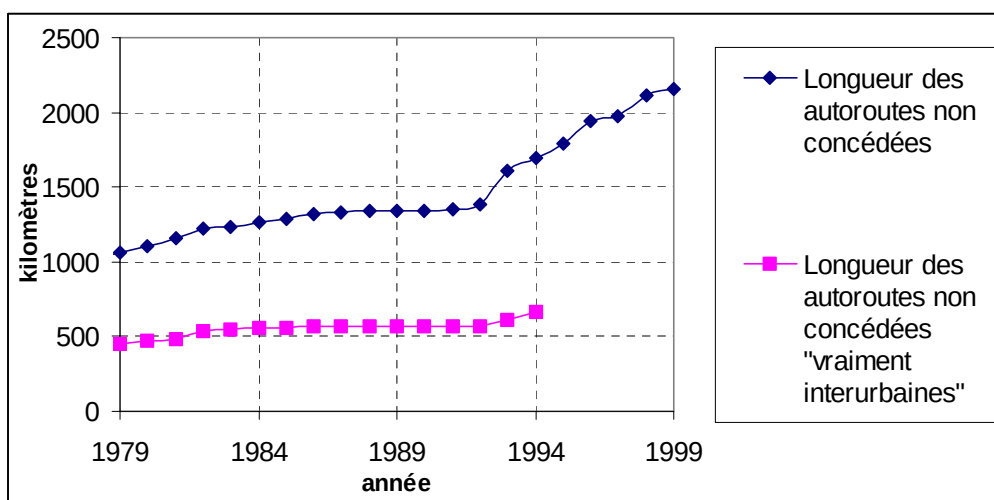
Source : ASFA

Ce différentiel de croissance entre PL et VL est de nature à engendrer de légères différences de croissance entre trafic VL seul et trafic VL+PL. Toutefois, compte tenu de la part inférieure à 20% des PL, l'impact du différentiel est considérablement amorti.

b) Mélange de trafic interrégional, local et longue distance

La longueur du réseau autoroutier construit est un indicateur d'amélioration de la vitesse des trajets en voiture. On distingue deux types d'autoroutes : les autoroutes concédées et les non concédées. Toutefois les autoroutes non concédées sont souvent des autoroutes urbaines. Dans le cadre d'une étude sur la régionalisation du trafic automobile (Madre, Pirotte, 1992), l'INRETS a isolé les tronçons réellement interurbains des autoroutes non concédées. En termes de longueurs de réseau, ces tronçons représentaient moins de la moitié de la longueur totale du réseau des autoroutes non concédées sur la période 1975-1992 (Graphique 19) ; en termes de volume de trafic, leur part est assurément beaucoup plus importante.

Graphique 19 : Evolution de la longueur des autoroutes non concédées véritablement interurbaines



Source : d'après (Madre, Pirotte, 1992)

Deux sources d'information nous permettent de mieux connaître les profils de distance des déplacements sur le réseau national et les autoroutes concédées : les sondages de circulation du SETRA et l'enquête – transports de 1993.

Dans les sondages de circulation 1990 et 1997 du SETRA, le SETRA relève le type de plaque d'immatriculation pour estimer la part des trafics locaux et étrangers (Tableau 3). Le SETRA appelle "locale" une voiture ayant une plaque d'immatriculation du département même ou du département limitrophe. Une voiture est appelée "étrangère" si elle possède une plaque d'immatriculation étrangère. Le "total transit" correspond aux Français non locaux + les étrangers.

En matière de trafic France-international, les étrangers représentent 11% du trafic. Certains de ces trajets peuvent toutefois être des déplacements France – France. Inversement des usagers à plaque d'immatriculation française peuvent effectuer des déplacements France – étranger.

La part du trafic "local" paraît énorme, y compris sur les autoroutes (68% sur l'ensemble du réseau, 58% sur autoroutes) (Tableau 3). Il faut tout de même noter que la définition de trafic "local" retenue dans l'enquête est très extensive (plaque d'immatriculation du département ou du département limitrophe). Un Lyonnais effectuant un trajet Lyon – Paris (trajet incontestablement longue distance) et enquêté dans le Rhône ou en Saône-et-Loire est considéré comme local par cette enquête. Il est considéré comme "local" sur 1/3 de son parcours. La part des déplacements "courte distance" serait donc moins élevée qu'il n'y paraît. Une enquête de la SAPRR réalisée en 1994 auprès de 18000 voyageurs montrait toutefois que 50% des déplacements faisaient moins de 60 km. (Ramenés en véhicules.km leur part est évidemment bien inférieure). Entre 1990 et 1997 le trafic "local" sur les autoroutes et le reste du réseau national s'accroît : sur l'ensemble du réseau la croissance du trafic de "transit" est de +16% entre 1990 et 1997 contre +21% tous trafics confondus ; sur les autoroutes concédées la croissance du trafic de "transit" est de +27% contre +34% tous trafics confondus (Tableau 3).

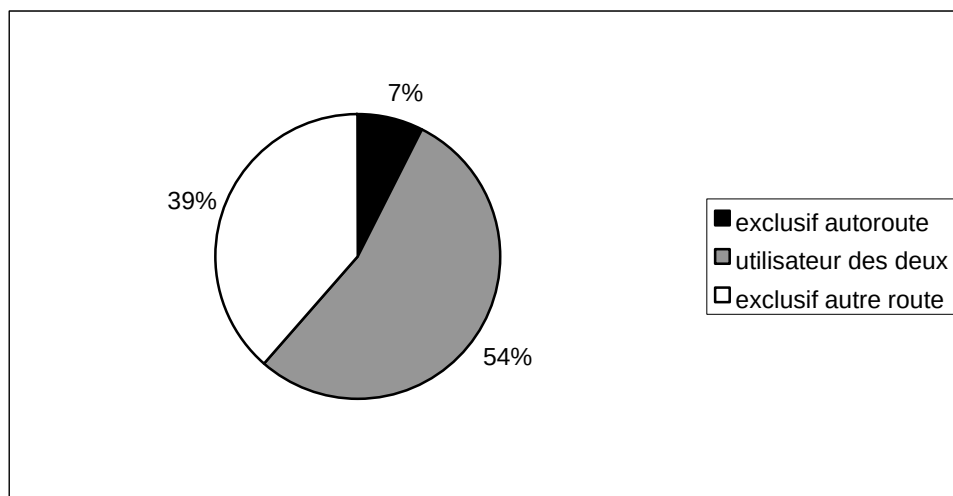
Tableau 3 : Part du trafic "local" et "étranger" au sein du réseau national

1990	français locaux	français non locaux	étrangers	total transit	total
autoroutes	31336	18563	6434	24997	56333
RN	55789	15425	3365	18790	74579
ensemble	87125	33988	9799	43787	130912
1997	français locaux	français non locaux	étrangers	total transit	total
autoroutes	43580	24115	7558	31673	75253
RN	64620	16195	2896	19091	83711
ensemble	108200	40310	10454	50764	158964
%90	français locaux	français non locaux	étrangers	total transit	total
autoroutes	56%	33%	11%	44%	100%
RN	75%	21%	5%	25%	100%
ensemble	67%	26%	7%	33%	100%
%97	français locaux	français non locaux	étrangers	total transit	total
autoroutes	58%	32%	10%	42%	100%
RN	77%	19%	3%	23%	100%
ensemble	68%	25%	7%	32%	100%
évolution	français locaux	français non locaux	étrangers	total 'transit'	total
autoroutes	39%	30%	17%	27%	34%
RN	16%	5%	-14%	2%	12%
ensemble	24%	19%	7%	16%	21%

Source : sondages de circulation 1990 et 1997 du SETRA (SETRA, 1999).

La part du trafic local est moins importante sur les autoroutes que sur les routes nationales. Toutefois, une part importante du trafic de longue distance et même une part importante du trafic interrégional utilisent tout de même les Routes Nationales. Pour apprécier ce phénomène nous utilisons l'Enquête Transports et Communications de 1993. L'ETC93 comporte une question sur le kilométrage total effectué par route avec distinction entre autoroutes et "autres routes". Les "autoroutes" regroupent à la fois autoroutes concédées et non concédées ; les "autres routes" regroupent aussi bien les routes nationales que les routes départementales et autres. Si la (quasi)totalité des enquêtés a fourni la distance totale parcourue, seules 63% des personnes ayant comme mode principal de déplacement la route ont donné la répartition de ce kilométrage suivant le type de route utilisé. Nous faisons l'hypothèse que la population d'enquêtés ayant répondu à cette question est représentative de l'ensemble de la population. Parmi l'ensemble des déplacements effectués sur route, 61% utilisent l'autoroute, soit comme utilisateurs exclusifs, soit comme utilisateurs des deux types de routes, et 39% circulent exclusivement sur un autre type de route (Graphique 20).

Graphique 20 : Répartition des usagers longue distance entre exclusifs des autoroutes (concedées ou non), exclusifs des autres routes et utilisateurs des deux.

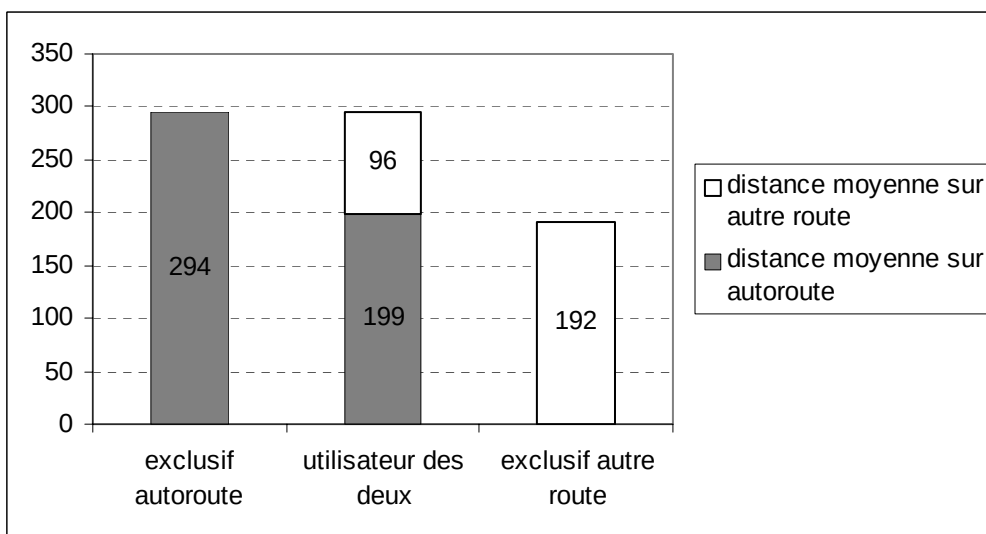


Source : d'après enquête Transports 1993

Les 39% d'utilisateurs exclusifs des "autres routes" n'ont pas pris l'autoroute, soit parce que l'offre autoroutière était inexistante, soit parce qu'ils préfèrent la route nationale (pour des questions de prix par exemple). Toutefois le questionnaire de l'enquête ne comporte pas de question permettant de connaître les raisons de la non utilisation de l'autoroute.

Il est à noter que plus la distance du déplacement est importante, plus l'autoroute est privilégiée. La distance moyenne d'un déplacement d'un utilisateur d'autoroute (exclusif ou non) est ainsi de 295km contre 192km pour un utilisateur exclusif des autres routes (la moyenne tous déplacements confondus est de 255km) (Graphique 21).

Graphique 21 : Distance moyenne du déplacement et sa répartition autoroute / autre route suivant le type d'utilisateur.



Source : d'après enquête Transports 1993

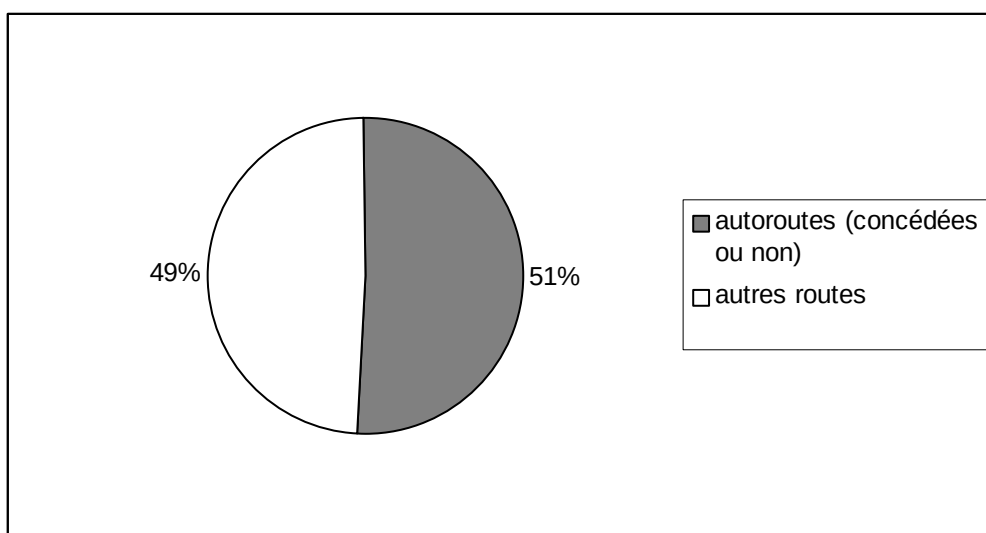
En termes de voyageurs.kilomètres, les autoroutes absorbent la moitié du trafic longue distance (plus de 100km en distance déclarée) en 1993 (Tableau 4 et Graphique 22).

Tableau 4 : Estimation des volumes totaux de mobilité sur autoroutes et sur "autres routes" (redressés pour tenir compte des non réponses).

	Volumes de déplacements (en milliards de voy.km)	Pourcentage
Autoroutes (concédées ou non)	65,7	51%
"Autres routes" (dont RN)	64,2	49%
Total	129,9	100%

Source : d'après enquête-transports 1993

Graphique 22 : Répartition des kilomètres effectués en voiture entre autoroutes et autres routes



Source : d'après enquête Transports 1993

Sachant que le nombre moyen de personnes par véhicule.km parcouru est de 2,9 sur autoroute, 2,7 sur "autre route" et de 2,8 tous types de réseaux confondus, nous pouvons traduire cette mobilité en termes de véhicules.kilomètres et non plus en termes de voyageurs.kilomètres (Tableau 5).

Tableau 5 : Répartition de la mobilité longue distance en voiture entre autoroutes et autres routes.

	Volumes de déplacements (en milliards de véh.km)	Pourcentage
Autoroutes concédées	23,0	50%
"Autres routes"	22,8	50%
Total	45,8	100%

1.4. Bilan des données exploitables

Le bilan des données s'effectue à deux niveaux : les séries chronologiques nationales et les données spatialisées.

1.4.1. Les données à l'échelle nationale

En matière de séries chronologiques globales, plusieurs séries permettent d'appréhender l'évolution des trafics interurbains longue distance. Au sein des séries à disposition nous devons choisir des séries de trafic homogènes d'une année à l'autre afin d'assurer une bonne mesurabilité ; s'il existe des ruptures comptables, le modèle risque de modéliser les changements de mode de recueil. Nous devons aussi choisir les séries afin qu'elles se rapprochent au mieux du marché des déplacements interrégionaux intérieurs métropole.

Les marchés de mobilité appréhendés par les séries de chaque mode doivent être le plus cohérents possible afin d'assurer la pertinence et la cohérence de l'objet modélisé. Toutefois aux trafics interrégionaux se mêlent du trafic international d'échange et de transit ainsi que du trafic local, dans des proportions variables suivant les différents modes de transport.

Le trafic aérien est appréhendé à travers la série trafic intérieur métropole. Les trafics en direction de la Corse ainsi que les préacheminements à l'international restent inclus, faute de connaître leurs variations annuelles.

En matière de trafic ferroviaire, nous retenons la série intérieur France. Cette série inclut des trafics régionaux, toutefois ceux-ci représentent 15% du trafic et la frontière entre trains TER et grandes lignes ayant fluctué au cours du temps, retirer ces trafics aurait conduit à des ruptures d'homogénéité des séries. Par ailleurs la série grandes lignes seules inclut les trafics Eurostar et Thalys qui correspondent à des liaisons non prises en compte dans les séries relatives à l'aérien.

En matière de circulation routière nous retenons le volume de voyageurs.kilomètres sur autoroutes concédées, ainsi qu'un indice de circulation VL sur autoroutes concédées. Conserver le seul réseau structurant à grande vitesse permet de réduire la part de trafic local et mieux cerner les évolutions du trafic interrégional. Les autoroutes non concédées étant en grande partie des portions périurbaines, nous conservons les seules autoroutes concédées. Par ailleurs, conserver les seules autoroutes concédées présente l'avantage de disposer de séries véhicules légers seuls. L'évolution du volume de circulation sur autoroutes concédées reprend à la fois un accroissement mécanique du trafic dû à l'extension du réseau et une croissance de l'usage des autoroutes concédées. L'indice de circulation évacue l'extension du réseau mais présente le défaut d'exclure une partie du détournement de trafic dû au basculement de trafic fer vers route dès l'année de mise en service. Les évolutions de ces deux indicateurs sont fortement corrélées et du même ordre de grandeur (trafic multiplié par 3,2 dans un cas et par 2,5 dans l'autre).

Les séries retenues sont en principe exemptes de ruptures comptables. Toutefois les séries ferroviaires sont marquées par des événements ponctuels (grèves, mise en service de Socrate) dont il faut tenir compte en termes de modélisation.

1.4.2. Les données spatiales

Les séries chronologiques permettent d'appréhender l'évolution globale des trafics. Toutefois ces séries recouvrent des marchés très divers en termes de tranches de distance. Il serait utile de pouvoir décomposer ces séries chronologiques spatialement. Toutefois il n'existe pas de données spatiales homogènes pour l'ensemble des trois modes. Pour le ferroviaire nous possédons les matrices origine-destination. Pour l'aérien nous connaissons des trafics par liaison aéroport à aéroport, mais il ne s'agit pas de matrices origine-destination, et ces flux ne sont pas directement comparables aux trafics ferroviaires. Pour la route nous connaissons les flux de trafics par tronçons, mais pas d'origines-destinations. Pour comparer les évolutions spatiales des flux de trafic, il est nécessaire d'effectuer des « coupures ». La France peut ainsi être décomposée en 6 ou 7 macro-régions, reliées par les grands axes autoroutiers et ferroviaires. Il est alors possible de comparer les débits routiers, ferroviaires et aériens au niveau des frontières entre ces macro-régions. Toutefois les matrices ferroviaires ne sont disponibles que sur 5 années consécutives. Les données ferroviaires antérieures sont parcellaires et non homogènes. Seuls les trafics nationaux sont disponibles annuellement pour l'ensemble des trois modes sur 20 ans.

2. Les données d'enquêtes multimodales

Les enquêtes transports et communications constituent la principale source d'enseignements en matière de trafic à longue distance (2.1.). D'autres enquêtes viennent toutefois compléter cette approche (2.2.).

2.1. Les enquêtes transports et communication

Les enquêtes transports et communication ont lieu tous les 10 ans environ depuis 1966 (1966-67, 1973-74, 1981-82, 1993-94). Nous disposons des deux dernières enquêtes, menées en partenariat par l'INSEE et l'INRETS. Ces enquêtes comportent plusieurs volets : un volet d'enquête sur la mobilité quotidienne de semaine, un volet sur les déplacements de week-end et un autre sur les déplacements à longue distance. Chaque enquête fournit une image homogène de la mobilité à longue distance pour l'ensemble des modes de transport. Toutefois, nous ne disposons que de deux enquêtes, au demeurant assez anciennes (1981 et 1993), et la méthodologie de recueil des données a varié entre ces deux dates. De surcroît, enquêter les déplacements à longue distance, par nature peu fréquents, relève d'un exercice difficile, bien plus complexe que le relevé de la mobilité quotidienne de la veille. Dans un premier temps nous présentons la nature des deux enquêtes et les méthodologies retenues avant de préciser les intérêts et les limites de ces enquêtes.

2.1.1. Nature des enquêtes et comparabilité

Les enquêtes transports se sont déroulées du 1^{er} février 1981 au 31 mars 1982 pour l'ET81, du 3 mai 1993 au 30 avril 1994 avec arrêt de 3 semaines en août pour l'ET93. Les deux enquêtes recensent les voyages qui ont amené les enquêtés à plus de 100km de leur domicile en distance déclarée (ou à plus de 80km à vol d'oiseau). Tous les déplacements effectués au cours de ces voyages sont recensés. S'il n'y a pas de destination fixe, on tient compte des lieux où il y a eu hébergement d'au moins une nuit ; on prend alors en compte les déplacements effectués à plus de 80km des lieux ainsi recensés. Les déplacements des absents de longue durée sont exclus (par convention dans l'enquête de 1981/82, par construction du tirage au sort dans l'enquête 1993/94). Les déplacements professionnels des pilotes de ligne, stewards, chauffeurs routiers, personnes exerçant leur profession dans un moyen de transport sont bien sûr également exclus.

Si la définition du déplacement longue distance est identique en 1981 et 1993, les champs des deux enquêtes ne sont pas identiques. L'enquête de 1981 ne prend pas en compte les déplacements domicile-travail ; celle de 1993 ne s'intéresse qu'aux individus de plus de 6 ans. L'enquête de 1981 concerne les déplacements France-France et France-étranger des personnes résidant sur le territoire métropolitain ; celle de 1993 y ajoute les déplacements étranger-étranger.

Par ailleurs il existe des différences de méthodologie d'enquêtes. En 1981, l'enquêteur interroge l'enquêté de façon rétrospective sur les déplacements longue distance effectués pendant le mois précédant la date d'enquête. Un aide-mémoire est laissé à la personne enquêtée afin qu'elle puisse noter les déplacements des 2 mois à venir. Il est relevé par l'enquêteur lors d'une visite ultérieure. En 1993, le relevé comprend un relevé rétrospectif de 3 mois et un relevé direct de 3 mois grâce à un questionnaire voyage remis aux individus enquêtés et que ceux-ci devaient retourner par la poste à l'INSEE. La période totale d'enquête aurait donc dû être de 6 mois. Toutefois, le taux de retour du relevé direct n'a été que de 60%. Il est impossible de savoir pourquoi les enquêtés n'ont pas retourné les questionnaires : est-ce parce qu'ils n'avaient pas effectué de déplacements ? Ou au contraire parce qu'ils en avaient trop faits et s'étaient lassés dans le remplissage du questionnaire ? Comme il est difficile de partir de l'hypothèse d'un retour uniforme des questionnaires et qu'il est impossible de redresser les questionnaires envoyés pour tenir compte de ces non réponses, il est difficile d'exploiter ce questionnaire ou du moins de le concaténer avec le relevé rétrospectif. En pratique seul le relevé rétrospectif des déplacements est exploitable. En 1993, la période d'observation est donc de 3 mois comme en 1981. Toutefois, à la différence de 1981, la totalité de ces 3 mois sont en rétrospectif, ce qui entraîne des phénomènes d'oublis de voyages un peu anciens. La pondération de l'enquête 1993 a toutefois été bâtie en tenant compte de ces phénomènes d'oublis à travers l'élaboration d'un coefficient correcteur.

Le plan de sondage et le redressement ont aussi varié d'une enquête à l'autre. En 1981/1982, tous les individus du ménage ont une probabilité égale d'être interrogés (tirage kish). La pondération utilisée pour les déplacements est une pondération au niveau du ménage. En 1993, les personnes les plus mobiles sont sur-représentées afin de multiplier les observations. "Un tirage à plusieurs degrés a été effectué dans le recensement de 1990 et parmi les logements neufs construits depuis. (...) Les ménages multimotorisés ont été sur-représentés car ce sont ces derniers qui sont les plus mobiles (sauf à Paris où l'on n'a pas modulé les probabilités de tirage puisque l'on sait que la forte densité constitue un frein à la

motorisation). (...) L'individu B a été désigné parmi les personnes éligibles par un tirage à probabilités inégales pour B (la personne la plus mobile a deux chances sur trois d'être éligible)." La pondération utilisée pour les déplacements est une pondération au niveau individus.

Pour assurer la représentativité des échantillons, le redressement de l'enquête 1993 a été effectué selon une démarche en deux étapes : correction des non réponses puis correction des erreurs d'échantillonnage. Les erreurs d'échantillonnage sont corrigées par un calage sur marges avec comme variables de redressement prises en compte : des variables socio-démographiques (PCS de l'individu, âge croisé avec le sexe, taille du ménage), la zone de résidence⁶, la région de résidence, une variable temporelle. L'enquête de 1981 a été redressée de façon à ce que la structure de l'échantillon corresponde à celle de la population française tout au moins sur certains critères dont on connaît les marges de façon exogène. Les critères de redressement utilisés sont : des critères socio-démographiques (âge du chef de ménage, un code combinant le sexe et l'âge de l'individu, la catégorie socio-professionnelle du chef de ménage), la "zone de résidence" et la "catégorie de commune", la vague d'enquête (afin d'éliminer une partie des effets de saisonnalité).

2.1.2. Fiabilité et écueils dans la comparaison des enquêtes

Les deux enquêtes permettent de connaître la nature de la mobilité à longue distance en termes de motifs, de répartition en termes de classe de distance et de repérer les différents segments de la longue distance. Par ailleurs ces enquêtes permettent de comprendre les déterminants de la mobilité à longue distance car elles fournissent des éléments d'information sur les individus enquêtés.

Toutefois la mobilité longue distance est une mobilité difficile à enquêter, ce qui entraîne un certain niveau d'incertitude sur les résultats obtenus. Les échantillons enquêtés pour la longue distance sont faibles : 15000 individus - 40000 déplacements observés en 1993 (encore moins en 1981), sachant que les individus ne sont interrogés sur leur mobilité que pendant 3 mois. Pour une période de l'année donnée, moins de 4000 personnes ont ainsi été interrogées, ce qui est peu, surtout compte tenu de la rareté des déplacements (la moitié de l'échantillon n'a effectué aucun déplacement au cours de la période d'enquête), de la multiplicité des dimensions de redressement à prendre en compte. L'enquête de 1993 a l'avantage de mieux appréhender les plus mobiles. L'enquête de 1982 portait sur un échantillon 3 fois plus réduit, construit avec des probabilités égales. On se heurte aussi à des effets mémoire. En 1993, on a interrogé les gens sur leur mobilité des 3 mois précédant la visite de l'enquêteur. Or la mémoire des enquêtés est sélective. On a laissé aux enquêtés quelques jours pour se remémorer au mieux leurs déplacements à l'aide d'un aide mémoire ; toutefois, il est probable que certains déplacements effectués plusieurs semaines avant la date d'enquête ont été oubliés. Inversement, il existe un phénomène d'effet de bord : des déplacements marquants effectués 4 mois auparavant, mais dont les enquêtés ne se souvenaient plus exactement de la date, ont été malencontreusement fixés en limite de période rétrospective, 3 mois avant la date d'enquête (INRETS, 1997). Le redressement de 1993 a pris en compte de façon explicite ces problèmes de mémoire à travers un coefficient correcteur "oublis" (INRETS, 1997). Néanmoins aucun redressement n'est parfait, et il n'est pas impossible que des déformations de structures persistent. En 1981, le procédé d'enquête était différent : 1 mois en rétrospective,

⁶ C'est le croisement des strates de bassins : ZPIU de Paris, grandes ZPIU (plus de 300.000 habitants en 1990), ZPIU moyennes, petites ZPIU (moins de 50.000 habitants en 1990) avec 3 zones concentriques : la ville-centre, la banlieue, le milieu péri-urbain ; à tout cela se rajoute le rural profond hors ZPIU

2 mois en carnet de bord, mais le problème des effets mémoire demeure. Les déplacements des absents de longue durée sont exclus (par convention dans l'enquête de 1981/82, par construction du tirage au sort dans l'enquête 1993/94). Or les absents de longue durée sont souvent des individus à forte mobilité longue distance. Leur non prise en compte au moment de l'enquête conduit à une sous – estimation de la mobilité, mais aussi, peut-être, à une déformation de la structure de la mobilité. En effet, il est possible que les déplacements des absents de longue durée aient un profil différent de l'échantillon enquêté. Toutefois, il nous est impossible d'évaluer l'impact de la non prise en compte de ces absents longue durée. Enfin certains types de déplacements sont peut-être sous-évalués (étudiants, déplacements des militaires du contingent), ce qui peut affecter plus spécifiquement la mobilité de certains modes comme le train.

Par ailleurs, les méthodologies d'enquêtes ont évolué entre 1982 et 1993, ce qui rend délicate l'interprétation des évolutions. Les volets longue distance n'ont pas été réalisés de la même façon en 1981 et en 1993. Dans les deux cas, la période d'enquête a été de 3 mois⁷. Mais ces 3 mois n'ont pas été enquêtés de la même manière. En 1981, l'enquêteur interrogeait l'enquêté sur ses déplacements du mois précédant la visite, laissait un carnet de bord pour les 2 mois après puis revenait rendre une visite à l'enquêté au bout des 2 mois pour relire avec lui le carnet et le compléter le cas échéant. L'effet mémoire ne joue pas de la même façon dans un cas et dans l'autre. En 1981, l'effet mémoire était plus faible qu'en 1993 et n'a pas été corrigé. En 1993, l'effet mémoire a été corrigé pour tenir compte à la fois des oublis et des effets de bord. Même si on peut penser que chaque enquête donne une image à peu près correcte de la mobilité longue distance en ordre de grandeur, il est probable que le changement de méthodologie d'enquête a entraîné un biais lorsqu'on cherche à étudier les évolutions. Au-delà des problèmes d'effets mémoire, il est probable que le changement de méthodologie d'enquête a influencé le niveau de prise en compte des "absents de longue durée". La méthode de redressement a aussi varié entre 1981 et 1993. En 1981, l'effet saisonnalité était corrigé en pondérant les vagues d'enquête. En 1993, la correction a été élaborée de façon plus fine. En 1993, le redressement sur le plan spatial a été lui aussi mieux travaillé. Ces améliorations du redressement de l'enquête rendent délicate une comparaison entre 1981 et 1993.

2.2. Les autres enquêtes

Outre l'enquête Transports et Communications, d'autres outils de suivis existent (panel SDT et Enquêtes aux Frontières de la Direction du Tourisme, Enquêtes Vacances de l'INSEE), même s'ils se focalisent sur une partie seulement de la mobilité à longue distance.

La SOFRES réalise mensuellement pour le compte de la Direction du Tourisme une enquête "Suivi de la demande touristique des Français" (SDT) auprès d'un panel de 20000 personnes de 15 ans et plus (10000 jusqu'en 1999) représentatif de la population française (SES, 2000 ; SES, 2003). Cette enquête recense les voyages à plus de 100km à vol d'oiseau comportant *au moins une nuit* passée en dehors du domicile des intéressés. L'enquête recense l'ensemble des

⁷ En 1993, la durée de relevé devait être de 6 mois, 3 mois rétrospectifs, 3 mois à remplir en continu et à retourner postalement par l'enquêté. Toutefois, seuls 60% des questionnaires à remplir en continu ont été retournés et il est impossible de connaître la raison de ce non retour. Est-ce parce que les enquêtés n'ont réalisé aucun déplacement ? Ou au contraire parce qu'ils en ont trop faits et se sont lassés en remplissant le questionnaire ? (INRETS, 1997). Faute de pouvoir répondre à cette question, il s'est avéré impossible de redresser de façon fiable ce deuxième volet de l'enquête et ce questionnaire n'a pas été exploité. L'enquête de 1993 est donc une enquête de 3 mois entièrement rétrospective.

voyages à l'exception des voyages pour motif professionnel des VRP et des personnels roulants et navigants, des séjours à l'hôpital en clinique ou en caserne, des nuits passées sur le lieu de travail ou sur le lieu d'étude.

Dans le cadre de ses "Enquêtes de conjoncture auprès des Ménages" l'INSEE effectue un suivi des comportements des Français en matière de vacances (Monteiro, 1996 ; Rouquette, 2001). L'INSEE appelle vacances les voyages *d'agrément* de 4 nuits et plus hors du domicile (Rouquette, 2001). Les week-ends sont donc exclus. Les déplacements pour affaires personnelles le sont aussi.

Les Enquêtes aux Frontières sont réalisées pour le compte de la Direction du Tourisme avec une périodicité pluriannuelle. Des questionnaires sont soumis aux voyageurs lors du passage de la frontière (Curtet et alii, 1993).

3. Bilan sur les données

Les données relatives à la longue distance sont ainsi multiples mais un peu hétéroclites. Dans un objectif d'analyse, les Enquêtes Transports 1982 et 1993 constituent un outil précieux pour analyser la mobilité à longue distance et ses déterminants. Des enquêtes spécifiques permettent d'apporter un éclairage complémentaire sur des segments particuliers : voyages d'agrément de 4 nuits et plus à travers les Enquêtes Vacances, voyages d'au moins une nuit hors du domicile pour le panel SDT. L'Enquête Transports est toutefois la seule enquête qui appréhende l'ensemble des déplacements à plus de 100km de distance. Les Enquêtes Transports fournissent une vision statique des déplacements à longue distance.

Pour avoir une vision dynamique de la longue distance, il est nécessaire de se référer aux données opérateur. Nous connaissons année par année l'évolution des trafics nationaux air intérieur métropole, fer intérieur métropole, trafic sur autoroutes concédées. Certaines bases de données nous renseignent sur la répartition spatiale de ces trafics : matrices origines-destinations SNCF disponibles sur certaines années, trafics par liaison aéroport à aéroport, trafics par tronçon autoroutier. Toutefois il n'existe pas de séries chronologiques spatialisées sur 20 ans pour l'ensemble des modes. L'analyse des séries chronologiques longues s'effectue nécessairement à l'échelle nationale.

Pour analyser les évolutions annuelles des statistiques opérateur, nous retenons les séries suivantes : trafic air intérieur métropole exprimé en passagers.kilomètres, trafic ferroviaire intérieur exprimé en voyageurs.kilomètres, trafic de véhicules légers exprimé en véhicules.kilomètres, indice de circulation « véhicules légers » sur autoroutes concédées. Le taux d'occupation moyen sur autoroutes concédées est de l'ordre de 2 personnes par véhicule. Ces séries traduisent l'évolution du trafic sur le réseau à grande vitesse. Outre le trafic des déplacements interrégionaux, du trafic international d'échange et de transit, ainsi que du trafic local, circulent sur les différents réseaux.

III. Trafics sur réseau et Enquêtes Transports : mesures de l'évolution des déplacements à longue distance et comparaison

Maintenant que nous avons présenté le système de recueil de données en interurbain, l'objectif de la présente section est de prendre la mesure de l'évolution des déplacements à longue distance, selon l'approche par les circulations sur réseaux à grande vitesse, mais aussi, à titre de comparaison à travers l'approche mobilité à plus de 100km des Enquêtes Transports et Communications. Dans un premier temps (section 1), nous présentons les évolutions des trafics circulant sur réseau puis dans un deuxième temps (section 2) les évolutions de la mobilité longue distance à travers les Enquêtes Transports et Communications. Nous comparons alors les évolutions des déplacements longue distance selon ces deux approches. Les définitions de la longue distance étant différentes dans les deux cas de figure, il est normal qu'il existe des différences de niveau d'évolution. Nous essayons toutefois de voir si au-delà des différences de définition les variations de niveau sont cohérentes.

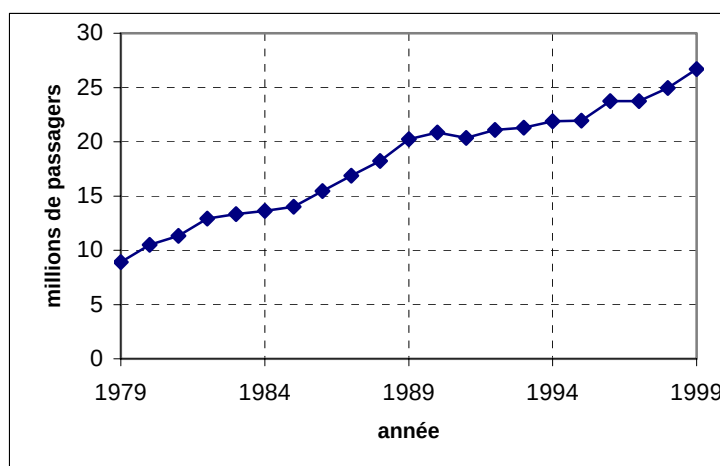
1. Evolution de la longue distance à travers les trafics sur réseau

Dans un premier temps nous présentons les trafics mode par mode. Dans un deuxième temps nous comparons les évolutions de ces trafics d'un mode à l'autre.

1.1. Une augmentation rapide du trafic aérien

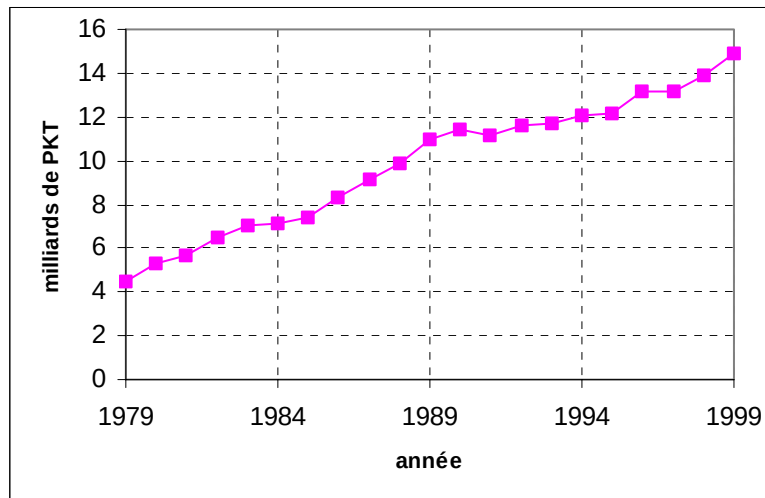
Le trafic aérien a fortement progressé entre 1980 et 1999. En termes de PKT, il a été quasiment multiplié par 3 (Graphique 24). En termes de passagers, il a été multiplié par un peu plus de 2,5 (Graphique 23). Globalement le trafic aérien en PKT a progressé plus rapidement que le trafic voyageurs, ce qui traduit une augmentation des distances parcourues (Graphique 25). L'augmentation des distances parcourues peut être liée à un allongement des déplacements des individus ou alors à une concurrence des TGV sur les moyennes distances.

Graphique 23 : Trafic aérien intérieur métropole (millions de passagers)



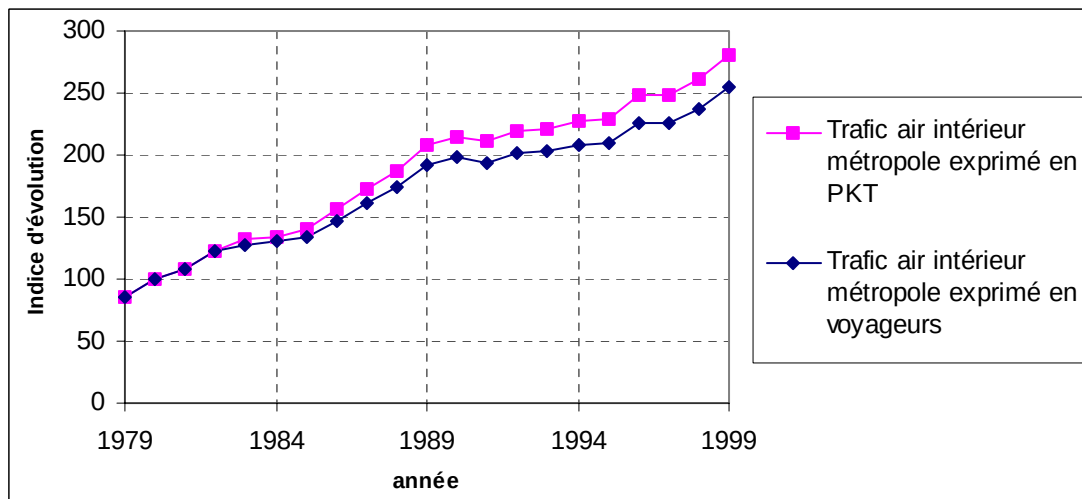
Source DGAC

Graphique 24 : Trafic aérien intérieur métropole (milliards voy.km)



Source DGAC

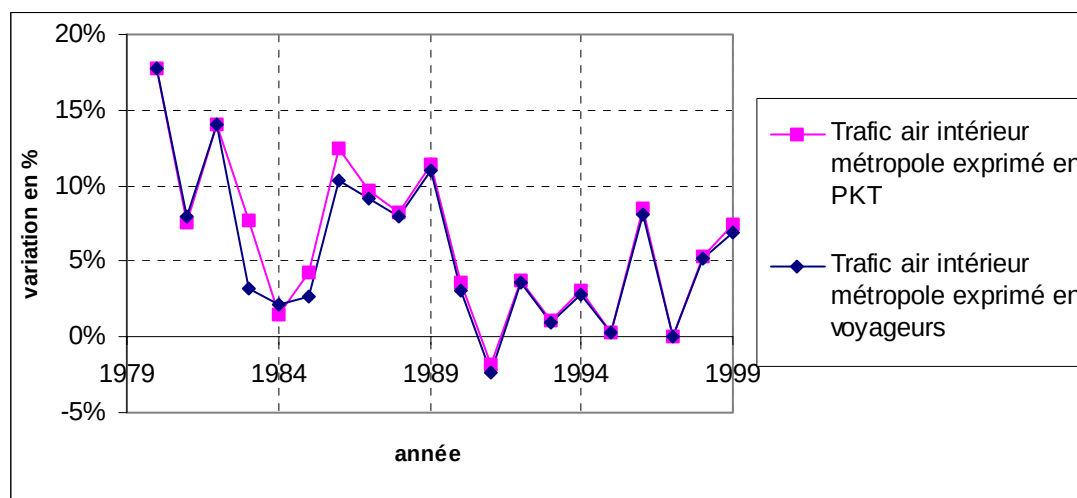
Graphique 25 : Indice d'évolution du trafic aérien intérieur



Source : d'après DGAC

On distingue plusieurs périodes en termes de croissance de trafic. Les années 1980 sont marquées par des croissances de trafic spectaculaires à +10%/an à l'exception des années 1983-84-85 où la croissance est seulement de l'ordre de 2% à 3%. Les années 1990 sont marquées par une croissance beaucoup plus modeste : de -2% à +4% / an sur 1990-95 et autour de +5%/an pour 1996-98-99 (Graphique 26).

Graphique 26 : Pourcentages de variations annuelles du trafic aérien intérieur (pourcentages du trafic de l'année précédente)



Source : d'après DGAC

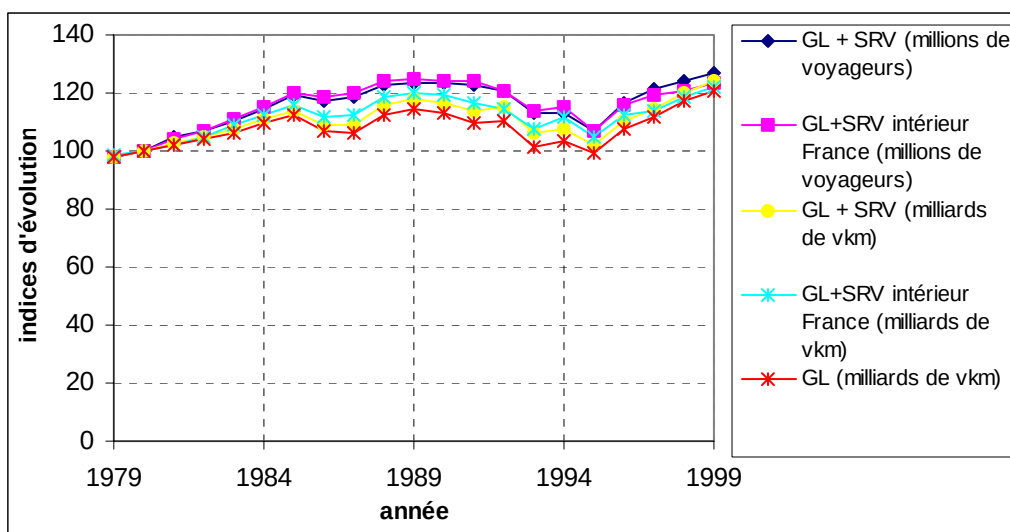
Les variations de la conjoncture économique expliquent certainement une bonne partie des variations : ainsi la 2^{ème} moitié des années 1980 et la fin des années 1990 correspondent à des années d'embellie économique, favorables à la mobilité en général et au trafic aérien en particulier, alors que le début des années 1990 est marqué par la récession économique. Les faibles croissances de 1983-85 peuvent peut-être s'expliquer par les suites de la mise en service du TGV sud-est. Les très faibles croissances du début des années 1990 peuvent peut-être s'expliquer, au-delà de la crise économique par les mises en service de TGV atlantique et nord. Toutefois, l'impact des mises en service de TGV est difficile à démêler des variations liées à la conjoncture économique ; une analyse des parts de marché respectives des deux modes serait plus pertinente. L'impact des mises en service des TGV est d'autant plus compliqué à repérer qu'il ne faut pas négliger les épiphénomènes qui peuvent perturber les statistiques sur certaines années notamment les grèves : grèves de 1991 ou encore de 1997 (1997 fut une année de fortes perturbations pour le groupe Air Inter / Air Europe avec des restructurations importantes accompagnées de conflits sociaux, ce qui explique certainement une bonne part du recul de trafic cette année-là). Au-delà des facteurs explicatifs précédemment mentionnés, on peut s'interroger sur l'existence d'un phénomène de diffusion du transport aérien dans les années 1980. En 1980, l'avion était encore un mode assez jeune qui n'était pas encore répandu en termes d'usage indépendamment de son coût élevé. Il se pourrait qu'une part de la forte croissance du trafic aérien soit liée à une diffusion de ce mode (INRETS, 1997b).

1.2. Des variations du trafic ferroviaire contrastées

Selon les séries, le trafic train augmente entre 22% et 30% au cours des 20 dernières années. Les évolutions des différentes séries de trafic train sont très bien corrélées. On observe les mêmes tendances à la baisse et à la hausse les mêmes années. Les années de grève (1986 et 1995) entraînent de fortes perturbations au niveau des données : les conflits sociaux de ces 2 années expliquent certainement une bonne part des chutes de trafic de 1986 et 1995 (et par

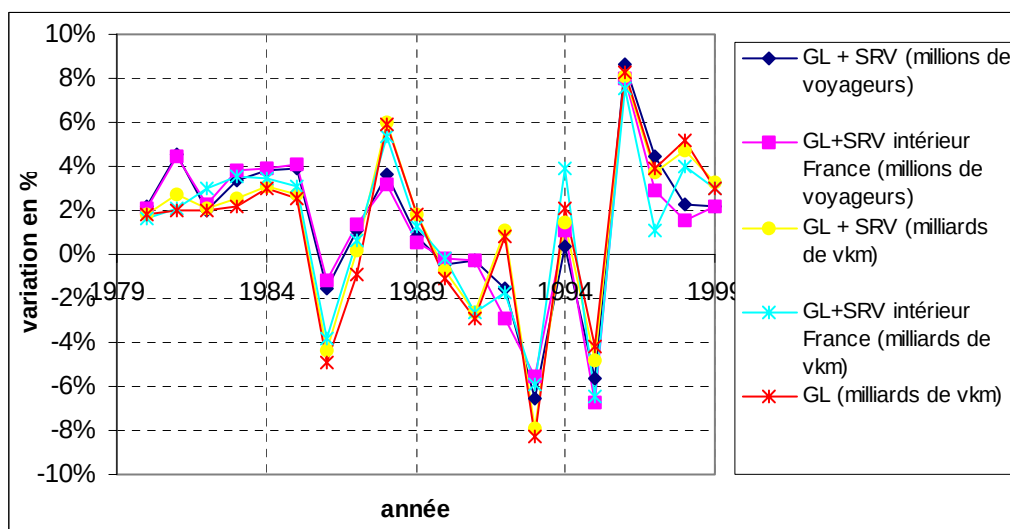
contre-coup les fortes croissances de 1996 par rapport à 1995). La mise en service de Socrate en 1993 (conjuguée au marasme économique de cette année-là) explique aussi la baisse spectaculaire de trafic cette année là (plus de 5% de baisse). Au-delà de ces épiphénomènes on constate une bonne croissance de trafic dans la 1^{ère} moitié des années 1980, en 1998 et dans la deuxième moitié des années 1990 (+2% à +5%) et un marasme dans la 1^{ère} moitié des années 1990. Le trafic ferroviaire est très lié à la conjoncture économique et l'impact des mises en service de TGV est assez peu visible à l'échelle nationale du fait de l'impact des autres facteurs.

Graphique 27 : Evolution de différentes séries de trafics ferroviaires de 1979 à 1999 (en indice)



Source : d'après données SNCF

Graphique 28 : Variations annuelles des différentes séries de trafics ferroviaires de 1979 à 1999 (pourcentages de variation d'année en année)



Source : d'après données SNCF

Si les évolutions des différentes séries sont corrélées, on constate tout de même des écarts significatifs dans la répartition de la croissance du trafic train au cours des 20 dernières années suivant la série considérée.

Les séries voyageurs connaissent des progressions plus rapides que les séries en voyageurs.kilomètres, ce qui laisse à penser que les déplacements courtes ou moyennes distances ont progressé plus vite que les déplacements à plus longue distance. Toutefois, ce qui nous intéresse le plus, c'est les déplacements à longue distance. Nous ne possédons pas de séries grandes lignes en voyageurs seuls pour toutes les années. Toutefois nous possédons ces données depuis 1996. Le trafic est de l'ordre de un peu plus de 100 millions de voyageurs contre 250 à 300 millions de voyageurs GL+SRV. Les séries de trafic voyageurs ne sont pas très significatives de l'évolution du trafic longue distance. Il est préférable de conserver du trafic en voyageurs.kilomètres.

Les séries de trafic qui excluent le trafic international connaissent des hausses de trafic moins fortes au cours des toutes dernières années. En effet la mise en service d'Eurostar et de Thalys a détourné du trafic aérien vers le train. La série intérieur seul a un avantage et un inconvénient par rapport à celle qui inclut le trafic international. Le détourné de l'aérien suite à la mise en service des TGV Nord et Nord-Europe n'est pas pris en compte, ce qui est positif dans le cadre d'une modélisation où les variations d'offre concernent la métropole. Toutefois des voyageurs se dirigeant vers l'Angleterre et comptabilisés autrefois comme intérieurs (France vers Calais) sont maintenant comptabilisés en international.

Les 2 séries GL+SRV en vkm et GL en vkm sont assez similaires.

Globalement, on peut donc penser que les séries qui retracent le mieux les évolutions de trafic "longue distance" sont les séries en voyageurs.kilomètres. Parmi ces 3 séries, la série trafic GL permet d'éviter de prendre en compte les SRV qui ne rentrent pas dans le cadre de la "longue distance" ; toutefois, des transferts purement comptables de trafic des TRN vers les SRV peuvent biaiser la série ; la série intérieur seul permet d'éviter de prendre en compte des détournés de l'aérien à l'international. Dans la modélisation nous conservons la série intérieur seule.

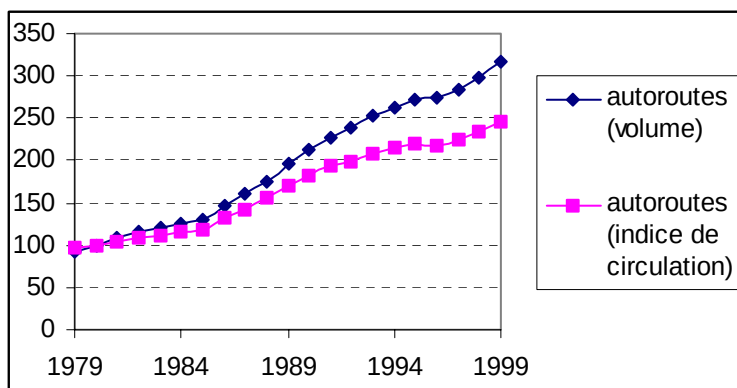
1.3. Une augmentation rapide du trafic sur autoroutes concédées

Le trafic sur autoroutes concédées a crû à un rythme rapide (1.3.1). La croissance du trafic sur le réseau à grande vitesse a été bien plus rapide que sur le reste du réseau national (1.3.2). La croissance sur le réseau national est elle-même plus rapide que la croissance de la circulation sur le reste du réseau (1.3.3).

1.3.1. Une augmentation rapide de la circulation routière sur autoroutes concédées

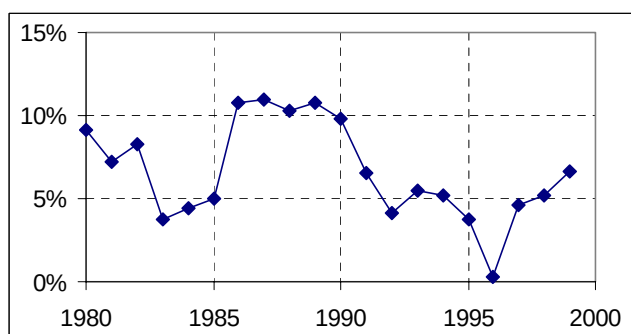
En volume, le trafic de véhicules légers sur autoroutes concédées a été multiplié par 3,2 entre 1979 et 1999. En termes d'indice de circulation, le trafic sur autoroutes concédées a été multiplié par 2,5 (Graphique 29). Les taux de croissance annuels sont de l'ordre de 4% à 10% par an, les taux les plus élevés se situant dans les années 1990 (Graphique 30).

Graphique 29 : Croissance des trafics de véhicules légers sur les autoroutes concédées (en volume et en indice de circulation)



Source : SETRA

Graphique 30 : Croissance du trafic véhicules légers sur les autoroutes concédées (en volume)

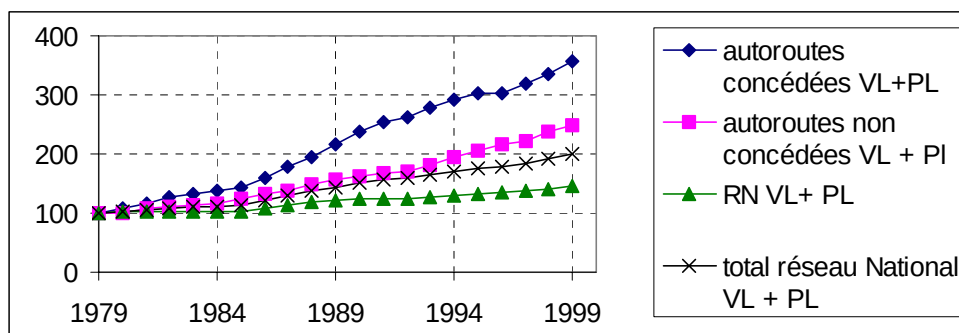


Source : d'après SETRA

1.3.2. Un trafic qui augmente plus rapidement sur le réseau à grande vitesse que sur le reste du réseau

En 1979, le trafic sur autoroutes concédées représentait 15% du trafic sur l'ensemble du réseau routier national. En 1999, il représentait près du tiers. La croissance du trafic sur le réseau des autoroutes concédées a été près de deux fois plus rapide que sur l'ensemble du réseau routier national (Graphique 31).

Graphique 31 : Evolution des volumes de trafics routiers (en milliards de véhicules.kilomètres)

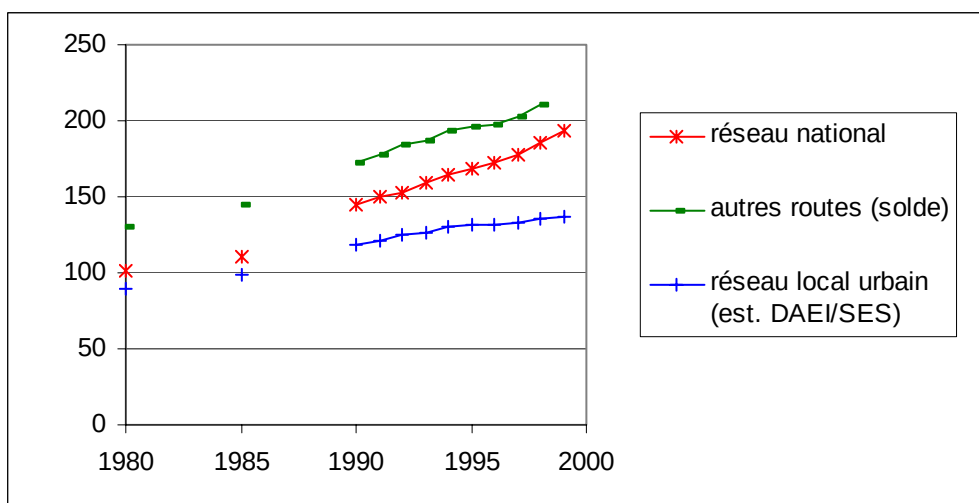


Source : SETRA

1.3.3. Un trafic interurbain qui augmente plus vite que le trafic total

Le trafic sur le réseau national augmente lui-même plus rapidement que la circulation sur le reste du réseau. D'après les Comptes Transports 2000 (INSEE, [2]-vol.2000), le trafic sur le réseau national a augmenté de 84% entre 1980 et 1998 contre 52% pour le réseau local urbain et 62% pour les autres routes (Graphique 32) et (Tableau 6).

Graphique 32 : Volumes de trafic (en milliards de véh.km) sur les différents types de réseaux.



Source : d'après Comptes Transports de la Nation

Tableau 6 : Augmentation de trafic sur les différents types de réseaux (ratios de trafic entre l'année de départ et d'arrivée).

	Réseau national	Autres routes (soldes)	Réseau local urbain	Ensemble
80-90	1,43	1,33	1,34	1,36
90-98	1,28	1,22	1,13	1,16
80-98	1,84	1,62	1,52	1,58

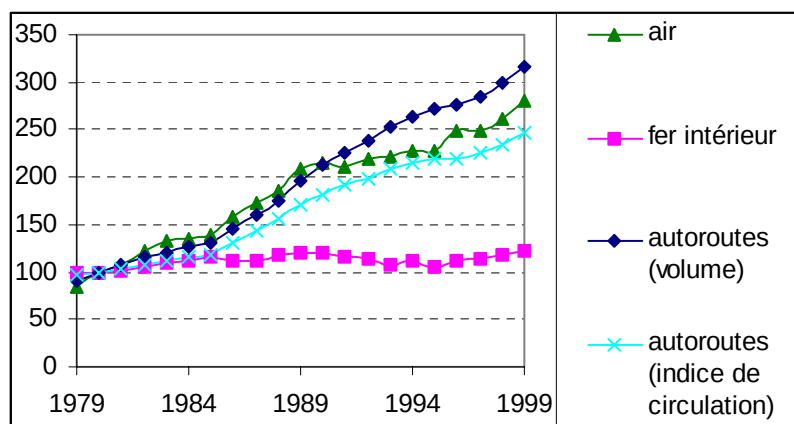
Bien sûr il s'agit ici de volumes de trafic sur réseaux et non pas de volumes de mobilité. Il ne faut pas extrapoler les différentiels de croissance sur réseau en termes de différentiels de

croissance de la mobilité quotidienne et non quotidienne, car l'étalement urbain entraîne un débordement croissant de la mobilité locale sur le réseau national. Toutefois ce débordement n'affecte qu'une partie du réseau national (une partie des autoroutes non concédées, certaines portions des RN). Par ailleurs, cette différence de rythmes de croissance est confirmée par les résultats des enquêtes transport. Entre 1981 et 1993 la circulation sur le réseau national est passée de 101,7véh.km à 157,9 véh.km, soit +55% d'augmentation. Selon les ETC fichiers "mobilité quotidienne" la mobilité quotidienne est passée de 17,2 km/jour/personne en 1981 à 23,4 km/jour/personne en 1993 soit +36% d'augmentation (Gallez, Orfeuil, 1998). La mobilité longue distance augmente plus rapidement que la mobilité quotidienne.

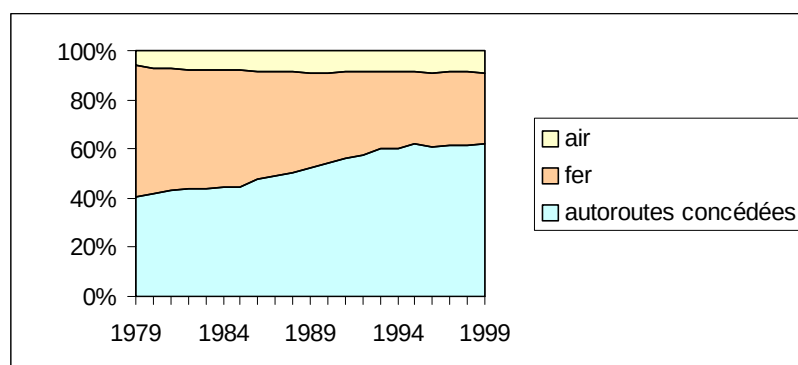
1.4. Comparaison des évolutions des trafics route – air -fer

Le trafic aérien en termes de voyageurs.kilomètres a été multiplié par 2,8 au cours des 20 dernières années. Le trafic sur le réseau des autoroutes concédées a augmenté dans les mêmes proportions. En termes de voyageurs.kilomètres le trafic a été multiplié par 3,2. L'indice de circulation a quant à lui été multiplié par 2,5 (Graphique 33). La croissance du trafic autoroutier est en partie due à des basculements de trafic des routes nationales sur les autoroutes concédées mais essentiellement par des trends de fond : croissance économique et politiques d'offre. En revanche le trafic ferroviaire intérieur n'a augmenté que de 20%. Si on considère l'évolution de la répartition des volumes de voyageurs.kilomètres, on constate que la part du trafic ferroviaire a ainsi chuté de 53% à 29%, alors que celle des autoroutes concédées a augmenté de 41% à 62% et celle de l'avion a augmenté de 6% à 9% (Graphique 34 et Graphique 35). Les croissances des trafics sont ainsi très contrastées d'un mode à l'autre.

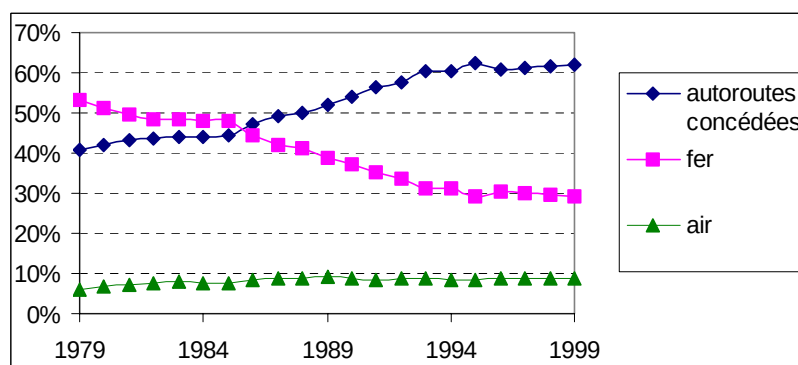
Graphique 33 : Comparaison des évolutions des trafics air, fer et autoroutes (en voyageurs.kilomètres)



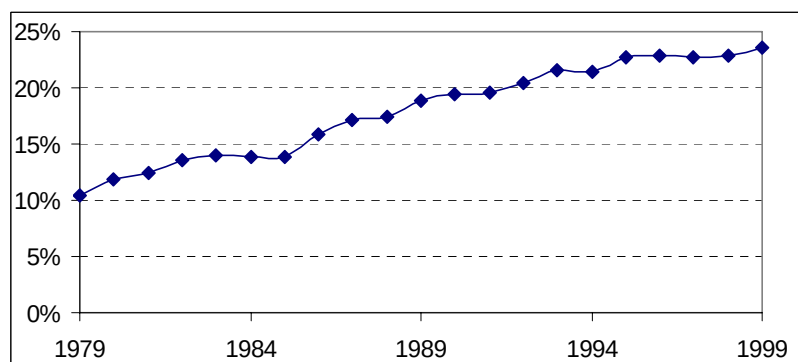
Graphique 34 : Evolution du partage modal air, fer, autoroutes concédées (représentation cumulée)



Graphique 35 : Evolution des parts modales air, fer et autoroutes concédées



Graphique 36 : Evolution de la part du trafic aérien au sein de l'ensemble du trafic air+fer



2. Evolution de la longue distance à travers les enquêtes transports et communication

Nous présentons les évolutions de volume et de structure modale de la mobilité longue distance entre 1981 et 1993, à travers les Enquêtes Transports. Compte tenu des biais inhérents à ce type d'enquête et surtout des différences de méthodologies entre 1981 et 1993, les variations mises en évidence sont en partie dues à de véritables évolutions des comportements, et en partie dues au recueil.

2.1. Précisions méthodologiques

Les volumes de voyageurs.kilomètres sont calculés à partir des distances déclarées. L'enquête 1993 recense à la fois les distances déclarées par les enquêtés et les distances origine-destination à vol d'oiseau calculées par l'INRETS en fonction des communes de départ et d'arrivée. En 1981, seules les distances déclarées par les individus ont été recensées. Par souci d'homogénéité nous calculons dans les deux cas les volumes de voyageurs.kilomètres à partir des distances déclarées.

Les résultats sont présentés Corse incluse. L'inclusion ou l'exclusion de la Corse ne modifie que marginalement les volumes de déplacements en train et en voiture, en revanche les trafics aériens vers la Corse représentent 1,2 millions de passagers et 1 milliards de PKT, soit 10% du trafic aérien total aussi bien en termes de voyageurs que de PKT⁸.

Nous considérons les déplacements de plus de 100km dont à la fois l'origine et la destination sont internes à la France⁹. Les enfants de moins de 6 ans ne sont pas pris en compte : ils n'ont pas été enquêtés en 1993 et nous les avons exclus de l'enquête 1981 par souci d'homogénéité. Pour comparer les enquêtes 1981 et 1993, nous avons également exclu les déplacements domicile-travail car ces déplacements n'étaient pas recensés en 1981. Le retrait des déplacements domicile-travail conduit à une sous-estimation de la part de marché du train. En 1993, la part de marché du train parmi l'ensemble des modes de transport s'élève ainsi à 13,3% en gardant le motif domicile-travail et à 11,7% après leur retrait.

Nous présentons tour à tour l'évolution de la mobilité totale et l'évolution du partage modal. Les résultats sont présentés tous modes confondus, puis en nous focalisant sur les seuls train – avion – voiture.

2.2. Evolution de la mobilité globale

Entre 1981 et 1993, la mobilité longue distance double presque : de 6,8 à 12,5 déplacements par personne et par an tous modes confondus (Graphique 41), de 6,5 à 11,7 pour les seuls

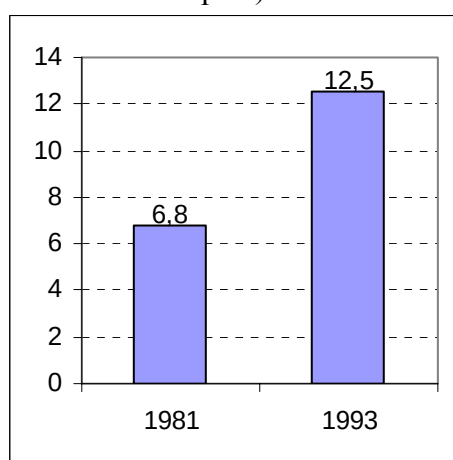
⁸ Au chapitre 2, certains traitements sont effectués Corse exclue, d'où des écarts en termes de parts modales de l'aérien.

⁹ Dans certains documents tels que (Gouider, 1998), la définition retenue est celle des déplacements inclus dans des voyages à plus de 100km de distance du domicile, ce qui est moins restrictif, et les déplacements France-étranger y sont aussi inclus, d'où des résultats parfois notablement différents notamment sur l'avion et la voiture.

déplacements en train, avion, voiture (Graphique 43). En termes de voyageurs.kilomètres, la mobilité longue distance passe de 2000km/personne/an à 3400km/personne/an tous modes confondus (Graphique 42), de 1915km à 3162km pour les seuls train, avion, voiture (Graphique 44). La distance moyenne par déplacement reste presque stable : de 295km/déplacement à 301km/déplacement (hors domicile-travail).

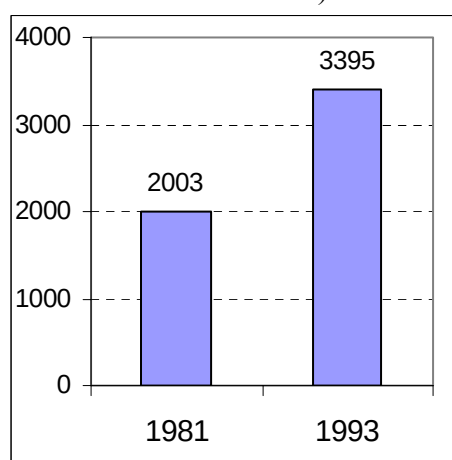
Cette progression de la mobilité longue distance est à rapprocher des évolutions de mobilité locale mesurées dans le cadre des mêmes enquêtes transports : de 3,4 à 3,2 déplacements/personne/jour entre 1982 et 1994 et de 17,2km à 23,4km/personne/jour. (Gallez, Orfeuil, 1998).

Graphique 37 : Evolution de la mobilité longue distance tous modes confondus (en nombre de déplacements/personne de 6 ans et plus)



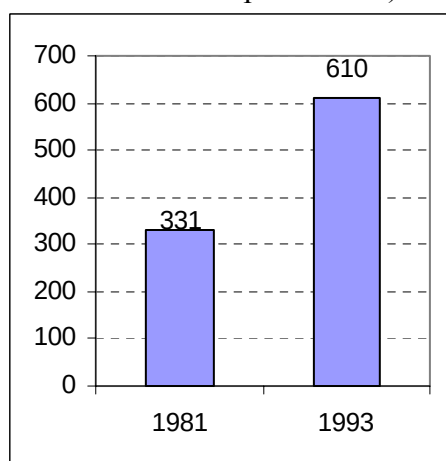
Source : d'après enquêtes-transports.

Graphique 38 : Evolution de la mobilité longue distance tous modes confondus (en nombre de kilomètres parcourus annuellement)



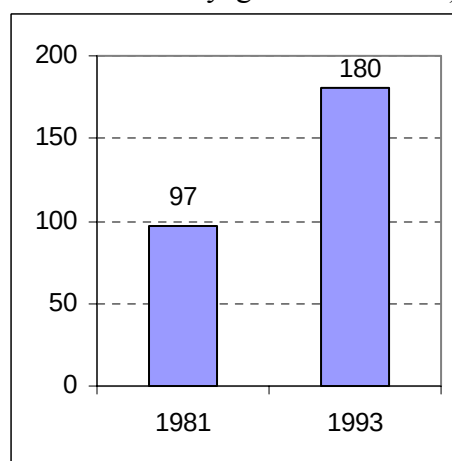
Source : d'après enquêtes-transports.

Graphique 39 : Evolution de la mobilité longue distance tous modes confondus (en millions de déplacements)



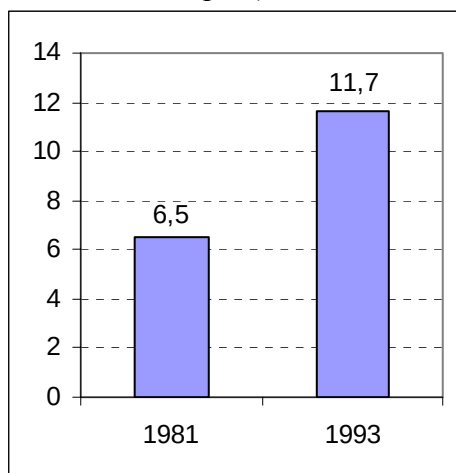
Source : d'après enquêtes-transports.

Graphique 40 : Evolution de la mobilité longue distance tous modes confondus (en milliards de voyageurs.kilomètres)



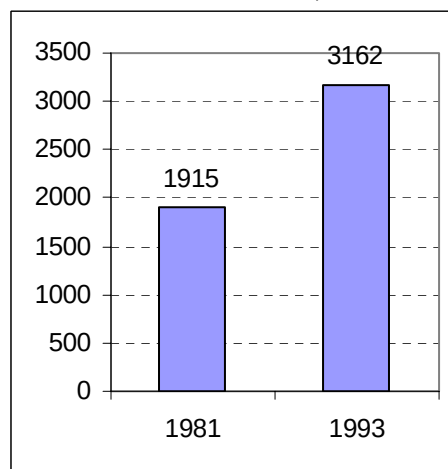
Source : d'après enquêtes-transports.

Graphique 41 : Evolution de la mobilité longue distance voiture/train/avion (en nombre de déplacements/personne de 6 ans et plus)



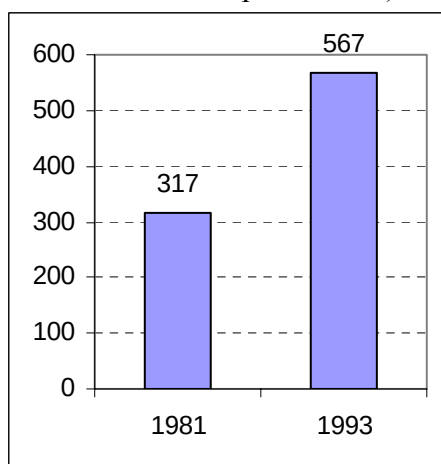
Source : d'après enquêtes-transports.

Graphique 42 : Evolution de la mobilité longue distance voiture/train/avion (en nombre de kilomètres parcourus annuellement)



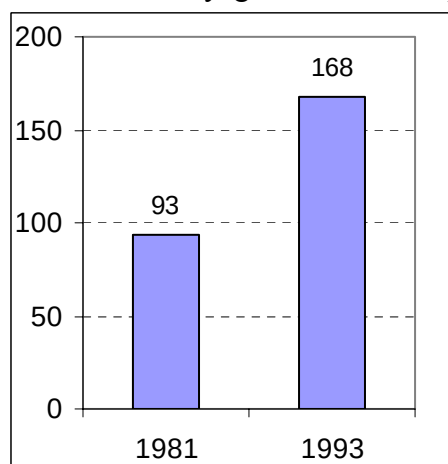
Source : d'après enquêtes-transports.

Graphique 43 : Evolution de la mobilité longue distance voiture/train/avion (en millions de déplacements)



Source : d'après enquêtes-transports

Graphique 44 : Evolution de la mobilité longue distance voiture/train/avion (en milliards de voyageurs.kilomètres)



Source : d'après enquêtes-transports

2.3. Evolution de la répartition modale entre 1981 et 1993

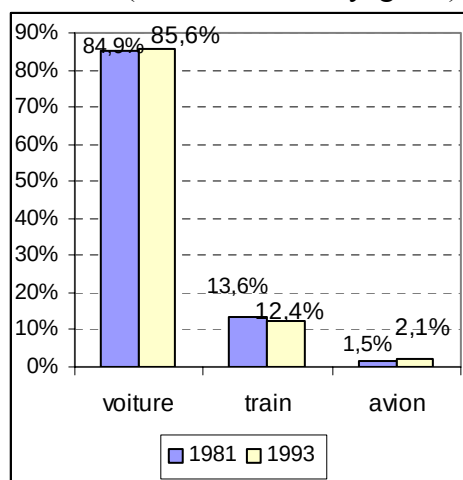
Les hausses de la mobilité sont contrastées suivant le mode : +54% d'augmentation pour le train, +79% pour la voiture ; +92% pour l'autocar ; +150% pour l'avion (en termes de voyageur.km) (Tableau 7). Les Graphique 45 à Graphique 48 montrent l'évolution de la répartition modale d'une enquête Transports à l'autre.

Tableau 7 : Evolution de la mobilité mode par mode (rapport de mobilité entre 1981 et 1993).

93C/81C	Nombre de déplacements	Nombre de voy.km	Distance
Voiture	174%	179%	103%
Train	157%	154%	98%
Avion	241%	250%	104%
Autocar	206%	192%	93%
Autres	256%	350%	137%

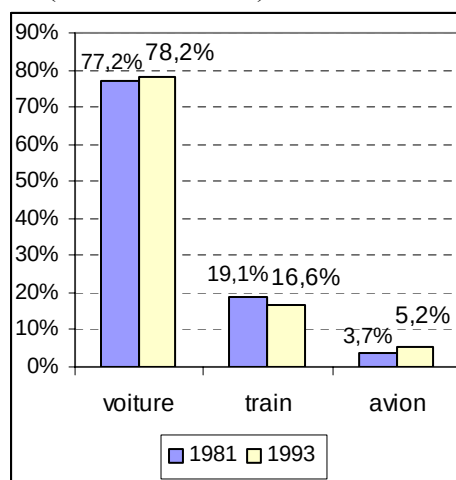
Source : d'après enquêtes-transport.

Graphique 45 : Evolution de la répartition modale (en nombre de voyageurs)



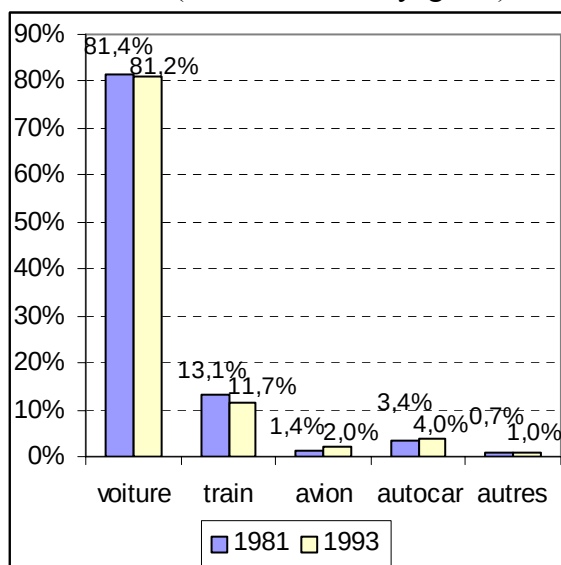
Source : d'après enquêtes-transport

Graphique 46 : Evolution de la répartition modale (en termes vkms)



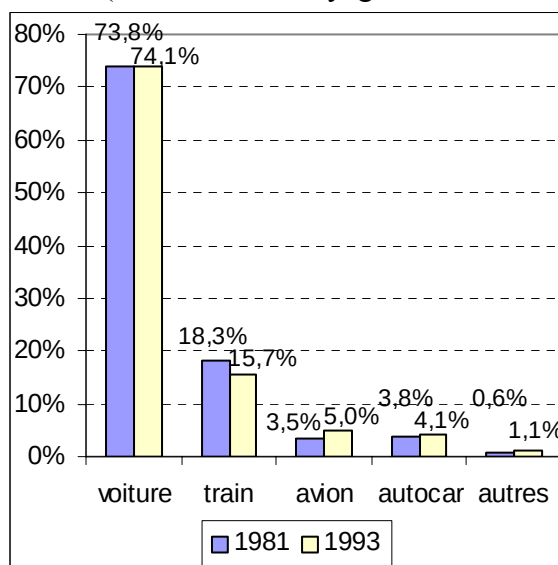
Source : d'après enquêtes-transport

Graphique 47 : Evolution de la répartition modale (en nombre de voyageurs)



Source : d'après enquêtes-transport

Graphique 48 : Evolution de la répartition modale (en nombre de voyageurs.kilomètres)



Source : d'après enquêtes-transport

3. Données opérateurs et enquêtes Transports : comparaison des résultats

Les enquêtes Transports et les données opérateurs fournissent deux mesures de l'évolution de la mobilité à longue distance. Ces deux types de recueil s'appuient sur des champs différents de la mobilité à longue distance. Il est donc normal qu'il existe des divergences d'évolution selon la définition retenue. On peut néanmoins s'attacher à étudier la cohérence des évolutions au-delà des différences de définitions afin de voir s'il est possible de combiner les informations des enquêtes transports avec les évolutions de flux globaux de trafics.

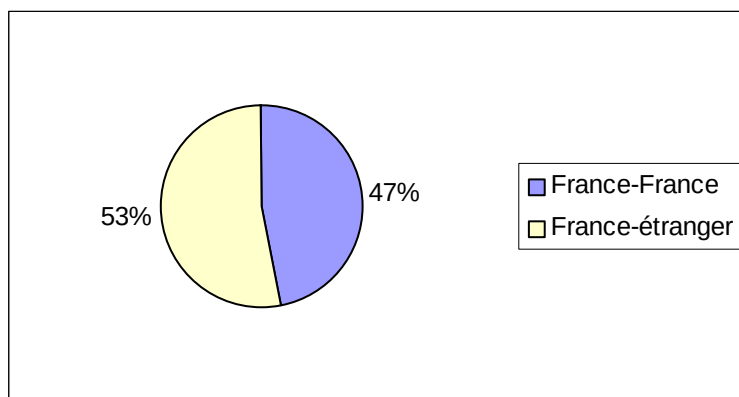
3.1. Des définitions différentes

Nous comparons trois sources d'informations différentes : les trafics opérateurs, les enquêtes Transports et Communications et les matrices INRETS 1992. Les ETC 1981 et 1993 considèrent les déplacements de plus de 100km (80km à vol d'oiseau) des personnes résidant en France, âgées de plus de 6 ans. Les absents de longue durée ne sont pas pris en compte (par convention en 1981, du fait de la méthodologie d'enquête en 1993). En 1981, les domicile-travail sont exclus. Les matrices INRETS considèrent les déplacements dont l'origine et la destination sont internes à la France, de plus de 50km à vol d'oiseau et interdépartementaux. Nous précisons mode par mode les différences de champs susceptibles d'affecter la comparaison avant de mettre en parallèle les évolutions de la longue distance suivant les différentes sources.

3.2. Comparaison pour l'aérien

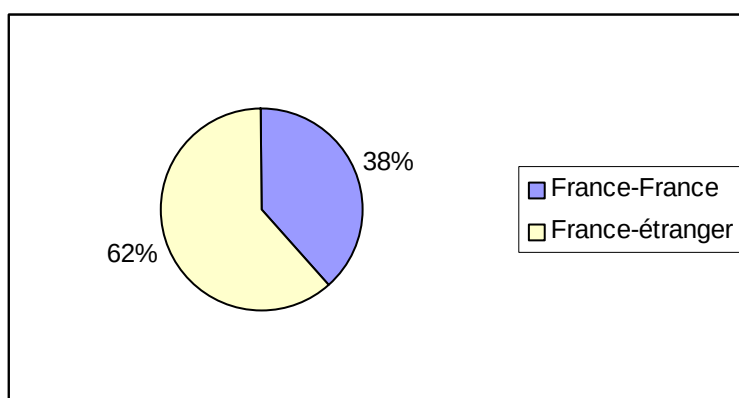
Comme l'avion n'est pertinent que pour les longues distances, il n'y a pas de différence entre ETC et statistiques transporteurs en termes de seuil de distance. Par contre il subsiste un double problème. Les voyageurs en correspondance sont comptabilisés deux fois au sein des volumes de passagers intérieur métropole (source DGAC), mais une seule fois dans l'évaluation ETC (le problème n'existant pas au niveau des PKT). Par ailleurs les préacheminements à l'international sont comptabilisés au sein des lignes domestiques françaises (source DGAC) alors qu'ils sont exclus du champ France – France de l'ETC. Or la part des préacheminements à l'international n'est pas négligeable et s'est accrue entre 1981 et 1993. D'après les enquêtes transports, les déplacements France – étranger représentaient 62% des déplacements en avion des personnes résidant en France en 1993 (Graphique 50). Cette part était de 53% en 1981 (Graphique 49). Une partie de ces déplacements, (une partie seulement), se fait avec acheminement préalable sur les lignes intérieures françaises.

Graphique 49 : Répartition du nombre de déplacements en avion des résidents français entre déplacements France-France et France-étranger en 1981 (déplacements ayant une extrémité en France)



Source : d'après enquête Transports 1981

Graphique 50 : Répartition du nombre de déplacements en avion des résidents français entre déplacements France-France et France-étranger en 1993 (déplacements ayant une extrémité en France)



Source : d'après enquête Transports 1993

Le nombre de déplacements intérieur métropole est de 11,5 millions selon les ETC 1993 contre 21,3 millions de passagers DGAC, soit un rapport quasiment de 1 à 2. Le nombre de déplacements intérieur métropole selon l'INRETS est de 17 millions de voyageurs (Tableau 8).

Tableau 8 : Comparaison des trafics DGAC, ETC et INRETS en termes de voyageurs

DGAC 1993	ETC 1993	INRETS
21,3 millions de voyageurs sur les lignes intérieures françaises (1,9 pour la Corse + 19,2 hors Corse)	11,5 millions de déplacements internes à la métropole (1,2 pour la Corse + 10,2 hors Corse)	17 millions de déplacements internes à la métropole (1,2 pour la Corse + 15,7 hors Corse)

Source : d'après données DGAC, ETC, INRETS

En termes de voyageurs.kilomètres l'écart entre les sources de données est tout aussi important (Tableau 9). Pour la production du nombre de voyageurs.kilomètres, nous utilisons deux estimations : la première à partir du nombre de kilomètres déclarés par les enquêtés et la deuxième à partir de la distance à vol d'oiseau. Lorsqu'on compare les kilomètres déclarés dans l'ETC93 avec le trafic passager.kilomètre de la DGAC, l'écart paraît moins flagrant que pour les estimations en nombre de déplacements. Cela est dû au fait que la distance moyenne déclarée est toujours sensiblement supérieure (750km) à la distance moyenne de vol (550km). La distance déclarée est la distance totale du déplacement, y compris les trajets terminaux. Par ailleurs il est probable que les enquêtés surestiment la distance parcourue lorsque le trajet est effectué en avion.

Tableau 9 : Comparaison des trafics DGAC et ETC en termes de voyageurs.kilomètres

DGAC	ETC 93 km déclaré	ETC 93 distance OD
11,7 milliards de vkm (1,1 pour la Corse + 10,6 hors Corse)	8,6 milliards de vkm (0,7 pour la Corse + 7,9 hors Corse)	6,7 milliards de vkm (0,6 pour la Corse + 6,1 hors Corse)

Source : d'après données DGAC, ETC

Il est normal que les trafics DGAC soient supérieurs au nombre de déplacements de l'ETC93 et des déplacements INRETS en raison de la prise en compte des préacheminements à l'international et du double compte de passagers ayant une correspondance au cours de leur déplacement.

Selon les ETC, en plus de ces 11,5 millions de déplacements, 18,6 millions de déplacements ont été effectués entre la France et l'étranger par les résidents français. Parmi ces 18,6 millions de déplacements internationaux, 55% (10,3 millions) ont comme origine l'Ile-de-France et 7% (1,3 million) proviennent des 6 régions qui entourent l'Ile-de-France (Picardie, les deux Normandie, Champagne-Ardenne, Centre et Bourgogne). Compte tenu de la diversité des destinations au départ de Paris, il est probable que la majorité de ces personnes ont décollé directement de Paris sans subir de préacheminement sur les lignes aériennes intérieures françaises. En revanche, une partie des 7,0 millions de déplacements issus d'une région extérieure au Bassin Parisien a dû subir un préacheminement sur les lignes domestiques¹⁰. D'après (Morellet, Marchal, 1997), le trafic international au sein des lignes domestiques françaises était de 9% en 1992.

Les ETC estiment à 2,4 millions le nombre de déplacements aériens intérieurs, dont une certaine partie a subi une correspondance (soit à Paris, soit au niveau d'un hub de province).

Enfin une partie de l'écart entre statistiques ETC d'une part et statistiques DGAC et INRETS d'autre part peut s'expliquer par les étrangers voyageant en France.

Toutefois l'ampleur des écarts entre source ETC et source DGAC est telle qu'elle s'explique difficilement par les seules différences de définitions.

¹⁰ Les grands aéroports de province disposent d'un certain nombre de dessertes vers les DOM-TOM ainsi que vers quelques grandes villes européennes. Certaines de ces grandes villes (notamment Londres ou Francfort) peuvent à leur tour servir de plates-formes de correspondance vers un grand nombre de destinations. Une part importante des déplacements ayant comme origine ou destination la province ne subit pas de préacheminement sur les lignes domestiques.

Pour compléter l'analyse des différences d'estimation, nous comparons les trafics par catégorie de liaison (Tableau 10). Les écarts de trafic entre source DGAC et source Enquête Transports sont plus réduits pour les transversales (8%) que pour les radiales (53%). Paris étant le principal hub en France, il est normal que la part des préacheminements à l'international et des doubles comptes de passagers en correspondance au sein du trafic domestique soit plus élevé sur les radiales que sur les transversales. Toutefois il est probable que les ETC sous-estiment le trafic aérien, au-delà des problèmes de doubles comptes.

Tableau 10 Comparaison par type de liaisons entre les déplacements intérieurs à la métropole des résidents français (source ETC), le trafic des lignes intérieures à la métropole (source DGAC) et le trafic INRETS

	DGAC (millions de voyageurs)	ETC93 (millions de voyageurs)	INRETS	ETC93/DGAC	INRETS / DGAC
Corse	1,9	1,2	1,2	67%	65%
Radiales hors corse	16,8	7,9	12,2	47%	73%
Transversales hors corse	2,6	2,4	3,5	92%	134%
Total intérieur métropole	21,3	11,5	17	54%	80%

Source : d'après données DGAC, ETC, INRETS

Au-delà de la comparaison pour l'année 1993, on peut comparer les évolutions de trafic entre 1981 et 1993. Le trafic DGAC sur les lignes intérieures françaises était de 11,3 millions de passagers en 1981 et 12,9 millions en 1982. Comme l'Enquête Transport 1981 s'est déroulée aux $\frac{3}{4}$ en 1981 et au $\frac{1}{4}$ en 1982, on peut estimer à 11,7 millions le nombre de passagers qui correspondent à l'année d'enquête ETC81. Or, d'après l'ETC 1981, les résidents français ont effectué 4,8 millions de déplacements internes à la France et 5,4 millions de déplacements entre la France et l'étranger.

Tableau 11 : Répartition des déplacements en avion des résidents français ayant une extrémité en France entre déplacements France-France et France-étranger.

	1981	1993	Ratio 93/81
DGAC (1)	11,7	21,4	1,83
Dépl. France-France des résidents français (source ETC) (2)	4,8	11,5	2,41
Dépl. France-étranger des résidents français (source ETC)	5,4	18,6	3,43
Total des dépl. des résidents français (source ETC)	10,2	30,1	2,95
Ratio (2)/(1)	41%	54%	

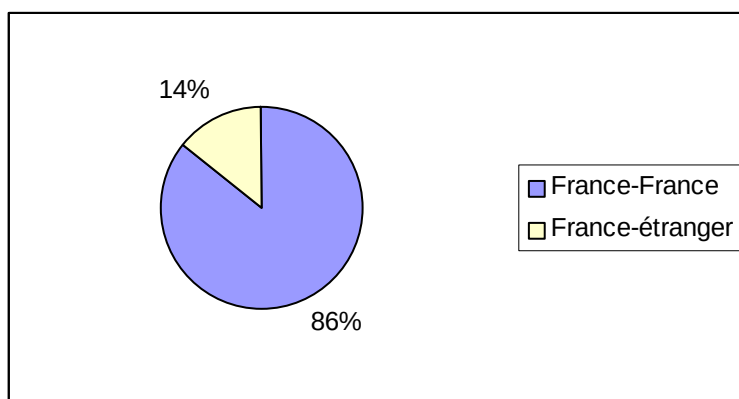
Selon les statistiques DGAC, le trafic sur les lignes intérieures françaises a ainsi progressé de +83% entre 1981 et 1993, alors que d'après les ETC les déplacements des résidents français

France-France ont progressé de +141% et le trafic-étranger de +243%. Ces progressions sont dissemblables.

3.3. Comparaison pour le ferroviaire

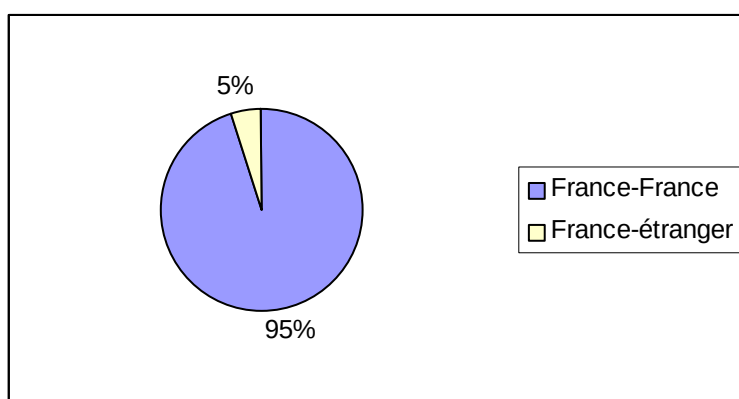
La part des trajets internationaux au sein des déplacements ferroviaires est bien plus faible que celle de l'avion. D'après les ETC elle est passée de 14% en 1981 à 5% en 1993 (Graphique 52 et Graphique 51). D'après les statistiques SNCF la part de l'international au sein de l'ensemble du trafic ferroviaire a oscillé autour de 14% au cours des 20 dernières années (cf. II.1.2.1.) avec une baisse de 1980 à 1993 de 14% à 8% puis une hausse au cours des années récentes. Pour le ferroviaire la principale source d'écarts entre statistiques opérateur et enquêtes transports réside dans la part des déplacements de moins de 100km, dont beaucoup de domicile-travail.

Graphique 51 : Répartition du nombre de déplacements en train des résidents français entre déplacements France-France et France-étranger en 1981 (déplacements ayant une extrémité en France)



Source : enquête Transports 1981

Graphique 52 : Répartition du nombre de déplacements en train des résidents français en 1993 (déplacements ayant une extrémité en France)



Source : enquête Transports 1993

En 1993, les statistiques SNCF et Enquête Transports sont parfaitement cohérentes. En termes de nombre de voyageurs il existe certes un rapport de plus de 1 à 3 entre les deux sources de données mais cela est imputable aux déplacements de moins de 100km. En termes de voyageurs.kilomètres le trafic intérieur France (y compris SRV) est de 42,5 milliards de voyageurs.kilomètres ; le trafic grandes lignes (y compris international) est de 41,1 milliards de voyageurs.kilomètres. En faisant l'hypothèse que le trafic international est exclusivement grandes lignes (ce qui n'est pas tout-à-fait exact), le trafic grandes lignes intérieur France serait de l'ordre de 35 milliards de voyageurs.kilomètres. Ce chiffre est à comparer aux 29,3 milliards de voyageurs.kilomètres de source ETC. Compte tenu de l'existence de trafic à moins de 100km dans le trafic grandes lignes, les chiffres sont pleinement cohérents (Tableau 12).

Tableau 12 : Comparaison des déplacements en train en 1993

	Source SNCF		Source ETC
Trafic en millions de voyageurs	Total voyageurs GL+SRV	268	79,6 de déplacements France-France
	Intérieur GL+SRV	253	
Trafic en milliards de vkm	Total GL+SRV	48,6	29,3 de vkm France-France (distance déclarée)
	Intérieur GL+SRV	42,5	
	Grandes lignes	41,1	
	GL – international	35,0	

En revanche il existe des écarts conséquents entre les estimations de l'Enquête 1981 et les données de trafic opérateur de 1981 (Tableau 13) : le rapport entre estimation ETC et données opérateur est cette fois ci dans un rapport de 1 à 2.

Tableau 13 : Comparaison des déplacements en train en 1981

	Source SNCF		Source ETC
Trafic en millions de voyageurs	Total voyageurs GL+SRV	249,9	43,2 de déplacements France-France
	Intérieur GL+SRV	233,5	
Trafic en milliards de vkm	Total GL+SRV	47,4	17,8 de vkm France-France (distance déclarée)
	Intérieur GL+SRV	40,5	
	Grandes lignes	41,9	
	GL – international	35,0	

Les estimations de la croissance des trafics entre les deux enquêtes sont divergentes (Tableau 14).

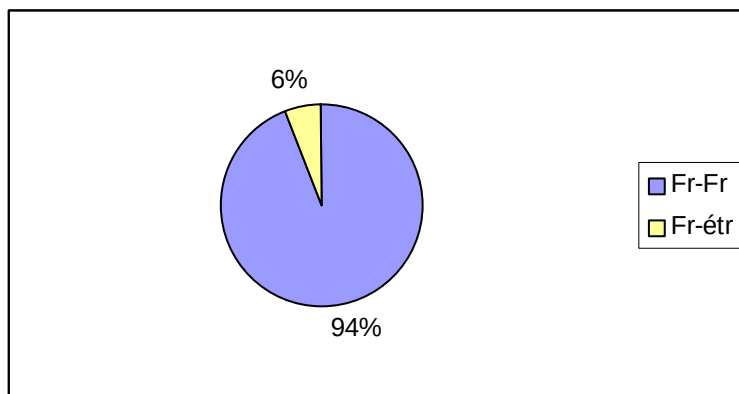
Tableau 14 : Variation des déplacements en train entre 1981 et 1993

	Source SNCF		Source ETC
Trafic en voyageurs	Total voyageurs GL+SRV	+8%	+57% de déplacements France-France
	Intérieur GL+SRV	+9%	
Trafic en vkm	Total GL+SRV	+3%	+54% de vkm France-France
	Intérieur GL+SRV	+6%	
	Grandes lignes	-1%	
	GL – international	+1%	

3.4. Comparaison pour le mode routier

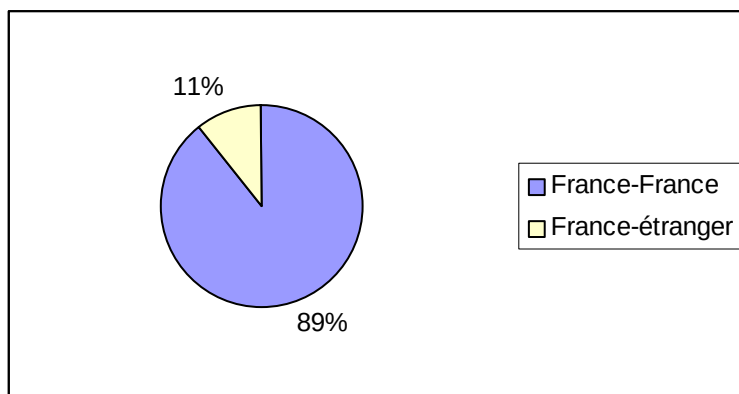
Selon les Enquêtes Transports, la part des déplacements à l'international était de 6% en 1981 et de 11% en 1993 (Graphique 53 et Graphique 54).

Graphique 53 : Répartition du nombre de déplacements en voiture des résidents français entre déplacements France-France et France-étranger en 1981 (déplacements ayant une extrémité en France)



Source : enquête Transports 1981

Graphique 54 : Répartition du nombre de déplacements en voiture des résidents français entre déplacements France-France et France-étranger en 1993 (déplacements ayant une extrémité en France)



Source : enquête Transports 1993

En 1993, les déplacements sur autoroutes estimés à travers l'Enquête Transports (en véhicules.kilomètres) représentent la moitié du trafic sur autoroutes estimé par le SETRA. Les déplacements longue distance tous réseaux confondus estimés par l'ETC représentent 40% de l'ensemble du trafic du réseau national (Tableau 15). En 1981 les trafics longue distance, tous réseaux confondus, estimés par l'ETC correspondent à 35% du trafic sur le réseau national estimé par le SETRA (Tableau 17). La part du trafic local circulant sur le réseau national et aussi autoroutier étant considérable (cf section II), ces chiffres ne sont pas incohérents. En

termes de voyageurs, les estimations ETC et INRETS correspondent en ordre de grandeur (Tableau 16).

Tableau 15 : Comparaison des volumes de trafics en véhicules.kilomètres pour 1993

Source SETRA 1993/94	Source ETC93
111 milliards de véh.km sur le réseau national ¹¹ (dont 41 VL.km sur autoroutes concédées)	46 milliards de véh.km tous réseaux confondus ¹² (dont 23 VL.km sur autoroutes)

Tableau 16 : Comparaison des volumes de trafics en voyageurs pour 1993

Source INRETS	Source ETC
536 millions de voyageurs	475 millions de voyageurs

Tableau 17 : Comparaison des trafics en véhicules.kilomètres pour 1981

Source SETRA 1981/82	Source ETC81
73 milliards de véh.km	25 milliards de véh.km

Les évolutions de trafic selon les différentes sources de données sont concordantes (Tableau 18).

Tableau 18 : Comparaison des évolutions des trafics routiers entre 1981 et 1993

D'après SETRA	D'après ETC
+52% de trafic sur réseau national +90% de trafic sur autoroutes concédées (réseau stable) +132% de trafic sur autoroutes concédées (réseau variable) +25% de trafic sur RN	+80% de trafic longue distance

3.5. Conclusion

Les ETC et les données opérateurs fournissent des tendances d'évolution similaires : explosion du trafic aérien entre 1981 et 1993 (trafic multiplié par 1,8 ou 2,4 selon la source), accroissement rapide du trafic routier (quasi doublement en 10 ans), croissance très inférieure du trafic ferroviaire (stabilité selon les données opérateur, augmentation de 50% selon les ETC).

Toutefois le lien entre données ETC et données opérateur est délicat à établir, compte tenu des différences de champ. En 1993, les statistiques opérateurs et les données de l'Enquête Transports sont cohérentes. En 1981 en revanche il semble que l'Enquête tendait à sous-

¹¹ Estimation du volume de VL.km : on a effectué un abattement de 14% sur le total de véhicules.kilomètres VL+PL afin de tenir compte de la part des PL.

¹² Les trafics sont présentés en véhicules.kilomètres ; nous avons pris en compte le taux moyen d'occupation des véhicules dans l'ETC 1993.

estimer les déplacements en train et en avion. Les évolutions de trafic routier fournies par l'Enquête Transports d'une part, et les statistiques opérateurs d'autre part, sont compatibles : de l'ordre de +80% de trafic entre les deux enquêtes Transports et de l'ordre de +90% de hausse de l'indice de circulation à réseau stable sur les autoroutes concédées. Il n'en va pas de même pour le ferroviaire et, dans une moindre mesure pour l'aérien. La déformation de structure modale entre 1981 et 1993 est différente selon les trafics opérateurs et selon les ETC.

IV. Conclusion

Les déplacements à longue distance constituent un objet à géométrie variable suivant la définition retenue. La longue distance est généralement définie par opposition à la mobilité locale comme ensemble des déplacements à plus de 100km du domicile. Toutefois cette masse de déplacements recouvre plusieurs marchés : les déplacements interrégionaux concernés par le développement des réseaux à grande vitesse, le marché des déplacements infrarégionaux et le marché des déplacements internationaux d'échange et de transit. Le marché des déplacements interrégionaux constitue le segment central de notre analyse. Toutefois le contour exact de la définition retenue dépend des sources de données à disposition et doit répondre aux critères d'opérationnalité.

Les données relatives aux déplacements à longue distance en France sont multiples mais hétéroclites. Nous disposons de séries chronologiques de volumes de trafic issues des statistiques opérateurs. Toutefois l'information n'est disponible pour l'ensemble des trois modes train, avion, voiture qu'à un niveau national. Pour chaque mode pris séparément nous disposons de données plus fines spatialement : trafics par tronçon autoroutier, volumes de passagers par liaison aéroport, matrices gares à gares SNCF. Toutefois ces données ne sont pas facilement comparables : pour le ferroviaire il s'agit de matrices origines-destinations, ce qui n'est pas le cas des deux autres modes. Par ailleurs pour le ferroviaire ces données origines-destinations ne sont disponibles que sur 5 ans. Outre les séries chronologiques opérateurs nous disposons de données d'enquêtes. Les Enquêtes Transport-Communications de 1981 et 1993 fournissent une image des déplacements à plus de 100km à vol d'oiseau des résidents français. D'autres enquêtes fournissent des renseignements complémentaires sur certains segments des déplacements à longue distance. Les Enquêtes Vacances de l'INSEE nous éclairent sur les séjours pour motif loisir de 4 nuits et plus. Le panel Suivi de la Demande Touristique nous renseigne sur les séjours d'au moins une nuit hors du domicile.

Le champ des déplacements couverts varie suivant le type de données considéré. Les Enquêtes Transports et Communication couvrent les déplacements de plus de 100km à vol d'oiseau. Les données de flux opérateurs recouvrent différents types de trafic, aussi bien du trafic local que du trafic interrégional ou du trafic international en transit. Les évolutions des déplacements à longue distance diffèrent sensiblement suivant que l'on considère l'Enquête Transports et Communications ou les flux opérateurs. Ces différences d'évolution proviennent de la différence de définition, en partie aussi des différences de méthodologies d'enquêtes et des incertitudes liées à la faiblesse de la taille des échantillons.

Deux approches différentes des déplacements à longue distance sont envisageables : une approche en termes de mobilité à travers les enquêtes et une approche en termes de flux de trafic sur le réseau. L'approche mobilité permet de considérer des segments de déplacements

définis en termes de seuil de distance. Nous pouvons par exemple choisir d'appeler longue distance l'ensemble des déplacements de plus de 100km dont à la fois l'origine et la destination se situent en France. Dans l'approche par les logiques de flux nous retenons l'ensemble des flux circulant sur le réseau à grande vitesse : trafic sur le réseau des autoroutes concédées, trafic intérieur France, trafic sur les lignes aériennes intérieur métropole.

Pour une analyse qualitative de la longue distance il est utile de croiser les informations issues de l'ensemble des sources de données à notre disposition. Ces sources de données se révèlent en effet complémentaires. Les données chronologiques opérateurs permettent d'analyser la dynamique des déplacements à longue distance. Toutefois nous ne disposons pas d'informations permettant de segmenter les volumes de déplacements à longue distance par type de marché. Les enquêtes permettent de pallier ce manque et mieux comprendre certains déterminants socio-économiques de la longue distance. Pour un essai de modélisation de l'évolution des déplacements, il apparaît en revanche délicat de combiner les deux types de données. L'approche mobilité impose de s'appuyer sur les données chronologiques opérateurs.

Dans le chapitre suivant nous analysons les déterminants des déplacements à longue distance à travers l'ensemble des sources de données à notre disposition ainsi qu'à partir des sources bibliographiques. Nous présentons aussi les évolutions des principaux facteurs de la mobilité à longue distance au cours des vingt dernières années. Les chapitres suivants sont consacrés à des aspects modélisation : analyse bibliographique des différentes méthodes de modélisation (chapitre 3) puis essai de simulation à partir de séries chronologiques (chapitre 4). La qualité des données et l'homogénéité dans le temps des séries chronologiques constituent un élément crucial de validité du calage des paramètres, ce qui explique les redressements effectués.

Chapitre 2. Les déterminants de la longue distance

Avant de modéliser les déplacements à longue distance, il est indispensable d'en déterminer les principaux facteurs explicatifs et de connaître les évolutions desdits facteurs. Dans un premier temps (section I), nous analysons les principaux déterminants de la mobilité à longue distance et du partage modal. Cette analyse s'appuie sur des traitements portant sur les différentes données à notre disposition, aussi bien Enquête Transports que données de trafic. Des sources bibliographiques complètent et éclairent ces résultats. Les principaux facteurs explicatifs de la longue distance une fois identifiés, nous présentons leur évolution au cours des 20 dernières années, en nous focalisant particulièrement sur l'offre de transport (section II). Nous présentons mode par mode l'évolution des politiques tarifaires, l'expansion de l'offre, les évolutions du secteur. La connaissance des déterminants de la mobilité à longue distance et ce regard historique sur leurs évolutions au cours des vingt dernières années sont utiles pour éclairer les fluctuations des trafics.

I. Analyse bibliographique et analyse des données : les déterminants de la longue distance

Quelle est la nature de la mobilité à longue distance en France en termes de répartition entre motifs personnels ou professionnels, de longueurs de déplacements, de durée d'absence du domicile ? Quels sont les déterminants du niveau de mobilité : revenu, motorisation, caractéristiques socio-démographiques des individus, croissance des vitesses ? Quels sont les déterminants du choix modal : offre de transport, caractéristiques du déplacement, caractéristiques socio-économiques de l'individu ?

Pour répondre à cette triple interrogation, nous analysons l'ensemble des données à notre disposition, aussi bien données de trafic (séries chronologiques globales, flux de trafics entre aéroports, matrices origines-destinations SNCF), qu'Enquêtes Transports. Différentes sources bibliographiques viennent éclairer et compléter ces traitements. Ces différentes sources d'information sont complémentaires.

Dans un premier temps (section 1), nous présentons le cadre général de l'analyse. Nous précisons les avantages et les limites de l'exploitation des différents types de bases de données ainsi que les sources bibliographiques utilisées. Après une brève description de la nature des déplacements à longue distance enquêtés dans l'Enquête Transports 1993 (section 2), nous analysons les déterminants de la génération de la mobilité (section 3) et du partage modal (section 4).

1. Cadre général de l'analyse

L'analyse traditionnelle de la mobilité décompose les choix relatifs à la mobilité en plusieurs étapes : génération, distribution et partage modal (Bonnell, 2004). Dans un premier temps nous présentons ce schéma habituel d'analyse de la mobilité et la liste des facteurs explicatifs classiquement considérés (1.1.). Nous précisons alors les différents matériaux à notre disposition, aussi bien les bases de données sur lesquelles nous effectuons les traitements que les sources bibliographiques complémentaires (2.2.). Nous explicitons alors la démarche adoptée (2.3.).

1.1. Les déterminants de la demande de transport à longue distance

Le schéma classique d'analyse de la mobilité décompose les choix de mobilité des individus en plusieurs étapes : dans un premier temps choix de se déplacer ou non puis choix de leur lieu de destination et enfin choix du mode. Bien entendu ce schéma est simpliste, ces décisions pouvant être prises simultanément ou dans un ordre différent (Bonnell, 2004).

1.1.1. Les déterminants du niveau de la mobilité

La mobilité à longue distance peut être considérée comme un moyen d'accéder à un certain nombre de biens et de services éloignés spatialement sous une double contrainte de coût et de temps. Les déterminants généralement retenus pour caractériser la mobilité à longue distance sont :

- les déterminants socio-économiques : revenus et croissance économique, mais aussi motorisation, structure socio-démographique, évolution des modes de vie,
- l'offre de transport, notamment vitesse et prix.

1.1.2. Les déterminants du choix modal

Les déterminants de la demande de transport sont généralement classés en plusieurs catégories (Bonnell, 2004 ; Ortuzar, Willumsen, 1994) :

- les caractéristiques de l'offre de transport, que ce soit en termes de vitesse, de prix ou de qualité de service (fréquence, ponctualité, fiabilité, confort),
- les caractéristiques du déplacement (motif, durée, taille du groupe),
- les caractéristiques de l'individu : revenus, motorisation, possession du permis de conduire, PCS, âge, structure du ménage (jeune couple, couple avec enfants, retraités....).

Le partage modal global à l'échelle nationale dépend des performances relatives des différents modes de transport, mais aussi de l'évolution de la structure de la mobilité.

1.2. Enquêtes et données de trafic : des moyens complémentaires pour appréhender les déterminants de la mobilité à longue distance

Le chapitre 1 nous a permis de recenser l'ensemble des sources de données (enquêtes et données de trafic) disponibles sur le champ des déplacements à longue distance. Dans cette section, nous présentons les avantages et inconvénients de ces deux types de données pour analyser les déterminants de la longue distance.

1.2.1. Intérêt et limites des données d'enquêtes

Les Enquêtes Transports et Communications permettent d'appréhender la nature des déplacements à longue distance (motifs de déplacement, durées de voyage, tailles de groupe), et apportent des éléments d'information précieux, notamment sur le profil des individus se déplaçant à longue distance. De toutes les enquêtes disponibles, les Enquêtes Transports et Communication sont celles qui couvrent le champ de mobilité le plus vaste. Toutefois nous bénéficions d'enquêtes complémentaires sur des segments particuliers de la longue distance. L'INSEE réalise tous les cinq ans des enquêtes vacances dans le cadre de ses enquêtes de conjonctures, selon une méthodologie identique d'une enquête à l'autre (Rouquette, 2001). Depuis 1991, le panel SDT (Suivi de la Demande Touristique) fournit un éclairage sur les voyages professionnels d'au moins une nuit hors du domicile (SES, 2000). Par ailleurs toutes les mises en service de TGV ont été accompagnées d'enquêtes (enquêtes avant – après du LET réalisées autour du TGV Sud-Est et du TGV Atlantique, enquête sur données de panel autour du TGV Nord).

Ces différentes enquêtes sont précieuses car elles apportent des éléments d'information que ne produisent pas les données de flux de trafic : nature des déplacements à longue distance en termes de motifs, durées de voyages, et tailles de groupe, déterminants socio-démographiques de la mobilité.

Ces enquêtes présentent toutefois des inconvénients. Les échantillons sont parfois trop réduits pour produire des résultats spatialisés statistiquement fiables à une échelle spatiale fine. Par ailleurs, les prix ne sont généralement pas enquêtés, ce qui rend impossible les analyses sur ce plan. Enfin, les enquêtes réalisées à un instant *t* présentent une photographie des différences de comportement entre catégories d'individus à une date donnée mais une analyse trop hâtive de ces différences peut conduire à des interprétations fallacieuses (Bonnell, 2004). Pour analyser les déterminants du niveau de mobilité et du partage modal, il est nécessaire de décorréler les variables explicatives entre elles pour mettre en évidence la hiérarchie de ces principaux facteurs. Toutefois, cette approche statique nous permet seulement d'avoir une vision à une date donnée des facteurs de *différenciations intercatégorielles* des niveaux de mobilité. Pour comprendre les *facteurs d'évolution dynamiques* du niveau de la mobilité et du partage modal, il est nécessaire de compléter cette approche par l'analyse d'informations dynamiques, sous peine de se heurter à des interprétations fallacieuses (Bonnell, 2004). Ainsi les ménages les plus âgés ont des taux de départs en vacances plus réduits que la moyenne de la population (même à niveau de revenu égal), mais il n'est pas possible de savoir si cette sous-mobilité vient d'un effet d'âge ou d'un effet de génération. S'il s'agit d'un effet d'âge, le vieillissement de la population devrait entraîner une baisse du niveau de départ en vacances. S'il s'agit d'un effet de génération, le taux de départ en vacances des seniors risque de tendre vers celui du reste de la population, on devrait assister à une hausse du niveau de départ en

vacances de la population, toutes choses égales par ailleurs. L'observation de plusieurs enquêtes successives permettrait de décorrélérer effets d'âge et effets de génération. Toutefois il n'existe que deux enquêtes transports et communications, et compte-tenu des différences de méthodologie (cf chapitre 1), il paraît délicat de comparer les deux. Les enquêtes vacances et le panel SDT fournissent de l'information dynamique précieuse ; toutefois ces enquêtes portent sur un champ restreint de la mobilité : séjours de loisirs d'au moins 4 nuits pour les enquêtes vacances, séjours d'au moins 1 nuit pour le panel SDT (et à l'exclusion des motifs professionnels jusqu'à une date récente).

1.2.2. Intérêt et limites des données de flux de trafic

Les données agrégées de trafic sont principalement des séries de trafics nationaux par modes, des matrices origines-destinations SNCF entre 1996 et 2000 et des flux annuels de trafics aéroport à aéroport. Les séries chronologiques de flux de trafics permettent de comprendre les dynamiques macro-économiques à l'œuvre. Les données globales des flux de trafic permettent de percevoir l'impact global des variations socio-économiques et des changements d'offre de transport et permettent d'apprécier les liens entre fluctuations de la conjoncture économique et variations des déplacements à longue distance. Les données de trafic par liaison, matrices SNCF et flux aéroports à aéroports mettent en relief l'impact des mises en service d'infrastructures sur les liaisons concernées. Ces données sont donc précieuses pour analyser l'impact de l'offre de transport, et elles apportent de l'information chronologique.

Par contre ce type d'information reste muet sur la nature du déplacement ou certains déterminants socio-économiques sous-jacents (structure démographique et caractéristiques individuelles par exemple) et ne permet pas de segmenter les flux par catégories de motifs ou de distances. Flux de trafics et données d'enquêtes constituent ainsi des sources de données complémentaires.

1.3. Démarche adoptée

Dans un premier temps, nous étudions la nature de la mobilité à longue distance, en termes de motifs de déplacements, durées de voyage et tailles de groupe. Dans un deuxième temps, nous recherchons les facteurs de génération de la mobilité et dans un troisième temps les facteurs de partage modal.

Sur l'ensemble de la présente section I, nous utilisons l'Enquête Transports et Communications de 1993 comme fil conducteur pour analyser la mobilité à longue distance. Les Enquêtes Transports constituent le seul outil permettant d'aborder à la fois la nature de la mobilité à longue distance et ses différents déterminants, relatifs aussi bien aux caractéristiques socio-économiques qu'à l'offre de transport. L'Enquête Transports permet de mettre en évidence les contrastes de partage modal entre différents segments de mobilité. La comparaison des Enquêtes Transports de 1982 et 1994 aurait pu nous apporter un éclairage précieux, notamment pour décorrélérer effets d'âge et de génération. Compte tenu des différences de méthodologie, nous avons effectué des traitements sur la seule enquête-transports 1993 sans effectuer des comparaisons entre les deux enquêtes. Les autres enquêtes : panel SDT (Pochet, Schéou, 2002), Enquêtes Vacances de l'INSEE (Rouquette, 2001), Enquêtes TGV du LET (Klein, Claisse, 1997) permettent de compléter les enseignements de

l'Enquête Transports 1993, sur certains champs spécifiques, et en apportant de l'information dynamique. Les enquêtes vacances, le panel SDT, les enquêtes TGV du LET bénéficient de différentes publications (Rouquette, 2001 ; Pochet, Schéou, 2002 ; Klein, Claisse, 1997) dont nous citons les résultats. Par ailleurs les évolutions des flux de trafics dont nous disposons permettent d'apporter des éclairages complémentaires, notamment sur l'impact des modifications d'offre de transport. Les analyses de (INRETS, 1997b) et (Klein, Claisse, 1997) développent par ailleurs ces aspects relatifs à l'impact de l'offre.

2. Nature des déplacements à longue distance

La présente section fournit quelques éléments sur la répartition des déplacements en termes de motifs, fréquences de voyages, durées de séjour, tailles de groupe. Des informations relatives à la répartition spatiale sont également fournies.

2.1. Précision méthodologique

Les éléments relatifs à la nature des déplacements en termes de motifs, durées et fréquences de voyages, tailles de groupes, s'appuient sur l'Enquête-Transports de 1993. L'Enquête-Transports de 1993 a été présentée au cours du chapitre 1. Elle recense les déplacements de plus de 100km en distance parcourue / 80km à vol d'oiseau. Pour présenter les résultats sur le profil de la longue distance, nous prenons comme champ les déplacements à plus de 100km, en train, avion, voiture. Les déplacements vers l'international et les DOM-TOM sont exclus. Les déplacements à destination de la Corse le sont également, compte-tenu de l'atypicité du partage modal sur cette liaison.

Les niveaux de mobilité et les répartitions modales ont déjà été présentés dans le chapitre 1 (Corse incluse). Nous reprécisons ici les niveaux de mobilité et la répartition modale (hors Corse), en montrant les impacts du périmètre de définition.

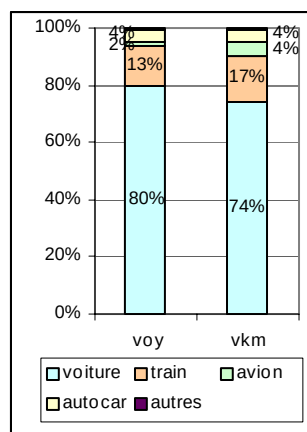
a- Impact de l'exclusion des autocars

Si on considère la mobilité à plus de 100km intérieur France, Corse exclue, des résidents français de plus de 6 ans, tous modes de transport confondus y compris l'autocar, les Français effectuent en moyenne 5,1 voyages à plus de 100km par an soit en termes de déplacements 11,2 déplacements à plus de 100km par an.

En termes de parts modales, la voiture est hégémonique avec 80% des déplacements et 74% des voyageurs.kilomètres. Le train représente 13% des déplacements et 17% des voyageurs.kilomètres. L'avion ne représente que 2% des déplacements et 4% des voyageurs.kilomètres. L'autocar représente 4% aussi bien en termes de déplacements que de voyageurs.kilomètres. Cette part est finalement assez conséquente et équivalente à celle de l'avion (Graphique 55). Toutefois les déplacements en autocar sont essentiellement effectués dans le cadre de voyages organisés : 85% des déplacements effectués en autocar le sont dans ce cadre (Graphique 56). Si on exclut cette clientèle spécifique, l'autocar représente une part de marché minimale : 0,6% des vkm (Graphique 57). De fait il n'existe pas à l'heure actuelle de véritables liaisons régulières par autocar à longue distance. Les lignes régulières par autocar sont généralement des lignes moyenne distance, d'envergure départementale. A longue

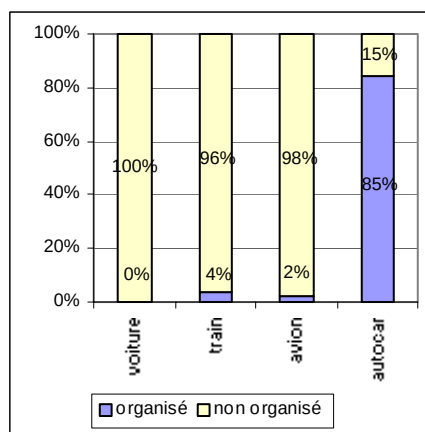
distance, et en-dehors des voyages organisés, les usagers n'ont guère le choix qu'entre 3 modes de transport : la voiture, le train et l'avion.

Graphique 55 : Répartition modale de la mobilité à plus de 100km.*



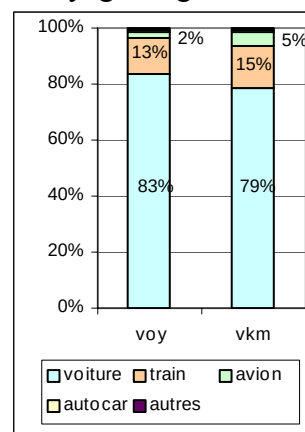
Source : ET93

Graphique 56 : Part (en termes de vkm) des voyages organisés au sein de chaque mode.*



Source : ET93

Graphique 57 : Répartition modale de la mobilité à plus de 100km hors voyages organisés.*

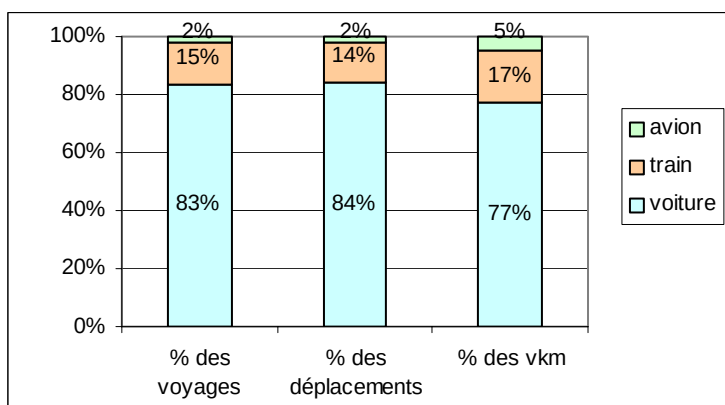


Source : ET93

* déplacements intérieur France, Corse exclue, à plus de 100km, des résidents Français âgés de 6 ans et plus, tous modes confondus y compris l'autocar.

Hors autocar, les Français effectuent 5,1 voyages à plus de 100km, soit encore 11,2 déplacements à plus de 100km intérieur France et Corse exclue. La répartition modale est présentée ci-dessous (Graphique 58).

Graphique 58 : Répartition modale train, avion, voiture**.



** mobilité train avion voiture, intérieur France, Corse exclue, à plus de 100km, des résidents Français âgés de 6 ans et plus.

b. Impact de l'exclusion des déplacements à l'étranger, dans les DOM-TOM et en Corse

L'exclusion des déplacements à l'étranger modifie bien sûr la répartition modale train, avion, voiture. Pour mémoire, nous précisons ici les volumes de déplacements et la répartition modale des déplacements, y compris la partie internationale. Les déplacements à l'étranger

représentent 10% du volume de mobilité des Français. Les Français effectuent ainsi en moyenne 5,5 voyages par an dont 0,5 à l'étranger et 12,5 déplacements à plus de 100km par an dont 1,3 à l'étranger.

Tableau 19 : Répartition des déplacements à plus de 100km entre déplacements France-France et France-étranger

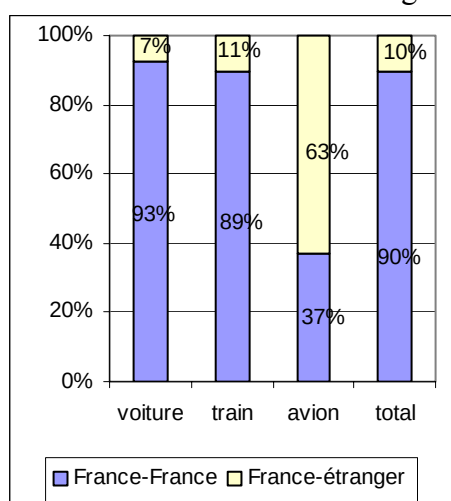
Déplacements	France-France	France-étranger	Total
Voiture	9,5	0,7	10,3
Train	1,5	0,2	1,7
Avion	0,2	0,4	0,6
Total	11,2	1,3	12,5

Tableau 20 : Répartition des voyages à plus de 100km entre déplacements France-France et France-étranger

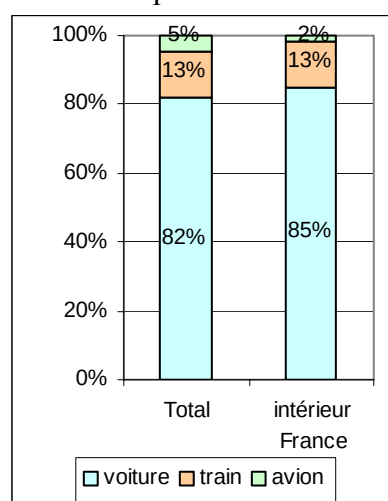
Voyages	France-France	France-étranger	Total
Voiture	4,2	0,3	4,5
Train	0,8	0,0	0,8
Avion	0,1	0,2	0,3
Total	5,1	0,5	5,5

Même si les déplacements à l'étranger ne représentent que 10% de la mobilité à longue distance des Français, ces déplacements modifient la part de marché de l'avion qui passe de 2% de part de marché à 5% de part de marché en termes de déplacements (Graphique 60). Les déplacements à l'étranger représentent les 2/3 de la clientèle de l'avion (Graphique 59).

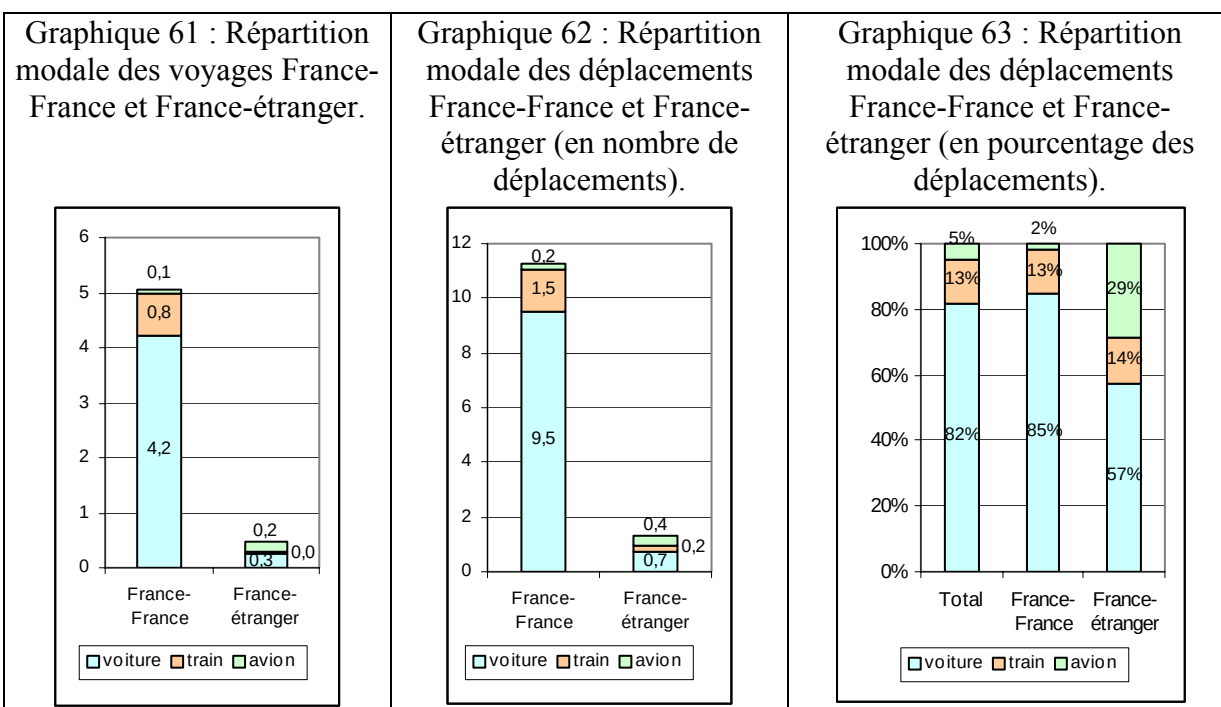
Graphique 59 : Répartition des déplacements de chaque mode entre déplacements France-France et France-étranger.



Graphique 60 : Impact de la prise en compte ou non des déplacements France-étranger sur la répartition modale.



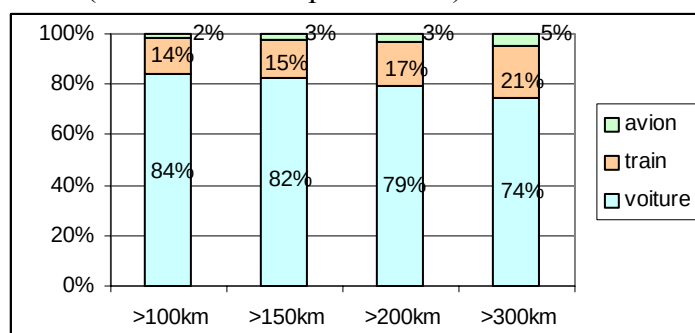
Les déplacements France-France et France-étranger ont en effet des structures modales très différentes (Graphique 61, Graphique 62, Graphique 63).



c. Impact du choix de la limite de distance

Le seuil à plus de 100km est bien sûr en partie arbitraire. Or, la proportion des "courts" déplacements (100-300km) est énorme, particulièrement lorsqu'on raisonne en termes de voyageurs.kilomètres (Graphique 71 et Graphique 72) et le partage modal évolue en fonction de la distance. Le (Graphique 64) montre l'évolution du partage modal suivant le choix de limite de distance 100, 150, 200 ou 300 km.

Graphique 64 : Impact du choix de limite de distance sur la répartition modale (en nombre de déplacements) de la mobilité totale.



2.2. Des déplacements peu fréquents

La mobilité à longue distance est une mobilité peu fréquente : seulement 5 voyages en moyenne par individu et par an. La moitié de l'échantillon interrogé n'avait effectué aucun déplacement à longue distance pendant les 3 mois pendant lesquels ils étaient enquêtés. A l'inverse un cinquième des personnes enquêtées ont effectué la moitié des déplacements recensés. Il faut toutefois signaler que la période pendant laquelle on recensait les déplacements des individus était variable d'un enquêté à l'autre, certains étant interrogés pendant une période à forte mobilité (juillet-août) d'autres pendant des périodes plus creuses. Dire que "la moitié de l'échantillon interrogé n'a effectué aucun déplacement à longue distance pendant les 3 mois pendant lesquels ils étaient enquêtés" ne signifie donc pas que 50% de la population n'effectue aucun déplacement à longue distance pendant l'année.

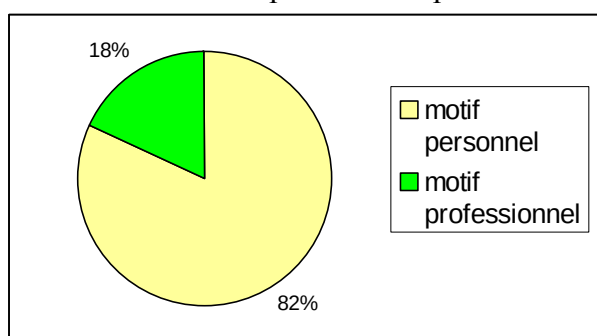
2.3. Une prédominance des déplacements à but personnel

La nature des déplacements à longue distance peut s'analyser à travers plusieurs caractéristiques : le motif du déplacement, la durée du voyage dont fait partie le déplacement, la taille du groupe.

2.3.1. Quatre cinquièmes des déplacements sont à but personnel

La mobilité à longue distance est essentiellement une mobilité à but personnel. D'après les Enquêtes-Transports et Communication de 1993, 82% des déplacements à plus de 100 kilomètres sont personnels contre 18% professionnels.

Graphique 65 : Répartition des déplacements à plus de 100km entre motifs personnel et professionnel



Source : d'après Enquête Transports 1993

De manière plus précise, en utilisant la typologie détaillée de motifs de (Gouider, 1998) (Tableau 21), les déplacements à plus de 100 kilomètres se répartissent comme suit : 13% de déplacements pour les affaires professionnelles, 5% pour le domicile-travail, 25% pour le motif vacances et séjours dans une résidence secondaire, 37% pour des visites à la famille ou aux amis, 7% pour des événements sportifs et culturels, 13% pour des motifs personnels autres qu'agrément (études, santé et démarches administratives) (Graphique 66). Cette répartition par motifs dépend bien sûr fortement du seuil de distance conservé pour délimiter la mobilité à longue distance. Ainsi en ne considérant que les déplacements à plus de 300km,

le motif vacances occupe une place bien plus importante : 40% au lieu de 25%, alors que le motif domicile-travail disparaît presque.

Graphique 66 : Répartition de la mobilité à plus de 100km suivant le motif.

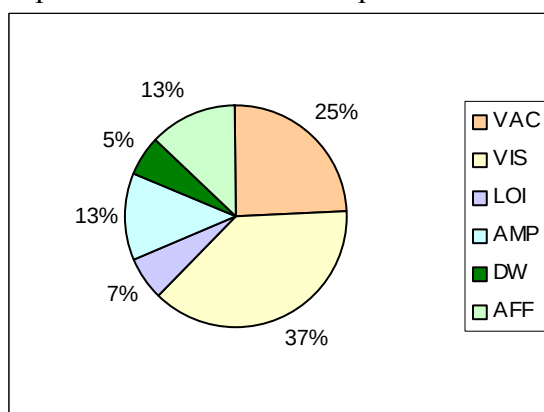


Tableau 21 : Typologie des motifs de l'enquête transports 1993

Code	Description
VAC	vacances et résidence secondaire appelé par la suite abusivement motif "vacances" ¹³
VIS	visites à la famille ou aux amis
LOI	autres loisirs : visite de monuments et lieux historiques, spectacles culturels et sportifs, sport (football, ski, voile, gymnastique, aller à la plage, à la pêche, à la chasse), lieux de loisirs (parcs de loisirs, etc...)
AMP	autres motifs personnels : santé, études, démarche administrative
DW	Domicile-travail (lieu de travail fixe et habituel)
AFF	affaires professionnelles : lieu de travail non fixe (chantier, contacts ou réunions, visites à des clients, fournisseurs, sous-traitants, VRP, repas d'affaires) ; stage, conférence, congrès, formations, expositions professionnelles

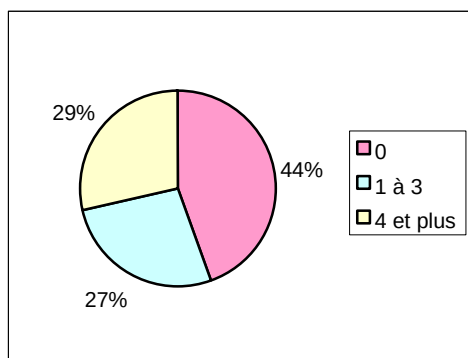
Source : (Gouider, 1998)

¹³ Le motif ici dénommé « vacances » par (Gouider, 1998) est donc différent de la définition des « vacances » des enquêtes vacances INSEE (vacances = voyages d'agrément de 4 nuits ou plus hors du domicile) ; le présent motif « vacances » est donc à la fois plus large puisqu'il contient des voyages de moins de 4 nuits, et plus restrictif puisque les "visites" et les "autres loisirs" de 4 nuits et plus sont exclus.

2.3.2. Un voyage à longue distance sur deux est un aller-retour dans la journée

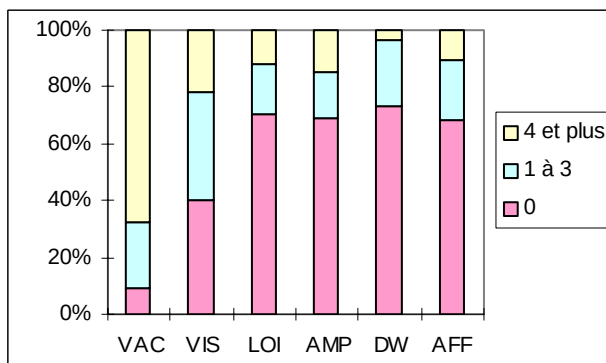
Près de la moitié des déplacements à longue distance enquêtés dans les enquêtes transports correspondent à des voyages dont l'aller-retour est effectué dans la journée (Graphique 67).

Graphique 67 : Répartition des déplacements suivant le nombre de nuits du voyage.



La durée du voyage est évidemment fortement liée au motif. Les voyages "affaires professionnelles", "domicile-travail", "autres loisirs", "autres motifs personnels" sont effectués à 70% dans la journée. A l'opposé les voyages "vacances" sont à 68% des voyages de 4 nuits ou plus, 23% sont des voyages de 1 à 3 nuits. Les voyages "visites à la famille et aux amis" occupent une position intermédiaire : 40% des voyages sont effectués dans la journée, 38% durent 1 à 3 nuits, 22% durent 4 nuits ou plus (Graphique 68).

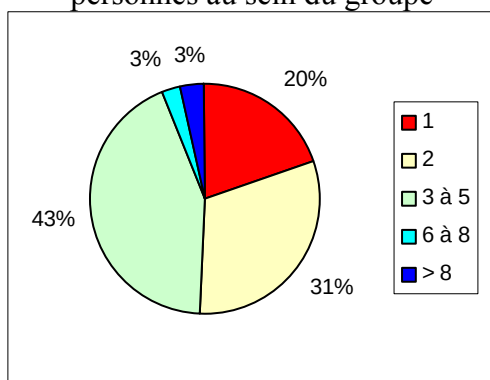
Graphique 68 : Répartition du nombre de nuits du voyage en fonction du motif.



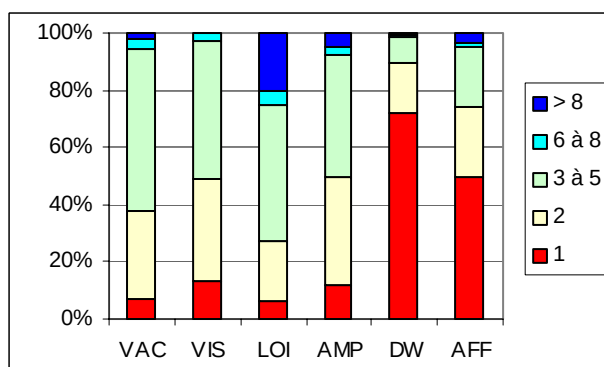
2.3.3. Des déplacements majoritairement effectués à plusieurs

80% des déplacements à longue distance sont effectués à plusieurs (Graphique 69). Toutefois, il existe une différence nette entre les déplacements liés au travail qui sont souvent effectués seuls (dans 70% des cas pour le motif domicile-travail et dans 50% des cas pour le motif affaires professionnelles) et les déplacements pour motifs personnels qui ne sont presque jamais (10% des cas environ) effectués en solitaire (Graphique 70).

Graphique 69 : Répartition des déplacements en fonction du nombre de personnes au sein du groupe



Graphique 70 : Répartition du nombre de personnes au sein du groupe par motif.



L'analyse de la nature des déplacements à longue distance montre ainsi une opposition entre :

- des déplacements pour motif personnel (82%) effectués majoritairement dans le cadre de voyages comportant au moins 1 nuit hors du domicile, et presque toujours effectués à 2 personnes ou plus (dans 90% des cas),
- des déplacements pour motif professionnel (18%), effectués environ 2 fois sur 3 dans le cadre d'allers-retours dans la journée et effectués seuls dans plus de la moitié des cas.

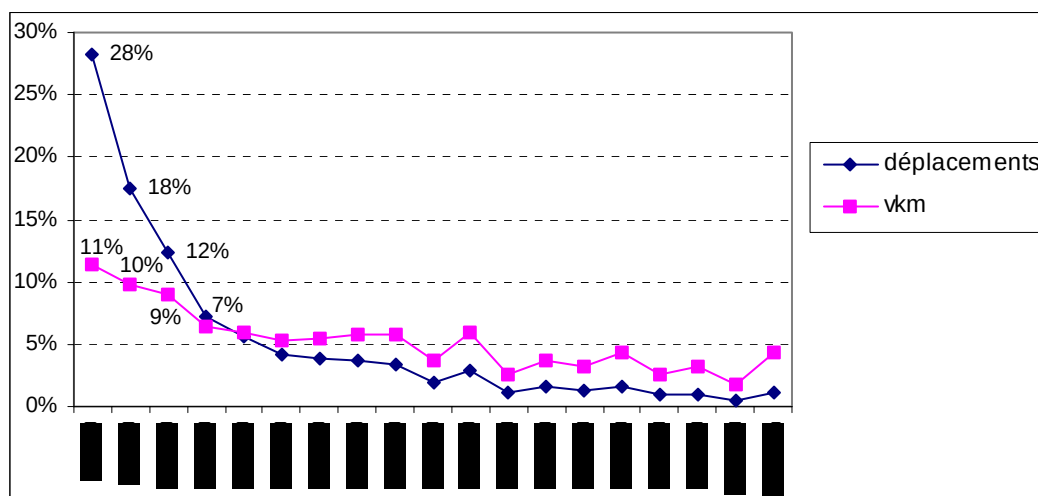
2.4. La structure spatiale des déplacements

Dans la présente section, nous présentons la répartition des déplacements en fonction de leur longueur (2.4.1.) et du type radial ou transversal de la liaison (2.4.2.). Cette répartition est toutefois variable suivant le mode (2.4.3.).

2.4.1. Répartition des déplacements en fonction de leur longueur

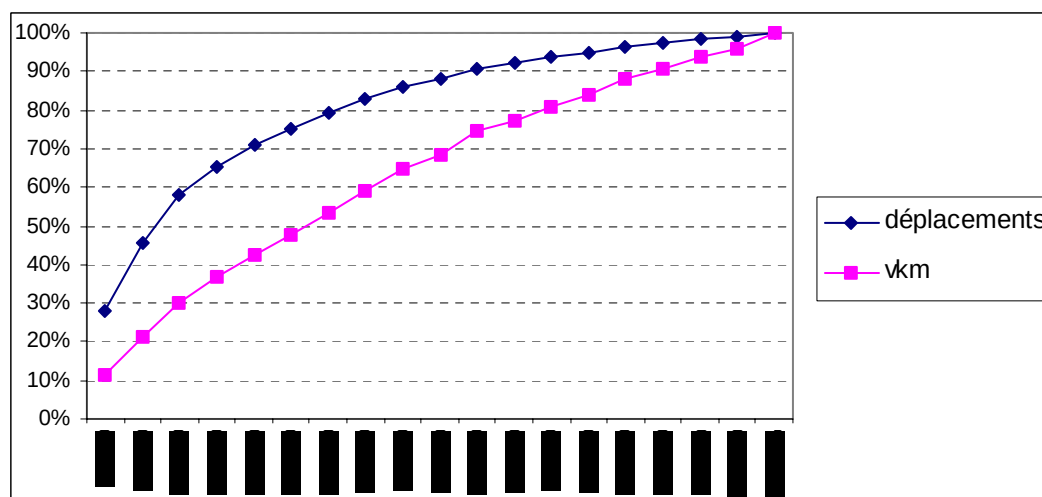
Les déplacements à plus de 100km sont majoritairement des déplacements moyenne distance : la moitié des déplacements à plus de 100km sont compris entre 100km et 200km, même si en termes de voyageurs.kilomètres, ces déplacements représentent de l'ordre de 20% du volume total (Graphique 71 et Graphique 72).

Graphique 71 : Répartition des déplacements et des voyageurs.kilomètres en fonction de la distance.



Source : d'après enquête Transports 1993

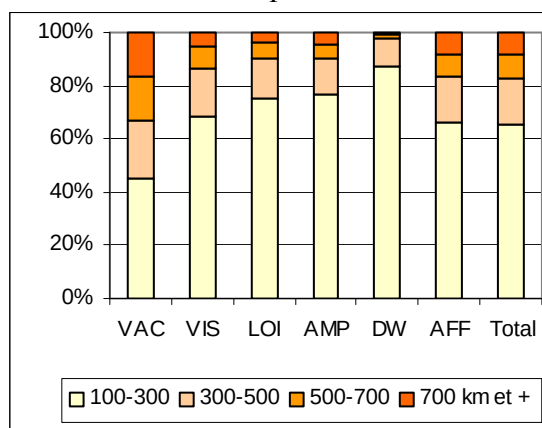
Graphique 72 : Répartition cumulée des déplacements et des voyageurs.kilomètres en fonction de la distance.



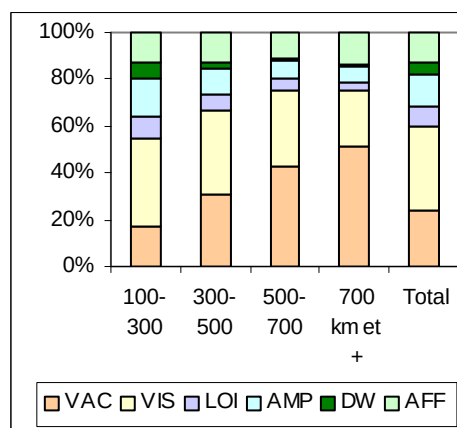
Source : d'après enquête Transports 1993

La distance moyenne des déplacements est toutefois très variable suivant le motif (Graphique 73). Les déplacements à moins de 300km représentent 60% des déplacements pour motif "affaires professionnelles", 80% des déplacements "domicile - travail", "autres loisirs" et "autres affaires personnelles", 70% des déplacements "visites à la famille et aux amis", 40% des déplacements "vacances". Si la part des déplacements pour motifs affaires professionnelles reste à hauteur de 13% des déplacements quelle que soit la tranche de distance, les parts des motifs domicile-travail, autres loisirs, autres motifs personnels et dans une moindre mesure visites à la famille et aux amis régressent, alors que la part des déplacements pour motif vacances augmente (Graphique 74).

Graphique 73 : Répartition des classes de distance par motifs



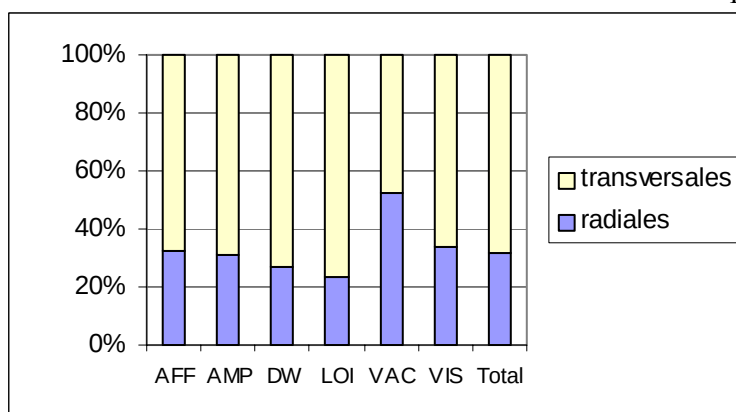
Graphique 74 : Répartition des motifs par classes de distance



2.4.2. 30% des déplacements à plus de 100km sont des liaisons Paris-province

30% des déplacements sont des liaisons Paris - Province, 70% sont des liaisons Province - Province. Cette proportion est homogène sur l'ensemble des motifs, sauf pour le motif "vacances" où cette proportion passe à 50% (Graphique 75).

Graphique 75 : Part des radiales au sein des différents motifs de déplacements.



La répartition spatiale des flux est toutefois bien sûr variable suivant le mode. L'avion et le train sont beaucoup plus fortement concentrés sur les liaisons radiales et les longues distances que la route.

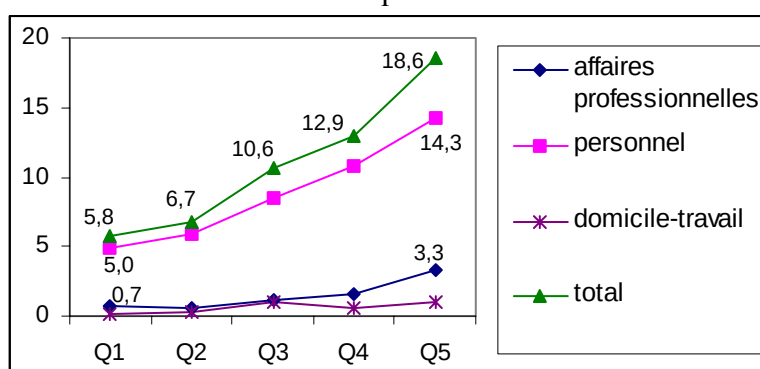
3. Les facteurs explicatifs du niveau de mobilité

Nous analysons les déterminants de la génération de la mobilité à longue distance. Dans un premier temps nous étudions l'impact du revenu (3.1.). Nous étudions alors, pour la mobilité personnelle d'une part (3.2.), et la mobilité professionnelle d'autre part (3.3.), les impacts d'autres facteurs socio-économiques explicatifs. Outre les déterminants socio-économiques, l'offre de transports entraîne une induction de trafic (3.4.).

3.1. Revenus et conjoncture économique : des déterminants essentiels de la mobilité à longue distance

La mobilité croît avec le revenu. Le nombre moyen de déplacements varie ainsi du simple au triple entre le premier et le dernier quintile de revenu par unité de consommation¹⁴ : de 5,8 déplacements annuels moyens pour les individus appartenant au premier quintile à 18,6 déplacements annuels moyens pour ceux du dernier décile (Graphique 76). Pour la seule mobilité à motif personnel, le nombre moyen de déplacements passe de 5,0 à 14,3 déplacements entre le 1^{er} et le 5^{ème} décile, la mobilité professionnelle passant de 0,7 à 3,3.

Graphique 76 : Nombre de déplacements à longue distance en fonction du quintile de revenu



Source : d'après Enquêtes Transports

¹⁴ Pour comparer les niveaux de vie de ménages aux tailles de ménage différentes, il est usuel d'évaluer un nombre d'unités de consommation du ménage sur la base d'échelles d'équivalence. La *nouvelle* échelle d'équivalence de l'INSEE est la suivante : 1 UC pour le premier adulte du ménage, 0,5 UC pour chaque individu du ménage ayant 14 ans ou plus et 0,3 UC pour les individus de moins de 14 ans. Le revenu moyen par unité de consommation est le revenu annuel moyen du ménage divisé par le nombre d'unités de consommation. Les revenus moyens par unités de consommation ainsi calculés sont ensuite groupés en quintiles et en déciles de revenus moyens par unité de consommation, représentatifs des niveaux de vie des individus. Pour les étudiants, le niveau de revenu moyen par unité de consommation est à prendre avec prudence, certains étudiants classés dans le premier quintile de revenus bénéficiant en réalité d'apports financiers supplémentaires de la part de leur famille.

Pour mieux appréhender la croissance de la mobilité, nous pouvons tracer les indices de croissance du nombre annuel moyen de déplacements par individu et de kilométrage annuel moyen parcouru, en fonction du revenu moyen par unité de consommation (Graphique 77). Il existe une relation très nette entre hausse du revenu et hausse de la mobilité. Il est d'ailleurs possible de quantifier cette relation par une équation du type : $Mob = K Rev^a$ avec Mob la mobilité en termes de déplacements ou en termes de voyageurs.kilomètres et Rev le revenu du ménage par unité de consommation (Équation 1 et Équation 2), (Graphique 78 et Graphique 79). "L'anomalie" de la courbe au niveau des deux premiers déciles de revenus entre lesquels la mobilité chute avant de remonter à partir du 3^{ème} décile de revenu est due aux étudiants fortement présents dans le 1^{er} quintile de revenus et dont la mobilité élevée gonfle la mobilité des ménages modestes. Ces deux premiers déciles de revenus n'ont d'ailleurs pas été pris en compte pour le calibrage.

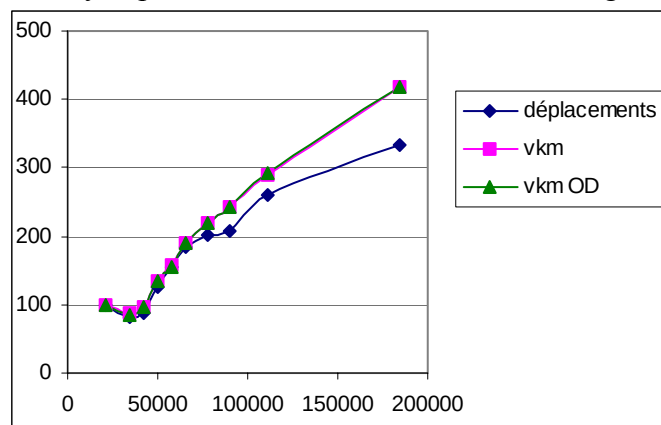
Équation 1 : Calibrage de la relation entre nombre moyen de déplacements par individu et revenu moyen par unité de consommation du ménage

$R^2=0,99$	$\ln Mob = -4,62 + 0,62 \ln Rev$ (11,4) (16,2)

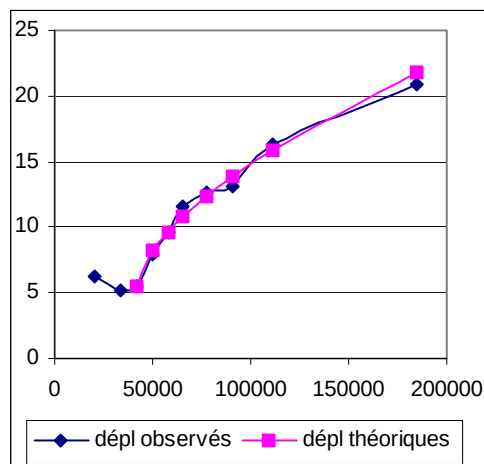
Équation 2 : Calibrage de la relation entre nombre moyen de kilomètres parcourus par individu et revenu moyen par unité de consommation du ménage

$R^2=0,99$.	$\ln Mob = -0,15 + 0,74 \ln Rev$ (-0,56) (28,2)

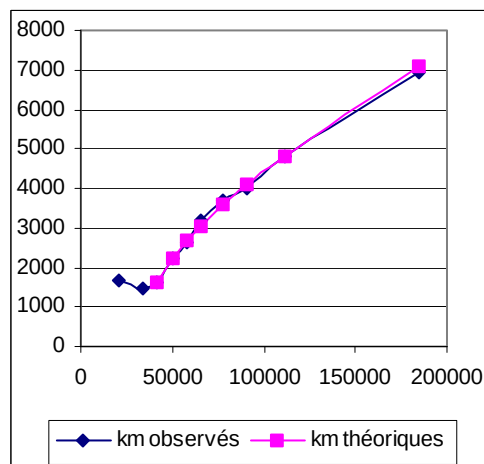
Graphique 77 : Variation du niveau de mobilité à longue distance en fonction du revenu moyen par unité de consommation du ménage.



Graphique 78 : Comparaison du nombre de déplacements observé et théorique en fonction du revenu.



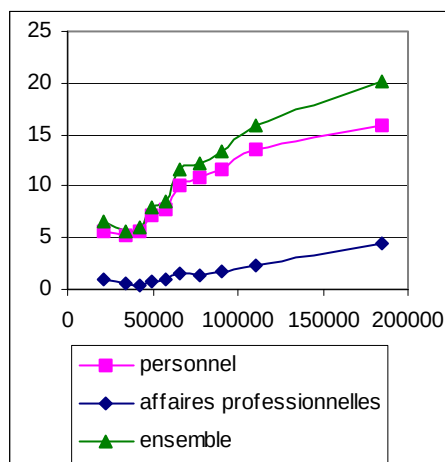
Graphique 79 : Comparaison du nombre de voyageurs.kilomètres observé et théorique en fonction du revenu.



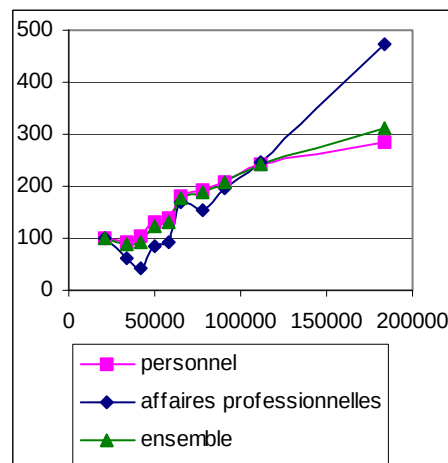
L'élasticité de la mobilité à longue distance par rapport au revenu est importante : une hausse du revenu moyen par UC de 10% entraîne une hausse du nombre moyen de déplacements par individu de 6,2% et une hausse du kilométrage parcouru de 7,4%. La mobilité en voyageurs.kilomètres croît plus rapidement que le nombre de déplacements. La distance moyenne parcourue par déplacement augmente avec le niveau de revenu.

Au sein de la mobilité globale, il est toutefois utile de distinguer mobilité pour motif personnel et professionnel (Graphique 80 et Graphique 81). Si le revenu moyen du ménage est une variable explicative raisonnable pour la mobilité personnelle, la mobilité professionnelle est certainement davantage liée à la PCS des individus. Expurger la mobilité professionnelle permet d'améliorer la régularité de la courbe de croissance de la mobilité pour motif personnel en fonction du revenu. La mobilité professionnelle augmente elle aussi de façon apparente en fonction du revenu mais les véritables facteurs explicatifs résident davantage au niveau des profils d'emplois occupés : les cadres supérieurs effectuent en moyenne 9,8 déplacements pour motifs professionnels alors que les employés n'en effectuent que 0,7 (d'après Enquête – Transports 1993). Evidemment les cadres supérieurs ont des salaires plus importants que la moyenne et sont par conséquent davantage présents dans le dernier décile. La mobilité professionnelle reste inférieure à 1 déplacement moyen par individu pour les 5 premiers quintiles puis augmente jusqu'à 2,3 déplacements pour le neuvième avant de doubler jusqu'à 4,4 déplacements pour le dernier.

Graphique 80 : Variation du nombre moyen de déplacements par individu en fonction du revenu selon le motif.



Graphique 81 : Variation du nombre moyen de déplacements par individu en fonction du revenu selon le motif (en indices de croissance).



A une date donnée, le revenu apparaît comme une variable explicative déterminante du niveau de mobilité longue distance. Cette constatation effectuée grâce à l'Enquête Transports 1993 sur l'ensemble de la mobilité longue distance est confirmée par d'autres enquêtes réalisées sur certains segments plus spécifiques de la mobilité, en particulier les enquêtes vacances de l'INSEE réalisées dans le cadre de l'Enquête Permanente sur les Conditions de Vie des ménages (Rouquette, 2001). Ces enquêtes ciblent les voyages d'agrément d'au moins 4 nuits hors du domicile ; 26% des déplacements train – avion – voiture à plus de 100km correspondent à des déplacements "vacances" selon la typologie INSEE¹⁵. D'après cette enquête Vacances, quatre Français sur dix ne partent pas en vacances et les principales raisons de non départ sont des raisons financières (40% des motifs de non départ). 58% des personnes appartenant au premier décile¹⁶ de niveau de vie ne sont pas parties en vacances contre 15% des personnes appartenant au dixième décile. (Rouquette, 2001). A ces inégalités de taux de départ en vacances s'ajoutent des inégalités de fréquences de départ : les ménages les plus aisés fractionnent davantage leurs congés. Le nombre moyen de séjours par personne partie varie ainsi d'environ 1,6 pour le premier décile de niveau de vie à près de 3 pour le dixième décile alors que la durée du séjour diminue (de 17 à 18 nuitées pour le décile le plus modeste à un peu moins de 13 nuitées pour le décile des personnes les plus aisées). (Rouquette, 2001).

Une hausse des revenus constitue un facteur fort de croissance de la mobilité pour motif personnel. Nous connaissons les élasticités en coupe instantanée de la mobilité par rapport aux revenus. Ces élasticités en coupe instantanée n'ont aucune raison d'être tout-à-fait identiques à l'élasticité temporelle de la mobilité par rapport au revenu (les courbes liant mobilité et revenu ne sont pas linéaires). Toutefois ces élasticités en coupe instantanée nous donnent un ordre de grandeur de l'élasticité temporelle et montrent l'importance de la croissance du niveau de vie sur la mobilité. On peut s'interroger sur les conséquences futures d'une poursuite de la hausse des revenus sur la mobilité pour motif personnel. Au vu de

¹⁵ Inversement il se peut que des "vacances" au sens de l'INSEE soient prises dans des lieux de séjours à moins de 100km du domicile. C'est facilement le cas pour des personnes vivant dans des agglomérations proches des côtes et désirant partir en vacances au bord de la mer non loin de chez eux.

¹⁶ La définition des déciles de niveau de vie utilisée dans les Enquêtes Vacances de Rouquette est la même que celle utilisée pour le traitement de l'Enquête Transports Communication de 1993.

l'allure de la courbe liant mobilité et revenu avec une élasticité inférieure à 1, et en faisant l'hypothèse qu'à revenu égal (hors inflation) la mobilité reste égale, il devrait y avoir un tassement de la croissance de la mobilité pour les ménages les plus aisés. Toutefois, il faut aussi tenir compte des évolutions en matière de mode de vie. Les vacances sont de plus en plus fractionnées (Rouquette, 2001), phénomène que favorisent les 35 heures.

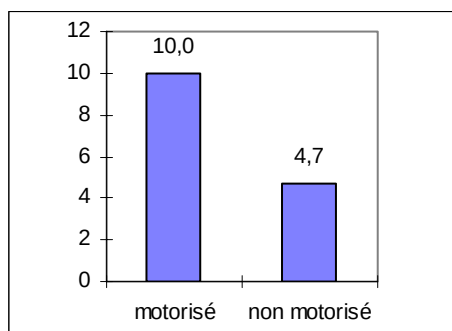
3.2. Les déterminants de la mobilité "personnelle" autres que le revenu

Outre le revenu, les évolutions de la motorisation ou de la structure démographique sont susceptibles d'agir sur le niveau de mobilité.

3.2.1. La non motorisation, frein à la mobilité longue distance

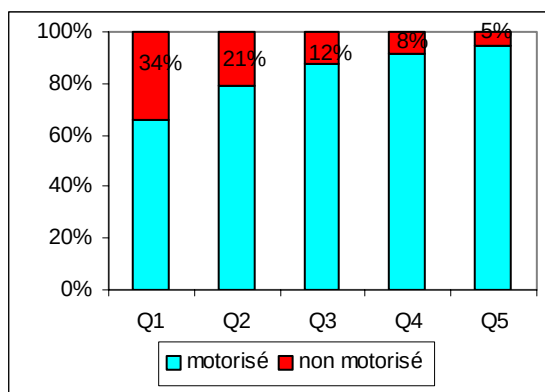
Les membres des ménages motorisés ont une mobilité supérieure à celle des ménages non motorisés : 10 déplacements en moyenne par an pour une personne appartenant à un ménage motorisé contre 4,7 pour une personne appartenant à un ménage non motorisé (Graphique 82).

Graphique 82 : Impact de la motorisation sur la mobilité personnelle.

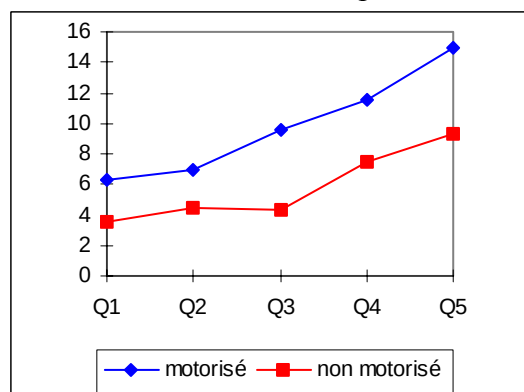


Le taux d'équipement des ménages est corrélé au niveau de revenu : 34% des ménages appartenant au premier quintile de revenu ne possèdent pas de voiture contre moins de 8% pour les deux quintiles les plus riches (Graphique 83). Par ailleurs, il existe une relation entre niveau de motorisation et âge (Graphique 85). Les différences de mobilité suivant le niveau de motorisation sont ainsi en partie des effets de revenu et d'âge. Toutefois en décorréant l'effet motorisation de l'effet revenu, la sous-mobilité des ménages non motorisés par rapport aux ménages motorisés persiste, et ce quelle que soit la tranche de revenu (Graphique 84). Il existe un double effet motorisation revenu. Que ce soit au sein des motorisés ou des non motorisés, une hausse de revenu entraîne une hausse de la mobilité. Quelle que soit la tranche de revenu, la non motorisation est synonyme d'une baisse de 30% à 50% de la mobilité. Si on s'affranchit de l'effet d'âge en plus de l'effet revenu, l'effet motorisation se confirme toujours (Graphique 86).

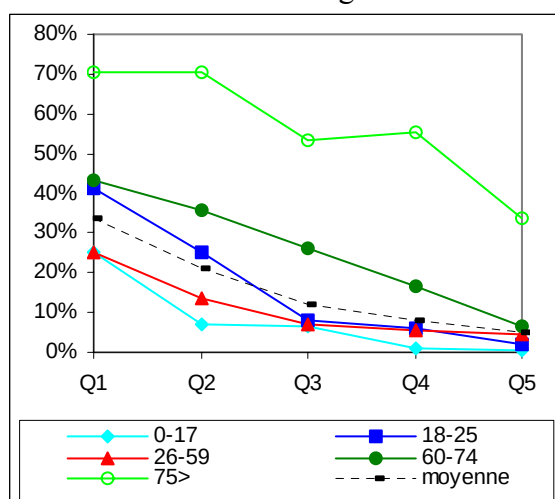
Graphique 83 : Corrélation de la motorisation et du revenu.



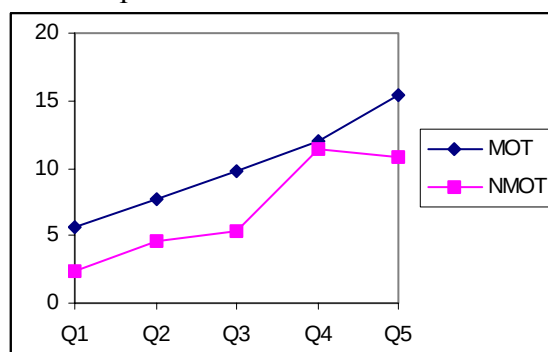
Graphique 84 : Impact de la motorisation et du revenu sur la mobilité personnelle.



Graphique 85 : Corrélation entre taux de non motorisation du ménage, revenu et âge.



Graphique 86 : Impact de la motorisation et du revenu sur la mobilité personnelle des 26-59 ans.



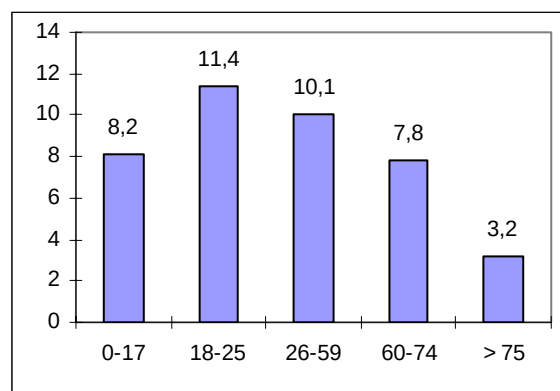
L'impact de la présence ou non d'une voiture au sein du ménage semble être ainsi un élément explicatif important du niveau de mobilité, même s'il ne s'agit pas de trancher sur le sens de la causalité : motorisation-mobilité : est-ce qu'une forte mobilité conduit plus facilement l'individu à être motorisé ou est-ce que la motorisation est facteur de surmobilité. Sans doute existe-t-il une conjonction des deux facteurs. La croissance continue du taux d'équipement : 69% en 1980, 79% en 1996, a ainsi dû contribuer à accroître la mobilité à longue distance, la croissance du taux d'équipement est toutefois aujourd'hui ralentie.

3.2.2. Vieillesse de la population et effets de génération : des impacts antagonistes

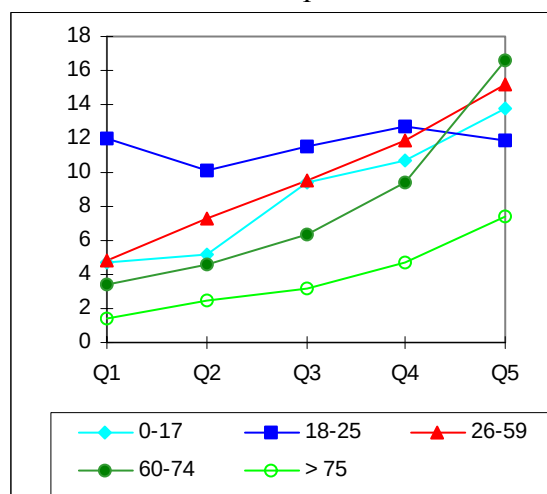
Les seniors effectuent moins de déplacements à longue distance que la moyenne de la population (7,8 déplacements pour les 60-74 ans ; 3,2 pour les 75 ans et plus contre 11,2 pour la moyenne de la population). Le vieillissement annoncé de la population pourrait ainsi être perçu comme une source potentielle d'évolution à la baisse du niveau moyen de mobilité à longue distance. En réalité les conséquences du vieillissement de la population sont plus complexes à anticiper car, comme pour la motorisation (Gallez, Madre, 1992) et la mobilité urbaine (Pochet, 1995 ; Armoogum, Madre, Krakutovski, 2003), il faut distinguer impact de l'âge et impact de la génération.

Dans l'enquête transports 1993, le niveau de mobilité varie suivant l'âge (Graphique 87). Les 18-25 ans effectuent un peu plus de déplacements à longue distance que les personnes de la tranche d'âge de référence des 26-59 ans : 11,4 déplacements au lieu de 10,1. Cela s'explique en partie par les déplacements liés aux études et les allers-retours famille – lieux d'études des étudiants présents dans cette tranche d'âge. Les moins de 18 ans ont une mobilité un peu en retrait de celle des 26-59 ans. Toutefois à quintile de niveau de vie égal, la mobilité des moins de 18 ans est presque identique à celle des 26-59 ans (Graphique 88 et Graphique 90). Sur le créneau spécifique des vacances au sens INSEE, C. Rouquette constate de fait une étroite corrélation entre les taux de départ en vacances des enfants et les taux de départ en vacances de leurs parents (Rouquette, 2001) et la mobilité longue distance est souvent une mobilité familiale. Les plus de 60 ans ont une mobilité plus faible ; toutefois il faut distinguer les "jeunes" seniors des plus âgés. La mobilité des 60-74 ans est de 7,8 déplacements par an soit 20% inférieure à celle des 26-59 ans alors que les plus de 75 ans n'effectuent que 3,4 déplacements à longue distance par an (soit un tiers du nombre de déplacements moyen des 26-59 ans). Ces résultats restent globalement inchangés lorsqu'on décorrèle l'âge par rapport aux revenus et à la motorisation (Graphique 88 à Graphique 90). Tout se passe comme si le passage à la retraite n'entraînait pas de variation significative de la mobilité, la venue du quatrième âge et des problèmes de santé physique qui lui sont inhérents étant le frein essentiel à la mobilité des plus âgés. La légère chute de mobilité entre les 26-59 ans et les 60-74 ans est vraisemblablement due non pas à un effet d'âge pur, mais à un effet de génération, sans doute aussi une apparition de problèmes de santé surtout chez les plus âgés de la tranche d'âge : la limite des 75 ans est à prendre en ordre de grandeur, la diminution de la mobilité des seniors en fonction de l'âge est en réalité progressive et dépend des individus¹⁷. D'après le volet Vacances de l'Enquête Permanente sur les Conditions de Vie des Ménages de l'INSEE, en 1999, 43% des sexagénaires et 62% des septuagénaires ne sont pas partis en vacances contre 37% des 30-49 ans (Rouquette, 2001). Alors qu'avant 70 ans, les principales raisons de non départ invoquées sont des raisons financières, les raisons de santé constituent des obstacles forts aux départs en vacances chez les plus de 70 ans : 38% des raisons principales de non départ chez les plus de 70 ans sont des problèmes de santé contre 5% chez les moins de 40 ans, 10% pour les 60-64 ans et 18% pour les 65-69 ans (Pochet, Schéou, 2002).

Graphique 87 : Variation du nombre de déplacements pour motifs personnels en fonction de l'âge

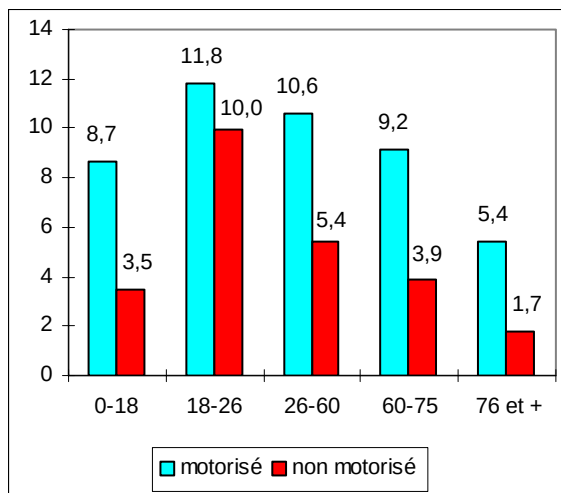


Graphique 88 : Impact de l'âge et du revenu sur la mobilité personnelle.

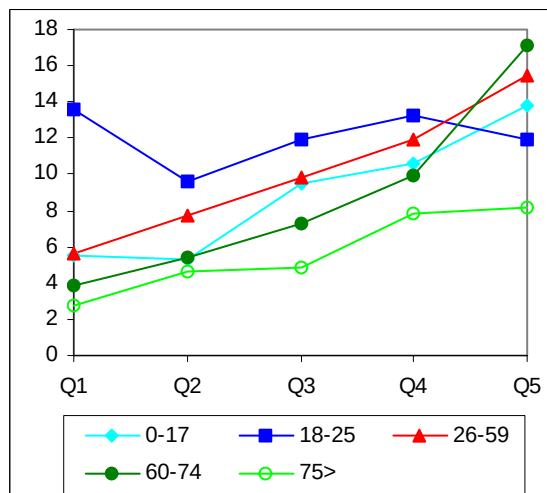


¹⁷ Par ailleurs les résultats sont donnés ici par rapport à l'âge de l'individu, mais il faut tenir compte aussi de l'âge du conjoint, la mobilité à longue distance étant souvent une mobilité familiale.

Graphique 89 : Impact de l'âge et de la motorisation sur la mobilité personnelle.



Graphique 90 : Impact de l'âge et du revenu sur la mobilité personnelle des personnes motorisées.



Le taux de non départ des seniors s'est toutefois fortement rapproché de celui du reste de la population : le taux de non départ des plus de 60 ans a reculé de 5 points entre 1989 et 1999 alors que celui des 30 à 49 ans a augmenté de 3% (Rouquette, 2001). Alors que l'écart entre les 30-49 ans et les 60-69 ans était de près de 15 points en 1989 il n'est plus que de 6 points aujourd'hui. Cette réduction des écarts s'explique par "l'augmentation du niveau de vie des retraités, l'allongement de l'espérance de vie sans handicap, et les habitudes contractées au cours de la vie" (Rouquette, 2001). "Les générations qui ont pris l'habitude de partir en vacances continuent à le faire l'âge venant, si rien – notamment aucun problème de santé – ne vient les en dissuader" (Rouquette, 2001). Si les taux de départ des seniors se rapprochent des taux de départ du reste de la population, leurs habitudes de déplacements se rapprochent également. Les retraités sont davantage adeptes des voyages de longue durée que les plus jeunes (Pochet, Schéou, 2002). Toutefois une tendance au raccourcissement se manifeste, à travers les enquêtes SDT de 1994 et 1999 et surtout à travers les enquêtes Vacances de l'INSEE de 1989 et 1999 (Pochet, Schéou, 2002).

La part des plus de 60 ans au sein de la population totale ne devrait pas cesser de s'accroître pour passer de 20,6% en 2000 à 25,3% en 2015 (Pochet, Schéou, 2002). Toutefois ce vieillissement de la population ne va pas nécessairement entraîner une diminution du nombre moyen de déplacements à longue distance. Chez les retraités comme chez les plus jeunes, le revenu constitue le principal facteur explicatif de la mobilité à longue distance. Certes les problèmes de santé freinent la mobilité longue distance des plus âgés des seniors et le vieillissement de la population va probablement entraîner une hausse du nombre de personnes âgées souffrant de handicaps. Toutefois l'arrivée à l'âge de la retraite de générations ayant l'habitude des déplacements à longue distance tend à rapprocher les comportements des seniors de ceux des plus jeunes, tant en termes de taux de départ que de nombre de départs et ces tendances devraient se poursuivre.

3.2.3. Autres facteurs socio-démographiques

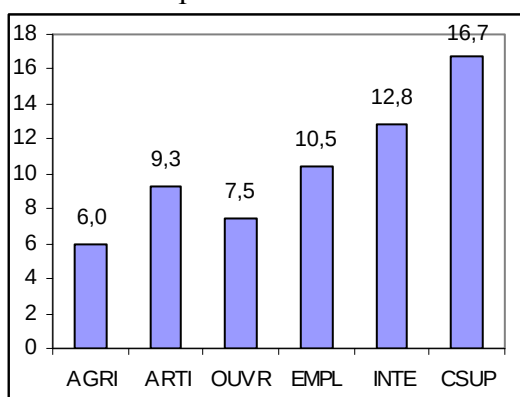
L'impact d'autres facteurs socio-économiques (Professions et Catégories Sociales (a), structure familiale (b), région de résidence (c)) peut être analysé. Ces différents facteurs

apparaissent toutefois comme secondaires, voire sans influence, une fois décorrélés des effets revenu ou âge.

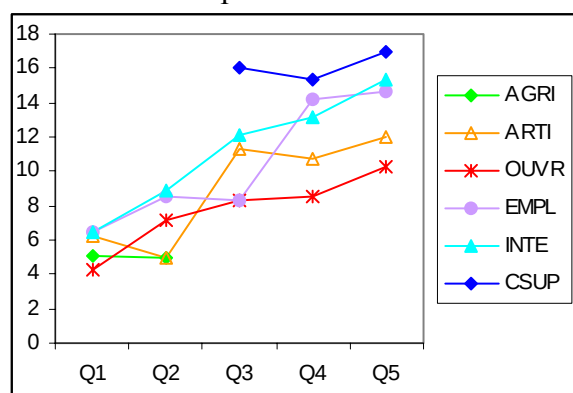
a) La PCS

Très logiquement, le nombre moyen de déplacements à longue distance dans les ménages où le chef de ménage est cadre supérieur est très supérieur (16,7 déplacements par an) au nombre de déplacements dans les ménages ouvriers (7,5 déplacements par an) ou agriculteurs (6 déplacements par an) (Graphique 91). Ces différences sont largement à relier avec le niveau de revenu. Toutefois en décorrélant avec le revenu, des différences subsistent : à revenu égal, les agriculteurs, les artisans et professions libérales et les ouvriers tendent à avoir une mobilité moindre (Graphique 92). Ce constat se vérifie sur les taux départ en vacances des Enquêtes Vacances de l'INSEE (Rouquette, 2001). D'après les Enquêtes Vacances, il semblerait que ces inégalités évoluent diversement. Le taux de départ des agriculteurs et, dans une moindre mesure, celui des artisans, commerçants et chefs d'entreprise a progressé entre 1994 et 1999, alors que celui des ouvriers et des employés a diminué (Rouquette, 2001). Sur 10 ans, le taux de départ des employés est ainsi passé de 70% à 61%, celui des ouvriers de 51% à 44%. "Les indépendants semblent donc moins astreints par leurs obligations professionnelles, tandis que les contraintes (financières notamment) empêchant les salariés de partir se sont faites plus impérieuses" (Rouquette, 2001).

Graphique 91 : Impact de la PCS du chef de ménage sur le niveau de mobilité personnelle¹⁸.



Graphique 92 : Impact de la PCS du chef de ménage et du revenu sur le niveau de mobilité personnelle.



b) La structure familiale

D'après l'Enquête Transports de 1993, le type de structure familiale (célibataire, couple, couples + enfants, famille monoparentale) n'a que peu d'impact sur le niveau de mobilité à longue distance par rapport aux autres effets. A un niveau global, les familles 2 parents + enfants semblent moins mobiles que les couples, les familles monoparentales étant encore moins mobiles (Graphique 93). Les célibataires semblent moins mobiles que les couples, mais

¹⁸ Abréviations utilisées dans ce graphique :

AGRI : agriculteurs

ARTI : artisans, commerçants, professions libérales

OUVR : ouvriers

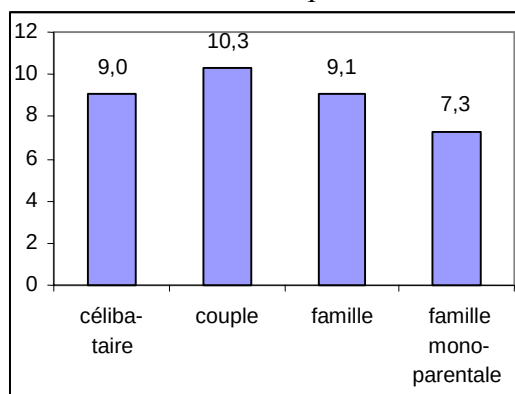
EMPL : employés

INTE : professions intermédiaires

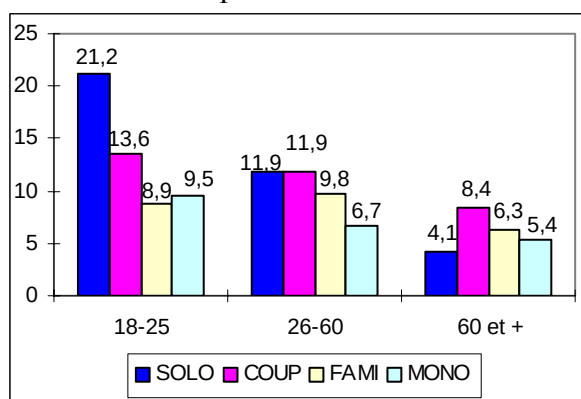
CSUP : cadres supérieurs

tout dépend de leur âge. Les jeunes célibataires (18-25 ans) sont deux fois plus mobiles que la moyenne de la population (21,2 déplacements). A l'opposé les célibataires de plus de 60 ans n'effectuent que 4,1 déplacements ; chez les plus de 60 ans, les célibataires sont souvent des veufs et des veuves très âgés. Une fois décorrélés à la fois de l'effet d'âge et de l'effet niveau de vie, les niveaux de mobilité des différents types de structures familiales sont globalement similaires (Graphique 94) et (Graphique 95).

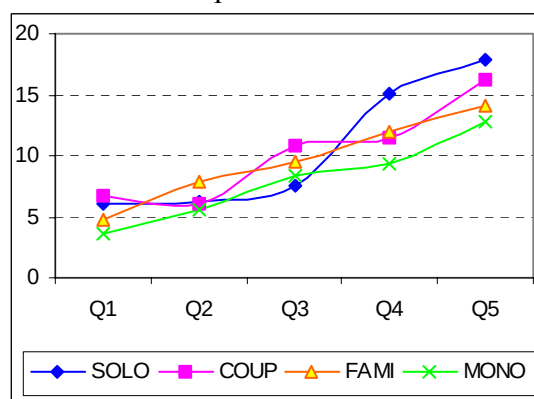
Graphique 93 : Impact de la structure familiale sur le niveau de mobilité personnelle.



Graphique 94 : Impact de la structure familiale et de l'âge sur la mobilité personnelle.



Graphique 95 : Impact de la structure familiale et du revenu sur la mobilité personnelle¹⁹



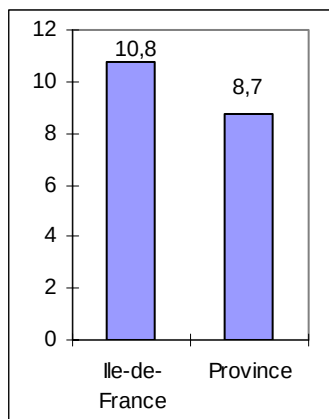
c) La région d'origine

Que ce soit sur le plan des déplacements à longue distance (Gouider, 1998) ou des seuls voyages vacances (Rouquette, 2001) des différences de niveau d'émissions sont observables suivant la région de résidence de l'individu. Toutefois ces différences sont largement à relier aux différences de revenu moyen des populations. Les Parisiens se déplacent en moyenne davantage à longue distance que les provinciaux (10,8 déplacements par an au lieu de 8,7)

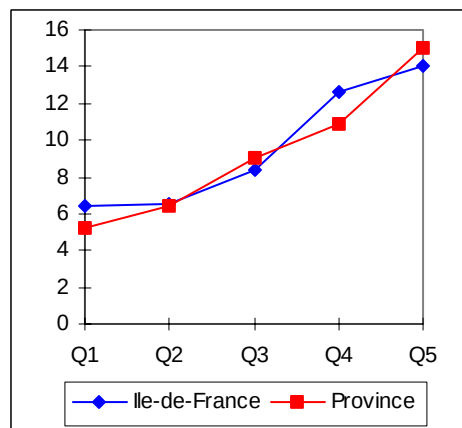
¹⁹ De par sa construction le quintile de niveau de vie tient compte du nombre de personnes du ménage. L'arrivée d'enfants entraîne une chute de la mobilité à longue distance des ménages. Toutefois à niveau de vie équivalent, il ne semble pas qu'il existe de différences notables entre les niveaux de mobilité à longue distance des individus. Finalement le niveau de vie calculé selon la nouvelle échelle de l'INSEE a un pouvoir très explicatif du niveau de mobilité moyen du ménage.

(Graphique 96) mais une fois décorré de l'effet revenu, le nombre de déplacements longue distance des Parisiens et des Provinciaux est strictement identique (Graphique 97).

Graphique 96 : Comparaison de la mobilité personnelle des Parisiens et provinciaux.



Graphique 97 : Comparaison de la mobilité personnelle des Parisiens et des provinciaux à revenu égal.



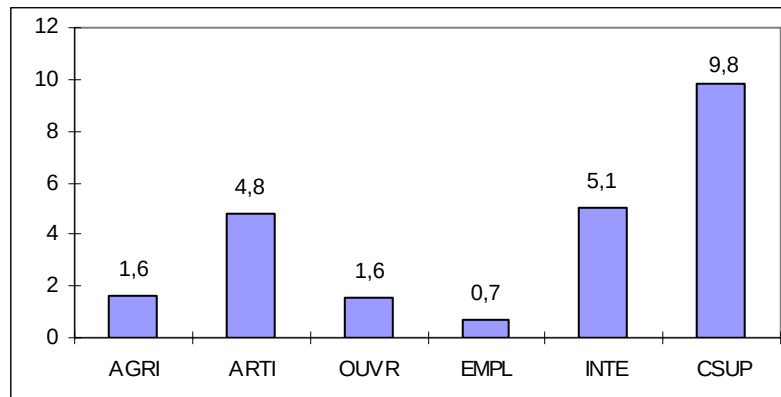
2.2.4. L'évolution des modes de vie

Au-delà des caractéristiques individuelles que nous venons de mentionner, l'évolution des modes de vie ou d'organisation au sein des entreprises (35 heures) peuvent avoir un impact sur le niveau de mobilité : fractionnement des congés, augmentation des courts séjours.

3.3. Les déterminants de la mobilité pour motif affaires professionnelles.

La mobilité professionnelle dépend très largement de la profession, qui est fortement corrélée au revenu (ce qui explique la corrélation entre revenus et niveau de mobilité observée précédemment). Si les Français font en moyenne 1 déplacement par an pour motif professionnel, les inactifs n'en font évidemment aucun et les actifs 3,4 / an en moyenne. Cette moyenne de 3,4 est très variable suivant la PCS : de 9,8 pour les cadres supérieurs à 1,5 ou moins pour les agriculteurs, ouvriers et employés. Les artisans, commerçants, professions libérales et les professions intermédiaires occupent des positions intermédiaires (Graphique 98). Les PCS sont toutefois évidemment très composites et au sein d'une même PCS, il existe une grande diversité de comportements. Lors des enquêtes TGV A du LET, réalisées à peu près à la même époque que l'Enquête Transports de 1993, la mobilité professionnelle tous modes confondus (train – avion – voiture) repérée sur l'axe Paris – Sud-Ouest était essentiellement une mobilité de cadres (51% des déplacements en 1989, 58% en 1993) loin devant les chefs d'entreprise (12% en 1989 comme en 1993) les professions indépendantes (14% en 1989, 10% en 1993), les techniciens (7 à 9%) les employés-ouvriers (7% au total) (Klein, Claisse, 1997). Ces déplacements étaient générés par des "motifs marchands, liés à l'acquisition ou à la vente de produits ou de services" pour environ 40% du total ; "le fonctionnement interne des entreprises et des administrations ("contacts internes") générant lui aussi une proportion équivalente de trajets ; enfin moins de 20% sont associés à des activités marchandes impliquant des contacts "externes", en dehors de l'institution professionnelle habituelle du voyageur" (Klein, 2001).

Graphique 98 : Variation de la mobilité professionnelle suivant la PCS de l'individu²⁰.



En termes de dynamique d'évolution, la mobilité professionnelle est très liée à la conjoncture économique. Les déplacements pour vente, achats et services sont bien sûr liés à la conjoncture, et de manière plus générale, la croissance économique est facteur d'activité et d'échanges.

Une question intéressante est de savoir si la part de la mobilité professionnelle augmente plus ou moins vite que la mobilité pour motifs personnels. Dans l'Enquête Transports de 1982 la part des motifs personnels au sein de l'ensemble de la mobilité était de 13,2% soit sensiblement la même que dans l'Enquête Transports 1993²¹. D'après les résultats du panel SDT, la mobilité pour motifs professionnels aurait davantage diminué au cours de la période 1999-2002 que la mobilité pour motifs personnels (SES, 2003). Toutefois le panel SDT ne prend en compte que les déplacements d'au moins 1 nuit en-dehors du domicile (un tiers des déplacements en 1993). Il est tout à fait possible que cette baisse des voyages professionnels d'au moins 1 nuit corresponde plus à un raccourcissement de la durée des séjours pour motifs professionnels qu'à une réduction de leur nombre total.

3.4. L'induction due à l'offre de transport

La mise en service d'infrastructures de transport à grande vitesse entraîne de l'induction de trafic, mise en évidence lors de mises en service de TGV comme à l'occasion de l'ouverture de nouveaux tronçons autoroutiers (Goodwin, 1996, Plassard, 1996 ; SNCF, 1998). Au-delà du détournement de trafic en provenance des autres modes, la mise en service d'infrastructure de transports entraîne en effet l'apparition de nouveaux comportements et de déplacements qui ne se seraient réalisés autrement par aucun mode. L'induction est difficile à quantifier car elle est progressive (Madre, Lambert, 1989 ; INRETS, 1997a), et d'autre part parce qu'il est difficile de démêler au sein du différentiel de trafic avant-après mise en service d'une infrastructure la part de l'évolution du contexte économique, et la part due à l'évolution de l'offre de transport.

²⁰ Pour la mobilité personnelle la PCS était la PCS du chef de ménage, les déplacements personnels étant souvent faits en famille; pour la mobilité professionnelle la PCS considérée est la PCS de l'individu.

²¹ En 1993, nous considérons la part des seuls motifs affaires professionnelles (à l'exclusion des domicile – travail) au sein de la mobilité affaires professionnelles + motifs personnels, afin de rendre les enquêtes 1982 et 1993 comparables, les domicile-travail n'ayant pas été enquêtés en 1981.

L'induction liée aux mises en service de TGV a été étudiée à l'occasion des mises en service de TGV (SNCF, 1998 ; INRETS, 1997b ; Klein, Claisse, 1997 ; Klein, 2001). Des réductions de temps de parcours entraînent à la fois une augmentation de la fréquence des déplacements des utilisateurs d'une liaison et l'apparition de nouveaux voyageurs (Klein, 2001). Ramener une liaison de 4 heures de temps de parcours à 2 heures modifie le comportement des individus : au lieu de partir la veille pour effectuer un voyage qui ne nécessite qu'une journée sur place (déplacements d'affaires notamment mais pas seulement), il est possible d'effectuer l'aller-retour sur la journée ; cette souplesse nouvelle permet de multiplier les déplacements. Au lieu de renoncer à certains déplacements plus secondaires, les personnes seront plus enclines à les effectuer. Les enquêtes avant-après du LET lors des mises en service des TGV Sud-Est et Atlantique ont permis de mettre en évidence de tels phénomènes. "Plutôt que d'organiser quelques rares déplacements de plusieurs jours, le TGV permet de multiplier les allers-retours dans la journée" (Klein, 2001). La possibilité d'effectuer l'aller-retour dans la journée conduit à "empêcher la rationalisation intrinsèque à leur planification généralement entreprise à l'avance. Elle multiplie aussi les sollicitations de déplacements, plus faciles à lancer, plus difficiles à décliner" (Klein, 2001). Les enquêtes sur le TGV Atlantique ont permis de mettre en évidence un autre phénomène : un effet corrélatif de remplacement de voyages réalisés seuls par des déplacements effectués à plusieurs, qui pourrait s'expliquer par les gains financiers que représente le TGV par rapport à l'avion pour des aller-retours sur la journée (Klein, Claisse, 1997). Des phénomènes similaires existent pour la mobilité de week-end. Il existe des seuils de vitesse importants : possibilité de faire l'aller-retour sur le week-end, possibilité de faire l'aller-retour dans la journée (Klein, 2001).

A plus long terme, l'amélioration des vitesses de déplacement est de nature à susciter des extensions d'aires de marché et de territoires de mobilité, ce qui favorise l'accroissement des échanges et de l'activité économique (Klein, Claisse, 1997 ; Lenoir, 2003). Ces effets se manifestent toutefois de manière non nécessairement localisée, mais plutôt à un niveau macro-économique et sur le long terme, même si les enquêtes TGV avant-après du LET ont permis d'identifier la croissance spécifique de certains segments (« ventes de produits et services » et « contacts internes aux entreprises »), témoins de l'extension ou d'un renforcement des aires de marchés des entreprises ainsi qu'un renforcement des contacts internes aux entreprises liés à l'échange d'information (Klein, Claisse, 1997).

Outre le développement des transports rapides, l'amélioration de la qualité de service et les baisses de prix sont de nature à favoriser les échanges. Certaines baisses de prix et amélioration des fréquences sont ainsi à rapprocher de hausses ponctuelles de trafic sur les modes concernés.

3.5. Conclusion

Conjoncture économique et revenus apparaissent comme des déterminants essentiels de la mobilité à longue distance. D'autres facteurs socio-économiques influencent le niveau de mobilité : motorisation, effets d'âge et de génération, évolution des modes de vie. L'induction due aux infrastructures de transport joue un rôle important.

4. Les facteurs explicatifs du choix modal

Nous analysons les déterminants du choix modal à travers les trois dimensions explicatives habituellement prises en compte : les caractéristiques d'offre (4.1.) ; les caractéristiques du déplacement (4.2.) ; les caractéristiques de l'individu effectuant le déplacement (4.3.).

4.1. Un effet d'offre très important

L'offre de transport se décline en termes de vitesse, de prix et de qualité de service : fréquences, cadencement, fiabilité, ponctualité, confort. Séparer les différents déterminants est toutefois très délicat (4.1.1). Nous présentons dans un premier temps les variations du partage modal en fonction des différentiels d'offre des différents modes (4.1.2). Nous précisons ensuite plus particulièrement les impacts liés aux mise en service des TGV (4.1.3.). Enfin, nous nous intéressons à l'impact du prix et de la qualité de l'offre (4.1.4.).

4.1.1. Précisions préalables

Il est difficile de séparer impact de la vitesse, du prix et de la qualité de service. Le facteur qualité de service est difficilement quantifiable. Quant aux prix, ils sont mal connus car ils relèvent du domaine du secret commercial des compagnies aériennes. Les temps de parcours constituent la variable la mieux connue, et dont l'impact est le plus facile à identifier.

L'Enquête Transports ne permet pas de séparer les impacts respectifs des temps de parcours, des prix et de la qualité de service. En effet, dans l'Enquête Transports de 1993, les temps de parcours sont connus, mais le prix payé par l'utilisateur n'a pas été enquêté. Des matrices de temps de parcours et de coût ont été élaborées par le SETRA sur un zonage en 340 zones pour l'année 1995 (proche de la date de la dernière enquête transports). Par ailleurs, la Direction des Routes a constitué une base d'offre aérienne et ferroviaire (Dumartin, Maurice, 1998) associée à l'Enquête Transports de 1993, mais cette base contient uniquement des données de temps de parcours, de nombre de dessertes et de nombre de correspondances éventuelles pour chaque mode. Les prix de l'air et du fer n'ont pas été reconstitués.

En coupe instantanée, distance, temps de parcours, prix et qualité de service sont assez fortement corrélés.

Pour appréhender de façon synthétique l'offre de transport dans les Enquêtes Transports, nous utilisons le croisement de deux variables : la distance déclarée²² décomposée en 4 tranches ([100-300], [300-500], [500-700], [>700km]) et le caractère radial (Paris-province) ou transversal (province-province) de la liaison considérée. Ces deux critères sont en effet suffisants pour schématiser en première approximation les performances comparées des trois modes de transport route, air et fer. Les temps de parcours routiers sont largement corrélés à la distance parcourue. Le train et surtout l'avion sont plus rapides que la voiture sur les longues distances. L'offre en transports collectifs en termes de vitesse et de fréquences est très variable suivant qu'on se situe sur des liaisons province-province ou sur des liaisons radiales où les flux massifiés permettent la mise en place d'une offre à grande vitesse et à forte

²² Les distances étant des distances déclarées, elles sont supérieures aux distances à vol d'oiseau de point à point.

fréquence. Il n'existe de dessertes aériennes de qualité avec de fortes fréquences que sur les longues radiales et une poignée de transversales. Le réseau TGV est centré autour de la capitale. Distance et caractère radial ou transversal de la liaison apparaissent ainsi comme les deux facteurs permettant de schématiser la qualité de la desserte. Le croisement des deux variables classe de distance et radial / transversal permet d'avoir une première approche de l'impact de la vitesse sur les parts modales. Cette première analyse peut toutefois être complétée par de nombreuses autres données et études, notamment celles permettant de cerner l'impact des mises en service de TGV.

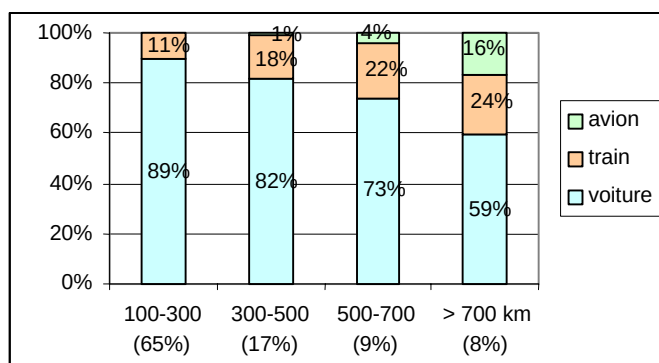
La visualisation de l'évolution des flux de trafic aéroports à aéroports est édifiante sur l'impact des TGV en matière d'évolution modale. Par ailleurs il existe une littérature abondante sur l'impact des mises en service de TGV (Klein, Claisse, 1997 ; INRETS, 1997b ; SNCF, 1998 ; Mignauw, 1998).

En ce qui concerne les prix et les fréquences, il est intéressant de mettre en parallèle les évolutions de certains flux de trafic avec des modifications de politique tarifaire ou la mise en place de cadencement (même si les évolutions tarifaires sont généralement décrites davantage qualitativement que quantitativement).

4.1.2. La vitesse, un élément déterminant du choix modal

Le niveau d'offre est un élément très déterminant en matière de choix modal. La voiture est le mode de transport majoritaire quelle que soit la tranche de distance. Toutefois si la voiture est hégémonique sur les moyennes distances (90% sur la tranche 100km - 300km), sa part de marché tombe à 60% au-delà de 700km (Graphique 99). La part de marché du train augmente progressivement avec la distance avant que celui-ci ne soit concurrencé par l'avion sur les très longues distances. La part de marché du train passe ainsi de 11% sur [100-300km] à pratiquement un quart des déplacements pour les liaisons de plus de 500km. La part de marché de l'air, négligeable en-dessous de 500km, est de 16% au-delà de 700km.

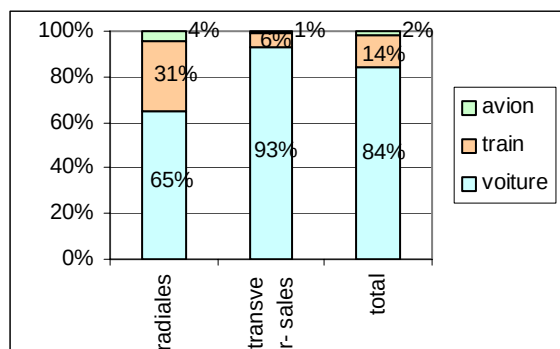
Graphique 99 : Répartition modale des déplacements par tranches de distance
(en abscisse, les pourcentages entre parenthèses correspondent au pourcentage du nombre de déplacements concernés sur l'ensemble des déplacements).



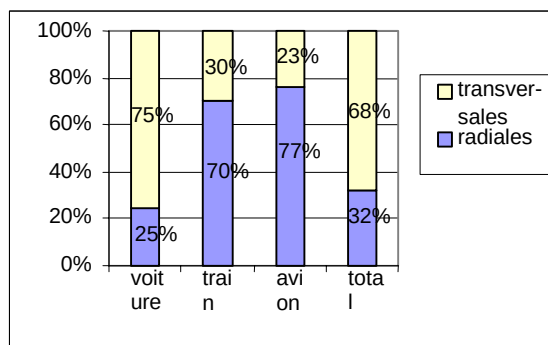
Au-delà de l'effet distance, le caractère radial ou transversal apparaît discriminant en termes de partage modal. La part de marché de la voiture dépasse les 90% sur les transversales, mais elle n'est que des deux tiers sur les radiales (Graphique 100). La part des liaisons Paris-

Province au sein de l'ensemble du trafic est ainsi très variable d'un mode à l'autre : les radiales représentent le quart des trajets en voiture mais les trois quart des trajets en transports collectifs (Graphique 101). L'impact du caractère radial/transversal de la liaison se vérifie pour chaque tranche de distance. A classe de distance identique, la part de marché des transports collectifs est plus élevée sur les radiales que sur les transversales (Graphique 102 et Graphique 103).

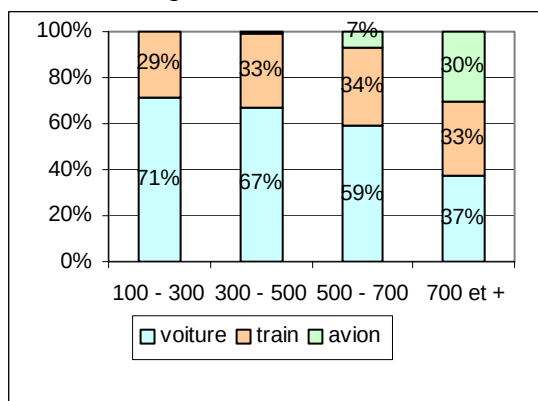
Graphique 100 : Répartition modale des déplacements sur les radiales et les transversales.



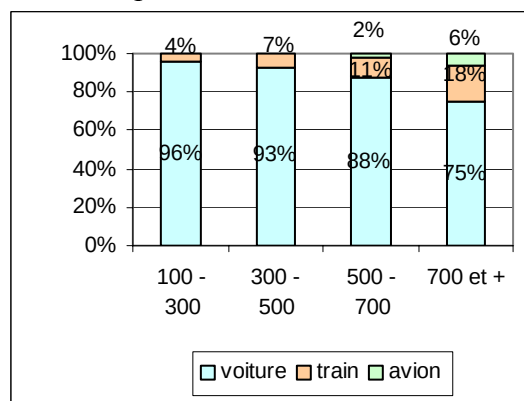
Graphique 101 : Part des radiales au sein de chaque mode.



Graphique 102 : Part modale par tranches de distance pour les liaisons radiales.



Graphique 103 : Part modale par tranches de distance pour les liaisons transversales.



La répartition modale est ainsi très contrastée suivant le type de liaison. La voiture est en situation de quasi monopole sur les transversales de moins de 300km ; à l'opposé la répartition modale est équilibrée (un tiers des déplacements pour chaque mode) pour les radiales de plus de 700km. Il existe ainsi plusieurs marchés de la longue distance : un domaine de l'hégémonie de la voiture, là où il n'existe pas d'offre alternative concurrentielle (transversales de moins de 500km) ; un domaine de concurrence voiture-train (radiales de moins de 500km) ; un domaine de concurrence train-avion-voiture sur les très longues distances où la part de marché des transports collectifs est d'autant plus élevée que la liaison est une liaison Paris-Province et de longue distance.

Ces variations de part de marché s'expliquent par les différentiels de temps de parcours. Lorsque les transports collectifs sont nettement plus rapides que la voiture, leur part de marché devient significative. Cela se produit lorsque l'offre de transports collectifs à grande vitesse (avion et TGV) existe (c'est le cas sur les grandes radiales où l'existence de flux massifiés permet la mise en place d'une telle offre) et que la distance est suffisamment

importante pour que le gain de temps par rapport à la voiture dû à leur plus grande vitesse compense le temps et la pénibilité des temps d'accès.

4.1.3. Analyses spécifiques de l'impact des mises en service de TGV

La mise en service de lignes à grande vitesse ferroviaires entraîne des modifications profondes de partage modal (Klein, Claisse, 1997 ; Mignauw, 1998). Cette modification de structure modale est due à un détournement de trafic aérien et routier, ainsi qu'à de l'induction de trafic sur le mode ferré. La part de ces trois types de trafic dépend de la longueur de l'origine-destination ainsi que de l'ampleur des réductions de temps de parcours.

Lors de la mise en service du TGV Sud-Est, le trafic train gare à gare entre Paris et la région lyonnaise (Lyon + Saint-Etienne + Valence + Bourg-en-Bresse) est passé de 2,3 millions de voyageurs par an en 1980 à 5,1 millions de voyageurs par an en 1984, soit un trafic multiplié par 2,2 (INRETS, 1995). En considérant le seul trafic gare à gare Paris-Lyon, le trafic a été multiplié par 2,4 entre 1980 et 1984 (Beauvais, 1992). Dans le même temps, le trafic Air Inter sur cette liaison est passé de 1,1 million en 1980 à 0,65 million en 1984 (INRETS, 1995). Le trafic route a baissé dans le même temps de 2,9% sur l'axe Paris-Sud-Est (qui constitue un périmètre différent de la liaison Paris-Lyon) (INRETS, 1995).

Pour le TGV Atlantique, les chiffres sont moins éloquentes car l'amélioration de l'offre a été moins radicale. De plus le retournement de conjoncture économique a entraîné une chute du trafic SNCF sur l'ensemble du réseau, qui doit être prise en compte pour analyser l'impact réel du TGV sur l'offre. Selon des données vente de billet, le trafic de l'axe Paris-Bordeaux a augmenté d'environ 20% entre 1988 et 1992 alors que le trafic de l'axe Paris-Strasbourg a baissé durant la même période d'environ 8% (SNCF, 1998). D'après le bilan LOTI du TGV A, sur les 21,7 millions de voyageurs de et vers les régions Atlantique, 16,8 millions seraient, soit des personnes qui se sont reportées des trains classiques vers les TGV (13,4 millions), soit des personnes voyageant toujours sur trains classiques (3,4 millions). 4,9 millions de voyageurs (soit 1/3 du trafic "hors projet") seraient du trafic induit (4,4 millions de voyageurs supplémentaires hors Espagne et Interconnexion qui se décomposent eux-mêmes en 2,0 millions d'induction pure, 1,4 million détourné de l'aérien, 1,1 million détourné de la route auxquels s'ajoutent 0,5 million de voyageurs supplémentaires Espagne + Interconnexion).

La mise en service du TGV Nord a entraîné une hausse de la fréquentation de 11% : 5% la première année, 6% la seconde (SES, 1998c). D'après l'enquête avant-après sur données de panel menée par le SES, cette hausse est due à une hausse de la fréquence des déplacements des individus mobiles et non à un élargissement de la base des déplacements. La répartition modale s'est modifiée en faveur du train : 37% de part de marché pour le TGV et 63% pour la route trois ans après la mise en service, contre 33,5% de part de marché pour le train et 66,5% pour la voiture auparavant. Toutefois, cette évolution de la part de marché semble être due à de l'induction en faveur du rail plus qu'à un report de la route vers le rail (SES, 1998c). Pour les habitants du Nord-Pas-de-Calais, la hausse du trafic s'est faite principalement sur le motif domicile-travail, le motif privé a reculé, le motif « classique » est resté stable.

Il est toujours délicat de mesurer exactement les parts respectives des différents types de trafic, détourné de l'aérien, de la route et induit, car il faudrait disposer à la même date des trafics avec et sans projet, ce qui est bien sûr impossible. Entre la situation avant et après projet, il s'écoule toujours un laps de temps de quelques années durant lequel le contexte socio-économique évolue, les compagnies aériennes concurrentes du TGV adaptent leur offre

en termes de fréquence ou de prix. Le trafic induit est ainsi délicat à déterminer. L'évolution des trafics routiers est par ailleurs mal connue, dans la mesure où il est difficile d'isoler, au sein de l'évolution du trafic de l'axe concerné, la part d'évolution liée aux seules origines-destinations impactées par le TGV. Le détourné de la route présente lui aussi des difficultés d'estimation.

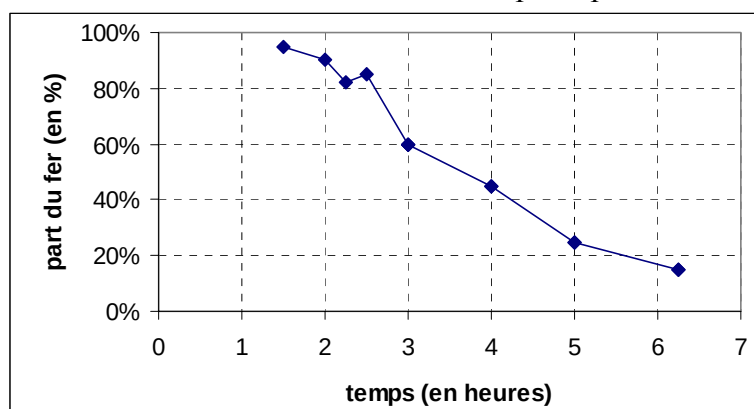
Le trafic aérien détourné dépend de l'ampleur de la réduction du temps de parcours et du temps de parcours final. Supérieure à 90% en-dessous de 2 heures de temps de parcours, la part des trains à grande vitesse au sein du trafic TGV+air tombe à 60% à 3 heures de temps de parcours puis 40% à partir de 4 heures avant de décroître progressivement (Tableau 22). Pour mieux visualiser ces données nous les avons représentées graphiquement (Graphique 104). La tranche [2h-3h] et dans une moindre mesure la tranche [3h-4h] constituent des tranches horaires cruciales où s'effectue un basculement important de trafic de l'air sur le fer. Au-delà de 4 heures les gains de temps ont moins d'importance. L'importance de la tranche [2h-3h] sur le rapport de force entre train et avion est soulignée dans (Klein, Claisse, 1997).

Tableau 22 : Part de marché du fer sur le total fer + avion

Relations km	Temps de parcours ferroviaire	Part de marché fer/(fer+avion)
Paris-Bruxelles (310km)	1h25	95%
Paris-Lyon (430klm)	2h00	90%
Madrid-Sevilla (471km)	2h15	82%
Tokyo-Osaka (515km)	2h30	85%
Paris-Londres (450km)	3h00	60%
Paris-Bordeaux (570km)	3h00	60%
Stockholm-Goeteberg (460km)	3h00	60%
Tokyo-Hiroshima (820km)	4h00	40% à 50%
Paris-Pays-Bas (450km)	4h00	40% à 50%
Paris-Toulon (830km)	5h00	20% à 30%
Paris-Toulouse (830km)	5h00	20% à 30%
Paris-Perpignan (940km)	6h à 6h30	10% à 20%
Paris-Nice (990km)	6h à 6h31	10% à 20%

Source (Mignauw,1998)

Graphique 104 : Part de marché du fer au sein des trafics air + fer en fonction du temps de parcours

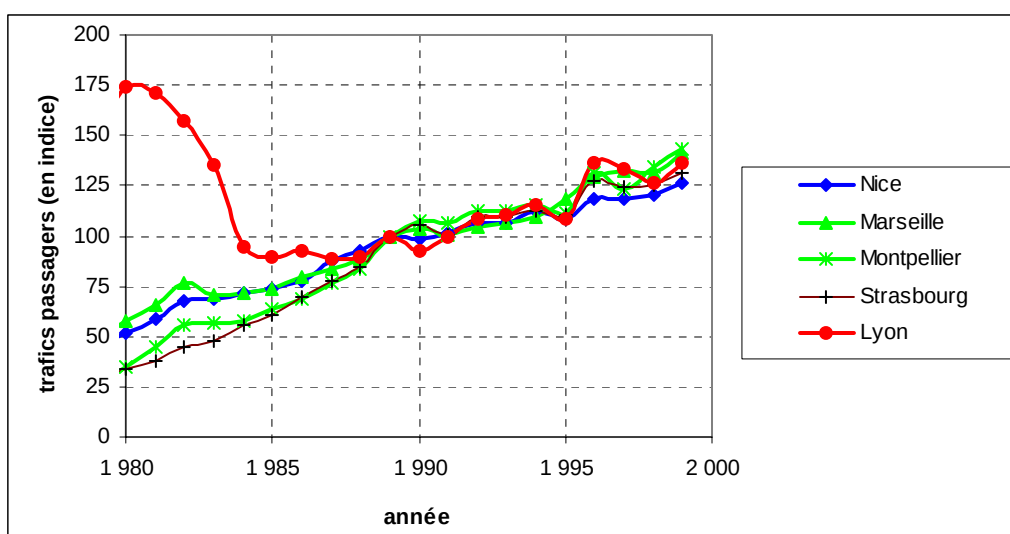


Source : à partir de (Mignauw, 1998)

Pour les différentes mises en service de TGV ayant eu lieu en France, il aurait été intéressant de posséder les séries chronologiques de l'ensemble des trafics à la fois ferroviaires et aériens. En pratique nous disposons seulement des séries chronologiques pour les trafics aériens aéroport à aéroport. Nous avons représenté l'évolution des trafics aériens annuels sur les principales radiales entre 1980 et 1999 (Graphique 105 et Graphique 106). Le Graphique 105 montre l'évolution des trafics sur les liaisons aériennes concernées par la mise en service du TGV Sud-Est. Le Graphique 106 montre l'évolution des trafics sur les liaisons aériennes concernées par la mise en service du TGV Atlantique. La liaison Paris-Strasbourg a été intégrée sur les deux graphiques à titre de référence : elle n'a pas bénéficié de mise en service de TGV.

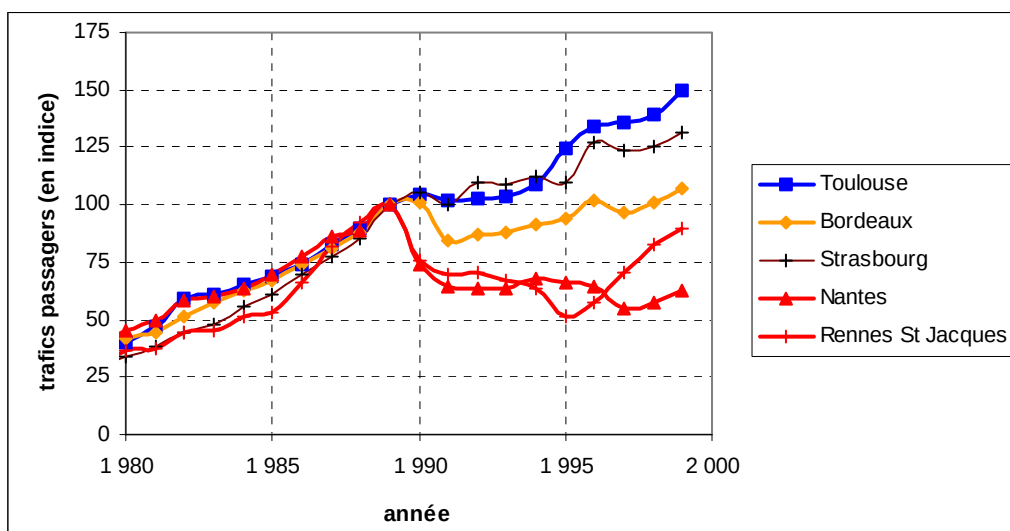
Lorsque le TGV abaisse le temps de parcours de 4h à 2 heures, le trafic aérien chute de façon spectaculaire : les trafics sont divisés par 2 sur Paris-Lyon en 1981/1984, Paris-Nantes et Paris-Rennes en 1989-1991, avant de reprendre leur croissance. Pour des réductions de temps de parcours de moindre ampleur, les réductions de trafic sont moins spectaculaires.

Graphique 105 : Evolution du trafic aérien sur les principales radiales concernées par le TGV Sud-Est



Source : d'après données DGAC

Graphique 106 : Evolution du trafic aérien sur les principales radiales concernées par le TGV Atlantique.



Source : d'après données DGAC

4.1.4. Impact des prix et de la qualité de l'offre

Il est difficile d'évaluer l'impact des prix. Les prix n'ont pas été enquêtés dans l'Enquête Transports 1993. Ils n'ont pas été reconstitués dans la base d'offre de la Direction des Routes (Dumartin, Maurice, 1998). De toute manière, à une date donnée, les prix sont fortement corrélés à la distance parcourue, et indirectement au temps de parcours, ce qui rend l'interprétation délicate. Pour apprécier l'impact des prix et des fréquences, nous nous appuyons sur les modifications tarifaires temporelles.

a) Les liaisons aériennes : des hausses de trafic liées aux baisses de prix et à la multiplication des vols

L'ouverture à la concurrence du milieu des années 1990 a entraîné des baisses de prix et une augmentation des fréquences sur les liaisons soumises à la concurrence (nous y reviendrons dans la section II). Or des hausses de fréquentation ont été observées sur les liaisons qui ont bénéficié des baisses de prix et de la mise en place de fréquences accrues. Entre 1995 et 1996, "sur les quinze principales radiales, les neuf qui ont connu au moins deux exploitants pendant un certain temps ont connu une croissance du transport de voyageurs de 10% (en nombre de passagers) alors que les six restées en situation de monopole ont peu évolué" (INSEE, [2]-vol.1996).

b) Les liaisons TGV : des hausses de trafics localisées qui coïncident avec la mise en place de politiques tarifaires sur certaines origines-destinations

Nous disposons d'informations qualitatives sur l'évolution de la politique tarifaire de la SNCF, notamment grâce aux Mémentos statistiques de la SNCF²³. Ainsi, nous savons que la

²³ L'évolution des pratiques tarifaires de la SNCF est présentée en section II.

SNCF, après avoir fortement augmenté les prix des billets sur Paris-Lille au moment de la mise en service des TGV en 1993, a revu les prix à la baisse et mis en place un cadencement en 1998 (SNCF, [2]-vol.1998). Entre 1994 et 1997, la SNCF a modifié sa politique tarifaire sur le TGV Atlantique (SNCF, 1998). La SNCF a ainsi réduit les prix sur Paris-Bordeaux, liaison où le TGV est fortement concurrencé par l'avion, mais les a augmentés sur Paris-Nantes, marché captif.

Nous avons comparé ces informations qualitatives avec les déformations de la matrice de trafic SNCF région à région 1996-2000. Le Tableau 23 présente les variations moyennes de trafic SNCF sur les 15 relations Ile-de-France – régions françaises non contiguës à l'Ile de France, calculées à partir de cette matrice.

Tableau 23 : Variation de trafic SNCF sur les 15 principales radiales entre 1996 et 2000

Années	1996/97	1997/98	1998/99	1999/2000
Variation de trafic sur l'ensemble des radiales	6,7%	1,7%	4,7%	5,5%
Variation de trafic sur les radiales TGV	6,8%	1,8%	5,0%	5,9%

Source : d'après données SNCF

Des hausses de trafic ponctuelles et localisées coïncident avec les modifications de prix et de qualité d'offre. Ainsi, nous observons une hausse de 15% du trafic entre l'Ile-de-France et le Nord-Pas-de-Calais entre 1997 et 1998 alors que la variation moyenne sur les 15 radiales principales est de 2% ; cette hausse s'explique sans doute par le cadencement et les modifications tarifaires intervenues sur la liaison en janvier 1998 ; avant la modification tarifaire, la hausse de trafic sur la liaison est légèrement en-dessous de la moyenne des 15 liaisons (2% de moins que la hausse moyenne) ; postérieurement elle est légèrement en-dessus (de l'ordre de 1% en plus). Sur le TGV Atlantique, les résultats sont moins visibles. Néanmoins, on observe une hausse de 11% à 13% sur les liaisons Aquitaine et Midi-Pyrénées entre 1996 et 1997, contre 7% en moyenne, alors que la croissance des trafics sur Paris – Pays de Loire est inférieure de 2% à la moyenne des 15 radiales. Ce différentiel peut être relié aux évolutions tarifaires qui ont eu lieu à cette époque. En 1999 (année de mise en place du cadencement sur Nantes), la croissance de trafic sur Ile-de-France – Pays de la Loire devient supérieure à la moyenne nationale (de l'ordre de 1%), ce qui n'était pas le cas les années précédentes.

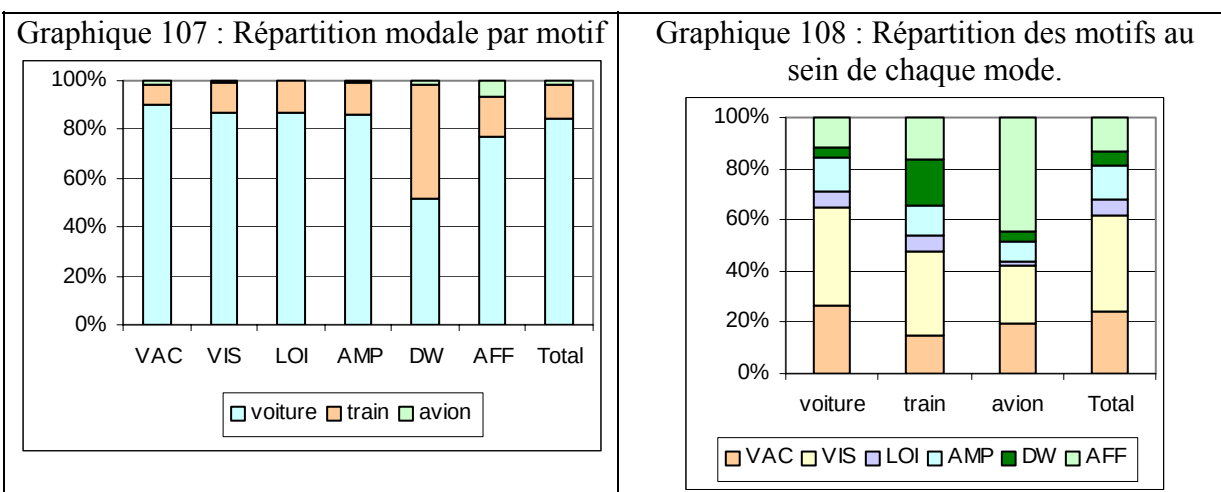
Evidemment l'ampleur des variations de trafic serait à mettre en parallèle avec l'ampleur de l'évolution des prix mais nous ne connaissons que qualitativement l'existence de changements tarifaires. Nous n'en connaissons pas l'ampleur quantitative et il n'est pas possible d'évaluer des élasticités.

4.2. L'influence des caractéristiques du déplacement

La répartition modale dépend fortement, au-delà de l'offre, des caractéristiques du déplacement entrepris. Ainsi le modèle MATISSE (INRETS, 1997a) distingue les motifs personnels et professionnels, et prend en compte la durée de déplacement et la taille du groupe pour segmenter la population des voyages.

4.2.1. Une propension plus forte à prendre l'avion et le TGV pour le motif « affaires professionnelles »

Lorsqu'on considère la répartition modale par catégorie de motif, on note que les motifs domicile-travail et affaires professionnelles se démarquent (Graphique 107). La propension à prendre le train est bien plus importante pour le motif domicile-travail. Le motif affaires professionnelles est le seul motif pour lequel la part modale de l'aérien est significative. La clientèle professionnelle représente ainsi environ la moitié de la clientèle de l'avion alors qu'elle ne représente que 13% de la clientèle de la longue distance (Graphique 108). La clientèle professionnelle constitue un enjeu majeur pour les compagnies aériennes.



Au-delà des chiffres globaux de la répartition modale par motif il est toutefois indispensable de décorrélérer la répartition globale par motif avec l'effet d'offre. En effet l'offre de transport est le critère dominant du choix de mode. Or, ainsi que nous l'avons vu précédemment, le motif est largement corrélé avec la distance, donc à l'offre. Certaines différences de parts modales apparemment dues au motif pourraient être dues en réalité à des effets d'offre. Inversement, les impacts de certains motifs sur la répartition modale pourraient être masqués par des effets d'offre. La décorrélation des effets motif, distance et radiales/transversales se révèle de fait instructive. La spécificité des motifs domicile-travail et affaires professionnelles se confirme avec toutefois des nuances suivant les tranches de distance et le caractère radial/transversal de la liaison. Par ailleurs, il apparaît qu'au sein des déplacements pour raison personnelle, le motif vacances se démarque par une plus forte propension à utiliser la voiture.

La propension à prendre le train est plus élevée parmi les personnes se déplaçant pour motif domicile-travail, et ce quelle que soit la catégorie de liaison concernée : radiale ou transversale. Du fait de la régularité de ces déplacements, ces personnes sont généralement munies d'abonnements qui rendent le train meilleur marché. Comme les déplacements domicile-travail sont souvent effectués seuls, le prix de la voiture y est au contraire plus élevé que pour la moyenne des déplacements. Du fait de la régularité de ces déplacements, il est possible qu'une partie des individus concernés aient adapté la localisation de leur résidence à cette contrainte lourde, en s'installant près d'une gare par exemple, ce qui rend les temps d'accès au mode de ces voyageurs inférieurs à la moyenne. Enfin, effectués à répétition, les trajets de plus de 100km en voiture représentent un temps et une fatigue importante que présentent moins les trajets en train où il est possible de se reposer ou de travailler.

Les personnes se déplaçant pour affaires professionnelles optent pour le mode de transport le plus rapide. Là où la voiture est le mode le plus performant, à savoir sur les courtes et moyennes distances et sur les liaisons province-province, elles optent autant pour la voiture que les autres catégories d'usagers. En revanche, là où les transports en commun sont efficaces, sur les longues distances et sur les radiales, les voyageurs d'affaires optent plus facilement pour les transports en commun, et tout particulièrement pour l'avion, que les autres catégories d'usagers. Ce phénomène est à mettre en lien avec la valeur du temps plus élevée des voyageurs d'affaires. D'une part c'est l'entreprise qui paie le billet ; par ailleurs les exigences de la productivité rendent le coût de l'avion acceptable par rapport au coût horaire d'un cadre supérieur.

Grâce à la décorrélation avec l'offre, le motif vacances se démarque désormais lui-aussi. A localisation des déplacements identique en termes de distance et de caractère radial/transversale, la propension à voyager en voiture est plus forte pour le motif vacances. Cela peut s'expliquer largement par la nécessité de disposer de sa voiture à destination lors de voyages vacances, souvent généralement de longues durées (comme nous l'avons vu précédemment), par la taille du groupe souvent élevée pour ce type de déplacement qui rentabilisent davantage la voiture, la quantité de matériel à transporter étant souvent importante lors de déplacements vacances.

Il apparaît ainsi qu'il existe plusieurs marchés de la longue distance. Là où la voiture est le mode de transport le plus performant, c'est-à-dire sur les liaisons transversales (sauf les très longues distances transversales) et sur les radiales "moyennes" distances (jusqu'à 300km ou 500km), la voiture est hégémonique quel que soit le type de déplacement (sauf pour les domicile-travail qui représentent une population particulière). En revanche là où les transports en commun sont performants (sur les longues radiales pour le train et sur les très longues distances, radiales comme transversales, pour l'avion), les parts de marché deviennent très contrastées suivant le type de clientèle. Il existe des différences marquées suivant 2 types de clientèle : les déplacements pour affaires professionnelles pour lesquels la valeur du temps des voyageurs est élevée ; les déplacements personnels où elle est plus faible. Les voyageurs "affaires professionnelles" ont une propension nettement plus forte que les autres à prendre l'avion ; cette propension à prendre l'avion s'effectue au détriment de la voiture et non du train. Au sein des déplacements pour motifs personnels, on observe sur les longues distances (plus de 500km) des différences de comportement suivant le type de motif : les déplacements pour motif vacances entraînent une plus grande utilisation de la voiture que les déplacements pour autres loisirs ou autres affaires personnelles, le motif visite occupant une place intermédiaire. Derrière ces différences liées au type de motif personnel, on peut lire des effets durée du voyage / nécessité de disposer d'une voiture sur place, de la taille du groupe, du volume de matériel à emporter.

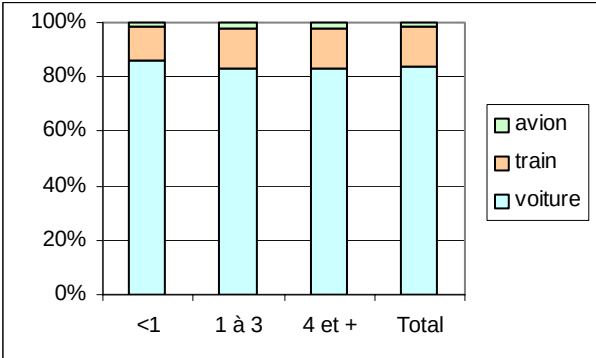
4.2.2. Durée du voyage et taille du groupe

La durée du voyage et la taille du groupe font partie des facteurs explicatifs pris en compte dans le modèle MATISSE (INRETS, 1997a).

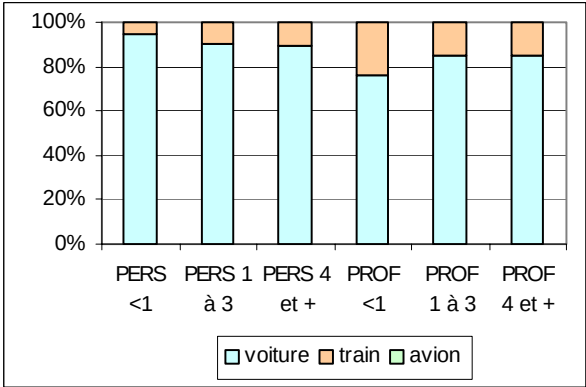
Toutefois, durée du voyage et taille du groupe sont fortement corrélés au motif (cf section 2.2. précédente) et il est délicat de mettre en évidence ce type d'effets. A un niveau global, on ne voit aucun effet durée sur la répartition modale car cet effet est masqué par l'effet d'offre et

par le caractère personnel ou professionnel du déplacement (Graphique 109). Si on décorrèle par rapport à la distance, et par rapport au caractère personnel ou professionnel du déplacement, on observe en revanche un certain effet durée (Graphique 110 à Graphique 113). Plus la durée du voyage est importante, plus les individus prennent la voiture. Pour ce qui est des effets taille du groupe, l'effet est particulièrement corrélé au motif du déplacement (cf section 2.2.), ce qui rend délicat sa mise en évidence par de simples tableaux croisés.

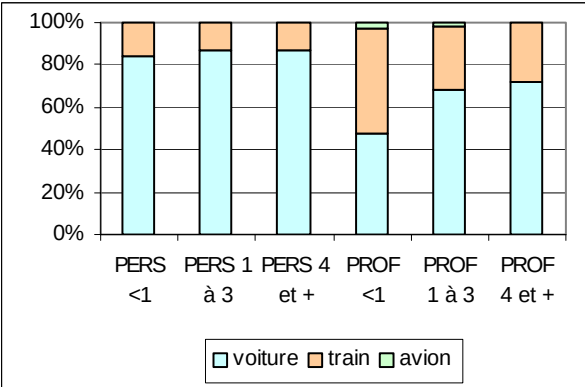
Graphique 109 : Répartition modale selon la durée du voyage.



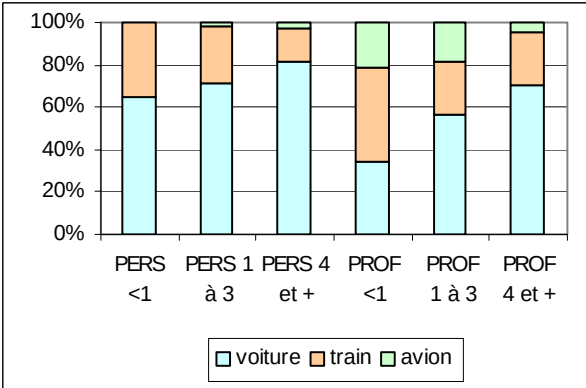
Graphique 110 : Répartition modale selon la durée du voyage pour les déplacements 100-300km.



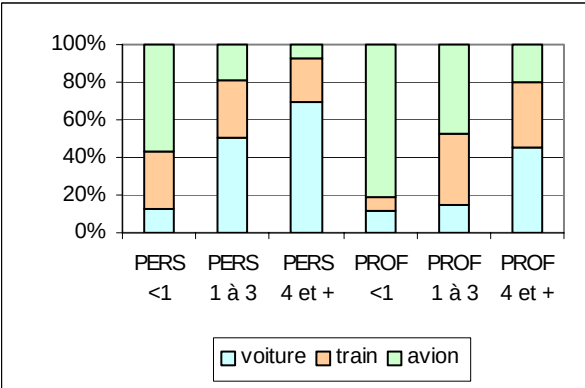
Graphique 111 : Répartition modale selon la durée du voyage pour les déplacements 300-500km.



Graphique 112 : Répartition modale selon la durée du voyage pour les déplacements 500-700km.



Graphique 113 : Répartition modale selon la durée du voyage pour les déplacements supérieurs à 700km.



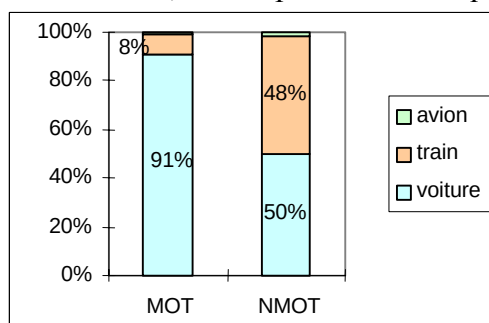
4.3. L'influence des facteurs socio-économiques

Au sein des déplacements pour motifs personnels, le choix modal est influencé par les caractéristiques des individus : revenu, effet d'âge et de génération, motorisation.

4.3.1. La non motorisation : un facteur favorable à l'usage des transports collectifs

La motorisation est un élément important du choix du mode. La voiture représente la moitié des déplacements personnels des personnes appartenant à un ménage non motorisé²⁴ alors qu'elle représente 91% des déplacements longue distance des personnes motorisées (Graphique 114).

Graphique 114 : Impact de la motorisation sur la répartition modale ; motifs personnels uniquement.



4.3.2. Revenu et valeur du temps

La valeur du temps constitue un déterminant clé du partage modal. Pour effectuer ses prévisions de trafic pour les TGV, la SNCF s'appuie sur un modèle prix-temps (décrit au chapitre 3) au sein duquel l'arbitrage entre train et avion se fait en fonction de la valeur du temps. Croissance économique et revenus apparaissent ainsi comme des facteurs déterminants du choix modal. Plus leur revenu est élevé, plus les voyageurs ont une valeur du temps élevée, ce qui les conduit à privilégier davantage le mode le plus rapide, même s'il est plus cher, en particulier l'avion pour les longues distances. La part de marché de l'avion, mode de transport onéreux, est ainsi plus de deux fois supérieure au sein des individus du quintile le plus riche qu'au sein des 3 quintiles précédents : 1,8% au lieu de 0,7% à 0,8% (Tableau 24)²⁵.

Par ailleurs, de bas revenus constituent un frein à la motorisation ; une hausse des revenus favorise ainsi la motorisation donc la voiture au détriment du train. Sur certains créneaux (les radiales où le TGV est à 2 heures de temps de parcours) le train constitue toutefois le mode le plus compétitif. Les déplacements courtes distances étant majoritaires, on observe globalement une croissance de la part de la voiture avec le revenu sauf pour le quintile de

²⁴ Les personnes appartenant à un ménage non motorisé peuvent effectuer des voyages en voiture en tant que passagers.

²⁵ La part de marché de l'avion légèrement supérieure à la moyenne pour le premier quintile, (1,0%) est liée à la présence importante de 18-25 ans bénéficiant de tarifs réduits (33% des déplacements du 1^{er} quintile sont des 18-25 ans, 19% du 2^{ème}, 15% du 3^{ème}, 12% du 4^{ème} et 5% du 5^{ème}). Pour les 18-25 ans l'avion est un mode de transport moins cher que pour les autres tranches de la population, et même proportionnellement moins cher que pour les autres modes.

revenu élevé. Le quintile de revenu le plus aisé comprend en effet une part de Franciliens (et donc de déplacements radiaux) plus importante que les autres quintiles²⁶, d'où une plus forte propension à prendre le train compte tenu de la qualité de la desserte ferroviaire au départ de l'Ile-de-France.

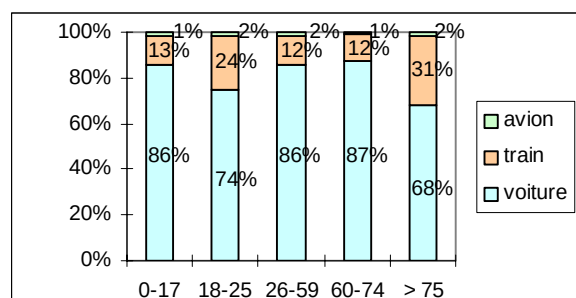
Tableau 24 : Variations des parts de marché des différents modes au sein des quintiles de niveau de vie

revenu	voiture	train	avion
Q1	80%	19%	1,0%
Q2	86%	13%	0,7%
Q3	92%	8%	0,7%
Q4	90%	9%	0,8%
Q5	87%	11%	1,8%
Total	88%	11%	1,1%

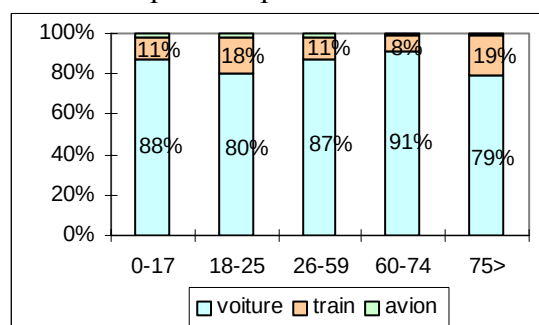
4.3.3. Effets d'âge et de génération

Outre le revenu et la motorisation, l'âge influence également le choix modal. Les 18-25 ans utilisent davantage le train que les 26-59 ans, ce qui peut s'expliquer par leur moindre accès à la voiture et des revenus plus faibles. Les plus de 75 ans tendent à privilégier le train dans leurs déplacements, au détriment de la voiture : les problèmes de santé rendent l'usage de la voiture plus difficile ; il existe par ailleurs un effet de génération. Les 60-74 ans ont un partage modal sensiblement identique à celui des 26-59 ans. Ces constatations rejoignent celles effectuées au sein du panel SDT sur les seuls voyages de plus de une nuit hors du domicile et au sein des enquêtes vacances de l'INSEE (Pochet, Schéou, 2002) : le train est davantage présent aux deux extrémités de la vie.

Graphique 115 : Impact de l'âge sur le partage modal



Graphique 116 : Impact de l'âge sur le partage modal pour les personnes motorisées



Toutefois, les différences d'usage de la voiture particulière entre les seniors et le reste de la population se réduisent (Pochet, Schéou, 2002). Habitues à l'usage du volant, les personnes âgées continuent à conduire à l'âge de la retraite, et ne s'arrêtent que lorsqu'elles ne sont plus en état de le faire.

²⁶ 41% des déplacements du cinquième quintile et 31% du quatrième sont radiaux contre 22% pour les trois premiers.

4.4. Conclusion

Le facteur de choix modal essentiel est d'abord l'offre de transport. L'existence d'une desserte de qualité en termes de fréquence ainsi que les vitesses relatives des différents modes constituent le facteur déterminant du choix. Sur les segments "courtes et moyennes" distances et sur les transversales, la voiture est largement hégémonique. En revanche sur les longues distances radiales et les très longues transversales, la compétition existe réellement. En termes d'arbitrage train/avion, la tranche horaire [2h-3h] constitue une zone clé de basculement entre l'avion et le train. Outre l'offre de transport, le partage modal est influencé par d'autres facteurs : caractère professionnel ou privé du déplacement (à mettre en lien avec les différences de valeurs du temps des voyageurs pour motifs professionnels et privés), revenus de l'individu effectuant le déplacement, captivité liée à une non motorisation, et dans une moindre mesure âge et génération. La valeur du temps joue un rôle clé dans le partage modal. La croissance économique, qui influence largement la valeur du temps, constitue ainsi un facteur déterminant du choix de mode. Par ailleurs, si au niveau de l'offre de transport, la vitesse est une caractéristique déterminante, les prix et la qualité de service sont aussi des facteurs très importants.

5. Conclusion

L'analyse des sources de données et des sources bibliographiques à notre disposition nous a permis de mettre en évidence les principaux déterminants de la mobilité et du partage modal.

Conjoncture économique et revenus des ménages constituent de loin le principal facteur explicatif du niveau de mobilité. D'autres facteurs influencent le niveau de mobilité : la motorisation, l'âge, la génération. L'évolution des modes de vie influence aussi le niveau de mobilité. Outre ces facteurs socio-économiques, l'amélioration de l'offre de transport entraîne de l'induction de trafic, mise en évidence aussi bien dans le cadre des projets autoroutiers (Plassard, 1996) que ferroviaires (SNCF, 1998).

Le partage modal est fortement déterminé par l'offre de transport, en termes de temps de parcours mais aussi en termes de prix et de qualité d'offre. Les caractéristiques individuelles influencent toutefois fortement le choix modal. La non motorisation entraîne des phénomènes de captivité. Par ailleurs conjoncture économique et richesse des ménages influencent le choix modal à travers la valeur du temps des individus. A offre identique, la répartition modale varie suivant les caractéristiques du déplacement. Outre l'offre et la richesse des individus, les effets d'âge et de génération, l'évolution des modes de vie peuvent influencer le choix. Compte tenu du contraste de partage modal entre segments de marché, il apparaîtrait souhaitable de segmenter le marché, au moins entre déplacements professionnels et personnels et par origine-destination ou paquets d'origines-destinations homogènes, puis d'analyser par segment l'impact de l'offre, toutefois une telle démarche dépend des données à disposition.

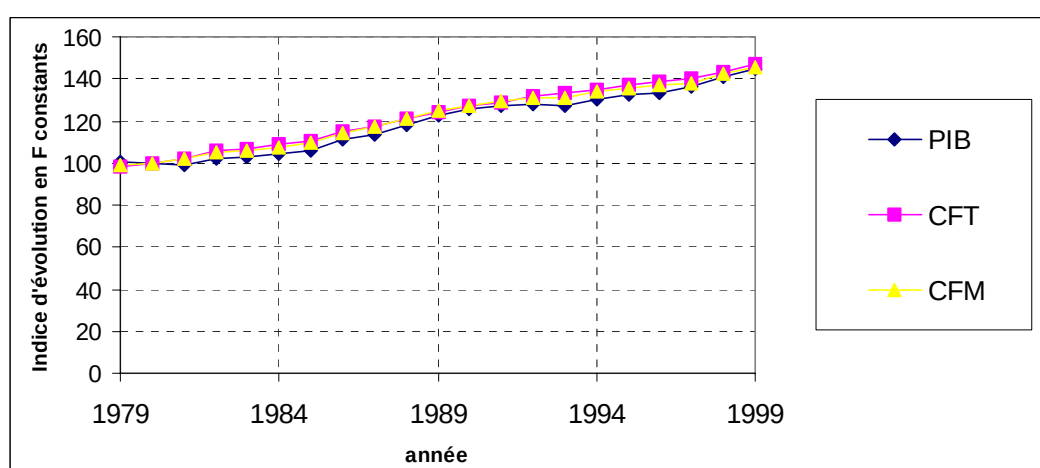
II. Evolution des principaux déterminants entre 1980 et 2000

Après avoir montré dans la précédente section quels étaient les facteurs explicatifs de la mobilité à longue distance, nous présentons un rapide historique de l'évolution des principaux déterminants au cours des vingt dernières années en nous focalisant sur les fluctuations de la conjoncture économique, le développement de l'offre de transport, l'évolution des prix. Dans un premier temps (section 1) nous présentons l'évolution du contexte socio-économique des 20 dernières années en insistant particulièrement sur les fluctuations de la conjoncture économique. Dans un deuxième temps nous précisons l'évolution de l'offre de transport : dates de mise en service des différents TGV, évolution de la politique tarifaire de la SNCF, ouverture à la concurrence dans l'aérien, évolution des prix et de la fréquence des dessertes dans ce secteur, constitution du réseau autoroutier et évolution du prix de la route (section 2).

1. Le contexte socio-économique : des fluctuations de la conjoncture

Ainsi que nous l'avons vu en section I précédente, le revenu des ménages et le niveau d'activité économique sont des facteurs déterminants de la mobilité à longue distance. Les fluctuations de la croissance économique constituent des facteurs explicatifs essentiels des fluctuations de la mobilité. Les vingt dernières années ont été marquées par des fluctuations de la croissance économique. La première moitié des années 1980 et surtout la première moitié des années 1990 ont été marquées par une faible croissance économique ; à l'inverse la deuxième moitié des années 1980 et des années 1990 ont connu de fortes hausses du PIB et de la CFM (Graphique 117).

Graphique 117 : Evolution du PIB (base 100 en 1980)



Source : d'après Annuaire Statistique de l'INSEE

Les vingt dernières années ont aussi été marquées par un certain nombre d'évolutions tant au niveau des modes de vie des individus (croissance de la motorisation, vieillissement de la population, instauration de la RTT qui vient accompagner le développement de nouveaux

modes de vie, notamment le fractionnement des congés), qu'au niveau des mutations des entreprises (tertiairisation de l'économie, développement de l'économie de l'information, extension des aires de marché et métropolisation), phénomènes déjà évoqués à la section précédente.

2. L'offre de transport : plus vite, moins cher

Pour chaque mode de transport nous présentons l'évolution du réseau, des prix et des politiques tarifaires ainsi que les événements qui ont marqué les vingt dernières années.

2.1. L'offre aérienne : chute des prix et développement du yield management

Entre 1979 et 1999, le paysage aérien a été marqué par différents phénomènes : ouverture du ciel à la concurrence en 1996-1997 (2.1.1.) ; accroissement du nombre de fréquences (2.1.2.) ; chute des prix, essentiellement au cours années 1980 (2.1.3.).

2.1.1. L'ouverture à la concurrence de 1996

L'ouverture à la concurrence a été progressive et s'est étalée de 1995 à 1997 (INSEE, [2]-vol.1995-1996-1997 ; Merlin, 2000). Cette ouverture du marché a débuté en 1995 avec l'ouverture à la concurrence des lignes intérieures les plus importantes : Paris vers Marseille, Toulouse, Bordeaux, Strasbourg et Montpellier. (Paris-Nice était exploitée à la fois par Air France et par AOM dès 1991). A compter du 1/1/96 le gouvernement rend libre l'exploitation de toutes les liaisons intérieures à toutes les compagnies résidentes. Le 1^{er} avril 1997 marque l'ouverture du cabotage à la concurrence européenne.

La concurrence a entraîné beaucoup de soubresauts dans le paysage aérien. Plusieurs compagnies sont venues concurrencer Air France sur de nombreuses liaisons... parfois pour renoncer à desservir la ligne au bout de quelques mois (Tableau 25). Le nombre de compagnies aériennes a augmenté mais depuis 2000, les compagnies aériennes autres qu'Air France ont pour beaucoup d'entre elles connu de fortes variations d'activité, et ont parfois connu des difficultés financières, voire des faillites.

Tableau 25 : Dates d'autorisation d'exploitation des principales liaisons Paris-province, avec dates d'entrées sur le marché (et éventuellement de sortie) des compagnies aériennes sur ces liaisons sur la période 1994-1996.

	AOM	Air Liberté	TAT	Air. Fr. Europe
Nice	A : jan 91 E : mai 91	A : jan 96 E : jan 96	A : jan 96	Navettes : oct 96
Marseille	A : déc 94 E : jan 95	A : jan 96	A : déc 94 E : mai 95 S : oct 96	Navettes : oct 96
Toulouse	A : jan 96	A : déc 94 E : janv 95	A : déc 94 E : oct 95	Navettes : oct 96
Bordeaux	A : jan 96	A : mai 95 E : mai 95	A : mai 95	
Montpellier	A : oct 95 E : nov95 S : oct 96	A : oct 95 E : janv 96 S : oct 96	A : jan 96	
Strasbourg	A : août 95	A : août 95 E : oct 95	A : jan 96	
Perpignan	A : jan 96 E : avr 96	A : jan 96	A : jan 96 E : oct 96	S : oct 96
Toulon	A : jan 96 E : avr 96	A : jan 96	A : jan 96 E : oct 96	S : oct 96
Nantes	A : jan 96	A : jan 96	A : jan 96 E : oct 96	S : oct 96

Légende : A = autorisation d'exploitation ; E = entrée sur le marché ; S = sortie du marché

Source : INSEE, Comptes transports de la nation 1996

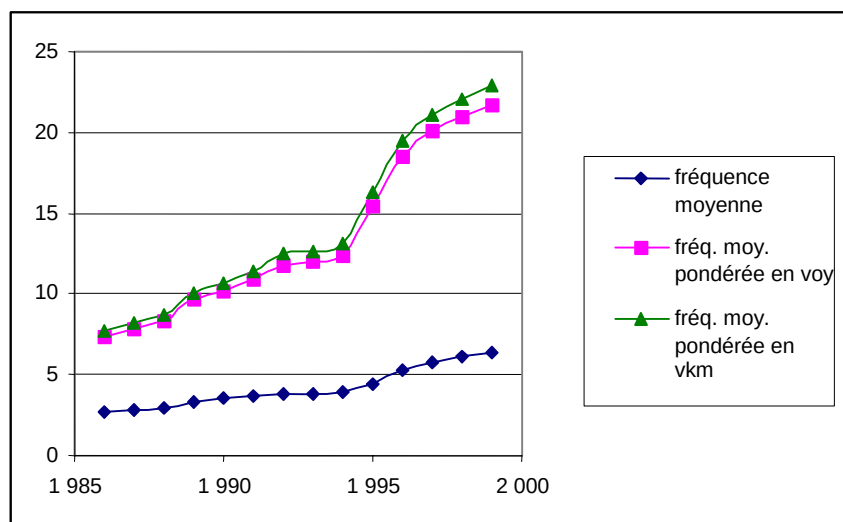
2.1.2. Multiplication des dessertes et organisation autour de hubs

Le nombre de dessertes aériennes s'est considérablement accru sur la période 1980 à 1999, et ce particulièrement lors de l'ouverture du ciel à la concurrence en 1995-1997. Le Graphique 118, construit à partir de données DGAC sur la période 1986-1999, témoigne de cette évolution.

Sur la période 1986-1999, nous connaissons l'évolution du nombre de mouvements par liaison aéroport à aéroport (source DGAC). A partir de cette base, nous avons calculé plusieurs indicateurs (Graphique 118) :

- le nombre moyen de mouvements par liaison aéroport à aéroport,
- le nombre moyen de mouvements par liaison aéroport à aéroport pondéré par le nombre de passagers de la liaison,
- le nombre moyen de mouvements par liaison aéroport à aéroport pondéré par le nombre de passagers.kilomètres de la liaison.

Graphique 118 : Evolution du nombre de dessertes moyen entre aéroports (2 sens)



Source : à partir de données DGAC

Le nombre moyen de mouvements entre aéroports est un indicateur peu représentatif de l'évolution des fréquences car cet indicateur met sur le même plan des liaisons à faible et à fort trafic. Cet indicateur est par ailleurs très sensible à la création de petites lignes : ouvrir des liaisons directes supplémentaires, même avec un seul aller-retour par jour, constitue une amélioration de la qualité de service pour les passagers. Pourtant l'ouverture de plusieurs lignes de ce type est susceptible de dégrader cet indicateur (le nombre d'allers-retours sur ces nouvelles lignes à faible trafic étant inférieur au nombre moyen de mouvements par liaison aérienne). C'est pourquoi il est nécessaire de privilégier les indicateurs qui pondèrent les fréquences par le trafic (en voyageurs ou en voyageurs.kilomètres). Les indicateurs qui pondèrent les fréquences par le trafic sont plus représentatifs de la liberté de choix horaire qui s'offre en moyenne aux clients.

La fréquence moyenne (pondérée par le trafic) a continuellement progressé sur la période, avec une hausse particulièrement forte entre 1994 et 1996 : +60% en 2 ans (Graphique 118). Sur l'ensemble de la période, le nombre moyen de mouvements pondéré par le trafic en passagers.kilomètres est passé de 12,5 allers-retours par liaison à 23 allers-retours par liaison.

L'augmentation des fréquences sur la période antérieure à 1993 peut s'expliquer par l'augmentation rapide des trafics sur cette période (trafic aérien multiplié par 2 entre 1980 et 1993). Cette croissance rapide des volumes de passagers nécessite en effet la mise en place d'une offre en sièges plus importante : mise en service d'avions plus gros, mais aussi augmentation du nombre de rotations. L'augmentation du nombre de passagers permet de rentabiliser des vols qui n'auraient pas pu être ouverts précédemment. (La causalité est bien sûr à double sens : accroître les dessertes améliore la qualité de service, donc contribue à augmenter le trafic aérien ; en sens inverse l'accroissement du trafic aérien permet de rentabiliser de nouvelles lignes et un accroissement des fréquences).

L'augmentation de 60% du nombre de mouvements entre 1995 et 1997 est à rapprocher de l'ouverture du ciel à la concurrence à cette date. Plusieurs compagnies ont ouvert des vols concurrents de ceux d'Air France, augmentant l'offre sur plusieurs liaisons. Pour faire face à la concurrence, Air France a restructuré son offre. Si Air France a choisi de se retirer de

certaines lignes (par exemple Perpignan), Air France a mis en place un système de navettes horaires sur quelques grandes liaisons (Nice, Marseille, Toulouse dès octobre 1996), multipliant ainsi les dessertes sur les principales radiales. Par ailleurs Air France a réorganisé ses vols autour d'un hub à Roissy, ce qui lui permet notamment de capter et rabattre de la clientèle pour ses vols internationaux... clientèle internationale dont le poids est considérable sur de nombreuses liaisons.

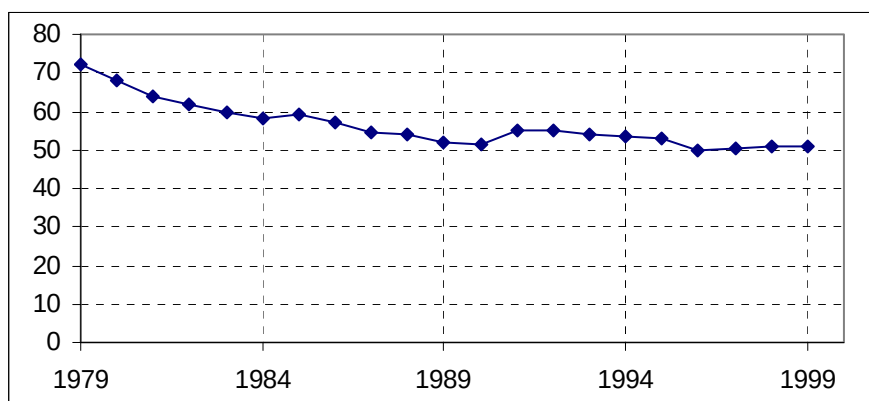
L'organisation de vols autour de hubs (Roissy, Orly, Lyon, Clermont-Ferrand), par Air France ou par des compagnies régionales accroît l'efficacité de la desserte. Le système de correspondances autour des hubs permet de multiplier les origines-destinations assurées pour un nombre de vols donné. Ce système permet aussi de massifier les flux et d'améliorer la rentabilité.

2.1.3. Chute des prix et développement du yield management

L'avion est un mode de transport cher (3,5 fois plus onéreux par voyageur.kilomètre que le train en 1980 et 2,5 fois plus cher que le train encore aujourd'hui). Toutefois le prix de l'aérien n'a cessé de diminuer, surtout dans la période 1980-1990 (-30%), rendant l'avion plus accessible.

Le Graphique 119 montre l'évolution du prix de l'aérien depuis 1980. L'indice de prix représenté est formé de la concaténation du produit moyen par voyageur.kilomètre d'Air Inter jusqu'en 1997 et de l'indice de prix de l'INSEE depuis. La construction exacte de cet indicateur est précisée au chapitre suivant. L'indicateur de prix de l'INSEE est à prendre avec une certaine précaution car il prend mal en compte les réductions tarifaires (cf chapitre 4), néanmoins la tendance générale de l'évolution des prix n'est pas à remettre en cause.

Graphique 119 : Prix de l'aérien par voy.km en centimes de Francs constants de 1980



Source : d'après Air Inter et INSEE

Les économies d'échelle expliquent largement la chute des prix des années 1980. L'accroissement du trafic permet en effet de massifier les flux. Le prix de l'aérien est par ailleurs fortement influencé par les cours du pétrole. La baisse de prix observable en 1986-1987 est à rapprocher du contre choc pétrolier de 1986, l'augmentation de 1991 est à relier aux conséquences de la guerre du Golfe. Une légère baisse de prix est par ailleurs observable suite à l'ouverture à la concurrence de 1996. Cette baisse est toutefois faible au regard de la chute de 30% observée sur l'ensemble de la période 1980-1999. L'ouverture à la concurrence

de 1996 a effectivement entraîné des baisses de prix sur certaines liaisons fortement concurrentielles, mais à l'échelle nationale les évolutions de prix sont contrastées suivant le type de ligne. Plus que des baisses de prix, l'ouverture à la concurrence a favorisé le développement du yield management et la diversification des prix (Sinsou, 1999). L'accentuation des politiques de yield management ont conduit à une accentuation des disparités de prix suivant le vol ou le type de siège, multipliant des sièges à très bas prix sur certains vols, mais maintenant des prix très élevés pour certaines catégories de clientèle sur les vols les plus demandés.

2.2. L'offre ferroviaire : création du réseau TGV et évolution de la politique tarifaire vers le yield management

La mise en service des TGV constitue évidemment l'événement marquant des 20 dernières années en matière ferroviaire (section 2.2.1.). Les temps de parcours entre Paris et la plupart des grandes agglomérations françaises ont ainsi été réduits de 25% à 50% au cours de cette période. La politique tarifaire a elle aussi connu des mutations majeures de grande envergure pour intégrer progressivement le yield management (2.2.2.). Enfin la SNCF a amélioré la qualité de service : amélioration des fréquences et cadencement (2.2.3.).

2.2.1. Les TGV : des réductions drastiques de temps de parcours

A partir de 1981, la SNCF a progressivement mis en service des lignes à grande vitesse (Troin, 1995 ; SNCF, 1998 ; SNCF, [1]-annuel; [http ://www.sncf.com](http://www.sncf.com)) réduisant les temps de parcours de 25% à 50% entre Paris et les agglomérations concernées (Tableau 26). Les programmes de TGV déjà réalisés ou en projet sont présentés en annexe 1 (Carte 1).

Tableau 26 : Temps de parcours entre Paris et les principales agglomérations françaises

	1980	1985	1992	1999	2002
Lyon	3h45	2h	2h	2h	2h
Marseille	6h40	4h40	4h40	4h20	3h
Lille	2h	2h	2h	1h	1h
Bordeaux	4h	4h	3h	3h	3h
Toulouse	6h	6h	5h05	5h05	5h05
Nantes	3h15	3h15	2h	2h	2h
Nice	9h10	7h15	7h15	6h30	5h40
Strasbourg	3h50	3h50	3h50	3h50	3h50
Grenoble	5h20	3h10	3h10	2h50	2h50
Rennes	2h55	2h55	2h	2h	2h

Source : (SNCF, [1]-annuel)

Nous effectuons maintenant un bref historique des opérations déjà réalisées réseau par réseau avant d'évoquer les futurs projets ([http ://www.sncf.com](http://www.sncf.com) ; SNCF, [1]-annuel).

a) Le réseau Sud-Est : les TGV Sud-Est (1981-1983), Rhône-Alpes (1992-1994) et Méditerranée (2001)

Le TGV Sud-Est (1981-1983) constitue le premier projet de TGV français. Une ligne nouvelle a été mise en service entre Paris et Lyon en deux temps : septembre 1981 puis septembre 1983. L'ensemble du projet a permis de réaliser un gain de temps de 2 heures sur l'ensemble des destinations Paris - Sud-Est. Le temps de parcours entre Paris et Lyon a été quasiment divisé par deux : de 3h45 à 2h. Outre des TGV Paris - Lyon, des TGV directs Paris - Grenoble, Paris - St-Etienne, Paris - Nice ont été progressivement mis en place (Paris - Grenoble en mars 1984, Paris - Nice en avril 1986).

Le TGV Rhône-Alpes (1992-1994) consiste en un contournement Est de Lyon ainsi que la réalisation de Lyon-Valence en voie nouvelle. Ce contournement Est de Lyon a été mis en service en deux temps. En décembre 1992, le tronçon nord a été ouvert, ce qui a permis de raccourcir les temps de parcours vers Grenoble. En juin 1994, le tronçon sud du contournement et son prolongement jusqu'à Valence sont devenus opérationnels, ce qui a permis de raccourcir les temps de parcours vers Montpellier, Marseille et la Côte d'Azur. Montpellier et Marseille qui étaient à 4h40 de Paris depuis le TGV Sud-Est n'étaient plus qu'à 4h15 de la capitale.

Le TGV Méditerranée (2001) constitue la dernière phase en date de l'amélioration du réseau Sud-Est. Le TGV Méditerranée consiste en la réalisation d'une voie nouvelle sur la fourche Valence-Avignon, Avignon-Marseille et Avignon-Nîmes. La mise en service du TGV Méditerranée est intervenue en juin 2001, permettant de réaliser de nouveaux gains de temps sur les destinations Paris - Languedoc-Roussillon et Paris - PACA. Marseille et Montpellier, situées à 4h15 de Paris depuis 1994 ne sont plus qu'à 3h / 3h15 de la capitale.

b) Le réseau Atlantique (1989-1990)

Le TGV Atlantique consiste en la création d'une ligne nouvelle en forme de fourche (Paris vers Le Mans et Tours avec tronçon commun au départ de Paris) ainsi qu'en l'aménagement à 220km/h des lignes classiques Le Mans – Nantes et Tours - Bordeaux. La mise en service commerciale a eu lieu en deux temps : mise en service commerciale de la branche Ouest (1989) puis mise en service commercial de la branche Sud-Ouest (1990). Des améliorations complémentaires ont eu lieu ultérieurement, notamment : prolongement de la desserte TGV A de la Bretagne Sud jusqu'à Quimper en septembre 1992 suite à l'électrification de la ligne puis mise en service commercial du tronçon Poitiers – La Rochelle en juillet 1993 suite à l'électrification de la ligne. Grâce au TGV A, le temps de trajet Paris – Nantes passe de 3h15 à 2h, Paris – Bordeaux de 4h à 3h.

c) Le réseau Nord-Europe (1993)

Le TGV Nord - Europe consiste en la création d'une ligne nouvelle Paris - Lille avec ouverture en deux temps à quelques mois d'intervalles : mai 1993 (emprunt de la ligne nouvelle de Paris à Arras) puis septembre 1993 (emprunt de la ligne nouvelle sur toute sa longueur). Lille est désormais à 1h de Paris au lieu de 2h. Cette ligne nouvelle Paris-Lille est

utilisée par les TGV Paris-Lille (Réseau Nord-Europe) mais aussi par des TGV en direction de nos voisins européens (réseaux Eurostar et Thalys).

d) Le réseau Jonction (1994)

Le réseau Jonction consiste en la création d'une ligne nouvelle contournant Paris par l'Est en passant par Marne-la-Vallée et Roissy - Charles-de-Gaulle. Les temps de parcours du sud de la France vers Lille s'en trouvent réduits. La SNCF n'a toutefois pas attendu le TGV Jonction pour diminuer les temps de parcours sur certaines transversales comme Lyon - Lille. La SNCF a en effet progressivement amélioré les liaisons transversales passant par Paris en mettant en service des TGV directs, même si ceux-ci empruntaient de petites lignes à vitesse réduite autour de Paris (première liaison commerciale TGV Lille - Lyon en septembre 1984, première liaison commerciale TGV Rouen - Lyon en septembre 1986). La gare de Massy TGV a été ouverte en 1991, permettant l'interconnexion des TGV entre les réseaux Sud-Est et Atlantique. Mai 1994 marque la mise en service commercial du réseau Jonction permettant l'amélioration des liaisons Lille – Sud-Est. Lyon – Lille fait désormais 3h contre 3h50 courant 1993 après la mise en service du TGV Nord et 4h25 en 1985 suite aux premières liaisons commerciales directes après mise en service du TGV Sud-Est. En 1996 est mise en service la branche ouest du TGV Jonction, permettant l'interconnexion des réseaux Nord et Atlantique.

e) Eurostar et Thalys

Eurostar et Thalys assurent des dessertes internationales. Les services Eurostar (Paris-Londres) débutent courant 1994. Thalys a été mis en service commercial en 1996 avec une montée en puissance progressive du nombre de rames en circulation et des services offerts jusqu'en 1998. Les TGV empruntent la ligne nouvelle Nord-Europe jusqu'à Lille avant de poursuivre jusqu'à Londres dans le cas de l'Eurostar, jusqu'à Bruxelles, Amsterdam ou Cologne pour Thalys (en empruntant une ligne nouvelle à grande vitesse en Belgique jusqu'à Bruxelles, désormais à 1h25 de Paris).

f) Améliorations du réseau classique

En-dehors des projets de TGV des améliorations du réseau classique ont eu lieu, électrification de Paris - Clermont-Ferrand (25 minutes de gain pour une liaison initiale de 4h) par exemple.

g) Les grands projets en préparation

Dans le cadre du Schéma Directeur des Liaisons à Grande Vitesse (SNCF, 1992), de nouveaux projets TGV²⁷ sont prévus dans les années à venir. Le TGV Est (en cours de réalisation) consiste en une voie nouvelle entre Paris et Metz/Nancy ainsi qu'en l'aménagement de la ligne classique sur le reste du tracé jusqu'à Strasbourg. Strasbourg serait désormais à 2h20 de Paris au lieu de 3h50 et Metz-Nancy à 1h30 au lieu de 2h45 (RFF,

²⁷ Nous mentionnons ici les projets ayant un intérêt significatif pour les trafics voyageurs et intérieur France. Les projets de contournement fret Nîme-Montpellier et le projet Lyon-Turin ne sont pas mentionnés.

2003). Le TGV Aquitaine consiste en la réalisation d'une voie nouvelle de Tours jusqu'à Bordeaux et en l'aménagement de la ligne classique à 220km/h entre Bordeaux et la frontière espagnole. Dans le cadre d'une réalisation complète du projet, Bordeaux serait à 2h10 de Paris au lieu de 3h (RFF, 2003). Toutefois il est probable que ce projet soit phasé, le tronçon sud Bordeaux - Angoulême étant prioritaire. Le TGV Rhin-Rhône, projet dont la vocation est largement fret, consiste, dans sa version intégrale, en la réalisation d'une voie nouvelle à 3 branches, Dijon - Mulhouse, Dijon - raccordement à la LGV Paris-Sud-Est et Dijon-Lyon, les branches Est et Sud étant prioritaires. Le TGV Bretagne consiste en une voie nouvelle entre Le Mans et Rennes sur la portion Le Mans - Laval avec contournement de Laval. Brest et Quimper seraient alors à 3 heures de Paris (RFF, 2003). Par ailleurs un aménagement de la ligne Paris – Orléans – Limoges – Toulouse (la "POLT") est prévu : investissement dans du matériel pendulaire et adaptation correspondante de l'infrastructure ferroviaire. L'aménagement de la POLT permettrait un gain de temps de 20 minutes sur Paris – Limoges pour mettre Limoges à 2h30 de Paris (RFF, 2003).

2.2.2. La politique commerciale de la SNCF : vers le yield management

D'un prix du billet au kilomètre à une tarification désormais de plus en plus orientée vers le yield management, la politique commerciale de la SNCF a profondément évolué au cours des 20 dernières années (Sinsou, 1999).

a) La tarification SNCF des années 1980

La tarification "de base" de la SNCF repose sur un prix du billet fonction de la distance parcourue sur lequel peuvent intervenir des réductions commerciales, ainsi que sur l'existence d'un calendrier tricolore.

- **La tarification de base sur trains classiques**

Avant 1986, la SNCF pratiquait une tarification au kilomètre : le prix du voyageur était proportionnel à la distance. A partir de 1986, la SNCF a mis en place une dégressivité du prix kilométrique avec la distance ; le prix du kilomètre supplémentaire diminue avec la distance ; pour compenser cette baisse, le prix des premiers kilomètres augmente. Cette dégressivité n'a cessé de s'accroître au cours du temps, comme l'indiquent les Mémentos Statistiques de la SNCF (SNCF, [1]-annuel). Cette dégressivité permet à la SNCF d'être plus compétitive sur des liaisons longue distance où elle est fortement concurrencée par l'avion tout en augmentant ses prix dans des tranches moins soumises à la concurrence.

- **Les prix promotionnels**

Au-delà des réductions sociales (familles nombreuses, militaires, pensionnés de guerre) pour lesquelles la SNCF reçoit des compensations de l'Etat, la SNCF met en place des réductions commerciales (jeunes, seniors, jokers, modulo-pass, découvertes à 2, week-ends), qui permettent à la SNCF d'adapter les prix aux différentes catégories de clientèle et d'augmenter la fréquentation des trains circulant en heures creuses.

- **Le calendrier tricolore**

Le prix du billet plein tarif est inchangé quel que soit le jour ou l'heure de la semaine, mais les réductions commerciales sont réduites ou rendues impossibles aux jours de pointe. Ce calendrier tricolore constitue déjà une forme basique d'adaptation des prix aux capacités contributives de la clientèle et d'optimisation du remplissage des trains. Ce calendrier apparaît toutefois comme trop frustrant car les périodes calendaires s'étendent uniformément à toutes les lignes ferroviaires SNCF alors que la demande varie également en fonction des destinations, sens et classe (Sinsou, 1999). A l'occasion de la mise en service du TGV A à la fin des années 1980 et tout au long des années 1990, la SNCF n'a eu de cesse d'affiner sa politique commerciale.

b) La tarification TGV et ses évolutions : vers une politique de yield management

La SNCF a mis en place une politique d'optimisation des recettes par étapes progressives, expérimentant souvent ses innovations tarifaires sur des lignes TGV particulières (TGV Atlantique ou Nord) avant de les généraliser à l'ensemble du réseau.

Les améliorations de politique portent dans trois directions :

- optimisation des tarifs liaison par liaison en fonction du degré de concurrence sur cette liaison,
- optimisation des tarifs suivant les créneaux horaires,
- optimisation des tarifs en fonction des catégories de clientèle.

le tout en conservant une politique tarifaire lisible pour l'utilisateur.

1989-1990 : Mise en service du TGV A et individualisation des tarifs destination par destination et tranche horaire par tranche horaire

Lors de la mise en service des TGV Sud-Est en 1981-1983, la SNCF avait mis en place un système de réservation obligatoire. La mise en service des TGV Atlantique au début des années 1990 est l'occasion pour la SNCF d'expérimenter une politique de modulation des montants de réservation. Le prix du billet des TGV est égal à la somme : prix de l'ancien billet train classique + réservation (même montant que sur train classique) + un supplément variable suivant le niveau de TGV (SNCF, 1998). En jouant sur le montant du supplément, la SNCF peut désormais entièrement moduler les prix en fonction des zones de plus ou moins vives concurrences. Ainsi, il est intéressant de comparer les évolutions des tarifs pratiqués sur Nantes, Le Mans et Bordeaux après la mise en service du TGV A (SNCF, 1998). Après une première augmentation générale des prix sur ces liaisons, la SNCF a baissé les prix sur Bordeaux, augmenté ceux sur Nantes et laissé stables ceux du Mans. En effet, sur des liaisons telles que Paris-Nantes la clientèle est fortement captive, la SNCF peut augmenter ses prix. Sur des liaisons telles que Paris - Le Mans le train est fortement concurrencé par la voiture, sur Paris-Bordeaux le train est concurrencé par l'avion ; la SNCF doit baisser ses prix. La SNCF ne s'est ainsi pas privée de faire évoluer les prix de façon très différenciée sur les différentes liaisons du TGV A afin d'optimiser ses parts de marché et sa recette. La SNCF peut aussi optimiser le remplissage de ses trains et sa recette en jouant sur le coloriage des trains, favorisant ainsi les reports de clientèle basse contribution vers les trains peu remplis, ce qui libère de la place sur les trains demandés pour de la clientèle haute contribution à laquelle

la SNCF peut faire payer des prix élevés. Au 1^{er} septembre 1990, la SNCF étend au TGV Sud-Est les principes de réservation modulée appliqués sur le TGV Atlantique.

1993 à maintenant : vers le yield management

Désormais la politique de la SNCF va s'orienter dans deux directions : la simplification des tarifs et la mise en place progressive du yield management.

- **La simplification tarifaire**

Entre 1991 et 1998, la SNCF a progressivement réduit le nombre de niveaux de TGV pour plus de lisibilité. En 1998, seuls subsistaient un unique niveau de prix en 1^{ère} classe et deux niveaux en seconde (heure creuse et heure de pointe). Cette simplification tarifaire s'est accompagnée d'un développement des produits Joker (Sinsou, 1999).

- **La mise en place progressive du yield management**

Le système informatique de réservation Socrate mis en place par la SNCF en janvier 1993, a été l'outil de gestion qui a permis à la SNCF de mettre en place cette politique (même si la SNCF a mis plusieurs années pour mettre en place ces changements de politique commerciale). Le yield management a été mis en place de façon progressive : remplacement du calendrier tricolore par des contingentements de réductions commerciales pour chaque train (1993-1994) puis adaptation en permanence du nombre de places offertes en réduction au taux de remplissage du train, mise en place progressive de prix du marché sur certaines liaisons (à partir de 1995), amélioration du remplissage des trains par quota de distance (les trains sont "découpés" en origines-destinations et les billets correspondant à des trajets courts peuvent ne plus être délivrés s'ils sont susceptibles d'empêcher la délivrance de places longues distances plus lucratives. Aujourd'hui, la SNCF pratique les prix du marché sur l'ensemble des liaisons TGV.

c) Fréquences, cadencement et qualité de service

La qualité d'une desserte ne se résume pas au temps de parcours et au prix. La SNCF a aussi cherché à améliorer sa qualité de service : amélioration du confort des TGV, instauration de cadencements des TGV sur Lille (1998), Nantes (1999) et Lyon, rendant l'offre plus lisible (SNCF, [1]-vol.1998-1999).

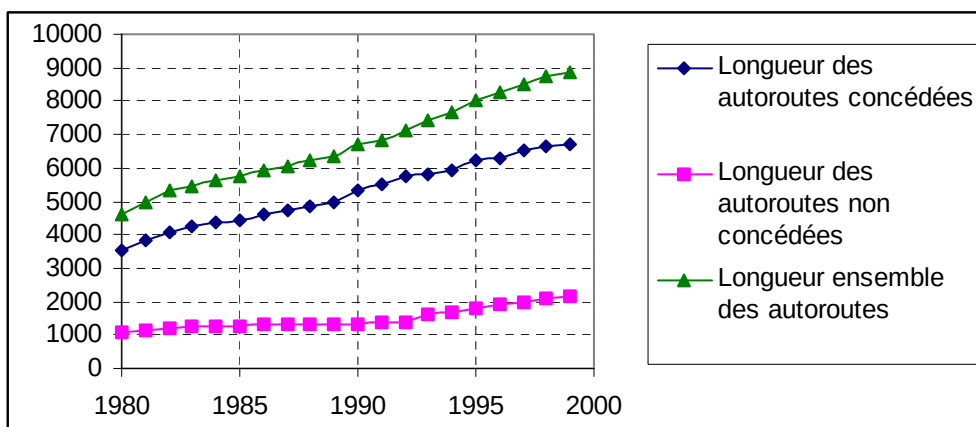
2.3. L'offre autoroutière : développement du réseau autoroutier et contre-choc pétrolier

Le paysage des déplacements à longue distance de voyageurs par la route a été marqué au cours des 20 dernières années par le développement du réseau autoroutier et par la chute des prix du carburant en 1986.

2.3.1. L'extension du réseau autoroutier

Le réseau autoroutier français a doublé entre 1979 et 1999 pour passer de 4500km à 9000km d'autoroutes (Graphique 120). Si en 1970, le réseau des autoroutes concédées françaises ne comptait que les autoroutes Paris-Marseille, Paris-Lille et Paris-Rouen, ce réseau s'est développé durant les années 1970 en privilégiant particulièrement les Alpes, le Sud-Est et l'Est de la France. En 1980, le réseau des autoroutes concédées françaises comprenait ainsi également une autoroute Côte d'Azur (Nice – Avignon – Montpellier – Toulouse avec embranchement sur Perpignan), des autoroutes alpines reliant Lyon, Grenoble, Annecy, Chambéry, les autoroutes Paris – Strasbourg, Dijon – Belfort. Dans l'Ouest de la France, le réseau comprenait Paris - Le Mans – Rennes, Angers – Nantes, Paris-Poitiers et une portion d'autoroute Bordeaux - Toulouse. C'est en 1982 que furent achevées Poitiers – Bordeaux et Bordeaux – Toulouse, achevant ainsi de couvrir l'essentiel des grands axes de circulation. Ce réseau de base s'est par la suite régulièrement étoffé (SETRA, 2000). A ces autoroutes concédées s'ajoutent un certain nombre d'autoroutes non concédées interurbaines desservant essentiellement la Bretagne et le Massif Central.

Graphique 120 : Longueur des différents réseaux autoroutiers



Source : d'après (SETRA, 2000)

Aujourd'hui, l'ensemble du territoire français est irrigué par le réseau autoroutier (Annexe 1 - Cartes 2 et 3). Le schéma directeur national prévoit quelques autoroutes complémentaires à vocation d'aménagement du territoire (autoroute Bordeaux-Clermont-Ferrand en cours de réalisation). Toutefois, de nombreuses autoroutes aujourd'hui prévues sont en partie destinées à décharger des autoroutes existantes et à servir d'itinéraires alternatifs pour éviter la congestion. Le report de trafic entre autoroutes est aujourd'hui un élément important dans l'appréciation des futures autoroutes.

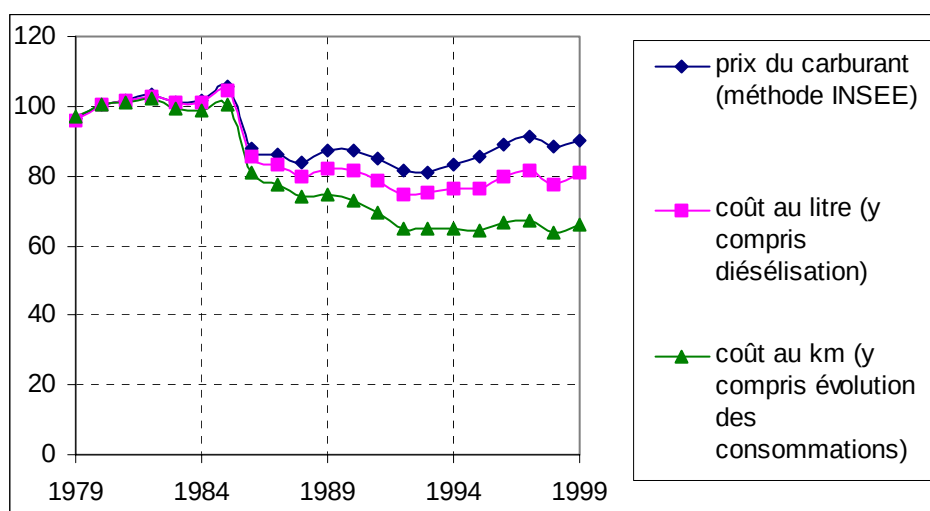
2.3.2. Un coût autoroutier en baisse sur la période 1980-2000

Les carburants et les péages constituent les coûts ressentis par les usagers pour leurs déplacements sur autoroute.

Les coûts des trajets par route ont fortement baissé sur la période [1979-1999]. Les coûts des carburants ont chuté de 20% en 1986. Par ailleurs la part des voitures diesel a augmenté au

sein du parc automobile. Le diesel étant meilleur marché que l'essence ordinaire, la diésélisation du parc a contribué à renforcer la chute du coût des carburants. Enfin les consommations des véhicules au kilomètre se sont réduites dans les années 1980, même si la hausse des cylindrées et du poids des véhicules tend à contrecarrer cette tendance depuis le début des années 1990. Cette triple évolution a conduit à une forte réduction des coûts de carburants pour les trajets sur route (Graphique 121).

Graphique 121 : Evolution des coûts du carburant



Source INRETS

Les péages sont quant à eux restés approximativement stables sur l'ensemble de la période. Globalement, les coûts d'usage de la route se sont ainsi réduits.

2.4. Comparaison des évolutions de l'offre entre les différents modes

Au-delà de la présentation sectorielle que nous venons de faire, il est intéressant de comparer les offres de transport respectives des différents modes de transport. Sur la période 1980-2000, le transport à longue distance a bénéficié d'une amélioration considérable de l'offre : investissements importants en termes d'infrastructures, réductions des temps de parcours, baisse de prix. L'amélioration de l'offre de transport a toutefois été variable suivant le mode de transport et le type de liaison considéré.

2.4.1. Accélération des vitesses ... mais dualité du territoire

De 1980 à 1999, le transport de voyageurs à longue distance a bénéficié d'une augmentation des vitesses : création du réseau TGV, doublement du réseau autoroutier. Le nombre de fréquences aériennes moyennes par liaison (pondéré par les trafics) a triplé entre 1986 et 1999. Toutefois cette amélioration des vitesses et des fréquences a davantage profité aux dessertes Paris-province qu'aux transversales, particulièrement en matière de transports en commun. La grande vitesse ferroviaire privilégie les relations entre métropoles, et plus particulièrement les radiales Paris-province.

2.4.2. Une baisse des prix ... remise en question

En 1999, le ferroviaire reste, en moyenne, largement meilleur marché que l'avion. Le produit moyen au voyageur.kilomètre de l'avion est 2,5 fois plus élevé que celui du fer. Ce ratio est toutefois fortement variable suivant la liaison. Le produit moyen par voyageur.km pour le train est plus faible pour les longues distances, zone de concurrence de l'aérien. Les compagnies aériennes, comme la SNCF, pratiquent toutefois le yield management. Il est donc parfaitement possible d'obtenir dans certains cas des billets d'avion meilleur marché que le train.

Pour une personne se déplaçant seule, l'autoroute coûte 2 fois plus cher que le train ; pour un taux d'occupation de deux personnes, ce qui correspond au taux d'occupation moyen d'un véhicule sur autoroute, l'autoroute a un coût analogue à celui du fer, et au-delà de 2 personnes par véhicule, l'autoroute est meilleur marché. Là encore, il s'agit de raisonnements en moyenne.

Le coût du transport de voyageur à longue distance s'est considérablement réduit sur la période 1980 à 1999. Cette réduction est toutefois due aux seuls secteurs aérien et routier (baisse de l'ordre de 25% des prix de l'air et de 30% pour l'autoroute). Le prix du voyageur.kilomètre en train est en revanche resté stable. L'écart de prix entre le transport ferroviaire et le prix des autres modes de transport s'est ainsi considérablement réduit sur la période 1980-1999.

La pratique du yield management s'est fortement développée au cours des années 1990, aussi bien au sein des compagnies aériennes qu'à la SNCF.

III. Conclusion

Ce deuxième chapitre nous a permis de mettre en évidence les principaux facteurs explicatifs de la mobilité à longue distance. La croissance économique apparaît comme un facteur socio-économique primordial. A l'échelle macroéconomique, les fluctuations des trafics sont fortement liées à celles de la croissance économique. A l'échelle des individus, il existe une corrélation très nette entre niveau de revenus et nombre de déplacements, avec un triplement de la mobilité entre premier et dernier quintile de revenus. Le niveau de richesse influence par ailleurs le choix modal à travers la valeur du temps des voyageurs. Bien sûr le niveau de richesse n'est pas le seul déterminant socio-économique : motorisation et âge influencent tant la génération de la mobilité que le partage modal. D'après les enquêtes transports, la non motorisation du ménage entraîne une baisse de 30% de la mobilité totale et favorise, fort logiquement, l'usage des transports collectifs au sein du choix modal. Age et effets de génération modifient aussi les comportements, dans des sens antagonistes. Les plus de 75 ans se démarquent du reste de la population avec une mobilité près de deux fois inférieure à la mobilité globale à revenu équivalent (le vieillissement de la population devrait de ce point de vue entraîner mécaniquement une baisse de la mobilité). Dans le même temps, le taux de mobilité des seniors tend à se rapprocher de celui des plus jeunes, au fil des générations. L'évolution des modes de vie contribue aussi à modifier les comportements, sans qu'il soit possible de quantifier ce facteur. En termes de hiérarchie des déterminants, la croissance économique apparaît néanmoins comme étant le principal déterminant au sein des facteurs socio-économiques.

L'offre de transport constitue un second facteur explicatif incontournable. L'offre comprend plusieurs dimensions : vitesse, prix, fréquence, qualité de service (ponctualité, fiabilité, confort). La réduction des temps de parcours constitue l'évolution de l'offre la plus facilement mesurable et l'impact des mises en service de TGV est largement documenté. L'importance du développement des infrastructures de transport à grande vitesse est avéré, tant en termes d'évolution du partage modal qu'en termes d'induction de trafic. Toutefois, il ne faut pas sous-estimer l'impact des prix, des fréquences et de la qualité de service. Ainsi, des baisses tarifaires et la mise en placement d'un cadencement sur certaines liaisons TGV coïncident avec des augmentations de trafic supérieures de plusieurs pour cents sur ces liaisons par rapport aux autres relations. De même pour l'aérien, des augmentations de trafic ont été observées sur des liaisons ayant bénéficié spécifiquement à la même période de baisses tarifaires et d'augmentations de fréquences.

Ce second chapitre nous a aussi permis de mettre en relief l'existence de marchés contrastés, avec une grande hétérogénéité spatiale du partage modal. La répartition modale nationale moyenne recouvre des disparités considérables d'une origine-destination à l'autre, selon les caractéristiques de l'offre de transport. L'impact de l'offre de transport sur le partage modal dépend par ailleurs de la nature des déplacements : voyage personnel ou professionnel, durée du voyage, besoin de disposer d'une voiture à destination. L'évolution de la répartition modale ne dépend pas seulement d'évolutions moyennes des facteurs explicatifs mais aussi d'effets de structure.

Au cours des 20 dernières années, l'offre de transport s'est considérablement développée : doublement du réseau autoroutier, création du réseau TGV, augmentation du nombre de fréquences dans le secteur aérien. La réduction des temps de parcours a toutefois affecté le territoire de façon inégale. Les réductions de temps de parcours liées aux mises en service de TGV ont ainsi surtout profité aux liaisons entre métropoles et aux liaisons radiales (même si depuis le milieu des années 1990 la SNCF a développé les TGV Jonction). Les rapports de force entre les différents modes de transport sont très variables d'une origine-destination à l'autre. Sur la période 1979-1999, le prix du transport à longue distance a chuté, du moins en ce qui concerne l'avion et la route. Cette baisse des prix est à relier en partie à la chute conjoncturelle du prix des carburants au milieu des années 1980. Au-delà des évolutions moyennes, les années 1990 ont été marquées par le développement du yield management. La diversification des tarifs au sein d'une même desserte est désormais la règle. Toutefois la politique tarifaire et les niveaux de prix pratiqués relèvent du secret commercial des compagnies aériennes et de la SNCF. L'hétérogénéité spatiale de l'évolution des vitesses et des prix constitue une dimension importante de l'évolution de l'offre.

Chapitre 3. Les méthodes de modélisation de la longue distance

Dans ce chapitre, nous présentons les différentes approches utilisées pour modéliser l'évolution des déplacements de voyageurs à longue distance. Nous présentons aussi bien les modèles économétriques calés sur séries temporelles que les modèles agrégés calés en coupe instantanée sur données opérateurs ou les modèles calés en coupe instantanée sur des données d'enquête. Cela nous permet de situer les modèles agrégés calés sur séries temporelles par rapport aux autres types de modélisations possibles, et de cerner leurs avantages et leurs inconvénients. Ces différentes méthodes de modélisation sont analysées sous l'angle de leur aptitude à répondre à nos objectifs. Nous cherchons à construire des modèles aptes à reproduire l'évolution de long terme du trafic national total et de son partage modal. Certains modèles sont construits dans l'optique de produire des résultats à une échelle plus fine. Toutefois, nous les évaluons à l'aune de leur aptitude à répondre à la problématique de simulation de long terme de trafics nationaux.

Dans un premier temps (section I) nous présentons les différentes méthodes de modélisation envisageables. Pour chaque type de méthode, nous détaillons les variantes possibles d'architecture ou de spécification, les propriétés liées à ces structures et leurs variantes, les variables explicatives généralement utilisées. Nous explicitons aussi les méthodes de calage employées et les éventuels risques de biais dans l'estimation des paramètres. Nous analysons systématiquement ces différents types de formulations à travers le triple regard pertinence, cohérence et mesurabilité. La section 1 est illustrée par des références bibliographiques de cas concrets français ou étrangers. Dans un deuxième temps (section II), nous synthétisons les modèles déjà établis sur le cas français et les élasticités qu'ils produisent, avant de conclure (section III).

I. Les méthodes de modélisation

En matière de modélisation des trafics, il existe plusieurs grandes familles de modèles cataloguables en fonction des objectifs recherchés, du type de données utilisées, de la méthode de modélisation. On distingue ainsi modèles monomodaux et modèles multimodaux, modèles calés sur données chronologiques, en coupe instantanée ou données de pseudo-panel, modèles agrégés et modèles désagrégés, modèles "séquentiels" (dont le classique modèle à 4 étapes génération – distribution – partage modal – affectation) et modèles de demande directe, (Bonnel, 2004 ; Ortuzar, 1994). Si des exemples de ces différents types de modélisation peuvent être trouvés aussi bien en urbain qu'en interurbain, la modélisation en interurbain présente des spécificités. Le modèle zonal à quatre étapes si classique en milieu urbain est ainsi moins fréquemment utilisé. Il laisse souvent place à des modèles de demande directe simulant l'évolution de volumes totaux de trafic à l'échelle d'une région ou d'un pays, ainsi qu'à des modélisations génération – partage modal sur des axes dans le cas d'études de trafics relatives à des projets spécifiques. Dans la présente section, nous présentons les principales méthodes de modélisation qui s'appuient soit sur données opérateurs soit sur données d'enquêtes de types Enquête Transports et Communications, et qui permettent de modéliser

l'évolution des trafics modaux à un niveau national. Nous illustrons ces différentes méthodes par des cas concrets en France et à l'étranger. Notre objectif est d'évaluer l'opérationnalité de ces modèles à travers le triptyque pertinence – cohérence – mesurabilité (Bonnafous, 1989). L'opérationnalité d'un modèle est en effet soumise à trois conditions nécessaires et suffisantes : la pertinence (le modèle doit être conforme à ce qu'on croit être la réalité des choses), la cohérence (le modèle ne doit pas comporter de contradictions tant d'un point de vue interne que par rapport à ses objectifs) et la mesurabilité (il faut être capable de mesurer les variables avec des échantillons accessibles suffisamment significatifs et de paramétrer les coefficients de calage du modèle avec un minimum de fiabilité statistique), ces trois exigences étant malheureusement souvent contradictoires (Bonnafous, 1989). Notre objectif est d'évaluer l'opérationnalité des modèles par rapport à leur capacité à modéliser des trafics à l'échelle *nationale*, même si une segmentation à une échelle plus fine peut intervenir en étape intermédiaire.

La nature de la modélisation mise en place dépend étroitement des données à disposition. Nous disposons de plusieurs types de données : des flux opérateurs (essentiellement des flux nationaux mais aussi quelques flux spatialisés) et des données d'enquêtes. Notre présentation reprend cette distinction. Dans une première section nous présentons les données s'appuyant sur des données de flux. Nous présentons aussi bien les modèles de demande directe que les modèles de partage modal, les modèles calés sur séries temporelles comme les modèles calés sur des données en coupe instantanée. Dans une deuxième section nous présentons les modèles calés sur données d'enquêtes. Les modèles calés sur données d'enquêtes sont en grande partie de la même forme que les modèles calés sur des flux, toutefois la segmentation et le calage apportent des spécificités. Une troisième et dernière section est consacrée au modèle MATISSE. Ce modèle constitue en effet un cas original parmi les modélisations existantes. En section 4 nous effectuons alors un bilan des modélisations existantes.

1. Les modèles agrégés calés sur données opérateurs

Nous consacrons un premier volet de cette section 1 aux séries chronologiques qui constituent aujourd'hui les modélisations les plus usuelles pour représenter la progression des volumes nationaux totaux des différents modes. Dans un deuxième temps nous présentons les modèles de génération – partage modal. Ces modèles s'appliquent à différentes échelles : calages en séries chronologiques globales, calages sur données spatialisées en coupe instantanée.

1.1. Les modèles de demande directe calés sur séries chronologiques

Les modèles de demande directe calés sur séries chronologiques sont très utilisés pour modéliser l'évolution du volume de trafic d'un mode donné à l'échelle d'un pays (Madre, Lambert, 1989 ; Blain, NGuyen, 1994a, b ; Sauvart, 2002a) pour la France, (Shilton et alii, 2000) pour le trafic ferroviaire en Grande Bretagne, (Fitzroy, Smith, 1998) pour une étude comparative des évolutions de trafics ferroviaires dans différents pays de l'Union Européenne, (Koshal et alii, 1996) pour les USA, (Coto Millan et alii, 1998) pour l'Espagne, (US Department of Transport – Federal Highway Administration, 1999) et (Fowkes, Nash, 1991) pour des ouvrages plus généraux. Dans un premier temps, nous présentons les variantes de

formulation (1.1.1.) et les variables explicatives utilisées (1.1.2.) avant d'analyser l'opérationnalité des modèles (1.1.3.).

1.1.1. Les variantes de formulation

Les modèles de demande directe consistent en une simple équation reliant le trafic du mode considéré à un certain nombre de variables explicatives selon une formulation du type :

$$T = \prod V_i^{a_i} \quad (1),$$

où T est le trafic du mode considéré, les V_i sont les variables explicatives, et les a_i les paramètres du modèle. Ces variables explicatives sont généralement le PIB, les caractéristiques d'offre (prix, vitesse, fréquence) du mode considéré et les caractéristiques d'offre des modes concurrents. Chaque coefficient a_i correspond à l'élasticité du trafic à la variable V_i . Le modèle (1) suppose que l'élasticité du trafic à chaque variable explicative est constante.

Ce modèle de base peut toutefois se présenter sous différentes variantes : modèle écrit sous la forme présentée ci-dessus avec des variables explicatives en niveau ou modèle écrit en variations, introduction de décalages temporels par le biais de formes autorégressives ou de variables explicatives à retards échelonnés.

a) Formulations en niveau ou formulations en taux de variation

Certains modèles (Blain, NGuyen, 1994a, b ; Koshal et alii, 1996) se présentent sous la forme en niveau ci-dessus (formulation (1)), où le niveau de trafic est relié aux niveaux des variables explicatives. D'autres études calibrent le modèle en variations, en cherchant à modéliser non pas le niveau de trafic mais le taux de croissance du trafic. Certains modèles s'écrivent ainsi de la manière suivante (Gabella-Latreille, 1997 ; Durand, 2001) :

$$\frac{dT}{T} = \sum a_i \frac{dV_i}{V_i} + c \quad (2)$$

où dT/T et les dV_i/V_i sont les taux de croissance du trafic d'une part et des variables explicatives d'autre part. Les a_i sont les coefficients relatifs aux variables explicatives V_i et c est la constante.

Lorsque la constante n'est pas nulle, ce type de spécification permet de modéliser des élasticités variables. Dans la modélisation de l'évolution des trafics de marchandises à longue distance, (Gabella-Latreille, 1997) et (Durand, 2001) ont été amenées à tester et à rejeter l'hypothèse de nullité de la constante. La constante s'est révélée négative : une stagnation du PIB (variable explicative principale) entraîne une baisse du volume de biens échangés et non une stagnation, comme l'imposerait le modèle en niveau (1). Cette constante négative peut s'interpréter comme les gains de productivité réalisés par le secteur toutes choses égales par ailleurs. Pour le trafic voyageurs la présence d'une telle constante non nulle se justifie moins mais peut être envisagée.

Même lorsque la constante du modèle en taux de variation est nulle, les formulations en niveaux et en variations ne sont pas des formulations équivalentes. L'élasticité du modèle en niveau est en effet une élasticité de long terme alors que dans le modèle en variations il s'agit d'une élasticité de court terme. Dans le modèle (1), la trajectoire du trafic est déterminée par les grandes tendances d'évolution des variables. Dans le modèle (2), les aléas, les écarts au

modèle s'accumulent, s'intègrent pour perturber la suite des évolutions. Les modèles (1) et (2) constituent des modèles théoriques différents (Rys, Vaneecloo, 1998).

Les modèles en niveau fournissent généralement d'excellents R^2 (souvent à plus de 0,95 voire 0,98) mais ces bons R^2 sont souvent trompeurs, leur niveau élevé étant en grande partie dû à l'effet sous-jacent du trend économique général, indépendamment d'un éventuel lien de causalité entre les variables (Rys, Vaneecloo, 1998). De fait, il existe un risque de régressions "fallacieuses" (Bourbonnais, 2000 ; Greene, 1994)²⁸. En éliminant le trend temporel, les modèles en variations évitent l'écueil des relations fallacieuses. La contrepartie en est la mauvaise qualité de l'ajustement : les R^2 sont bien souvent médiocres, de l'ordre de 0,2 à 0,5 tout au plus.

b) Introduction de décalages dans le modèle

Il existe souvent un temps d'adaptation dans les comportements de la population. Ces temps d'adaptation peuvent être pris en compte par l'introduction de retards échelonnés au sein des variables explicatives (processus DL "Distributed Lags") ou par des formes autorégressives (processus AR) ou par des formes combinées ARDL. On peut considérer enfin des modèles à erreurs autorégressives qui sont des formes ARDL avec restriction sur les coefficients (Greene, 1994). On distingue ainsi :

- les modèles autorégressifs

$$\ln(Y_t) = a \ln(Y_{t-1}) + b \ln(X_{1t}) + c \ln(X_{2t}) + \dots + \text{cst} \quad (3)$$

Y_t est la valeur du trafic au trimestre (ou à l'année) t , X_1 et X_2 sont des variables explicatives. Le coefficient b est l'élasticité de court terme de Y par rapport à X_1 , et $b/(1-a)$ l'élasticité de long terme de Y par rapport à X_1 . La formulation est généralisable à p retards.

- les modèles à retards échelonnés sur les variables explicatives

$$\ln(Y_t) = a_0 \ln(X_{1,t}) + a_1 \ln(X_{1,t-1}) + a_2 \ln(X_{1,t-2}) + \dots + a_p \ln(X_{1,t-p}) + b_0 \ln(X_{2,t}) + b_1 \ln(X_{2,t-1}) + b_2 \ln(X_{2,t-2}) + \dots + b_q \ln(X_{2,t-q}) + \dots + \text{cst} \quad (4)$$

Le coefficient a_0 est l'élasticité de court terme de Y par rapport à X_1 et $\sum_i a_i$ l'élasticité de long terme de Y par rapport à X_1 . Dans la pratique on impose aux coefficients une contrainte sur la forme fonctionnelle des coefficients (polynôme d'Almon, ou décroissance exponentielle), (Greene, 1994), afin de conserver un nombre suffisant de degrés de liberté.

- les modèles ARDL (combinaison d'une variable dépendante retardée et de variables explicatives retardées)

$$\ln(y_t) = \mu + \sum_i \gamma_i \ln(y_{t-i}) + \sum_{k,j} \beta_{k,j} \ln(x_{k,t-j}) + \delta w_t + \varepsilon_t \quad (5)$$

- les modèles à erreurs autorégressives

$$\ln(y_t) = \mu + \sum_k \beta_k \ln(x_{k,t}) + e_t \quad \text{avec } e_t = \sum_{i=1}^p \rho_i e_{t-i} \quad (6)$$

²⁸ Un "mauvais" Durbin - Watson peut être le signe d'une régression fallacieuse. En matière de modélisation sur séries temporelles avec variables en niveau, le DW est un indicateur crucial de la qualité statistique du modèle.

Dans le modèle autorégressif, le quotient de l'élasticité de long terme sur l'élasticité de court terme est le même pour toutes les variables explicatives (et vaut $1/(1-a)$). Le modèle à retards échelonnés offre une plus grande liberté dans la mesure de l'étalement dans le temps des conséquences d'un choc sur une variable explicative (le quotient des élasticités de long terme et de court terme peut varier d'une variable à l'autre). Mais il est estimé avec une contrainte assez arbitraire sur la forme fonctionnelle des coefficients relatifs à une variable explicative ($a_0, a_1, a_2, \dots$ pour X_1 par exemple), ce qui rend l'élasticité de court terme a_0 moins fiable dans ce cas ; à l'inverse, l'élasticité de long terme $\sum a_i$ semble plus fiable car la somme des coefficients a_i dépend faiblement de la forme fonctionnelle choisie. De ce fait, quand les deux types de modèles conduisent à des résultats différents pour les élasticités de court et de long terme, il est souhaitable en théorie de retenir de préférence l'élasticité de court terme fournie par le modèle autorégressif, et l'élasticité de long terme donnée par le modèle à retards échelonnés (Bergel, Mignot, 1992). Toutefois, les estimations des modèles autorégressifs et à retards échelonnés ne sont valides qu'à condition que le nombre de points observés soit suffisant, afin de laisser un nombre de degrés de liberté correct. En pratique, les modèles à retards échelonnés sont gourmands en matière de points d'observations et peuvent difficilement être appliqués sur des séries chronologiques annuelles. Les modèles autorégressifs d'ordre 1 sont en revanche fréquemment utilisés (Bourbonnais, 2000 ; Koshal et alii, 1996).

c) Les modèles à correction d'erreur

Les modèles à correction d'erreur visent à rendre compte à la fois des dynamiques de long et de court terme. En économie, les variables temporelles sont presque toujours non stationnaires, ce qui peut conduire à des régressions fallacieuses, le pourcentage élevé de variance expliquée et la forte significativité des coefficients provenant alors du trend temporel sous-jacent et non de réelles relations de causalité entre les variables. Pour s'affranchir de cette difficulté, une méthode ancienne (méthode dérivée des analyses de séries univariées de Box et Jenkins) consiste à différencier les séries afin de les rendre stationnaires, puis à évaluer les paramètres de la régression (Bresson, Pirotte, 1995). Or *"l'opération de différenciation ne prend en compte que les changements intervenus d'une période à une autre, les relations entre les niveaux des variables n'étant plus considérées. Ainsi, l'application des méthodes de filtrage pour rendre les séries stationnaires masque les propriétés de long terme des séries temporelles. (...) Si des relations stables (telles que les trends communs) entre les variables interviennent dans le long terme, on parle alors de relation cointégrée. Les modèles proposés jusqu'alors sont incapables d'en rendre compte et la détection de liaisons importantes entre composantes tendancielle de plusieurs séries peut améliorer sensiblement la qualité des exercices de projection."* (Bresson, Pirotte, 1995). La théorie de la cointégration vise à réconcilier les horizons de court terme et de long terme des séries chronologiques. Les relations de long terme peuvent s'analyser par une équation en niveau mais celle-ci n'aura de validité que si les variables à expliquer et explicatives sont cointégrées. Les résidus de la régression doivent être stationnaires. Les dynamiques de long et de court terme peuvent s'analyser conjointement par des modèles à correction d'erreurs qui combinent dynamique de court terme et force de rappel vers la relation de long terme (Bourbonnais, 2000 ; Greene, 1994). L'estimation d'un modèle à correction d'erreur est toutefois gourmande en nombre de points d'observations, compte tenu du nombre de coefficients à estimer, et n'est pas envisageable sur des séries annuelles sur 20 ans (Salanié, 1999).

d) Exemples de formulations

Dans la section II du présent chapitre, nous citons des formulations appliquées au contexte français (Madre, Lambert, 1989 ; Madre, Pirotte, 1992 ; Blain, NGuyen, 1994a, b ; Sauvart, 2002a). Outre ces équations décrites ultérieurement, nous pouvons citer des références étrangères, par exemple l'article de (Koshal et alii, 1996) modélisant l'évolution des trafics en voiture particulière et en transports en commun aux Etats-Unis à l'aide d'un modèle autorégressif d'ordre 1, l'étude de (Fitzroy, Smith, 1998) sur les trafics ferroviaires de différents pays européens et le travail de (Coto Millan et alii, 1998) modélisant les trafics ferroviaires espagnols sur données trimestrielles.

- **"Demand for Public and Private Passenger Transport in the United States" (Koshal et alii, 1996)**

Koshal et alii modélisent l'évolution du transport privé (voiture) et du transport public (trafics air, bus et rail agrégés) à l'aide d'un modèle autorégressif d'ordre 1. Koshal et alii supposent en effet qu'il existe un temps d'ajustement de la demande réelle par rapport à la demande théorique.

Le niveau de trafic par personne désiré sur le mode m , noté Q_m^* , est supposé égal à :

$$Q_{mt}^* = a P_{mt}^b P_{ot}^c Y_t^d e^u \quad (7)$$

avec P_{mt} : prix du mode considéré à la date t
 P_{ot} : prix du mode concurrent à la date t
 Y_t : revenu par tête à la date t
 e^u : terme d'erreur

Comme le niveau de demande théorique n'est pas atteint instantanément, il existe une relation entre demande théorique et demande effective :

$$\frac{Q_{m,t}}{Q_{m,t-1}} = \left(\frac{Q_{m,t}^*}{Q_{m,t-1}} \right)^\lambda \quad (8)$$

avec λ coefficient d'ajustement de la demande.

La demande effectivement réalisée peut être modélisée par :

$$\ln Q_{m,t} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln P_{m,t} + \alpha_2 \ln P_{o,t} + \alpha_3 \ln Y_t + \alpha_4 \ln Q_{m,t-1} + V$$

Koshal et alii calent deux équations de ce type, l'une pour le transport public, l'autre pour le transport privé. Koshal et alii se sont assurés qu'il n'y avait pas d'autocorrélation des résidus. Les coefficients sont tous significatifs, sauf l'élasticité du trafic routier par rapport au prix du transport public. Les valeurs des coefficients sont données dans le Tableau 27.

Tableau 27 : Elasticités des trafics transport public et transport privé aux USA

	Elasticité de court terme		Elasticité de long terme	
	Transport public	Transport privé	Transport public	Transport privé
Prix transport public	-0,2218	0,0734	-1,5318	0,1743
Prix transport privé	0,1843	-0,1130	1,2728	-0,2390
Revenu par tête	0,5257	0,4729	3,6305	1,1182

Source : (Koshal et alii, 1996)

- **"Passenger Rail Demand in 14 Western European Countries: a Comparative Time Series Study", (Fitroy, Smith, 1998)**

(Fitzroy, Smith, 1998) proposent une formulation reliant le trafic ferroviaire dans chacun des 14 pays d'Europe de l'Ouest à un certain nombre de variables explicatives : le PIB, le prix du train, le prix de l'essence (prix du mode concurrent), un indicateur de fréquence (en fait le nombre de trains.kilomètres par km de voie), un indicateur d'accessibilité (nombre de km de voie par km² de territoire). Ce modèle est calé sur les données chronologiques annuelles de 24 années consécutives 1968-1991.

Dans un premier temps, les auteurs testent une relation entre les variables en niveau :

$$\ln T_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln Y_t + \alpha_2 \ln P_t^O + \alpha_3 \ln F_t + \alpha_4 \ln R_t + \alpha_5 \ln P_t^A + u_t \quad (9)$$

avec :

T_t = trafic passager en voyageur.km / habitant du pays,

Y_t = PIB par habitant,

P_t^O = prix du mode ferroviaire,

F_t = indicateur de fréquence (nombre de trains.km par km de voie),

R_t = densité du réseau (nombre de kilomètres de rail par km² de territoire),

P_t^A = prix du carburant,

u_t = terme d'erreur.

Les coefficients de l'équation s'interprètent comme les élasticités de long terme. Toutefois, n'ayant pas pu rejeter l'hypothèse de non stationnarité des résidus (sauf dans le cas de l'Italie), les auteurs signalent que les valeurs des coefficients de la relation en niveau doivent être considérées avec une certaine prudence (risque de régression fallacieuse). Les auteurs étudient alors les dynamiques de court terme en calibrant une relation en différences premières. Le test d'autocorrélation des résidus montre qu'il n'y a pas d'autocorrélation des résidus, sauf dans le cas de l'Allemagne. Les coefficients peuvent être acceptés comme fiables sur un plan économétrique. Les élasticités obtenues, tant de court que de long terme, fluctuent fortement d'un pays à un autre, et sont dans un certain nombre de cas nulles ou contraires à la logique. Ainsi, pour la France, l'élasticité au prix du fer est nulle. On peut toutefois s'interroger sur la nature des variables prises en compte. Ainsi, on pourrait s'attendre à ce qu'intervienne une variable de vitesse dans l'équation, ce qui n'est pas le cas, faute sans doute de données adéquates. La variable densité de réseau se révèle par ailleurs généralement non significative et de signe a priori contraire à la logique (c'est-à-dire négatif). En effet, ainsi que le soulignent les auteurs de l'article, de nombreux pays ont réduit les dessertes ferroviaires au cours des dernières années. Comme il s'agissait probablement de lignes peu fréquentées, cela n'est pas nécessairement dommageable sur le plan des trafics.

- **"Railway intercity passenger transport in Spain : a cointegration analysis" (Coto-Millan et alii, 1998)**

Coto-Millan et alii modélisent l'évolution du trafic ferroviaire espagnol sur des données trimestrielles. Ils établissent une relation d'équilibre de long terme avant d'estimer un modèle à correction d'erreur. La vitesse ferroviaire n'intervient pas dans les équations. Le trafic ferroviaire global est modélisé en fonction du PIB (élasticité de long terme négative en raison de la concurrence routière), du prix du fer (élasticité de long terme de l'ordre de -0,9), du prix

de l'essence (élasticité de long terme comprise entre 0,25 et 0,45 selon les estimations). L'équation de long terme et le modèle à correction d'erreur se présentent de la façon suivante.

Equation de long terme :

$$\ln \text{VKF}_t = 1,32 - 0,95 \ln \text{PF}_t + 0,46 \ln \text{PGAS}_t - 0,88 \ln \text{PIB}_t - 0,14 \text{DS89.II}_t$$

(3,66) (-3,65) (3,83) (-2,39) (-7,01)

R^2 ajusté = 0,72
 DW = 1,90
 DF = -4,68

Modèle à correction d'erreur :

$$\begin{aligned} \text{DlnVKF}_t = & -0,96 (\ln \text{VKF}_{t-1} - 2,02 + 0,76 \ln \text{PF}_{t-1} - 0,41 \ln \text{PGAS}_{t-1} + 0,10 \text{DS89.II}_{t-1} \\ & (-7,38) \quad (-0,53) \quad (2,37) \quad (-3,72) \quad (5,55) \\ & + 0,77 \ln \text{PIB}_{t-1}) - 0,68 \text{DlnPF}_t - 0,10 \text{D81.I}_t \\ & (3,24) \quad (-1,8) \quad (-2,25) \end{aligned}$$

Les variables utilisées dans les deux équations sont :

VKF : trafic ferroviaire en voyageurs.kilomètres,

PF : prix du fer,

PGAS : prix de l'essence,

PIB : PIB,

DS89.II : variable graduelle destinée à prendre en compte une rupture comptable dans les séries de trafic,

D81.I et D89.II : variables binaires destinées à prendre en compte des grèves

D : opérateur différence.

Coto-Millan et alii ont pu aboutir à l'estimation complète du modèle à correction d'erreur parce qu'ils disposaient de séries trimestrielles longues avec de nombreux points d'observation. Sur des séries courtes, ce type de modélisation n'est guère envisageable.

e) Variantes des modèles de demande directe

Jusqu'à présent nous avons vu des modèles de demande directe calés sur des séries chronologiques globales à l'échelle d'un pays. Dans le cas où on dispose de séries chronologiques à l'échelle de régions, il est possible d'envisager des modèles calés sur des données de panel (Madre, Pirotte, 1992) (cf section II du présent chapitre).

Enfin certains modèles sont calés sur les variations entre deux années données pour toute une série de liaisons (Bel, 1995 ; Bel, 1996). Ce dernier type d'études présente néanmoins des inconvénients. Les prix et la croissance économique varient généralement de façon homogène sur toutes les origines-destinations d'un même pays la même année, ce qui est fâcheux pour le calage. De fait, dans l'étude de Bel, les prix ne figurent pas dans l'équation faute de variance.

1.1.2. Les variables utilisées

Jusqu'à présent nous nous sommes intéressés aux formulations possibles des modèles calés sur séries temporelles, mais non aux variables utilisées par lesdits modèles. Or le choix de ces variables constitue un problème clé des modèles calés sur séries temporelles. Nous ne disposons généralement que de peu de points pour le calage. Les variables prises en compte sont donc forcément peu nombreuses et par ailleurs fortement agrégées. Les variables généralement retenues sont : le Produit Intérieur Brut ou la Consommation Finale des Ménages, le produit moyen du mode modélisé et des modes concurrents, et parfois (mais pas toujours) des indicateurs de vitesses moyennes, de volumes de trains.kilomètres ou de longueurs de réseau. Des indicatrices temporelles sont parfois intégrées dans les modèles afin de prendre en compte des phénomènes de rupture de pente (Blain, NGuyen, 1994a, b ; Coto Millan, 1998). Certains modèles intègrent le parc automobile parmi les facteurs explicatifs (Madre, Lambert, 1989 ; Madre, Pirotte, 1992) ; dans ces deux études le parc automobile est projeté à l'aide d'un modèle démographique. Enfin, certains modèles intègrent une variable prenant en compte l'évolution de la *structure* démographique de la population ((Shilton et alii, 2000) ou, en milieu urbain, (Boulhabal, Madre, 2000 ; Armoogum, Madre, Krakutovski, 2003)). Ainsi (Shilton et alii, 2000) suggèrent de bâtir dans un premier temps un modèle évaluant le niveau de mobilité moyen par fer des individus selon des critères socio-démographiques et/ou zonaux (ce modèle étant calé sur des données d'enquête). Ils calculent la matrice initiale de volume de population par segment puis évaluent la déformation de cette matrice dans le temps. En supposant le niveau de mobilité par segment de population constant ils en déduisent un indicateur global d'évolution de la mobilité moyenne en train due à la seule déformation de la structure socio-démographique et de localisation géographique de la population. Cet indicateur, noté g_t , est introduit de façon multiplicative dans le modèle. Il est à noter que Shilton et alii n'appliquent pas de puissance à cet indicateur. En intégrant g_t sans puissance relative à cette variable ils font implicitement l'hypothèse que les différences de mobilité liées aux différences socio-démographiques ou de localisations géographiques restent constantes dans le temps, ce qui peut être contestable. Pour lever cette difficulté (Boulhabal, Madre, 2000 ; Armoogum, Madre, Krakutovski, 2003) intègrent cet effet en pondérant leur indicateur de structure par une puissance au même titre que les autres variables de l'équation de demande directe, ce qui permet de prendre en compte des effets de contraction / renforcement des disparités intergroupes : ils constatent que l'effet structure démographique s'atténue avec le temps.

1.1.3. Pertinence, cohérence et mesurabilité des modèles de demande directe

Les modèles de demande directe présentent un certain nombre d'avantages. Ces modèles sont calés sur des séries chronologiques, ce qui est a priori un gage de fiabilité par rapport à des modèles calés sur de la variance en coupe instantanée. Toutefois, ces modèles ne sont pas exempts de critiques.

- **En termes de pertinence**

La forme des modèles de demande directe est bien adaptée pour modéliser l'évolution d'un marché global. En revanche, dans le cas d'un système de transport où règne une forte concurrence entre les modes, il existe une logique de génération – partage modal : la demande de transport croît corrélativement à la croissance économique et à l'amélioration de la qualité

du réseau, avant de se répartir entre les différents modes suivant leurs niveaux de performance. Or la précédente démarche ne permet pas d'appréhender ce phénomène. Compte tenu du phénomène sous-jacent génération – partage modal, il est probable que les élasticités ne sont pas constantes, du moins pas dans le cas de modes fortement soumis à la concurrence d'autres modes. Dans le cas du train, qui est progressivement concurrencé par l'avion, il peut même y avoir inversion du signe de l'élasticité au PIB (Figure 3). Initialement, le train est peu concurrencé par l'avion : plus le PIB augmente, plus le trafic total et donc le trafic train augmente ; au fur et à mesure que le PIB augmente, la valeur du temps des voyageurs augmente, les individus basculent sur l'avion ; il peut arriver un stade où le transfert de clients du train vers l'avion l'emporte sur la croissance globale du marché ; l'élasticité au PIB devient négative. Pour l'avion, mode qui "l'emporte" sur le train, l'élasticité a le mérite de rester toujours du même signe, même s'il existe un risque de rupture de pente (Figure 4). Utiliser un modèle de demande directe pour modéliser des modes fortement soumis à la concurrence est ainsi dangereux. Toutefois tout dépend du contexte. Si un mode est largement majoritaire par rapport aux autres, les élasticités relatives à ce mode seront peu sensibles à la concurrence (Figure 2). Une équation de demande directe peut être éventuellement approximativement adaptée.

Figure 2 : Croissance du trafic d'un mode sans concurrence

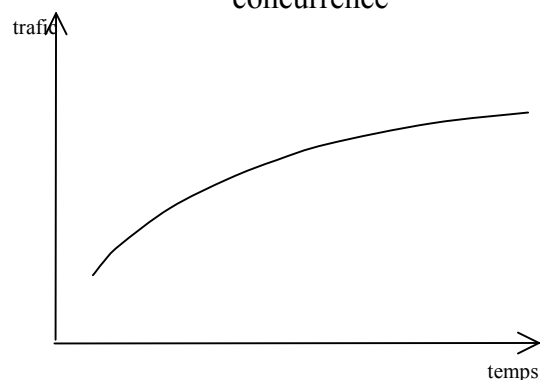


Figure 3 : Croissance du trafic d'un mode "concurrencé"

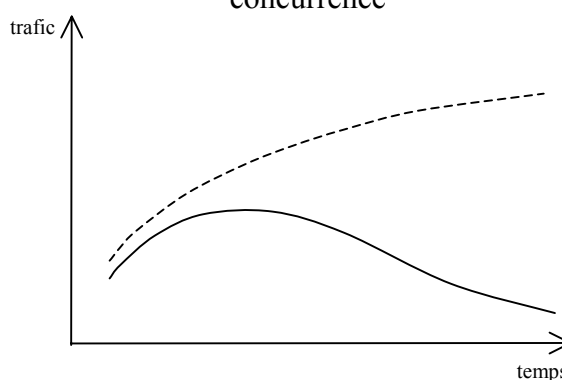
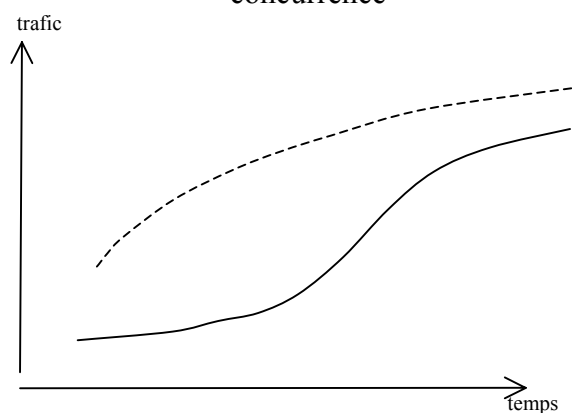


Figure 4 : Croissance du trafic du mode "qui concurrence"



Dans le cas de la modélisation d'un marché global tous modes confondus, il se peut que les élasticités ne soient pas tout-à-fait constantes non plus. En effet, le marché global peut être la superposition de plusieurs marchés aux élasticités différentes (marché des motifs professionnels et marché des motifs personnels, marchés de la moyenne et de la très longue distance) : au fur et à mesure que la part des marchés à fortes élasticités augmente, l'élasticité du marché total augmente. Inversement, il peut se produire des phénomènes de saturation : pour un marché donné, l'élasticité peut décroître. Il peut aussi se produire des effets doubles offre de transport / PIB : au fur et à mesure que l'offre s'améliore, l'élasticité au PIB est susceptible d'augmenter. Prendre en compte ce type de phénomène dans la formulation n'est pas toujours aisé, compte tenu du nombre limité de points d'observation. Ceci étant, et contrairement au cas d'une tentative de modélisation d'un mode soumis à une forte concurrence, les élasticités ont le mérite de ne pas changer de signe.

Une autre limite des modèles de demande directe calés sur séries temporelles réside dans le nombre nécessairement très limité des facteurs explicatifs. Le nombre de points à disposition pour le calage est en effet généralement assez limité : une vingtaine d'années, ce qui limite considérablement le nombre de variables qu'il est possible de prendre en compte. Lorsque les données à disposition sont des données trimestrielles, il est possible de modéliser des dynamiques temporelles de façon plus fine. Il est possible d'introduire plus de variables dans la modélisation. En contrepartie, la complexité du modèle croît en raison des phénomènes de saisonnalité. Dans le cas de données annuelles, il est délicat de prendre en compte des phénomènes de retards, sauf éventuellement la prise en compte d'un unique retard, soit sur la variable à expliquer, soit sur une des variables explicatives. Quant aux facteurs explicatifs, ils se limitent forcément à quatre ou cinq, ce qui est peu.

Par ailleurs, les variables explicatives des modèles de demande directe sont nécessairement très agrégées. Or, une même variation d'un indicateur de vitesse moyenne ou de produit moyen peut correspondre à des états différents de variation de la structure tarifaire ou de la structure des vitesses, donc à des impacts différents sur les trafics. Il est souhaitable de prendre en compte dans la modélisation à la fois le niveau moyen de l'indicateur et la structure de cet indicateur. L'introduction de cet indicateur de structure est néanmoins problématique. D'une part se pose la question de la méthode de modélisation de l'indicateur et de son opérationnalité. D'autre part il ne faut pas trop multiplier les coefficients supplémentaires à calibrer pour une question de nombre de degrés de libertés suffisants. Un cas intéressant est celui où une variable varie de façon homogène sur l'ensemble des liaisons et des segments de marché (cas de la chute du prix de la route par opposition aux variations de vitesse ferroviaire). Dans ce cas le problème de structure ne se pose plus.

Les modèles de demande directe semblent ainsi assez bien adaptés pour modéliser des modes de transport :

- suffisamment "autonomes" (suffisamment majoritaires ou suffisamment peu sensibles à la concurrence des autres modes pour que les élasticités de la formulation de demande directe puissent être considérées comme constantes),
- dont l'essentiel des variations dépendent de quelques facteurs peu nombreux et pour lesquels les variations des variables explicatives sont homogènes avec un impact homogène sur les différents segments du marché.

Dans les autres cas leur mise en œuvre est plus délicate.

- **En termes de cohérence**

Les modèles de demande directe ne sont pas nécessairement totalement cohérents. Ainsi dans le cas où on modélise les trafics ferroviaires et aériens par des modèles de demande directe, les élasticités des trafics ferroviaires et aériens par rapport au prix du fer sont estimées dans le cadre de processus séparés et vont en sens contraires (négatif dans le cas du fer, positif dans le cas de l'air). Rien ne garantit qu'au final l'élasticité de la demande totale air + fer par rapport au prix du fer soit négative et qu'elle reste négative en projection. Nous pouvons définir une plage sur laquelle ces élasticités restent de signe correct, restreignant ainsi la plage de validité du modèle. Toutefois les élasticités peuvent être biaisées tout en étant de signe correct.

- **En termes de mesurabilité**

Un avantage des modèles de demande directe est de toujours disposer de données opérateurs globales en séries chronologiques, même si l'homogénéité des séries dans le temps n'est pas toujours garantie. Par ailleurs utiliser de la variance temporelle pour caler des élasticités temporelles est a priori un gage de fiabilité par rapport à l'utilisation de variance spatiale pour en déduire des élasticités temporelles.

Toutefois le calage des modèles de demande directe n'est pas sans inconvénient : le nombre de points d'observations est souvent limité, ce qui réduit drastiquement le nombre de variables possibles. Les variables sont presque toujours fortement corrélées ce qui réduit la variance temporelle exploitable donc la fiabilité du calage. La multicolinéarité et le risque de régressions fallacieuses constituent les principaux ennemis des séries temporelles.

- La multicolinéarité

Les variables explicatives des séries temporelles sont généralement fortement corrélées, ce qui est susceptible d'entraîner des problèmes dans l'estimation. En théorie, la multicolinéarité ne constitue pourtant pas un problème rédhibitoire. Si une multicolinéarité au sens strict (cas où il existe une relation parfaitement linéaire entre les variables explicatives, ce qui ne se réalise jamais totalement en pratique), rend impossible l'estimation des paramètres, une multicolinéarité au sens large (il existe une - éventuellement forte - corrélation entre au moins deux variables explicatives) permet mathématiquement l'estimation des paramètres du modèle. Dans le cas d'une multicolinéarité au sens large (qui est le problème qui nous préoccupe) l'estimation des coefficients des variables reste possible. La multicolinéarité constitue pourtant un phénomène "gênant" (Rys, Vaneecloo, 1998). *"En effet, dans ce cas, les estimations des coefficients des variables sont covariantes, de sorte que la précision de chacune d'elles devient incertaine (et d'autant plus incertaine que les corrélations entre variables explicatives sont importantes). Cela peut même les rendre non significatives"* (Rys, Vaneecloo, 1998). Dans le cas d'une multicolinéarité importante (supérieure à 0,9), l'estimation des coefficients des variables corrélées accorde beaucoup de poids aux (nécessairement petites) différences de variations entre les variables corrélées, ce qui tend à gonfler le poids des erreurs de mesure des variables explicatives ; ceci peut entraîner des écarts significatifs sur les paramètres dans le cas de petits échantillons. Le risque est de voir une variable récupérer l'effet des variables qui lui sont corrélées. Tant que les variables restent corrélées dans la phase de projection, ce n'est pas un problème. Dans le cas contraire, les simulations sont biaisées.

Or il n'existe pas de véritable thérapeutique au problème de multicollinéarité (Rys, Vaneeecloo, 1998). La seule vraie solution serait d'augmenter le nombre de données *"l'augmentation du nombre de données [réduisant] l'effet de la colinéarité statistique, même si celle-là reste au même niveau"* (Rys, Vaneeecloo, 1998). Malheureusement, les séries chronologiques de trafic à disposition portent généralement sur 20 à 30 années, pas plus. Une solution à la multicollinéarité souvent recommandée consiste à réécrire le modèle en variations. En effet, *"les variations des variables sont en général beaucoup moins colinéaires que les variables elles-mêmes"* (Rys, Vaneeecloo, 1998). De plus, en économie, toutes les variables sont entraînées par les mêmes mouvements économiques généraux, les variables présentes dans l'équation captent l'influence de la variable absente, ce qui peut gonfler de manière trompeuse le R^2 et entraîner un biais dans les estimations. Travailler en variations permet de contourner cet écueil. Le modèle en variations est en général beaucoup plus sévère que le modèle initial : le R^2 chute généralement de façon spectaculaire. Toutefois, comme le soulignent (Rys, Vaneeecloo, 1998) :

"Le travail en variations ne peut pas être considéré comme un remède à la colinéarité. [En effet], "les hypothèses faites sur le résidu théorique du modèle en variations sont incompatibles avec celles faites sur le modèle initial. Si on appelle e_t le résidu du modèle initial et u_t celui du modèle en variations, on peut écrire pour tout t $u_t = e_{t+1} - e_t$ ou encore $e_{t+1} = e_t + u_t$. Supposer la nullité des espérances mathématiques des résidus e et u n'amène aucune contradiction ; en revanche on ne peut supposer l'absence d'autocorrélation et la constance de la variance de l'un des résidus sans enfreindre l'une de ces hypothèses pour l'autre résidu. En effet de deux choses l'une :

- *ou nous supposons que les u_t sont indépendants entre eux et de variance constante $V(u)$; dans ce cas, le résidu e est marqué par une hétéroscédasticité (u_t et e_t étant indépendants $V(e_{t+1})=V(e_t)+V(u_t)$; la variance du résidu e croît avec le temps), et par une autocorrélation positive : $(COV(e_{t+1}, e_t)=E(e_{t+1}e_t)=E[(e_t+u_t)e_t]=E(e_t^2)+E(u_te_t)=V(e_t)>0$*
- *ou nous supposons que les e_t sont indépendants entre eux et de variance constante $V(e)$; dans ce cas, il n'y a pas hétéroscédasticité pour u (car $V(u_t)=V(e_{t+1})+V(e_t)=2V(e)$), mais il y a autocorrélation négative (car $COV(u_{t+1}, u_t)=E[(e_{t+2}-e_{t+1})(e_{t+1}-e_t)]=-V(e_{t+1})<0$).*

Le travail en variations n'est donc pas une thérapeutique de la colinéarité dans le modèle initial. Les deux formulations correspondent à deux représentations théoriques différentes des mécanismes qui régissent l'évolution de la grandeur Y au cours du temps : dans le modèle initial, si cette grandeur s'est située au-dessus de sa valeur normale (c'est-à-dire si e_t est positif), il n'y a pas de raison pour que cette tendance se maintienne à la période suivante. Au contraire, dans le modèle en variations, si la croissance a été plus forte que la normale (c'est-à-dire si u_t est positif), le terrain ainsi gagné par Y n'est pas perdu, puisque la variation qu'elle connaîtra s'effectuera à partir du niveau déjà atteint. Dans le premier cas, le résidu aléatoire ne fait que produire des écarts de part et d'autre de la trajectoire réglée par l'évolution des variables explicatives : quels que soient les aléas, les trajectoires réelles s'enrouleront autour de cette trajectoire de base et se ressembleront toutes plus ou moins. Dans le second, les résidus s'inscrivent dans la trajectoire, de sorte que le cumul des aléas peut conduire à des trajectoires très diversifiées." (Rys, Vaneeecloo, 1998).

Il existe plusieurs types d'approches dans les séries temporelles : les modélisations sur variables en niveaux, les modélisations sur variations de variables, et les modélisations sur taux de croissance des variables (Durand, 2001 ; Gabella-Latreille, 1997). Même si modélisations sur variables en niveau et modélisations sur variations ou taux de variations de variables semblent être équivalents au vu de leur écriture mathématique, il s'agit bien de deux

représentations théoriques différentes dont les estimations conduisent à des modèles différents. Dans le cas des modèles en variations et en taux de variations, il n'existe généralement pas de multicolinéarité entre les variables. En revanche, dans les modèles sur variables en niveau, le niveau de corrélation est généralement important et il n'existe pas véritablement de solution idéale à ce problème, si ce n'est de poser comme condition pour appliquer le modèle en projection le maintien des corrélations.

- Le risque de régression fallacieuse

L'autre difficulté dans les régressions linéaires sur séries temporelles réside dans le risque de régressions fallacieuses, compte tenu de l'existence quasiment systématique d'un trend sous-jacent. Le risque est d'obtenir des élasticités biaisées malgré un excellent R^2 et des t de Student très élevés (Salanié, 1999). Pour s'assurer que tel n'est pas le cas, il est nécessaire de regarder la statistique de Durbin – Watson²⁹. Un DW anormal peut être le signe d'une autocorrélation des résidus mais il peut aussi être le signe d'autres anomalies : erreur de spécification, omission d'une variable importante, changement à un moment donné du régime qui détermine la variable expliquée. En fait un DW anormal est plus souvent le signe d'une de ces trois maladies que le signe d'une autocorrélation du résidu théorique (Rys, Vaneeecloo, 1998).

1.2. Les modèles de génération / partage modal

La plupart des modèles appliqués à des projets donnés (notamment des projets TGV) sur des origines-destinations précises sont de la forme génération + partage modal. La génération du trafic total peut être estimée à l'aide d'un modèle de demande directe ou être évaluée à l'aide de taux de croissances moyens. Le partage modal est ensuite effectué à l'aide de modèles prix-temps (1.2.1.) ou logit (1.2.2.). Ces modèles sont souvent utilisés sur des origines-destinations données. Ils sont alors généralement calés en coupe instantanée ; l'estimation des trafics totaux à l'échelle d'un pays peut se faire en décomposant les trafics totaux en origines-destinations, en y appliquant un modèle génération – partage modal puis en additionnant lesdits trafics. Les modèles génération – partage modal sont parfois aussi directement calés sur les séries temporelles de trafics nationaux. En section 1.2.3, nous effectuons un bilan de l'opérationnalité des modèles de génération – partage modal dans une optique de modélisation de l'évolution de long terme des trafics à l'échelle nationale.

1.2.1. Le partage modal prix-temps

Ce modèle sert de fondement aux études de trafic de la SNCF dans le cadre des projets TGV. Le principe du modèle prix-temps est présenté dans (Chopinnet, 1998). On suppose que la population des voyages est caractérisée par une distribution de la valeur du temps des voyageurs suivant une loi log-normale. Les voyageurs sont en situation de choix entre d'une

²⁹ La statistique $DW = \frac{\sum_{t=2}^T (\hat{u}_t - \hat{u}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^T \hat{u}_t^2}$ est un estimateur convergent de $2(1-\rho)$. Si DW est proche de 2, il n'y

pas autocorrélation des résidus. Si $DW < 2$, il y a autocorrélation positive, si $DW > 2$, il y a autocorrélation négative. Dans le cas d'une série chronologique, la statistique DW est souvent inférieure à 2.

part le train caractérisé par un temps de trajet moyen T_{mfer} (temps gare à gare + temps d'accès) et un prix moyen P_{mfer} , et d'autre part l'avion caractérisé de même par un temps de trajet moyen T_{mair} et un prix moyen P_{mair} . On suppose qu'un voyageur de valeur du temps h prend le mode de transport ayant le coût généralisé³⁰ le plus faible compte-tenu de sa valeur du temps. Pour une liaison donnée i , il existe une valeur d'indifférence $h_i = (P_{\text{mair}} - P_{\text{mfer}}) / (T_{\text{mfer}} - T_{\text{mair}})$ pour laquelle les coûts généralisés du train et de l'avion sont équivalents. Tous les voyageurs qui ont une valeur du temps inférieure à h_i prennent le mode de transport le plus lent mais le meilleur marché, à savoir le train, ceux qui ont une valeur du temps supérieure à h_i prennent l'avion. La part de marché du train est donc donnée par $F(h_i) = \prod \left(\frac{\ln(h_i) - m}{\sigma} \right)$, Π étant la loi

normale standard de moyenne m et d'écart type σ . Les valeurs du temps sont supposées augmenter au même rythme que la croissance économique. Ce modèle est appliqué par la SNCF pour évaluer le report modal de l'avion vers le train dans le cadre des projets de TGV. Ce premier modèle est complété par un modèle gravitaire qui estime le volume de trafic induit ou détourné de la route : les anciens usagers du train et les détournés de l'air bénéficient d'un gain de service (sauf pour les très faibles valeurs du temps, en raison de la hausse tarifaire) ; le trafic induit est supposé proportionnel à ce trafic anciens usagers du train + détournés de l'air selon un ratio coût généralisé avant projet / coût généralisé après projet (à une puissance près). Le modèle prix-temps est généralement calibré sur des données origines-destinations à une date donnée, pour être ensuite appliqué à l'évaluation des variations temporelles.

Le modèle prix-temps est séduisant dans la mesure où il permet de prendre en compte de façon explicite une diversité de valeurs du temps. Toutefois le modèle prix-temps présente un certain nombre de limites, que ce soit en termes de pertinence, de mesurabilité ou de cohérence.

• Pertinence

Le modèle prix-temps a déjà été utilisé et a démontré son opérationnalité dans le cas d'un partage modal air / fer (Chopin, 1998 ; Bonnel, 2004) et d'un arbitrage route nationale gratuite / autoroute payante. La question de la pertinence du modèle prix-temps se pose alors dans deux directions. Peut-on généraliser le modèle prix-temps à un partage modal à trois modes de transports route / fer / air ? Quelle est la limite de pertinence du modèle prix-temps dans le cas du seul partage air / fer ?

Si l'utilisation du prix-temps pour un partage air / fer est largement pratiquée, son utilisation pour un partage fer / route et a fortiori pour un partage trois modes route / fer / air semble a priori plus délicate. En effet, le modèle prix-temps suppose que le choix du mode de transport se fait exclusivement selon un arbitrage prix / temps, à l'exclusion de tout autre facteur de choix. Ceci est une hypothèse réaliste lorsqu'il s'agit de modéliser un arbitrage entre des options de transport analogues telles qu'un arbitrage train / avion ou un arbitrage route nationale gratuite / autoroute payante. En revanche, l'hypothèse est plus difficilement soutenable lorsqu'il s'agit de modéliser un partage de type voiture particulière / transport en commun. Le choix fer / route ne se fait pas exclusivement selon un arbitrage entre prix et temps, mais dépend aussi d'autres raisons : disponibilité d'une voiture sur le lieu de destination, degré d'attraction pour la voiture particulière. Même si la route est moins

³⁰ Le coût généralisé C_m du mode de transport m est une fonction linéaire de la valeur du temps $C_m(h) = P_m + h \cdot T_m$, avec P_m et T_m respectivement le prix moyen et le temps de trajet moyen du mode considéré.

intéressante que le fer à la fois en termes de prix et de temps, certains usagers choisissent néanmoins la route. Or, le modèle prix-temps interdit cette possibilité. Pour des liaisons où la route est plus désavantageuse que le fer à la fois en termes de prix et de temps de parcours, l'application du modèle prix-temps conduit à ce que le fer soit retenu par tous les usagers, quelle que soit leur valeur du temps ; la part de la route est de 0%, ce qui n'est pas réaliste. Dans le modèle logit, une telle éviction de la route ne se produit pas. La part de la route n'est jamais nulle grâce au caractère probabiliste du modèle. Par ailleurs, la constante présente dans l'utilité du modèle logit permet d'intégrer les facteurs d'attraction spécifique du mode. Pour permettre au modèle prix-temps de prendre en compte une attraction / aversion spécifique à un mode, il serait nécessaire de modifier le coût généralisé pour y intégrer d'autres éléments afin de prendre en compte l'ensemble des facteurs intervenant dans le choix du mode. Il se pose toutefois le problème de la formalisation et du calage de ces éléments complémentaires. Le modèle prix-temps conduit à caler les paramètres de la distribution des valeurs du temps. La difficulté réside dans la capacité à caler simultanément cette distribution des valeurs et les paramètres relatifs à ces éléments complémentaires. Faute de pouvoir segmenter la demande ou de pouvoir définir et caler une fonction $f_m(h)$ représentative de ces éléments complémentaires, l'application du modèle prix-temps conduit vite à des aberrations pour le partage modal voiture particulière / train, et a fortiori pour un partage route / fer / air³¹.

Le passage de deux à trois modes ne pose pourtant pas a priori en lui-même de problème théorique. La comparaison des trois coûts généralisés conduit à deux (au maximum) valeurs d'indifférence entre les modes, d'où peuvent être déduites les parts modales. Il est à noter que l'introduction d'un troisième mode dans un partage bimodal conduit à des modifications des parts de marché des deux modes pas nécessairement proportionnelles. La diminution de part de marché peut porter sur un seul des deux modes, ou sur les deux (ou sur aucun des deux). La propriété IIA (explicitée plus loin) qui pèse sur le logit multinomial ne s'applique pas au modèle prix-temps, ce qui est positif. Toutefois les considérations portant sur la possibilité d'appliquer le prix-temps à plusieurs modes n'ont que peu d'intérêt à partir du moment où pour la longue distance le troisième mode n'est autre que la voiture particulière, ce qui soulève les difficultés précédemment évoquées.

Le modèle prix-temps s'applique ainsi essentiellement au partage modal air/fer. Il nous reste à nous interroger sur la limite de pertinence dans ce cas.

Le modèle prix-temps suppose que l'individu est effectivement en situation de choix entre les deux modes de transports et que son choix s'effectue exclusivement selon un arbitrage prix / temps. Pour un partage modal air / fer, on peut estimer que cette condition est respectée sur

³¹ Dans la pratique appliquer un modèle prix-temps pour modéliser un partage route / fer sur différentes origines-destinations conduit vite à des aberrations. En effet le temps de parcours par route est plus élevé que le temps de parcours en train (y compris temps d'accès) sur la plupart des grandes *radiales* françaises. Le prix moyen au véhicule.km étant environ deux fois plus élevé que le prix moyen au voyageur.kilomètre pour la route et le taux d'occupation d'une voiture en interurbain étant d'environ 2 personnes par véhicule, le prix moyen au voyageur.kilomètre est analogue au produit moyen ferroviaire. Plus précisément nous avons évalué des temps de parcours et des prix autoroutiers sur les principales radiales françaises interurbaines de 1996 et comparé ces prix avec ceux du train fournis dans (Bonnell, 2004) ; les temps de parcours routiers sont quasiment systématiquement supérieurs ; les coûts (compte tenu du taux d'occupation) sont souvent légèrement inférieurs, parfois supérieurs. Sur certaines liaisons la part de la route est ainsi de 0% ; pour d'autres la valeur d'indifférence est de quelques francs seulement. Bien sûr si nous pouvions scinder la clientèle selon la taille du groupe, le prix de la route pour le segment où la taille de groupe est de 3 deviendrait nettement inférieur à celui du fer, la part de la route ne serait ainsi pas totalement nulle, même sur les liaisons où initialement la part de la route semblait devoir être à 0%. Toutefois la non segmentation de la demande par taille de groupe pour mieux apprécier le prix de la route n'est probablement pas la principale source d'erreur.

les "grandes radiales", car les fréquences sont suffisantes pour estimer que l'utilisateur est toujours en situation de choix et que le choix du mode de transport est bien déterminé exclusivement par le prix et le temps. En revanche sur les radiales où l'un des deux modes de transport souffre de faibles volumes de trafic et par voie de conséquence d'un nombre de dessertes assez faible, l'utilisateur n'est plus véritablement en situation de choix ; ou du moins on ne peut plus supposer que l'arbitrage se fait entre les seuls facteurs prix et temps ; les temps d'attente entre deux dessertes et le positionnement des dessertes au sein de la journée interviennent dans le choix du client. C'est ainsi que sur un certain nombre de dessertes à faible trafic aérien un modèle prix-temps calibré sur des liaisons à bonne densité d'offre tend à surestimer la part de marché de l'air, le trafic aérien étant trop faible pour justifier un nombre de dessertes suffisant (Bonnell, 2004).

Une autre limite du modèle prix-temps réside dans la prise en compte d'un prix **moyen** et d'un temps d'accès **moyen** (Bonnell, 2004). En réalité, il existe une grande diversité des prix et, compte tenu de l'intégration des temps d'accès dans l'estimation des temps de parcours, une certaine diversité de temps de trajet. Si l'on considère des trafics de liaison aéroport à aéroport, une partie significative de la clientèle est en correspondance pour des destinations plus lointaines. Le prix du billet sur la liaison ne correspond pas au prix moyen. Il en va de même pour les clients bénéficiant d'abonnements. Suivant le positionnement de l'origine ou de la destination par rapport à la gare et à l'aéroport, les temps de trajet fluctuent. Il existe ainsi une part de la clientèle « captive », ce que ne prend pas en compte le modèle. Lorsque la part de marché d'un mode devient faible, sa part tend à être sous-estimée. Pour pallier ce problème, il faudrait envisager des segmentations, ce qui se heurte toutefois rapidement à des problèmes de mesurabilité.

En pratique, le modèle prix-temps n'est guère applicable que sur de « grandes » radiales (où les flux de trafic sont suffisamment importants pour permettre un nombre de dessertes suffisant) et où les plages de valeurs ne sont pas trop "extrêmes" (i.e. des valeurs qui ne conduisent pas à des répartitions modales où l'un des deux modes a une part de marché inférieure à 10%) (Bonnell, 2004).

Une autre limite de pertinence du modèle prix-temps réside dans la méthode d'évaluation des temps et des coûts : ainsi dans l'évaluation des temps de trajets, les temps gare à gare (ou aéroport à aéroport) sont mis sur le même plan que les temps d'accès sans pondération particulière des temps d'accès, ce qui est discutable. Les temps de précaution sont aussi des éléments non pris en compte de façon explicite. Or aucun paramètre de calage ne permet de recalculer le train par rapport à l'avion. Certes il est possible de jouer sur l'évaluation des temps d'accès pour mieux caler le modèle, toutefois ce n'est pas fait de façon explicite. Or le calcul des différences de temps d'accès, de même que le mode de calcul des prix moyens à partir des prix pleins, est crucial, car tout décalage d'évaluation entraîne des variations de valeurs d'indifférence du temps très importantes voire des évictions de mode lorsque les temps de trajet ne sont pas très éloignés. Certes il serait possible d'intégrer des variables temps d'accès dans les coûts généralisés et caler des paramètres de pondération relatifs à ces variables, toutefois on se heurte rapidement à un problème de mesurabilité.

- **Mesurabilité**

Sur le plan de la mesurabilité, la mise en œuvre du prix-temps est délicate. L'estimation des prix moyens et des temps d'accès est délicate, et les conséquences sur l'estimation des parts modales dans la tranche [2h, 3h] peuvent être importantes. La qualité du calage dépend de la qualité de la mesure des écarts de coûts généralisés. Or cette mesure est relativement imprécise. Le prix moyen du billet est mal connu (le concept de prix moyen du billet est d'ailleurs comme nous l'avons déjà souligné un concept contestable). D'autre part les temps d'accès, inclus dans l'appréciation du temps de parcours total, sont sujets à caution. Les différentiels de temps étant parfois réduits à quelques minutes, des imprécisions d'estimation de ces différentiels de temps d'accès train /avion ont souvent des répercussions considérables dans l'estimation des paramètres.

Par ailleurs, lorsque la modélisation est effectuée non pas sur des données d'enquêtes mais sur des flux de trafic, il est nécessaire d'associer flux aéroports à aéroports et flux gares à gares. L'établissement du zonage constitue alors un problème crucial. En effet, l'aire de chalandise d'un aéroport est plus vaste que l'aire de chalandise d'une gare. Faire coïncider aire de chalandise de l'aéroport et aires de chalandise des gares est une œuvre délicate, qui confère un certain degré d'incertitude à l'estimation des parts modales. Inclure dans l'aire de chalandise d'un aéroport les gares des villes situées à moins d'1 heure par route de l'aéroport peut sembler une option raisonnable, mais bien sûr discutable. Il est clair que les aires de chalandises d'aéroports ainsi obtenues varient considérablement, ce qui n'est pas sans répercussion sur les niveaux de temps d'accès respectifs train / avion, ainsi que sur le niveau de dispersion des temps d'accès entre individus. Par ailleurs, il existe de nombreuses zones de territoire non couvertes par le zonage mais qui pourtant émettent ou reçoivent des flux train (et éventuellement avion) moyennant des temps d'accès conséquents. Les « grandes radiales » ne représentent qu'une partie des flux, le reste des déplacements échappe à la modélisation.

- **Cohérence**

Le modèle prix-temps n'est pas totalement cohérent du point de vue de la distribution des valeurs du temps. En effet, dans l'application du modèle prix-temps, on suppose que les paramètres (m , σ) sont indépendants de l'offre. Or cette hypothèse d'indépendance de la distribution des valeurs du temps par rapport à l'offre entraîne des problèmes de non cohérence dans certaines situations. Prenons le cas d'une mise en service de TGV où avant projet la valeur d'indifférence train / avion est notée h_1 , et après projet h_2 . Les anciens usagers du train bénéficient d'une baisse de coût généralisé³², de même que les détournés de l'avion vers le TGV, d'où un phénomène d'induction de trafic portant sur les personnes ayant une valeur du temps inférieure à h_2 . En revanche, les personnes ayant une valeur du temps supérieure à h_2 restent sur l'avion et leur coût généralisé demeure inchangé (à prix de l'air inchangé). Il ne doit *a priori* pas exister d'induction sur ce segment de valeur du temps³³. Il existe différentes solutions pour prendre en compte l'induction. On peut appliquer un taux de croissance à la demande totale puis appliquer le partage modal en supposant (m , σ) inchangé ; mais dans ce cas la croissance de trafic porte aussi bien sur le segment des valeurs du temps supérieures à h_2 que sur les valeurs du temps inférieures à h_2 . Si le détourné de l'air l'emporte

³² Sauf pour les personnes ayant une valeur du temps inférieure à la valeur d'indifférence train classique / TGV $h_j = (P_{TGV} - P_{class}) / (T_{class} - T_{TGV})$, le prix du TGV étant généralement supérieur à celui du train classique avant projet.

³³ Sauf à considérer le TGV et l'air comme des biens complémentaires.

sur le volume d'induction portant sur le segment des valeurs du temps supérieures à h_2 , cette fausse induction est masquée. En revanche dans un cas où l'induction serait forte par rapport à l'évolution du partage modal, on risque d'aboutir à une augmentation de trafic aérien, ce qui semble incohérent. Dans sa méthodologie pour simuler l'évolution de trafic sur les grands projets, la SNCF contourne le problème en appliquant le modèle de partage modal avant le modèle d'induction et ne calcule l'induction que sur la somme anciens usagers du train + détourné de l'air, autrement dit sur le seul segment des valeurs du temps inférieures à h_2 . Ceci a alors comme conséquence de modifier la distribution des valeurs du temps au sein de la population des voyages ce qui est contraire à l'hypothèse d'indépendance de (m, σ) par rapport à l'offre. De fait, il est tout-à-fait logique que la distribution des valeurs du temps des voyageurs au sein de la population des voyages soit différente après et avant projet. Cela implique que (m, σ) dépend de la répartition modale. La distribution des valeurs du temps au sein de la population des voyages et l'offre sont liées. On soulève ainsi le problème de cohérence induction/partage modal souligné dans (Morellet, Marchal, 1999) : impact du contexte socio-économique et impact de l'offre doivent être estimés conjointement pour avoir une cohérence totale du modèle.

1.2.2. Le partage modal logit

Le partage modal logit est le modèle le plus classiquement utilisé pour effectuer du partage modal. Toutefois son utilisation en interurbain pose des difficultés. En effet l'application des modèles logit à trois modes de transports ou plus soulève des difficultés particulières. Or en interurbain coexistent trois modes (voiture, train, avion). Par ailleurs dans les modèles logit à fonctions d'utilité linéaires, il est impossible d'imposer une asymétrie, des queues de probabilité épaisses ou un effet de seuil, alors qu'il existe des effets de seuils en interurbain (Laferrière, 1993a). Après avoir présenté le modèle logit multinomial, ses limites et les modèles améliorés destinés à contourner ces difficultés, nous concluons sur l'opérationnalité du modèle logit, avant de nous interroger sur son échelle d'application.

a) Le logit multinomial

Ce modèle trouve ses fondements économiques en micro-économie. On associe à chaque mode de transport une fonction d'utilité faisant intervenir des coûts généralisés de transports. Le choix entre deux modes de transport suit une courbe en S fonction de la différence d'utilité des deux modes de transport. En notant V_a et V_b les utilités respectives des modes A et B, la part modale du mode B est généralement modélisée par une fonction logistique (Bonnell, 2004) :

$P_b = \frac{1}{1 + e^{-\mu(V_b - V_a)}}$ où μ est un paramètre positif.

En posant comme principe l'axiome de choix de Luce selon lequel si certaines alternatives sont enlevées de l'ensemble des alternatives disponibles, les probabilités relatives entre les alternatives au sein du sous-ensemble ainsi construit restent inchangées, le modèle logistique peut se généraliser à m modes pour conduire au modèle logit multinomial (Bonnell, 2004) :

$$P_i = \frac{\exp(V_i)}{\sum_j \exp(V_j)}$$

P_i est la part modale du mode i parmi l'ensemble des modes. Les V_j sont les fonctions d'utilité des j modes de transport.

Les V_i et les V_j sont des fonctions d'utilité linéaires des différentes variables X_k :

$$V_j = \beta_{j0} + \sum_k \beta_{jk} X_k$$

avec $(X_1, \dots, X_k) = ([^iX_n], [X_s]), n=1, \dots, N ; s=1, \dots, S ; N+S=K$

Les N variables $[^iX_n]$ sont des variables relatives à l'offre de transport du mode i et les S variables $[X_s]$ sont des variables socio-économiques.

b) La propriété IIA, une limite forte du logit multinomial

L'axiome de Luce d'indépendance des alternatives non associées (Independence of Irrelevant Alternatives - IIA) constitue une hypothèse forte, souvent difficilement soutenable.

Mathématiquement, on constate l'égalité des élasticités croisées de demande (Gaudry et alii, 1998). En dérivant le modèle logit, on obtient en effet que l'élasticité croisée de la part de marché du mode i par rapport à la $k^{\text{ème}}$ variable relative au mode j (notée X_{jk}) s'écrit : $E_{P_i/X_{jk}} = -\theta_{jk} X_{jk} P_j$ avec P_i, P_j les parts modales des modes i et j et θ_{jk} le coefficient relatif à X_{jk} dans la fonction d'utilité de P_j (Ortuzar, Willumsen, 1994)³⁴. Cette élasticité est indépendante des utilités des autres modes de transports, conformément à la propriété IIA.

Appliquée au cas de la longue distance, la propriété IIA implique par exemple qu'en ajoutant l'avion comme alternative supplémentaire sur une origine-destination où ne coexistaient auparavant que le train et la voiture, le ratio des parts modales train et voiture reste inchangé. Autrement dit la part des personnes détournées vers l'avion au sein des personnes circulant initialement en voiture est identique à la part des personnes détournées vers l'avion au sein des personnes circulant initialement en train. Cette hypothèse est peu crédible. Il est vraisemblable qu'il existe une plus grande substituabilité entre le train et l'avion qu'entre la route et l'avion : le détourné du fer est sûrement proportionnellement plus important que le détourné routier. L'introduction de l'avion doit logiquement faire baisser le ratio part du fer sur part de la route, indépendamment de toute variation des caractéristiques respectives de la route et du fer. Le rapport de choix entre deux modes n'est indépendant de l'existence et de la nature des autres modes que s'il existe une dissimilarité entre les alternatives. Lorsqu'un mode de transport $M3$ est similaire à un autre mode $M2$, il existe un effet de substitution entre $M2$ et $M3$; le logit multinomial surestime la part modale de $M2$ (et de $M3$). Pour appliquer le logit multinomial, il faut donc veiller à ce que les alternatives prises en compte dans l'ensemble des choix soient bien indépendantes les unes des autres. Si les options ne sont pas indépendantes les unes des autres, il est nécessaire de mettre en œuvre un logit hiérarchique (Bonnel, 2004 ; Ortuzar, 1994).

³⁴ L'élasticité propre est donnée par $E_{P_i/X_{ik}} = \theta_{ik} X_{ik} (1 - P_i)$

c) Extensions du logit classique : modifications des formes fonctionnelles et modèle DOGIT

La propriété IIA n'est pas la seule limite du modèle logit. Même dans le cas du logit binomial, la formulation logit possède un certain nombre de propriétés discutables. Les problèmes de pertinence liés à la forme fonctionnelle du logit (additivité, symétrie par rapport au point d'inflexion, limites à 0/1 et queues de probabilité fines) sont présentés dans (Gaudry et alii, 1998). Outre la propriété d'égalité des élasticités croisées de demande, conséquence de la propriété IIA, les limites du modèle logit binomial et multinomial citées sont :

- L'absence d'asymétrie de la réponse

Dans le modèle logit classique la fonction d'utilité est linéaire. Cela signifie que seule compte la différence de niveau d'utilité, indépendamment des niveaux d'utilité. Une différence de 30 minutes de temps de parcours a autant d'impact lorsqu'elle s'applique à des temps de parcours initiaux de l'ordre de 3 heures que lorsqu'elle s'applique à des temps de parcours initiaux de 8 heures. Le logit a une forme symétrique : par rapport au point d'inflexion à 50%, une augmentation du temps de parcours a le même impact qu'une réduction identique, ce qui ne se vérifie pas toujours (Gaudry et alii, 1998). Au lieu de prendre en compte des différences de prix et de temps de parcours, il est possible de prendre en compte des rapports de temps et de prix. Toutefois, dans ce cas, un doublement des temps de parcours a le même impact, que l'on passe de 45 minutes de train à 1h30 de train ou de 1h30 de train à 3 heures. Cela n'est pas très réaliste non plus : à 1h30 de train, la part du train au sein d'un partage modal air / fer est supérieure à 90%, alors qu'entre 1h30 et 3h, elle chute de 90% ou 100 % à 60% environ. Pour prendre en compte les asymétries de réponse, (Gaudry et alii, 1998) proposent d'introduire des transformations de Box-Cox ou de Box-Tukey sur les variables X_k , ou d'utiliser des formes fonctionnelles plus complexes.

- Des probabilités limites à zéro

La probabilité de choix va de 0 à 1 quand la fonction d'utilité va de $-\infty$ à $+\infty$, ce qui signifie qu'il n'est pas possible de mesurer des queues de probabilités épaisses dues à des phénomènes de captivité (Gaudry et alii, 1998). Un choix approprié des coefficients de la fonction d'utilité permet de ralentir le moment où la probabilité atteint des seuils extrêmes, mais dans ce cas l'évolution des parts modales autour du point d'inflexion à 50% devient lente, ce qui est parfois contraire aux données empiriques. Le logit interdit d'avoir des effets de seuil, c'est-à-dire d'avoir à la fois des variations importantes de parts modales au niveau du point d'inflexion à 50% (qui nécessiteraient des coefficients dans la fonction d'utilité élevés) et des queues épaisses (qui nécessiteraient des coefficients dans la fonction d'utilité faibles). Or des effets de seuil ont été constatés sur des lignes à grande vitesse dans la compétition air/fer (Laferrière, 1993a).

- Une sous-identification des effets modaux spécifiques

Les utilités sont définies à une constante près et il n'est pas possible d'intégrer dans l'utilité d'un mode donné des caractéristiques de modes alternatifs : compte tenu du caractère linéaire des fonctions d'utilité il reste une indétermination.

Pour résoudre une partie des limites du modèle logit, (Gaudry et alii, 1998) proposent diverses formes fonctionnelles alternatives au logit binomial et multinomial. Ces modèles enrichis permettent d'introduire des propriétés nouvelles : possibilité d'obtenir une asymétrie de réponse, un effet de seuil, des queues de probabilité épaisses, des probabilités limites différentes de 0, une inégalité des élasticités croisées de demande. Toutefois le gain en termes de pertinence se paie en termes de mesurabilité. Les formes fonctionnelles proposées comme alternatives au logit linéaire classique sont de trois sortes : transformations fonctionnelles des variables, modèles DOGIT, transformations fonctionnelles appliquées aux fonctions exponentielles.

- **Transformations appliquées aux variables : la famille des "Box-Cox Logit" (Gaudry et alii, 1998)**

Les fonctions d'utilité n'ayant aucune raison d'avoir une forme linéaire, des transformations peuvent être appliquées aux variables : transformations de Box-Cox, Box-Tukey, fonction puissance inverse (Tableau 28).

Tableau 28 : Transformations définies par Box, Cox et Gaudry

Référence	(Box, Cox, 1964)		(Gaudry, 1981)	
	Transformation Puissance Directe de X_k (en abrégé DPT)		Transformation Puissance Inverse de Z_k (en abrégé IPT)	
Notation	$X_k(\lambda_k, \mu_k)$	Conditions	$Z_k(\Phi_k, \mu_k)^{-1}$	Conditions
Box-Cox ($\mu_k=0$)	$(X_k^{\lambda_k}-1)/\lambda_k$	$\lambda_k \neq 0, X_k > 0$	$(\Phi_k Z_k + 1)^{1/\Phi_k}$	$\Phi_k \neq 0, \Phi_k Z_k + 1 > 0$
	$\ln X_k$	$\lambda_k = 0, X_k > 0$	$\exp(Z_k)$	$\Phi_k = 0, Z_k > 0$
Box-Tukey	$((X_k + \mu_k)^{\lambda_k} - 1)/\lambda_k$	$\lambda_k \neq 0, X_k + \mu_k > 0$	$(\Phi_k Z_k + 1)^{1/\Phi_k} - \mu_k$	$\Phi_k \neq 0, \Phi_k Z_k + 1 > 0$
	$\ln(X_k + \mu_k)$	$\lambda_k = 0, X_k + \mu_k > 0$	$\exp(Z_k) - \mu_k$	$\Phi_k = 0, Z_k > 0$

Source : (Gaudry et alii, 1998)

Ces transformations permettent de faire dépendre les parts modales à la fois des différences d'utilité et des niveaux d'utilité, ce qui confère au modèle logit des propriétés plus raisonnables que le logit linéaire classique. Ces transformations rendent possible une asymétrie de la réponse. La modélisation d'effets de seuil est ainsi rendue possible, les coefficients λ_k prennent alors des valeurs inférieures à 1. Les transformations de type Box-Cox sur les variables rendent également possible d'identifier l'ensemble des coefficients des variables socio-économiques communes à l'ensemble des alternatives à partir du moment où les λ_{jk} , Φ_{jk} diffèrent entre les modes. Sur un plan théorique, il est aussi possible, dans le cadre d'un Box-Cox généralisé, d'intégrer dans la fonction d'utilité du mode i des variables de réseaux relatives aux modes j [^jX_k], l'indétermination des coefficients étant en effet théoriquement levée. Toutefois, (Gaudry et alii, 1998) soulignent qu'aucun modèle intégrant des [^jX_k] dans V_i n'a jamais pu être estimé en pratique en raison du nombre de coefficients à estimer, d'autant que si certains des paramètres convergent vers une même valeur, l'estimation numérique conduit à une indétermination et une grande instabilité d'estimation.

- **Modèles DOGIT**

La part de marché P_i du mode i est donnée par :

$$P_i = \frac{U_i}{\sum_j U_j} \quad \text{avec } U_i \text{ et } U_j \text{ des fonctions des variables } X_k. \quad (1)$$

Dans le modèle logit linéaire, $U_i = \exp(V_i)$ où V_i est une fonction d'utilité linéaire qui dépend des variables X_k : $V_i = \beta_{i0} + \sum_k \beta_{ik} X_k$. Dans le modèle DOGIT, on suppose que les U_i dépendent non seulement des V_i mais aussi des V_j :

$$U_i = \exp(V_i) + \theta_{ij} \sum_j \exp(V_j) \quad \theta_{ij} \text{ étant un paramètre.}$$

Dans le modèle Dogit standard, on pose :

$$\theta_{i1} = \theta_{i2} = \dots = \theta_{iM} = \theta_i \quad \theta_i \geq 0$$

ce qui donne $U_i = \exp(V_i) + \theta_i \sum_j \exp(V_j)$

Dans le modèle Dogit généralisé, on pose

$$\theta_{ii} = 0$$

ce qui donne : $U_i = \exp(V_i) + \theta_{ij} \sum_{j \neq i} \exp(V_j) \quad \theta_{ij} \geq 0$

Le modèle Dogit Standard n'est pas un cas particulier du Dogit généralisé (Gaudry et alii, 1998). En revanche le modèle logit est un cas particulier à la fois du Dogit standard et du Dogit généralisé ; il suffit de fixer l'ensemble des θ_{ij} à 0.

Ces modèles, qui rajoutent respectivement $M(M-1)$ et M paramètres, introduisent certaines caractéristiques :

- ils admettent des élasticités croisées de demande inégales du fait que les probabilités relatives de choix entre deux alternatives dépendent des caractéristiques de l'ensemble des alternatives,
- les queues de probabilité épaisses sont possibles.

L'intérêt du Dogit standard est de modéliser les phénomènes de captivité ; la part de captifs du mode i est de $\theta_i / (1 + \sum_i \theta_i)$. L'intérêt du Dogit généralisé est de contourner la propriété IIA du logit multinomial et d'offrir de la souplesse dans l'évaluation des élasticités croisées. Les θ_{ij} permettent de faire dépendre l'utilité de chaque alternative des autres utilités ; les θ_{ij} peuvent être interprétés comme des mesures de dissimilarité pondérant les utilités en fonction de leur degré de différenciation de compétition (Gaudry et alii, 1998). La contrepartie en est une moindre mesurabilité.

- **Transformations appliquées aux fonctions exp(Utilité)**

Il s'agit de la troisième famille de modèles proposée par (Gaudry et alii, 1998). En partant toujours de la formulation (1), les U_i s'écrivent désormais :

- dans le cadre d'un premier type de formulation dit IPT linéaire

$$U_i = [\varphi_i \exp(V_i) + 1]^{1/\varphi_i} - \mu_i \quad \varphi_i \geq 0 ; \mu_i \leq 1$$

- dans le cadre d'un deuxième type de formulation dit Box Tukey IPT

$$U_i = \exp \left[\frac{(\exp(V_i) + \mu_i)^{\varphi_i} - 1}{\varphi_i} \right] \quad \mu_i \geq 0$$

Ces modèles permettent de prendre en compte à la fois les problèmes d'asymétrie et de captivité.

d) Echelle d'application des modèles logit agrégés

Les modèles logit sont calés soit en coupe instantanée sur des données d'enquêtes pour être ensuite utilisés en projection, soit directement sur des séries temporelles (Gabella-Latreille, 1997). Ces modèles sont associés à des modèles de génération : modèles de génération tels que présentés en section I.1. (Gabella-Latreille, 1997) ou modèles gravitaires (Menendez, Guirao, 2000).

Les modèles génération + logits sont généralement appliqués sur des origines-destinations données. Les trafics totaux sont donc estimés par éclatement du trafic total par origines-destinations, modélisation de ces trafics puis addition de ces trafics. Parfois ils peuvent être utilisés directement pour modéliser des trafics nationaux : ainsi (Gabella-Latreille, 1997) modélise les trafics marchandises en France en appliquant un logit sans décomposer les trafics par origines-destinations, toutefois les trafics sont tout de même segmentés par catégories NST.

e) Opérationnalité des modèles logit

Les modèles logit constituent les modèles de référence du partage modal. Toutefois les limites des modèles logit multinomiaux (propriété IIA et propriétés liées aux formes fonctionnelles) se posent de façon plus cruciale en interurbain qu'en urbain, compte tenu de l'existence de trois modes au lieu de deux, et compte tenu de la présence d'effets de seuils. Par ailleurs les modèles logit sont généralement appliqués sur des origines-destinations. Leur application à un niveau d'agrégation spatial national pose des problèmes spécifiques.

- **Pertinence**

L'avantage des modèles logit est de reproduire la logique de marché génération – partage modal. Toutefois les modèles logit présentent certaines limites. La propriété IIA rend les logits multinomiaux peu pertinents pour modéliser un partage modal 3 modes dans le cas de la longue distance. Des structures de logits hiérarchiques et des modèles DOGIT peuvent être

utilisés, toutefois on peut s'interroger sur la pertinence de leur utilisation dans le cas de partages modaux à échelles spatiales plus vastes que des origines-destinations. Ainsi le logit hiérarchique suppose qu'un choix est d'abord effectué entre voiture particulière et transports en commun puis, au sein des transports en commun, entre train et avion. Ceci est valide à l'échelle de l'individu ou éventuellement à l'échelle d'une origine-destination, mais est moins réaliste à une échelle spatiale plus vaste. En effet, dans ce cas, le logit hiérarchique ne modélise pas des choix individuels mais des évolutions de répartitions de trafics entre modes en fonction d'un certain nombre de paramètres. Si les différents segments de marchés suivant les différents motifs et les différentes origines-destinations réagissaient de manière identique, le logit hiérarchique pourrait être employé, on pourrait continuer à supposer une successivité des choix entre modes. Dans le cas d'une forte agrégation spatiale mais avec une grande diversité de réactions des différents segments de marché, il est plus difficile de faire cette hypothèse. Une amélioration de la route entraîne ainsi une diminution du trafic fer et par voie de conséquence une diminution de la part du fer au sein du trafic fer + air à offres ferroviaire et aérienne inchangées. Au-delà de la question des interactions entre trois modes de transports (et indépendamment du type d'architecture retenu), on peut s'interroger sur la pertinence des variables explicatives dans un cas aussi agrégé. Une même vitesse moyenne ou un même prix moyen peut en effet correspondre à des structures spatiales différenciées donc à des impacts différents en termes de trafics.

- **Cohérence**

Le modèle logit est victime des mêmes problèmes de cohérence induction – partage modal que le modèle prix-temps. Le modèle logit est associé à des modèles de génération de type gravitaire ou demande directe. Une diminution du coût généralisé d'un mode de transport donné (le train par exemple) entraîne une augmentation de la mobilité totale au niveau de la phase de génération. Cette induction se porte aussi bien sur le train que sur l'avion. Dans certains cas le volume de trafic supplémentaire apporté à l'avion peut très bien être supérieur au trafic supplémentaire lié à l'évolution du partage modal.

- **Mesurabilité**

Lorsque les modèles de génération – partage modal sont calés en coupe instantanée sur des flux aéroport à aéroport et gare à gare, il se pose la question du zonage. En effet l'aire de chalandise d'un aéroport est plus vaste que celle d'une gare. En conséquence il est nécessaire d'associer l'aire de chalandise de chaque aéroport avec celles des gares qui se trouvent dans son aire d'influence. Des erreurs dans l'association des aires de chalandises conduisent à des erreurs d'appréciation du partage modal. Indépendamment des erreurs d'agrégation des flux en aires de chalandises communes, le partage modal dépend de la taille des zones. En effet le partage modal dépend non seulement des temps de parcours et de prix entre villes centres des aires de chalandises mais aussi des temps d'accès moyens à ces centroïdes. Faute de prendre correctement en compte ces effets taille de zones et nombre de gares au sein de l'aire de chalandise de l'aéroport, nous risquons de sous-estimer la part de l'avion et de surestimer celle du train dans les zones de petite taille où n'existe guère qu'une grande gare pour un aéroport. A contrario nous risquons de sous-estimer la part du fer et surestimer celle de l'air pour les zones de grande taille qui comptent de nombreuses gares pour un seul aéroport.

Dans le cas d'un calage sur zones à un instant donné, les paramètres du modèle sont calés sur de la variance spatiale et non pas temporelle, ce qui risque d'entraîner des biais d'estimation. Lorsque les logit sont calés sur séries temporelles, les élasticités s'appuient sur de la variance

temporelle et sont donc a priori plus fiables. Quelle que soit la méthode de calage, en coupe instantanée ou en séries temporelles, on se heurte à des problèmes de corrélations entre variables. Par ailleurs, le nombre de points d'observations est souvent limité. Dans le cas de calages sur séries temporelles nous ne disposons généralement que de séries chronologiques d'une vingtaine d'années. Dans le cas d'un modèle calibré sur données d'enquêtes, les « grandes radiales » ne sont qu'au nombre d'une quinzaine.

1.2.4. Bilan

Sur une liaison ou une origine-destination donnée, il existe plusieurs types de modèles de choix, les plus couramment utilisés étant les modèles logit et prix-temps avec comme variables de base de ces modèles, des données de prix moyens et de temps de parcours moyens entre zones. Par rapport au logit linéaire (i.e. où la fonction d'utilité est linéaire), le modèle prix-temps impose un effet asymétrique, et peut permettre la modélisation d'un effet de seuil. L'introduction de transformations logarithmiques sur les variables du logit linéaire permet toutefois d'introduire un effet d'asymétrie et de le transformer en un modèle proche du modèle prix-temps. Plus généralement il est possible d'effectuer sur les variables de la fonction d'utilité du logit des transformations de type Box-Cox (Box-Cox, Box-Tukey, directes et inverses (Gaudry et alii, 1998), qui confèrent au logit la possibilité de produire des réactions asymétriques et des effets de seuil (sans l'imposer), le niveau d'asymétrie produit étant totalement souple ; la contrepartie de cette souplesse en est une moindre mesurabilité. Les modèles logit et prix temps sont des "chevaux de bataille" de la modélisation. Ils présentent toutefois tous les deux l'inconvénient de ne pas totalement prendre en compte des effets de captivité et d'être surtout adaptés à la modélisation du choix modal sur des plages de valeurs moyennes où aucun mode de transport ne souffre d'une part modale trop extrême. Certes certaines variantes de ces modèles (Dogit standard, modèles de Box-Tukey puissance inverse) permettent la prise en compte d'effets de captivité. L'estimation de ces modèles nécessite toutefois l'estimation de davantage de paramètres, ce qui se fait au détriment de la mesurabilité. Les modèles logit et prix-temps présentent tous deux l'inconvénient d'être difficilement généralisables à 3 modes de transport : hiérarchisation de fait des modes de transport ; propriété IIA du logit multinomial. Outre ces problèmes de pertinence, les modèles de partage modal, qu'ils soient prix-temps ou logit présentent des limites en termes de cohérence avec la phase de génération.

Les modèles de partage modal sont souvent appliqués dans le cas d'études de trafic sur des relations précises. Or notre objectif n'est pas de modéliser l'impact d'un projet sur une origine-destination donnée mais d'évaluer des trafics totaux à échelle nationale. Cette échelle d'application implique des difficultés supplémentaires. Appliquer un modèle génération – partage modal sur différentes liaisons, puis agréger, conduit à de nouvelles difficultés. Ainsi que nous l'avons vu précédemment, les différents modèles de partage modal ne sont valables que sur des liaisons à fort trafic où il existe un véritable choix entre les 2 modes de transport et où les problèmes de captivité sont marginaux. Sur des transversales ou des radiales à faibles trafics, les modèles de choix sortent de leur domaine de validité moyen et l'estimation des volumes de trafic devient entachée de bien plus grandes erreurs relatives. Or la part des radiales à fort trafic, si elle représente plus de 80% du trafic aérien intérieur métropole, ne représente que 40% du trafic ferroviaire grandes lignes. Il se pose également la difficulté du zonage : comment faire correspondre les aires de chalandise d'aéroports et des trafics ferroviaires ? La taille des zones obtenues influe sur le partage modal. Il est délicat d'intégrer les temps d'accès pour des questions de mesurabilité. Enfin, lorsque les trafics par origines-

destinations ne sont pas connus sur toutes les années mais seulement sur quelques années, les élasticités sont évaluées en coupe instantanée, ce qui entraîne des biais.

Les modèles génération – partage modal peuvent être utilisés à une échelle nationale agrégée. Le premier avantage est d'éviter la difficulté de la modélisation de petites transversales ainsi que les biais dus au zonage. Par ailleurs le calage est alors effectué sur des séries temporelles ce qui permet d'avoir des élasticités calées sur de la variance temporelle donc plus fiables pour des estimations de long terme que des élasticités calées sur de la variance spatiale. Néanmoins on peut s'interroger sur les limites de la pertinence d'une telle formulation à un niveau aussi agrégé. L'idéal serait de pouvoir segmenter les trafics par segments de demande homogènes et de disposer de séries chronologiques sur ces différents segments afin d'y caler des modèles génération / partage modal.

2. Les modèles calés sur données d'enquêtes

Les modèles désagrégés sont évalués à partir de données d'enquêtes, soit enquêtes à un instant donné, soit données de panel. Comme dans les modèles agrégés, on trouve deux types de modèles : d'une part des modèles de type demande directe (Rickard, 1988), d'autre part des modèles multimodaux ayant une structure à plusieurs étapes (The Netherlands Ministry of Public Works, 1992 ; Calio, Méteyer, 2001).

2.1. Les modèles de génération

Il s'agit de modèles généralement modaux. Le nombre de voyages effectués par un individu est modélisé par une loi de Poisson en fonction des caractéristiques socio-économiques de l'individu. Une étude typique de ce type d'approche est l'analyse du niveau de mobilité ferroviaire à longue distance en Grande Bretagne effectuée par Rickard (Rickard, 1988). Après avoir segmenté la population selon des critères de PCS, âge, structure du ménage, lieu de résidence, Rickard cale deux modèles : un modèle pour déplacements professionnels (1) et un modèle pour déplacements de loisirs (2).

Modèle pour déplacements professionnels :

$$\ln \lambda_j = -6,995 + \ln N_j + 1,774 S_2 + 2,412 S_3 + 0,869 G_2 + 0,555 R_2$$

(-31,5) (9,6) (13,6) (4,1) (3,8)

Modèle pour déplacements de loisirs :

$$\ln \lambda_j = -4,525 + \ln N_j + 0,659 S_2 + 0,200 G_2 + 0,433 A_2 + 0,354 T_2 + 0,767 S_2 G_2$$

(-49,7) (4,5) (3,0) (4,9) (4,5) (3,8)

λ_j : nombre de déplacements du sous-groupe j,

N_j : nombre d'individus du sous-groupe j,

S_2 : chefs d'entreprise et cadres dans de grands établissements, professions libérales, professions intermédiaires, militaires, étudiants,

S_3 : chefs d'entreprise et cadres dans de petits établissements, employés,

G_2 : tranche d'âge 18-54 ans,

R_2 : district d'origine : Londres, grandes agglomérations,

A_2 : résidents d'un district contenant une gare grandes lignes.

T₂ : type de ménage : 1 adulte de moins de 65 ans, 2 adultes de plus de 65 ans, plus de 3 adultes.

S₂G₂ : membre à la fois des groupes S₂ et G₂

Ces modèles sont des modèles loglinéaires estimés de façon itérative par des techniques de maximum de vraisemblance.

La première limite de ces modèles réside dans l'absence fréquente de variables importantes dans l'explicitation du nombre de déplacements. Ainsi dans (Rickard, 1988), le niveau de l'accessibilité de la zone en termes de prix et de temps n'intervient pas, de même que les variables d'offre relatives aux modes concurrents. Cela interdit toute simulation de l'impact de l'offre sur la demande de trafic. Le revenu du ménage n'intervient pas de façon explicite (il n'apparaît qu'indirectement à travers la catégorie socio-professionnelle), ce qui empêche toute simulation de l'impact de l'évolution du contexte économique sur la mobilité. Certes le travail précédent aurait pu être mené sur d'autres bases afin d'utiliser comme variables segmentantes les variables de commande de notre modèle. Pour modéliser l'impact de la croissance économique sur la mobilité, on peut chercher à introduire le revenu dans les variables segmentantes. Pour pouvoir modéliser l'impact d'une variation d'offre sur la mobilité on pourrait chercher à introduire des indicateurs d'accessibilité dans le modèle. Néanmoins l'estimation de ces variables est fragile, le revenu étant souvent mal renseigné et le niveau d'offre concurrente délicat à estimer. Par ailleurs, même dans le cas où il est possible de modéliser les variations de mobilité à partir des variables explicatives de notre modélisation, il subsiste un doute sur la validité des coefficients obtenus. En effet, le principe de cette modélisation est de calibrer les paramètres du modèle à partir de la variance spatiale puis d'appliquer le modèle en temporel. Or les élasticités spatiales sont généralement différentes des élasticités temporelles. Ainsi les modèles de demande directe permettent sur un plan théorique d'estimer des élasticités relatives à l'âge. Mais les variations d'âge peuvent être en réalité soit de véritables effets d'âge, soit des effets de génération, soit des effets de revenu. En introduisant le revenu ou une variable corrélée au revenu (PCS) dans le modèle, il est possible de s'affranchir de l'effet revenu et conserver les seuls effets âge – génération. En revanche il ne paraît pas possible de distinguer effet d'âge et effet de génération, sauf à posséder plusieurs enquêtes successives et à mettre en œuvre des modèles plus élaborés calibrés sur ces séries d'enquêtes (modèles âge-cohortes par exemple). De façon générale, les élasticités spatiales par rapport à une variable peuvent être sous-estimées ou surestimées en raison d'effets sous-jacents de variables corrélées qui n'évoluent pas, en projection, de la même manière que la variable dont on mesure l'élasticité. Pour modéliser les évolutions de mobilité de manière adéquate, il faudrait mettre en œuvre des modèles de cohorte analogues à ceux développés par (Madre, Gallez, 1992) sur l'évolution de la motorisation. La mise en œuvre de tels modèles suppose néanmoins la possession de plusieurs enquêtes successives ainsi qu'un minimum de fiabilité dans ces enquêtes, ce qui est relativement délicat dans le cas de la longue distance. Dans le cas où on ne possède qu'une enquête, effectuer des projections de trafic à partir d'une telle modélisation est un exercice en partie périlleux. Dans le cas de (Rickard, 1988), la modélisation a été utilisée pour tester l'impact d'une déformation de la structure démographique sur la mobilité en faisant l'hypothèse que les effets d'âge étaient bien des effets d'âge et non de génération ... ce qui peut être discuté (cf. I.1.1.2.)

2.2. Les modèles de génération /distribution / partage modal

Comme exemples d'application, on peut citer le modèle mis en place au Service Economie et Statistiques du Ministère de l'Équipement (Calio, Méteyer, 2001), ainsi que le modèle des Pays-Bas (The Netherlands Ministry of Public Works, 1992). La modélisation de la génération est effectuée de façon analogue aux modèles de demande directe présentés précédemment. Le partage modal consiste en un modèle logit de formulation identique à la formulation agrégée, la seule différence résidant dans le calage. Les fondements théoriques de la formulation de partage modal logit multinomial dans le cas désagrégé sont présentés dans (Ben Akiva, Lermann, 1985 ; Ortuzar, Willumsen, 1994 ; Bonnel, 2004).

Les individus ont le choix entre un certain nombre d'alternatives auxquelles on associe une fonction d'utilité u_i . La micro-économie conventionnelle suppose que les individus agissent rationnellement et possèdent toute l'information, c'est-à-dire qu'ils sélectionnent toujours l'option qui maximise leur utilité nette personnelle dans la limite de leur budget (au sens financier ou en terme de budget-temps). L'utilité est supposée avoir deux composantes : une composante déterministe qui est identique à la fonction d'utilité conventionnelle de la micro-économie et qui représente le niveau d'utilité moyen mesurable que l'individu t attache à l'éventualité i ; une composante aléatoire représentant tout ce qui n'est pas mesurable quant à l'individu t , pour l'alternative i . Ce terme est fonction des préférences de l'individu pour l'alternative et des caractéristiques non mesurables de celles-ci.

$$U_{it} = V_{it} + \varepsilon_{it}$$

U_{it} = utilité de l'alternative i pour l'individu t

V_{it} = portion observable, déterministe de l'utilité

ε_{it} = portion aléatoire de l'utilité

La partie observable de l'utilité est supposée être une fonction des attributs de l'alternative X_i et des caractéristiques socio-économiques de l'individu S_t .

Pour des raisons de commodité et de calage, V_{it} est donné par :

$$V_{it} = \theta_1 Z_{it1} + \theta_2 Z_{it2} + \dots + \theta_n Z_{itn}$$

où les θ_j sont les paramètres de calage

et le vecteur Z_{it} s'écrit sous la forme : $Z_{it} = f(X_i, S_t)$

La probabilité que l'alternative i soit choisie par l'individu t est donnée par

$$P_{it} = P(U_{it} \geq U_{jt}) ; \quad \forall j \in C_t, j \neq i$$

soit :

$$P_{it} = P(\varepsilon_{jt} - \varepsilon_{it} \leq V_{it} - V_{jt}), \quad \forall j \in C_t, j \neq i$$

Une hypothèse consiste à supposer que les ε_{it} et les ε_{jt} sont distribués selon une loi normale. Cette hypothèse génère ce que l'on appelle une formulation probit, formulation satisfaisante sur le plan théorique mais peu utilisable en pratique car se présentant sous la forme d'une intégrale incalculable. On formule donc l'hypothèse que les termes aléatoires sont Indépendants et Identiquement Distribués (IID) selon une loi de Weibull, dont la fonction de distribution est donnée par : $F(\varepsilon) = \varepsilon^{-e^{-\varepsilon}}$. Par intégration, on aboutit à la formulation multinomiale logit déjà évoquée dans le paragraphe sur les modèles agrégés.

La phase de distribution est parfois traitée simultanément avec la phase de partage modal (The Netherlands Ministry of Public Works, 1992). Parfois elle est traitée indépendamment et de façon agrégée (Calio, Méteyer, 2001).

Les modèles de partage modal logit multinomial désagrégés présentent les mêmes limites de pertinence et de cohérence que dans le cas agrégé. La condition IID conduit à la propriété IIA d'indépendance des alternatives non associées, hypothèse difficilement soutenable dans le cas d'un partage modal route / air / fer. Les logit binomial et multinomial aux fonctions d'utilités linéaires présentent des propriétés discutables : absence d'asymétrie de la réponse, probabilités limites à 0, impossibilité de prendre en compte un effet de seuil. Les formulations proposées par Gaudry s'appliquent toutefois aussi bien en désagrégé qu'en agrégé. Par ailleurs, les architectures logit hiérarchiques peuvent être envisagées pour contourner la propriété IIA. Les paramètres relatifs aux différentes variables sont supposés fixes pour l'ensemble des individus, ce qui constitue une hypothèse forte. Les phases de partage modal et de génération / distribution ne sont pas cohérentes entre elles. L'intérêt de caler des modèles de partage modal sur données d'enquêtes est d'une part de pouvoir segmenter la population pour calibrer des modèles sur des segments de demande homogènes, de mieux utiliser la variance de l'échantillon pour le calibrage et donc d'augmenter le nombre de variables explicatives, donc la pertinence du modèle. Toutefois cette approche dépend fortement de la qualité des enquêtes utilisées pour le calibrage. Par ailleurs, faute de disposer de données de panel, les paramètres sont estimés à partir de données en coupe instantanée. Or les élasticités en coupe instantanée sont généralement différentes des élasticités en temporel. Pour être équivalentes il faut être sûr d'avoir parfaitement décorrélé les variables ; par ailleurs il est très difficile d'expurger les effets de génération.

2.3. Bilan sur les modélisations sur données d'enquêtes

Les modélisations sur données d'enquêtes présentent des spécifications analogues à celles des modèles agrégés calés en coupe instantanée sur des origines-destinations. Par voie de conséquence, elles présentent largement les mêmes avantages et les mêmes inconvénients en termes de pertinence et de cohérence. L'avantage des modélisations sur données d'enquêtes est de pouvoir intégrer des variables individuelles. Un inconvénient majeur de ces modèles réside dans le calage des paramètres sur de la variance spatiale en coupe instantanée. Des enquêtes successives comparables permettraient d'effectuer des analyses longitudinales et de construire des modèles âge-cohorte, contournant ainsi cette difficulté. Malheureusement, de telles données ne sont pas disponibles sur le cas français.

3. Un cas original : Matisse

Le modèle Matisse constitue un modèle original qui propose une solution au problème de la cohérence génération – partage modal. Dans un premier temps nous présentons la problématique de la cohérence induction / partage modal, puis nous présentons le fonctionnement du modèle.

3.1. Un constat : les problèmes de non cohérence des modèles de demande directe et de partage modal

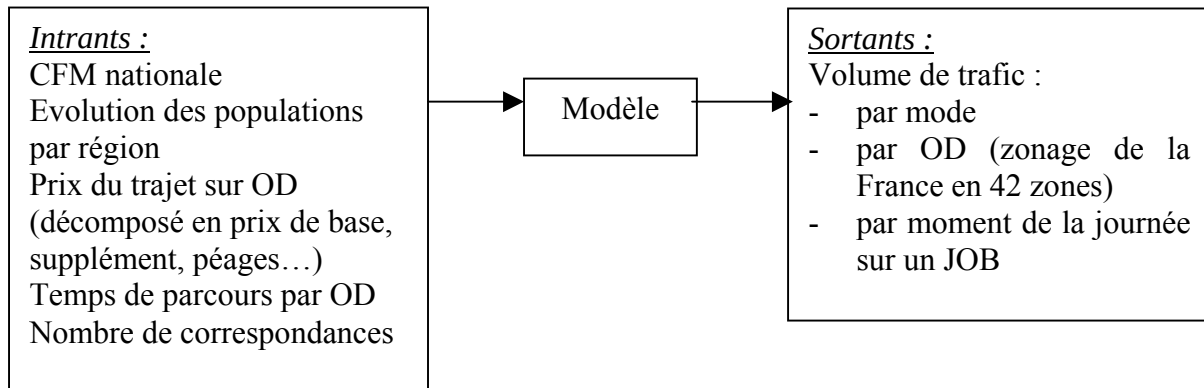
Les modèles de demande directe, tout comme les modèles de génération - partage modal, ne permettent pas de garantir la cohérence de l'induction et du partage modal, comme le montrent (Morellet, Marchal, 1999) : *"Dans le cas des deux fonctions de partage modal et d'induction, l'impossibilité de garantir les deux conditions vient de ce que la fonction de partage modal est déterminée – valeurs des composantes paramétriques comprises – selon un processus qui est indépendant du processus suivi pour déterminer la fonction d'induction. (...) Dans le cas des fonctions directes de demande modale, l'impossibilité de garantir les deux conditions vient de ce que chaque fonction modale est déterminée selon un processus qui est indépendant du processus suivi pour déterminer les autres fonctions modales, alors que l'effet d'une caractéristique d'offre de transport sur le trafic de l'un des modes est mécaniquement relié dans la réalité à l'effet de la même caractéristique sur le trafic de l'autre mode."* Il est possible de trouver des paramètres qui permettent de vérifier localement la pertinence du signe des variations de trafic de chaque mode. Toutefois, en-dehors d'une certaine plage de caractéristiques de prix et d'offre, cette condition n'est plus vérifiée, les variations de trafic modélisées sont fausses ; plus grave, du fait de la continuité des fonctions du modèle, on sait qu'il existe une certaine plage de valeurs où les valeurs des variations de trafic sont fausses, bien que le signe soit juste : l'inférence effectuée est fautive sans qu'il soit possible de le détecter (Morellet, Marchal, 1999). Le modèle Matisse (Morellet, Marchal, 1995) offre une solution à ce problème grâce à l'introduction de plusieurs concepts : le concept d'offre standard de référence et le concept de segmentation très fine de la demande en des segments qu'il est possible d'affecter par la méthode du "tout ou rien" sur l'un des modes.

3.2. Le modèle

Matisse est un modèle qui permet de simuler à long terme la demande de transport à longue distance. Sont définis comme trajets longue distance l'ensemble des trajets interdépartementaux à plus de 50km à vol d'oiseau. Matisse est un modèle multimodal (train, avion, voiture), spatialisé (il simule les volumes de trafics par origines-destinations selon un découpage de la France en 42 zones complété par quelques zones correspondant aux pays européens limitrophes), temporalisé (il produit des trafics par tranches horaires de la journée sur un jour ouvrable de base) ; Matisse distingue trajets "personnels" et "professionnels".

Matisse est destiné à être appliqué aux trajets effectués à l'intérieur d'une zone comprenant la France et les pays européens limitrophes. Il est destiné à être appliqué sur un jour ouvrable de base, la demande sur un jour ouvrable de base permettant de reconstituer la demande sur l'année. Son fonctionnement est décrit dans (INRETS, 1997a).

3.2.1. Les entrées-sorties du modèle Matisse



Les entrées du modèle sont en ce qui concerne les données socio-économiques l'indice national de consommation finale des ménages (CFM) et l'évolution des populations régionales, et en ce qui concerne l'offre de transport les prix et temps de parcours des différents modes par OD. Des indicateurs de temps de parcours terminaux interviennent dans le calcul des coûts généralisés. Il serait ainsi possible de tester également des scénarios de plus ou moins grand étalement urbain. Toutefois, ces indicateurs de temps de parcours terminaux sont plutôt des paramètres du modèle. Seul le concepteur du modèle peut vraiment faire varier ces paramètres.

Les sorties du modèle sont des volumes de trafic par mode, par OD et par moment de la journée (la journée est découpée en 20 moments différents), avec possibilité de distinguer motifs personnels et professionnels.

Dans son fonctionnement interne Matisse tient compte de la croissance de la motorisation (dont la hausse est modélisée en fonction de l'évolution de la CFM), de l'évolution du degré d'attraction pour l'avion d'une part et pour la voiture particulière d'autre part, de la diésélisation du parc (...) ces variables endogènes étant toutes modélisées en fonction des intrants du modèle.

3.2.2. Fonctionnement du modèle

Pour respecter le principe de cohérence interne du modèle et proposer une formulation théorique du modèle systématiquement valide, Matisse repose sur quelques principes clés : *la demande de trajets est désagrégée en 15000 segments suffisamment homogènes pour qu'on puisse les affecter par la méthode du tout ou rien sur le mode ayant le coût généralisé minimal* ; les impacts de l'offre de transport et du contexte socio-économique étant intimement liés l'auteur introduit *le concept "d'offre standard"* qui couplée au contexte socio-économique d'une année donnée constitue la situation de référence ; *construire le modèle consiste à fournir les formulations des évolutions du nombre de trajets segment par segment* (ces formulations doivent tenir compte de l'augmentation/réduction du nombre de trajets à type de trajets constant, mais aussi des transferts de trajets d'un segment à un autre segment).

La demande est ainsi désagrégée en 15000 segments homogènes selon certaines caractéristiques relatives soit à l'individu effectuant le trajet (valeur du temps, degré d'attraction pour la voiture particulière), soit au trajet lui-même (durée du voyage, heure souhaitée de départ, fréquence à laquelle on réalise ce trajet au cours de l'année, taille du

groupe) ; l'évolution du nombre de trajets de chaque segment est alors modélisée pour tenir compte à la fois des transferts de trajets d'un segment à un autre et de l'évolution du nombre de trajets de chaque segment indépendamment des transferts. La modélisation du nombre de trajets comprend plusieurs étapes. Le nombre de trajets de chaque segment est évalué pour le contexte socio-économique de l'année 1988 et pour une offre standard de référence (l'offre route, air, fer est supposée identique quelle que soit l'OD à certaines caractéristiques particulières). Cette phase est effectuée une fois pour toutes ; elle fait partie du calage du modèle. La modélisation en elle-même comprend plusieurs phases. Dans un premier temps, on calcule l'évolution du nombre de trajets de chaque segment lorsqu'on passe du contexte socio-économique de 1988 à celui de l'année considérée (phase 1). Dans un deuxième temps, on calcule l'évolution du nombre de trajets de chaque segment lorsqu'on passe de l'offre standard à l'offre réelle de l'OD considérée à l'année considérée en supposant que cette offre existe depuis longtemps déjà (phase 2). Dans un troisième temps, et lorsque l'offre réelle n'a été mise en place que depuis peu de temps sur l'OD considérée, on rectifie le nombre de trajets de chaque segment en tenant compte du temps de montée en charge (phase 3).

a) Phase de calage du modèle en offre standard © dans le contexte socio-économique de 1988

Les trajets sont décomposés en 15000 segments (appelés en fait "sur-segments") produits du croisement des modalités de 6 variables :

- la valeur du temps V qui peut prendre 10 couples de modalités différentes (valeur du temps pour motif personnel, valeur du temps pour motif professionnel),
- le moment auquel le voyageur souhaite réaliser son trajet, noté S, qui peut prendre 20 modalités,
- la fréquence annuelle de voyage de l'individu sur la relation, notée F, qui peut prendre 3 catégories de niveau différents,
- la durée du voyage, notée D, qui peut prendre 3 niveaux de valeurs différents,
- le degré d'attrance pour la voiture particulière, noté U, qui peut prendre 5 valeurs différentes,
- la taille du groupe, notée G, qui peut prendre 5 niveaux de valeurs différents.

En fait, les caractéristiques D et U étant supposées liées, seuls sont pris en compte certains couples de valeurs (D,U).

Chaque sur-segment n est donc caractérisé par un vecteur. L'objectif du modèle est de déterminer :

- d'une part le nombre de trajets dans la situation de référence (contexte socio-économique de 1988*offre standard) ; il s'agit d'une phase de calage du modèle,
- d'autre part les formulations d'évolution du nombre de trajets par segment entre la situation de référence et la situation réelle ; ces formulations tiennent compte d'une part des transferts de trajets d'un segment à l'autre et d'autre part des variations de trajets hors transferts.

En plus des 6 critères principaux mentionnés ci-dessus, 11 critères supplémentaires sont pris en compte. Ces 11 critères permettent de segmenter chaque sur-segment en segments. Toutefois, il n'est pas possible de traiter l'ensemble des segments ainsi définis. Afin de ne pas augmenter le nombre des segments à traiter, le modèle utilise seulement un échantillon de l'ensemble des segments possibles. L'échantillon est construit en ne retenant qu'un seul

segment au sein de chaque sur-segment. Le choix du segment retenu s'effectue par un tirage aléatoire de façon à ce que la distribution des vecteurs de valeurs des 11 critères soit représentative de celle existant pour l'ensemble de la population des segments.

En fait ces critères n'interviennent pas directement dans l'évaluation du nombre de trajets dans les phases 0 et 1. En revanche ils interviennent dans le calcul du coût généralisé des différents segments, et, par voie de conséquence, dans les modifications du nombre de trajets en phase 2.

b) Phase 1 de la modélisation : passage du contexte socio-économique de 1988 au contexte socio-économique de l'année x

Le principe de la modélisation est le suivant : on suppose qu'une augmentation de CFM entraîne un double phénomène : une augmentation du nombre de trajets par personne pour les personnes ayant une valeur du temps donnée, des transferts de personnes ayant de faibles valeurs du temps vers les groupes de personnes ayant une forte valeur du temps. Globalement le deuxième phénomène l'emporte sur le premier.

La formulation retenue est la suivante :

Si la zone est Paris :

$$\pi(x, \Theta, n) = \pi(1988, \Theta, n) * \prod_{\tilde{x}=x}^x [1 + \varepsilon_v(V_n, CFM(\tilde{x} - 1)) * (0,9 * \delta_{CFM}(\tilde{x}) - \delta_v(V_n))] \\ * [1 + \varepsilon_g(G_n) * (x - 1988)] * l(x, zones)$$

Le premier crochet traduit le lien entre trafic et revenu total des ménages.

δ_{CFM} est le taux de croissance de la CFM entre l'année précédente et l'année en cours.

$\delta_v(V_n)$ est un coefficient qui dépend de la valeur du temps.

ε_v est un coefficient qui dépend à la fois de la valeur du temps et de la CFM selon la formulation suivante :

$$\varepsilon_v(V_n, CFM(\tilde{x} - 1)) = \frac{\varepsilon'_v}{1 + \exp(\varepsilon''_v * CFM(\tilde{x} - 1))}$$

où ε'_v ε''_v sont des constantes.

$\varepsilon_g(G_n)$ est un coefficient qui dépend de la taille du groupe.

$l(x, zones)=1$ pour les années comprises entre 1975 et 1996 ;

$l(2015, zones)=[(l_i * l_j)/1,225]^{0,15}$ avec l_i et l_j les quotients de population prévus par l'INSEE en 2015 et de la population observée en 1996.

Si la zone n'est pas Paris, le coefficient 0,9 devant le δ_{CFM} est supprimé ; pour le reste la formule est identique,

En fait cette formulation exprime le fait qu'une hausse du PIB entraîne d'une part une hausse de mobilité des voyageurs ayant une valeur du temps donnée et d'autre part un transfert de trajets depuis des segments à faible valeur du temps vers des segments à forte valeur du temps, le deuxième phénomène l'emportant sur l'autre. En pratique, la hausse du nombre de trajets de chaque segment une année donnée est "proportionnelle" au taux de croissance de la CFM, à un coefficient près, négatif pour les segments à faible valeur du temps, positif pour les segments à forte valeur du temps. La complexité de la formule vient de ce que certains coefficients rectificatifs ont été introduits : le coefficient de proportionnalité au taux de croissance de la CFM dépend aussi du niveau de croissance déjà atteint, le coefficient $\delta_v(V_n)$ traduit le fait qu'à faible croissance économique, le niveau de mobilité des ménages à faibles revenus diminue (il n'augmente qu'au-delà d'un seuil minimum de croissance). Enfin le niveau de mobilité dépend de l'évolution démographique des régions.

On remarque que l'évolution de la structure des différents segments est entièrement déterminée par l'évolution de la structure des différentes valeurs du temps. Toutes les autres variables sont supposées évoluer de façon entièrement corrélée avec la valeur du temps. La constatation que cette hypothèse s'est révélée non valide pour la variable taille de groupe est d'ailleurs à l'origine du coefficient rectificatif $\varepsilon_g(G_n)$.

c) Phase 2 de la modélisation : passage de l'offre standard à l'offre réelle de la liaison à l'année x en supposant qu'elle existe "depuis longtemps déjà"

Dans le cas d'une offre existant "depuis longtemps déjà à l'année x", l'évolution du nombre de trajets du segment V_n est fournie par la formulation suivante :

$$\pi(x, \Delta, n) = \pi(x, \Theta, n) * [\mathfrak{R}_1(x, \Delta, n) + \mathfrak{R}_2(x, \Delta, n) / 2] * \mathfrak{R}_3(x, \Delta, n)$$

Cette formulation traduit 3 phénomènes :

- une variation du nombre de trajets de chaque segment qui est liée à la variation du coût généralisé ressenti par les voyageurs de ce même segment, appelée "phénomène de type 1",
- une variation du nombre de trajets de chaque segment qui est liée à la variation du nombre des trajets qui font partie des mêmes voyages que les trajets des segments, appelée "phénomène de type 2",
- un transfert d'une partie des trajets de chaque segment vers d'autres, appelé "phénomène de type 3".

$\mathfrak{R}_1$ traduit le phénomène de type 1 : il s'agit en fait d'un ratio des coûts généralisés avec en puissance un facteur qui dépend des différentes variables caractéristiques du segment.

$$\mathfrak{R}_1(x, \Delta, n) = \left[\frac{\zeta(V_n) + \hat{C}(1988, \Theta, n)}{\zeta(V_n) + \hat{C}(x, \Theta, n)} \right]^{b(x, n)}$$

$\hat{C}(1988, \Theta, n)$: coût généralisé que ressentiraient les voyageurs du segment n en offre standard chacun des voyageurs du segment repéré par le numéro n dans le contexte socio-économique de 1988.

$\hat{C}(x, \Delta, n)$: coût généralisé que ressentiraient les voyageurs du segment n en offre réelle chacun des voyageurs du segment repéré par le numéro n dans le contexte socio-économique de l'année x .

$$b(x, n) = b_v(V_n) * b_s(S_n) * b_f(F_n) * b_{du}(D_n, U_n) * b_g(G_n) * [\pi(1988, \Theta, n) / \pi(1988, \Theta, n)]^{0,10}$$

$b_v, b_s, b_f, b_{du}, b_g$ sont des fonctions directement définies en fonction des valeurs $V_n, S_n \dots$

$\mathfrak{R}2$ est une fonction destinée à traduire le phénomène de type 2 et – pour partie et de façon implicite – le phénomène de type 3. $\mathfrak{R}3$ est une fonction destinée à traduire les phénomènes de type 3 non déjà pris en compte par la fonction $\mathfrak{R}2$. Les formulations de ces deux fonctions étant lourdes, nous renvoyons à (INRETS, 1997a) pour leur présentation.

d) Phase 3 de la modélisation : prise en compte des temps de montée en charge

Si l'offre existe depuis peu et n'améliore que modérément l'offre précédente, les voyageurs n'ont généralement pas encore modifié leurs habitudes. Il existe un temps de montée en charge que prend en compte le modèle (INRETS, 1997a).

e) Bilan

Par certains aspects, le modèle Matisse se présente comme un modèle classique. La France est découpée en un zonage agrégé en 42 zones sur lesquelles sont évalués des coûts généralisés moyens. Le seul intrant socio-économique du modèle est le niveau de CFM national ainsi que l'évolution de la population et de sa répartition spatiale.

L'originalité du modèle MATISSE réside dans son fonctionnement. Contrairement à des modèles classiques, Matisse n'évalue pas une mobilité ou une variation de mobilité pour une population hétérogène mais des variations / transferts de trajets de certains segments vers d'autres segments suffisamment homogènes pour être considérés comme monolithiques. Cette désagrégation de la demande en segments monolithiques du point de vue du choix de mode ainsi que l'introduction du concept d'offre standard permet une totale cohérence génération / partage modal et la prise en compte conjointe de l'impact de la conjoncture socio-économique et de l'offre de transport.

Dans MATISSE, il n'est dès lors pas possible de séparer simplement impact d'une modification du contexte socio-économique et impact d'une modification de l'offre de transport, ou d'identifier simplement ce qui relève d'un effet de partage modal ou d'induction. La modification de l'offre de transport intervient de plusieurs façons dans la modélisation du nombre de trajets : une modification des caractéristiques d'un mode de transport entraîne une modification de son coût généralisé segment par segment, ce qui peut faire basculer la demande de trajets de certains segments sur ce mode de transport si celui-ci devient le mode de coût généralisé minimal ; ces modifications de coûts généralisés se traduisent aussi par des transferts de demande d'un segment à un autre ainsi que par des évolutions du nombre de trajets à catégorie de trajets inchangée (fonctions $\mathfrak{R}1, \mathfrak{R}2, \mathfrak{R}3$ de la phase 2 de la modélisation). La modification du contexte socio-économique se traduit par une modification du nombre de trajets segment par segment au sein de la phase 1 du modèle "passage du

contexte socio-économique de l'année de référence au contexte de l'année de projet" mais aussi par une modification du coût généralisé et, par voie de conséquence, par des modifications de répartition modale au sein de la phase 2 "impact de l'offre de transport". Il existe des effets combinés impact de l'évolution de l'offre / impact de l'évolution du contexte socio-économique (au niveau de la phase 2 du modèle). De même il n'est pas possible de séparer transfert modal et induction. Le basculement de certains segments d'un mode à un autre mode relève d'un transfert modal, de même que les transferts d'un segment vers un autre segment de la fonction $\mathfrak{R}3$, la variation du nombre de trajets de la fonction $\mathfrak{R}1$ correspondant plus à de l'induction, la fonction $\mathfrak{R}2$ étant davantage composite des deux phénomènes.

Le modèle MATISSE est parfaitement cohérent du point de vue génération – partage modal. Sa contrepartie en est un nombre élevé de paramètres à mesurer.

4. Bilan sur les méthodes de modélisation

Si nous exceptons le modèle Matisse, les modèles généralement utilisés pour modéliser les déplacements à longue distance sont soit des modèles génération – partage modal calés sur données d'enquêtes, soit des modèles de demande directe calés sur séries temporelles, soit des modèles génération – partage modal calés sur données opérateurs (en coupe instantanée sur des origines-destinations ou en temporel sur des séries chronologiques). Les modèles calés sur données d'enquêtes permettent de segmenter la mobilité par catégories de distance, ce qui est intéressant compte tenu des contrastes de partage modal suivant les segments de mobilité constatés dans le chapitre 2. Toutefois les élasticités sont des élasticités calées sur de la variance spatiale à une date donnée, ce qui risque de les faire différer des élasticités temporelles. L'évolution des déplacements longue distance étant fortement liée à la croissance économique, les évolutions de long terme évaluées à partir de variance spatiale risquent de différer considérablement des évolutions observées. Une solution pour contourner cet écueil serait d'utiliser des modèles âge-cohorte, ce qui nécessite de posséder des enquêtes successives réalisées selon la même méthodologie. Comme les modèles calés sur données d'enquête, les modèles génération – partage modal calés en agrégé sur données opérateurs en coupe instantanée risquent de conduire à des élasticités biaisées du fait qu'elles auront été calées sur de la variance en coupe instantanée pour être utilisées en temporel. Les modèles calés directement sur séries temporelles fournissent des élasticités plus fiables du fait qu'elles sont calées en temporel. Néanmoins ce type de modélisation soulève plusieurs difficultés, tant au niveau de leur spécification que des variables utilisées. Les modèles de demande directe ne reprennent pas la mécanique génération – partage modal. Les modèles génération-partage modal paraissent mieux adaptés pour reprendre les logiques de marché, toutefois pour que ces modèles soient pleinement pertinents, il serait souhaitable de segmenter le marché total de la longue distance en segments homogènes pour caler ensuite l'évolution du partage modal sur ces segments sur données temporelles... ce qui n'est pas toujours possible compte tenu des données à disposition. Les modèles agrégés calés sur séries temporelles, qu'ils soient de demande directe ou de génération – partage modal nécessitent d'utiliser peu de variables explicatives ; par ailleurs ces variables explicatives doivent être fortement agrégées. Or une même variable explicative peut correspondre à des évolutions contrastées de la structure d'offre de transport et donc à des variations diverses des trafics globaux. La spécification des variables utilisées constitue un enjeu fort de la modélisation macro-économique sur séries temporelles.

II. Les modèles appliqués au contexte français

En France, on retrouve les différents types de modèles cités précédemment : modèles de demande directe calés sur séries temporelles, modèles catégoriels / désagrégés calés sur l'enquête transports et communication, modèles axiaux prix-temps et enfin Matisse. Nous présentons ces différents modèles (1.) et leurs élasticités (2.) avant d'en tirer un bilan par rapport à notre modélisation.

1. Les modèles existant en France

Le modèle Matisse a été décrit dans la section précédente. Nous en rappelons toutefois le champ d'application et les sorties (1.1.). La mobilité par mode au niveau national a aussi fait l'objet de modélisations de demande directe de la part du SES ou du CREDOC (section 1.2). Des modèles génération / partage modal sur données d'enquête ont par ailleurs été construits (1.3.). Les grands projets d'infrastructures font l'objet de modélisations spécifiques (1.4.).

1.1. Le modèle MATISSE

Le détail des principes et du fonctionnement de Matisse a été présenté dans la partie précédente. Matisse offre des sorties à la fois par mode, par origines-destinations selon un zonage en 42 zones, par tranches horaires, sur des déplacements internes à la France mais aussi France – pays limitrophes. Le niveau de détail de ses sorties lui permet de répondre à des problématiques fines sur le plan spatio-temporel tout en étant un modèle d'ensemble applicable à l'ensemble de la France.

1.2. Les modèles de demande directe calés sur séries temporelles

On peut citer les travaux de (Madre, Lambert, 1989 ; Madre, Pirotte, 1992) analysant l'évolution des trafics automobiles sur routes et autoroutes, ainsi que les modèles du SES qui étudient les trafics nationaux par mode (fer, air, autoroutes, routes nationales). Nous présentons les relations retenues, les variables macro-économiques utilisées et les valeurs des élasticités.

- **L'étude du CREDOC (Madre, Lambert, 1989)**

Il s'agit d'une modélisation déjà ancienne portant sur la période 1970-1982 qui modélise le volume total de trafic au niveau national en distinguant les différents types de réseaux : autoroutes concédées, autoroutes non concédées (généralement situées en milieu péri-urbain), et routes nationales.

Les variables retenues sont :

- PARC, parc automobile des ménages ; cette variable est modélisée en projection à l'aide d'un modèle démographique qui s'appuie sur les enquêtes conjoncture de l'INSEE,

- R, revenu réel moyen par ménage (revenu disponible brut de la comptabilité nationale) ;
- CARB, prix relatif des carburants, variable qui a un pouvoir explicatif nettement meilleur que celui de l'ensemble des coûts d'utilisation des véhicules ;
- L, longueur du réseau autoroutier en service au début de chaque année ; les auteurs notent que la réaction des usagers à l'ouverture de nouveaux tronçons est rapide, puisque cette variable retardée d'un an a un pouvoir explicatif moindre ; toutefois, ils soulignent que le trafic supplémentaire important qui apparaît dès la première année provient principalement d'un transfert d'anciens usagers du train, le « trafic induit » proprement dit (apparition de nouveaux déplacements générés par l'ouverture de la nouvelle infrastructure) ne se développe qu'à plus long terme ; les séries statistiques étudiées sont trop courtes et trop agrégées pour faire apparaître de tels effets différenciés.
- LIU la longueur du réseau autoroutier interurbain ;
- LPU la longueur du réseau autoroutier périurbain.

Deux types de modèles sont développés : linéaires et loglinéaires. Pour les autoroutes concédées, le modèle loglinéaire se révèle avoir un meilleur pouvoir explicatif. Pour les autres réseaux, le modèle linéaire se révèle préférable.

Pour les autoroutes concédées, modèle log-linéaire :

$$R^2 = 0,9998$$

$$\ln(\text{CAIU}) = -11,4 + 0,62 \ln(\text{LIU}) - 0,28 \ln(\text{CARB}) + 0,91 \ln(\text{PARC}) + 0,75 \ln(\text{R})$$

(2,6) (6,9) (3,5) (6,1) (2,3)

Pour les autoroutes concédées, modèle linéaire :

$$\text{CAIU} = 1,62 \text{ LIU} - 134 \text{ CARB} + 1,37 \text{ PARC} - 120 \text{ PEAG} + 0,16 \text{ R}$$

(2,1) (7,9) (7,6) (4,0) (3,2) $R^2 = 0,9998$

Pour les autoroutes non concédées :

$$\text{CAPU} = -15165 + 19,7 \text{ LPU} - 57 \text{ CARB} + 0,14 \text{ R}$$

(2,4) (14,1) (2,3) (2) $R^2 = 0,984$

Pour les routes nationales :

$$\text{CRN} = 0,46 \text{ R} + 1,38 \text{ PARC} - 99 \text{ CARB}$$

(23) (17,3) (3,6) $R^2 = 0,997$

Pour le trafic national total :

$$\text{CTOT} = -34514 + 3,64 \text{ PARC} + 0,72 \text{ R} - 212 \text{ CARB} + 3,4 \text{ LA}$$

(1,7) (4,1) (4,5) (3,7) (1,5) $R^2 = 0,997$

Les ajustements sont bons pour les trafics sur autoroutes concédées, les routes nationales et le trafic national total. Pour les autoroutes non concédées, les R^2 sont plus faibles, car les déterminants du trafic sont locaux (développement de l'habitat périurbain et de la motorisation corrélative), et donc malaisés à caractériser au niveau national. En effet, les deux tiers des autoroutes non concédées sont des voies rapides en zone périurbaine où le trafic est en pleine expansion et les facteurs introduits dans les modèles ne rendent compte de ce phénomène que de manière très indirecte (Madre, Lambert, 1989).

- **La régionalisation des trafics automobiles**

L'étude précédente est affinée dans le cadre de prévisions régionales du trafic (Madre, Pirotte, 1992). Les évolutions des trafics automobiles par régions sont modélisées à l'aide d'un modèle sur données de panel à effets fixes :

$$y_{it} = \theta + \sum_{j=1}^{\gamma} x_{j,it} \beta_j + \sum_{i=1}^N \alpha_i + \sum_{t=1}^T \Phi_t + \varepsilon_{it}$$

où les indices i se rapportent aux régions, les indices t aux années, et les j aux variables explicatives

les y_{it} sont les données de trafic à modéliser et les $x_{j,it}$ sont les variables explicatives

les α_i et les Φ_t constituent les effets spécifiques certains.

Les séries modélisées sont : les consommations de carburant (qui traduisent le volume de circulation totale), la circulation sur autoroutes concédées VL seuls, la circulation sur autoroutes interurbaines VL seuls et la circulation sur routes nationales (VL + PL). La circulation sur autoroutes inter-urbaines est estimée en expurgeant les trafics des tronçons périurbains grâce à un lourd travail de données. Les variables utilisées sont : le parc automobile par tête (obtenu à partir des ventes de vignette) ; le revenu réel des ménages par tête ; le prix moyen des carburants ; la longueur des autoroutes concédées (ou selon la série modélisée la longueur des autoroutes interurbaines) ; une indicatrice valant 1 quand il n'y a pas d'autoroutes interurbaines en service dans la région i et 0 sinon. Les seules indicatrices Φ_t conservées sont les indicatrices relatives aux années 1974 et 1986.

Les circulations sur autoroutes concédées, interurbaines et routes nationales sont estimées à l'aide du modèle à effet fixe. Les consommations de carburant sont dans un premier temps modélisées par un modèle à effets fixes. Toutefois, partant de l'hypothèse que les consommations de carburant dépendent de la structure locale des réseaux, l'analyse des constantes de ce modèle à effets fixes (couplée à des éléments de réflexion d'ordre plus qualitatif) est utilisée pour définir trois groupes de régions (de transit, urbaines ou frontalières, touristiques) sur lesquels sont à nouveau calibrés des modèles à effets fixes.

Nous présentons uniquement les élasticités issues du modèle sur autoroutes concédées pour les seuls véhicules légers. L'élasticité-parc est très forte (1,7). Les élasticités par rapport au prix (-0,7) et par rapport à l'allongement du réseau sont assez élevées (beaucoup plus que dans le cadre de la modélisation de la circulation totale).

- **Les études économétriques du SES (SES, 1998d)**

Le SES a calibré un certain nombre d'équations économétriques destinées à modéliser les différents types de trafic train, avion, voiture (Blain, NGuyen, 1994a, b).

Trafic intérieur Air Inter :

période : 1975-1992

$$\ln(\text{aipkdo}) = 0,75 \ln(\text{pibm}) - 0,53 \ln(\text{aiprodm}) - 0,017 \ln(\text{vktgv}) + 0,56 (\text{aisko}) + 0,054 \ln(\text{trend80}) - 117,7$$

(6,8) (7,2) (2,3) (8,8) (2,6) (12,6)

$R^2 = 0,9996$ $\text{See} = 0,011$ $\text{DW} = 2,45$

aipkdo	nombre de passagers.kilomètres sur les lignes intérieures
pibm	produit intérieur brut marchand
aiprodm	prix moyen relatif du kilomètre parcouru payé par le passager
vktgv	nombre de voyageurs-kilomètres dans les TGV
aisko	nombre de sièges-kilomètres offerts
trend80	trend temporel - trend 80- valant 0 de 1970 à 1979, 1 en 1980, 2 en 1982, etc...

Trafic routier sur le réseau national :

période : 1976-1991

$$\ln(\text{partot}) = 1,20 \ln(\text{pib}) - 0,22 \ln(\text{ratiopx}) + 0,25 \ln(\text{parctot}) - 0,60 \ln(\text{snvit}) - 10,7$$

(12,1) (8,3) (3,0) (4,1) (10,6)

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

partot	trafic routier total
pib	produit intérieur brut total
ratiopx	rapport du prix moyen du carburant nécessaire pour parcourir 1 km avec une voiture particulière par rapport au prix du kilomètre parcouru en train.
parctot	parc total des véhicules en France
snvit	vitesse moyenne des rapides-express de la SNCF

Trafic sur autoroutes concédées :

période : 1976-1992

$$\ln(\text{pautc}) = 0,25 \ln(\text{pautc}(-1)) + 0,92 \ln(\text{pibm}) - 0,47 \ln(\text{pcarb}) - 0,96 \ln(\text{peagecu}) + 0,65 \ln(\text{resautc}) - 11,3$$

(2,7) (3,7) (4,3) (9,0) (6,3) (3,4)

$$R^2 = 0,9984 \quad \text{See} = 0,027 \quad \text{DW} = 1,98$$

pautc	trafic sur les autoroutes concédées à l'année n
pautc(-1)	trafic sur les autoroutes concédées à l'année n-1
pibm	produit intérieur brut marchand
pcarb	prix des carburants
peagecu	mesure des prix du péage : on divise la recette des péages en francs constants par le nombre de véhicules-kilomètres parcourus sur les autoroutes concédées
resautc	longueur du réseau autoroutier

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

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

Trafic sur le réseau principal SNCF :

période : 1976-1992

$$\ln(\text{snvkrp}) = 0,43 \ln(\text{cfm}) - 0,70 \ln(\text{snprodm}) + 0,20 \ln(\text{pcarb}) + 1,08 \ln(\text{snvitrp}) - 1,80$$

(2,7) (3,8) (3,5) (2,4) (2,5)

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

snvkrp	nombre de voyageurs-kilomètres sur le réseau principal
cfm	consommation des ménages
snprodm	produit moyen SNCF en francs constants
pcarb	prix des carburants
snvitrp	vitesse moyenne des trains sur le réseau principal

Cette équation relative au fer a été réactualisée dans (Sauvant, 2002). L'équation est désormais basée sur des séries 1978-2002 :

$$\ln(\text{Tf}) = 2,37 + 0,94 \ln(\text{cfm}) - 0,74 \ln(\text{pf}) + 0,38 \ln(\text{pr})$$

avec Tf : trafic ferroviaire

cfm : consommation finale des ménages

pf : produit moyen du fer

pr : prix des carburants

Pour le ferroviaire, la vitesse qui était significative sur la période 1975-1994 ne l'est plus si on considère l'ensemble de la période 1978-2002. L'élasticité au PIB est passée de 0,4 à 0,9 entre les calages effectués sur 1975-1992 et ceux de 1978-2000. (Sauvant, 2002a) l'interprète par l'augmentation de la part des TGV au sein du trafic ferroviaire. "L'élasticité-revenu obtenue pour l'ensemble du transport ferroviaire de voyageurs correspond vraisemblablement à la superposition d'un secteur avec une élasticité au revenu proche de 1,5 (TGV) et d'un autre avec une élasticité au revenu proche de 0 (train classique)." L'élasticité au prix du fer reste identique (-0,7), celle au prix de la route aussi (0,4).

Au niveau de l'aérien, l'élasticité au PIB est de 0,75. On note toutefois que la variable nombre de sièges.kilomètres offerts figure parmi les variables explicatives. Or le nombre de sièges.kilomètres offerts dépend au moins autant du volume de voyageurs.kilomètres que l'inverse. Le nombre de sko est directement lié au nombre de passagers.kilomètres par la relation : $\text{aipkdo} = \text{aisko} * \text{coefft de remplissage}$. Les compagnies aériennes veillent à ce que leur taux de remplissage soit le plus élevé possible et sur la période de calage du SES ce taux est resté stable pour Air Inter à 0,65 (Mémentos statistiques de l'OEST). Le nombre de sièges.kilomètres offerts ne constitue pas en lui-même un critère d'appréciation de l'offre aérienne par les passagers ; seule la fréquence revêt de l'importance. Il est normal que le nombre de sièges.kilomètres offerts soit fortement explicatif du nombre de voyageurs.kilomètres, mais en pratique la relation de causalité est plutôt inverse. L'introduction du nombre de sièges.kilomètres offerts conduit ainsi à faire baisser artificiellement les valeurs des coefficients relatifs aux autres variables. On peut penser que l'élasticité du trafic aérien par rapport au PIB est en réalité supérieure à 0,75. Des publications ultérieures du SES (Sauvant, 2002a) proposent d'ailleurs une élasticité du trafic aérien au PIB nettement supérieure, de l'ordre de 1,5.

1.3. Les modèles calés sur l'enquête transports et communication de 1993

Dans un premier temps, nous présentons Modev, le modèle du SES à 4 étapes calé sur l'enquête transports et communications de 1993, puis dans un deuxième temps une modélisation du partage modal également calée sur l'enquête transports et communication de 1993.

1.3.1. MODEV (Calio, Méteyer, 2001)

MODEV est un modèle multimodal et spatialisé pour les transports de voyageurs et de marchandises à plus de 100km développé par le SES. Il a pour mission de fournir une première évaluation rapide de l'intérêt des projets d'infrastructures (Calio, Méteyer, 2001).

MODEV comprend deux sous modèles : un modèle global et un modèle détaillé. Le modèle global a pour objectif de rassembler l'ensemble des bases de données du Ministère et de les implémenter selon un zonage en 342 zones (les 342 zones d'emplois). En pratique, ces flux ne sont jamais observés à un niveau aussi fin qu'un maillage en zones d'emplois. Pour obtenir des flux entre zones d'emplois, les flux sont désagrégés au prorata des populations ou alors selon un modèle gravitaire. Les taux de croissance des différents flux sont définis de façon exogène à MODEV et ne sont donc pas modélisés. Les matrices de flux sont ensuite affectées sur le zonage par le plus court chemin pour les flux SNCF et par la loi d'Abraham pour les flux routiers.

Le modèle détaillé se présente pour sa part sous la forme d'un modèle à 4 étapes agrégé au niveau des phases de génération et distribution, et désagrégé dans la phase de partage modal. Des générations / attractions sont calculées au niveau des zones d'emplois au prorata des populations, nombre de lits d'hôtels et places de camping pour les déplacements personnels, au niveau du nombre d'emplois et du pourcentage d'emplois tertiaires pour les déplacements professionnels. La distribution est alors effectuée selon un modèle gravitaire :

$$\text{Flux}_{ij} = a_i \cdot b_j \cdot \text{Emission}_i \cdot \text{Attraction}_j \cdot F(C_{ij})$$

avec : a_i et b_j des coefficients d'ajustement,

$$F(C_{ij}) = C_{ij}^{X_1} \exp(X_2 C_{ij})$$

Le partage modal est un modèle logit multinomial calé de façon désagrégée. L'unité de compte est l'individu. Six fonctions d'utilité ont été calées : 3 modes * 2 motifs.

1.3.2. Le modèle de partage modal désagrégé (Dumartin, Maurice, 1998)

Il s'agit d'une modélisation antérieure à MODEV. Elle a été développée sur les données fournies par l'exploitation de l'enquête transports - communications de 1993-1994 (déplacements de plus de 100km uniquement). Ces données ont été segmentées suivant le motif (personnel d'un côté ; professionnel de l'autre), suivant la distance (pour le professionnel, trois classes de distance sont ainsi constituées : moins de 300km, entre 300km et 700km, plus de 700km), suivant la saison (pour le motif personnel - loisirs on distingue été et hors été).

La typologie a ainsi été la suivante :

- pro_1 : déplacements professionnels de moins de 300km
- pro_2 : déplacements professionnels compris entre 300 et 700 km
- pro_3 : déplacements professionnels de plus de 700km

- pers_1 : déplacements personnels effectués par une personne non motorisée à moins de 410 km
- pers_2 : déplacements personnels effectués par une personne non motorisée à plus de 410 km
- pers_3 : déplacements personnels effectués par une personne motorisée à moins de 440 km hors période juillet-août
- pers_4 : déplacements personnels effectués par une personne motorisée de plus de 440km hors période juillet-août
- pers_6 : déplacements personnels effectués par une personne motorisée de plus de 440km en juillet-août

Pour chacun des segments ainsi définis, un modèle logit a été calé pour modéliser le partage modal en fonction des caractéristiques des offres de transport existantes sur les différentes relations (Tableau 29 et Tableau 30).

Tableau 29 : Effectifs des classes modélisées et répartition par modes

	pro_1	pro_2	pro_3	per_1	per_2	per_3	Per_4	per_5	per_6
Total	3935	1072	253	1220	481	9052	2683	2624	412
Voiture	2808	570	50	748	144	8411	2590	1873	300
Train	1120	379	55	471	314	635	92	597	79
Avion	7	123	148	1	23	6	1	154	33

Source : (Dumartin, Maurice, 1998)

Tableau 30 : Valeurs des paramètres des modèles logit

	pro_1	pro_2	pro_3	per_1	per_2	per_3	Per_4	per_5	per_6*
intercept_1	4,0881	2,353	0,0559	1,9425	-0,2609	5,1459	5,9761	3,9905	4,55
intercept_2	10,1722	4,6766	1,2517	8,7787	3,9526	10,0297	10,5959	6,2715	6,44
écar_fv	0,00323	0,00526	-	0,00318	0,00448	0,00506	0,00464	0,00266	0,00206
nb_fer	-0,2634	- ?	-0,1418	-0,0316	-	-0,1018	-0,0878	-0,0973	-0,1695
indi_fer	0,2425 ?	-	-0,8825	-0,8119	-	-0,8191	-	-0,7782	-0,9622
nb_air	-	-0,1718	-0,0636	-	-0,0549	-0,1083 ?	-	-0,0962	-
longueur	-	-0,0032	-	0,00318 ?	-	-0,0056	-0,00804	-0,00289	-0,00289

écar_fv : Temps ferroviaire entre gare - temps en voiture entre centres de zones (exprimé en centièmes d'heure)

nb_fer : Nombre de services ferroviaires quotidiens entre les gares d'origine et destination

indi_fer : 1 si les gares appartiennent aux communes origine et destination ; 0 sinon

nb_air : Nombre de services aériens quotidiens entre les aéroports des zones origine et destination (hors correspondances)

longueur : longueur déclarée du déplacement (en km)

? : valeur douteuse

- : variable non significative

* : relation sur laquelle il n'existe en principe aucune offre aérienne

Source : (Dumartin, Maurice, 1998)

1.4. Les modèles utilisés dans le cadre des grands projets d'infrastructures

Les projets TGV et autoroutiers bénéficient de méthodologies bien rodées.

1.4.1. Estimation du trafic pour les projets TGV : la méthodologie SNCF

La méthodologie SNCF associe un modèle prix-temps pour l'estimation du transfert modal de l'avion vers le train et un modèle gravitaire permettant d'évaluer le trafic supplémentaire dû au détourné de la route et à l'induction (Chopinnet, 1998). Pour le modèle prix-temps, la SNCF retient des valeurs de l'ordre de 150F de l'heure (F96, valeur du temps en l'an 1996) pour la moyenne des valeurs du temps et un écart type de 1,47. La moyenne des valeurs du temps est supposée augmenter au même rythme que la consommation finale des ménages. L'écart type est supposé rester stable. Nous avons déjà présenté cette méthode et ses limites théoriques dans le chapitre précédent. Sur le plan pratique, cette méthodologie a montré son opérationnalité sur les projets TGV Sud-Est et Atlantique. Toutefois, elle trouve ses limites sur des liaisons plus courtes (type Paris-Lille) où domine l'induction et le détourné de la route et ne peut s'appliquer à des liaisons transversales à faibles fréquences aériennes.

Des modèles autres que le prix-temps peuvent être ponctuellement mis en place : par exemple modélisation sur panel SNCF (Calzada, Hammadou, 1998) pour le TGV Nord.

1.4.2. Estimation du trafic pour les projets autoroutiers : la méthodologie du Setra

La méthodologie utilisée jusqu'à présent pour prévoir le trafic dans le cadre de projets autoroutiers est décrite dans le « Guide des études de trafic interurbain » du Setra (Setra, 1992). Lorsque l'offre de transport routier est améliorée, l'augmentation de trafic à attendre est de plusieurs ordres : effet réseau (des usagers utilisant auparavant un itinéraire n'empruntant pas l'axe considéré peuvent modifier leur itinéraire afin de bénéficier de la nouvelle autoroute) et induction de trafic.

L'estimation du report de trafic des routes nationales vers les autoroutes nouvellement créées est modélisée par la loi d'Abraham :

$$T_1 / T_2 = (C_{g1} / C_{g2})^{10}$$

T_1, T_2 : trafic sur les itinéraires 1 et 2 pour le flux O-D considéré,

C_{g1}, C_{g2} : coût généralisé des itinéraires 1 et 2.

L'induction de trafic est évaluée pour chaque itinéraire selon la formulation suivante :

$$T_{ap} = T_{av} * (C_{av} / C_{ap})^{2/3}$$

T_{av}, C_{av} : trafic et coût généralisé sur l'itinéraire pour l'OD avant projet,

T_{ap}, C_{ap} : trafic et coût généralisé sur l'itinéraire pour l'OD après projet.

La croissance du trafic hors effet d'offre est estimée à l'aide de taux de croissances issus de modélisations économétriques portant sur l'évolution des trafics à l'échelle nationale, telles que (Madre, Lambert, 1989 ; Madre, Pirote, 1992).

Cette méthodologie est actuellement en cours de refonte, dans le cadre du projet IMAPT du SETRA (Informatisation du Modèle d'Affectation Prix-Temps). Un algorithme d'affectation

prix-temps va être substitué à la loi d'Abraham. Par ailleurs, la modélisation de la demande évolue vers une approche multimodale.

2. Les élasticités obtenues

Le modèle Matisse et les modèles économétriques du SES fournissent des élasticités apparentes aux différentes variables explicatives ainsi que des valeurs d'effets respectifs des différentes variables sur certaines périodes (INRETS, 1997b ; Girault, 1997 ; Calzada, 1997).

Les effets de Matisse pour différentes variables et différentes périodes sont présentés dans (INRETS, 1997b). Nous reprenons ces valeurs en deux tableaux, le premier présentant les effets de Matisse sur la période 1980-1992 (Tableau 31) et le deuxième sur la période 1992-2015 (Tableau 32). Il est possible de déduire de ces tableaux des élasticités apparentes aux différentes variables sur les différentes périodes, sachant que ces élasticités ne sont pas constantes dans le temps et dépendent de la structure des variables autant que de leurs évolutions moyennes.

Tableau 31 : Effets des différents facteurs sur les taux d'évolution annuels moyens du nombre de voyageurs.kilomètres tous modes, fer et air et véhicules.kilomètres et véhicules.kilomètres route et autoroutes sur la période 1980-1992

	Ampleur de la modification	Effet tous modes confondus (sur les voy.km)	Effet sur la route (tous réseaux) (sur les véh.km)	Effet sur le réseau autoroutier (sur les véh.km)	Effet sur le ferroviaire (sur les voy.km)	Effet sur l'aérien (sur les voy.km)
Evolution du contexte socio-économique (dont diffusion de la voiture)	Augmentation de la CFM en volume : +2,4%/an	+1,6	+1,7	+2,4	+0,3	+2,7
Diffusion du transport aérien	-	+0,0	-0,0	-0,1	-0,4	+2,8
Aménagement du réseau routier et autoroutier	Mise en service d'autoroutes concédées : 195km/an	+0,4	+0,6	+2,4	-0,2	-0,1
Variation du prix d'usage de la voiture	Variation du prix du carburant : -2,5%/an	+0,5	+1,0	+1,2	-0,2	-0,0
Aménagement des dessertes ferroviaires (TGV)	Variation de la vitesse moyenne / voy.km : +1,7%/an	+0,3	-0,1	-0,1	+1,5	-1,9
Modulation des tarifs ferroviaires de base	Variation du produit moyen, selon MATISSE : +0,1%/an (mais baisse sur les plus longues distances)	+0,0	-0,0	-0,0	+0,4	-0,5
Augmentation des fréquences et modifications tarifaires aériennes	Variation du nombre de vols intérieurs : +5%/an Variation du produit moyen, selon MATISSE : -1,8%/an	+0,1	-0,0	-0,1	-0,4	+3,7
Ensemble des facteurs		+2,9	+3,1	+5,7	+1,0	+6,7

Tableau 32 : Effets des différents facteurs sur les taux d'évolution annuels moyens du nombre de voyageurs.kilomètres tous modes, fer et air et véhicules.kilomètres et véhicules.kilomètres route et autoroutes sur la période 1992-2015

	Ampleur de la modification	Effet tous modes confondus (sur les voy.km)	Effet sur la route (tous réseaux) (sur les véh.km)	Effet sur le réseau autoroutier (sur les véh.km)	Effet sur le ferroviaire (sur les voy.km)	Effet sur l'aérien (sur les voy.km)
Evolution du contexte socio-économique (dont diffusion de la voiture)	Augmentation de la CFM en volume : +2,3%/an	1,7	1,7	2,2	1,2	+2,9
Diffusion du transport aérien	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Aménagement du réseau routier et autoroutier	Mise en service d'autoroutes : 240km/an de 2*2 voies : 40km/an	0,3	+0,5	+1,2	-0,2	-0,1
Variation du prix d'usage de la voiture	Variation du prix du carburant : +0,9%/an	-0,2	-0,3	-0,4	+0,1	+0,0
Aménagement des dessertes ferroviaires (TGV)	Variation de la vitesse moyenne / voy.km : +1,0%/an	+0,1	0,0	0,0	+1,1	-0,6
Modulation des tarifs ferroviaires de base	Variation du produit moyen, 0,0%/an	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Augmentation des fréquences et modifications tarifaires aériennes	Variation du nombre de vols intérieurs : +2%/an Variation du produit moyen, selon MATISSE : -0,5%/an	+0,1	0,0	-0,1	-0,4	2,1
Ensemble des facteurs		2,0	1,9	2,9	+1,7	4,3

Les élasticités des modèles du SES sont présentées dans (Girault, 1997) (Tableau 33). Il est à noter que les nouvelles offres d'infrastructures sont mesurées de façon différente (les élasticités ne sont donc pas directement comparables) : longueur du réseau autoroutier et vitesse moyenne des trains.

Tableau 33. Analyse des trafics selon les différents effets 1970-1995

SNCF réseau principal		1970-76	76-85	1985-92	92-95	1970-95
Les effets	<u>élasticité</u>					
croissance économique	0,44	1,8%	1,0%	1,2%	0,5%	1,2%
effet prix du fer	-0,7	1,0%	0,1%	-0,9%	0,5%	0,1%
prix moyen des carburants	0,2	0,0%	0,4%	-0,9%	0,1%	-0,1%
effet d'offre	1,06	1,3%	0,9%	0,8%	1,7%	1,1%
Total = Trafic estimé		4,1%	2,4%	0,2%	2,9%	2,3%
Trafic réalisé		4,1%	2,2%	0,0%	-3,8%	1,3%
Ecart trafic réalisé - estimé		0,0%	-0,2%	-0,2%	-6,7%	ns

Trafic réseau routier national		1970-76	76-85	1985-92	92-95	1970-95
Les effets	<u>élasticité</u>					
croissance économique	0,8	2,5%	1,0%	1,6%	0,7%	1,5%
effet prix du fer	0,7	3,2%	2,3%	1,4%	1,1%	2,1%
prix moyen des carburants	-0,3	0,0%	-0,6%	1,3%	-0,2%	0,1%
effet d'offre	0,12	1,8%	0,8%	0,4%	0,5%	0,9%
Total = Trafic estimé		7,5%	3,5%	4,7%	2,1%	4,6%
Trafic réalisé		7,4%	2,7%	4,6%	3,3%	4,4%
Ecart trafic réalisé - estimé		-0,1%	-0,8%	-0,1%	1,2%	-0,2%

(Girault, 1997)

Les élasticités comparées des modèles du CREDOC et du SES sont également présentées dans (Girault, 1997) (Tableau 34).

Tableau 34 : Analyse des trafics autoroutiers, élasticités apparentes et effets à prix de carburant invariant

	Elasticités apparentes 1970-92		Effets 1970-92		Effets 1992-2015	
	Modèle CREDOC*	SES	Modèle CREDOC*	SES	Matisse* **	SES
revenu	0,75**	1,63**	1,8	3,9	2,3	2,3
parc	0,91	0,80	3,0	2,6		1,1
longueur du réseau	0,56	0,40	5,1	3,6	1,2	0,8
total			9,9	10,2	3,5	4,2

* Modèle CREDOC appliqué à la période 1970-92 avec les élasticités mesurées sur 1972-87

** Elasticité du revenu par ménage pour le CREDOC, élasticité du revenu/tête pour le SES

*** La description adéquate des réseaux pour l'année 1970 n'ayant pas été effectuée, on ne dispose pas de résultats d'application de MATISSE sur la période 1970-1992.

Source : Girault, 1997

En comparant les résultats des différents modèles, il s'avère que les élasticités du trafic autoroutier à la croissance économique, au prix du carburant et des péages ainsi qu'à l'extension du réseau autoroutier sont très élevées. L'élasticité du trafic autoroutier par rapport à la croissance économique est ainsi de 1,2 selon le SES (Girault, 1997) et de 1,0 selon Matisse (INRETS, 1997b). L'élasticité de long terme du trafic autoroutier au prix du carburant est de -0,44 selon Matisse (INRETS, 1997b), de -0,63 selon le SES (Girault, 1997) et de -0,70 selon (Madre, Pirotte, 1992). Ces élasticités au prix du carburant sont compatibles avec les fourchettes d'élasticités du trafic routier par rapport au prix du carburant [-0,3 à -0,5] recensées par Goodwin (Goodwin, 1996) à travers différentes études effectuées dans divers pays. L'élasticité du trafic autoroutier par rapport à la longueur autoroutière (à réseau variable) est de 0,9 selon le SES (Girault, 1997), de 0,8 environ sur 1980-1992 à 0,50 environ sur 1992-2005 selon Matisse (INRETS, 1997b). Les élasticités croisées par rapport aux variables des autres modes sont faibles. Pour le trafic fer l'élasticité à la croissance économique est de 0,44 selon le SES (Girault, 1997), de 0,13 sur 1980-1992 à 0,50 sur 1992-2015 selon Matisse (INRETS, 1997b). L'élasticité du trafic ferroviaire par rapport au produit moyen du fer est délicate à estimer ; elle est de 0,2 selon le SES (Girault, 1997) ; selon Matisse l'élasticité apparente est positive, mais cela est dû à l'évolution des structures des prix destinée à améliorer la compétitivité de la SNCF sur les longues distances (INRETS, 1997b). La vitesse du fer est non significative dans (Sauvant, 2002a) ; d'après Matisse elle serait d'environ 1,0 (INRETS, 1997b). L'élasticité du trafic aérien à la CFM est de 1,13 sur [1980-1992] et de 1,26 sur [1992-2015] selon Matisse (INRETS, 1997b), de 0,75 selon (Blain, NGuyen, 1994a, b), de 1,5 selon (Sauvant, 2002a). L'élasticité du trafic aérien par rapport au prix de l'air serait de -0,5 selon (Blain, NGuyen, 1994a, b).

Il est délicat de comparer les valeurs de ces élasticités par rapport à des modèles calibrés sur des contextes étrangers. Les élasticités croisées dépendent des parts modales des différents modes de transport. Quant aux élasticités propres, elles dépendent de la nature du marché considéré et donc sans doute de la taille du pays (il paraît délicat de comparer les élasticités françaises avec des élasticités américaines et canadiennes ou à l'opposé avec des élasticités néerlandaises). Dans son étude comparative portant sur l'évolution du trafic ferroviaire dans quatorze pays européens les élasticités obtenues par (Fitzroy, Smith, 1998) sont ainsi très variables. Même en ne conservant que les cinq plus grands pays d'Europe par la taille (France, Grande-Bretagne, Allemagne, Italie, Espagne), les élasticités de long terme varient entre 0,14 (Allemagne) et 0,82 (Italie) pour l'élasticité à la croissance économique, entre 0 (France) et -0,44 (Espagne) pour l'élasticité au prix du fer, entre 0 (Italie) et 0,18 (Espagne) pour l'élasticité au prix de l'air ; les élasticités de court terme varient de 0 (France) à 0,64 (Italie) pour le PIB, de -0,08 (Italie) à -0,45 pour le prix du fer et de 0 (Italie, Grande-Bretagne) à 0,15 (Allemagne) pour le prix de l'air.

III. Conclusion

Pour modéliser l'évolution des volumes globaux de trafics à longue distance, deux méthodes de modélisation sont habituellement utilisées : calage de modèles macro-économiques sur séries temporelles ou calage de modèles sur une enquête à une date donnée.

Les modèles calés sur données d'enquêtes utilisent toute la richesse d'information sur les caractéristiques des individus et des motifs. Toutefois ces modèles produisent des élasticités en coupe transversale calculées à partir de différences inter-catégorielles à une date donnée.

Utilisés en projection, ces modèles risquent de produire des biais. Pour produire des modèles fiables en projection, il serait utile de construire des modèles âge-cohortes afin de bénéficier d'information dynamique. Malheureusement, compte-tenu de l'évolution des méthodologies d'enquêtes et de la faible taille des échantillons, les enquêtes transports de 1982 et 1993 sont difficilement comparables (chapitre 1).

Compte-tenu de la croissance rapide des flux à longue distance, il paraît important, dans le cadre de projections macro-économiques de long terme, de privilégier l'information dynamique et l'identification de relations temporelles de long terme entre les trafics et les principales variables macro-économiques explicatives. Les modèles calés sur séries temporelles présentent toutefois des inconvénients. Les articles de recherche que nous avons pu recenser portent largement sur les techniques économétriques de calage : pertinence de l'introduction de termes de retards, spécification en niveaux ou en taux de croissance, et plus récemment techniques de cointégration. L'analyse des dynamiques temporelles et les techniques de calage s'avèrent être en effet des éléments tout à fait essentiels de la modélisation sur séries temporelles. Toutefois, la pertinence de l'architecture des modèles et de la spécification des variables explicatives constituent aussi des éléments d'analyse de l'opérationnalité. Les modèles de simulation des trafics nationaux totaux sont presque toujours des modèles de demande directe. Or ces modèles perdent la logique de génération – choix modal. Il est possible d'adopter une structure de modélisation génération – partage modal calée sur séries chronologiques. Toutefois lorsque la demande est composée d'une superposition de marchés hétérogènes, une segmentation de la demande serait utile pour améliorer la pertinence... ce qui conduit à un problème de mesurabilité. Par ailleurs, les modèles calés sur des séries chronologiques annuelles utilisent un faible nombre de variables explicatives et ces variables sont fortement agrégées. Or une même variable explicative peut correspondre à des évolutions contrastées de la structure d'offre de transport et donc à des variations diverses des trafics globaux... ce qui soulève le problème de la pertinence de la formulation des variables explicatives introduites dans la modélisation.

Le chapitre suivant vise à tester de façon pratique, et analyser sous l'angle de l'opérationnalité, différents modèles calés sur séries chronologiques globales. Plusieurs architectures de modèles y sont testées. Dans le chapitre 4, nous nous appuyons constamment sur les éléments théoriques explicités dans le présent chapitre 3, que ce soit l'inventaire des différentes spécifications possibles pour les modèles de demande directe et de partage modal, les propriétés de ces modèles (par exemple la propriété IIA pour le logit multinomial), ou bien les difficultés de calage (conséquence d'une corrélation de variables ou de l'existence d'un trend dans les trafics et les variables explicatives).

Chapitre 4. Construction d'un modèle de simulation à long terme des déplacements de voyageurs à longue distance en France

L'objectif de ce dernier chapitre est de construire un modèle de simulation de l'évolution des déplacements de voyageurs à longue distance en nous plaçant dans l'optique d'un modèle macro-économique de long terme calé sur séries temporelles. Nous testons des modèles de demande directe mais aussi des modèles de génération – partage modal calés sur des séries chronologiques globales, en analysant leur opérationnalité. Dans un premier temps (section I), nous précisons la démarche adoptée et les critères d'opérationnalité, en nous appuyant sur les résultats des trois chapitres précédents. Dans un deuxième temps (section II), nous présentons les variables utilisées dans les différents modèles et les indicateurs synthétiques les modélisant. Nous construisons alors des modèles de demande directe (section III) puis des modèles de type génération / partage modal (section IV), avant de conclure (section V).

I. Cadre de la démarche

Notre objectif est de construire un modèle de simulation macro-économique de long terme calé sur séries temporelles. Dans un premier temps (section 1), nous précisons le cadre général de la modélisation en rappelant certains éléments des chapitres précédents, que ce soit en termes de séries de trafics retenues, de variables explicatives envisagées et de formes de modélisation possibles. Nous précisons alors les conditions d'opérationnalité de la modélisation (section 2), et effectuons une première analyse de l'opérationnalité des différents types de modèle (section 3).

1. Un modèle macro-économique calé sur séries temporelles

Le modèle doit simuler l'évolution de long terme des déplacements à longue distance en fonction de scénarios contrastés de croissance économique, d'évolution des prix et d'investissements en infrastructures. Nous construisons un modèle macro-économique calé sur séries temporelles annuelles. L'avantage des modèles calés sur séries temporelles est de s'appuyer sur de la variance chronologique, alors que les modèles calés en coupe instantanée ne contiennent pas d'information dynamique. Néanmoins les modèles calés sur séries temporelles présentent des difficultés de mise en œuvre. Compte tenu du nombre de points limité de nos séries chronologiques, le nombre de facteurs explicatifs doit être réduit. Par ailleurs, ces facteurs explicatifs doivent être synthétisés par des indicateurs agrégés forcément réducteurs. Il est donc nécessaire de s'interroger sur la nature des variables à introduire et leur mode de construction. Par ailleurs nous devons nous interroger sur la meilleure structure de modèle à adopter : équations de demande directe ou architectures intégrant des formulations de partage modal. Avant de préciser les critères d'opérationnalité auxquels le modèle doit répondre, nous rappelons en premier lieu la définition des trafics utilisée (1.1.) avant de préciser les variables à utiliser (1.2.) et les formes de modèles possibles (1.3.).

1.1. Définition du trafic modélisé

Nous modélisons le trafic circulant sur le réseau à grande vitesse (lignes aériennes intérieur métropole, lignes intérieures SNCF hors Ile-de-France, autoroutes concédées). Les séries de trafic retenues ont été présentées et justifiées au chapitre 1 - II-1.

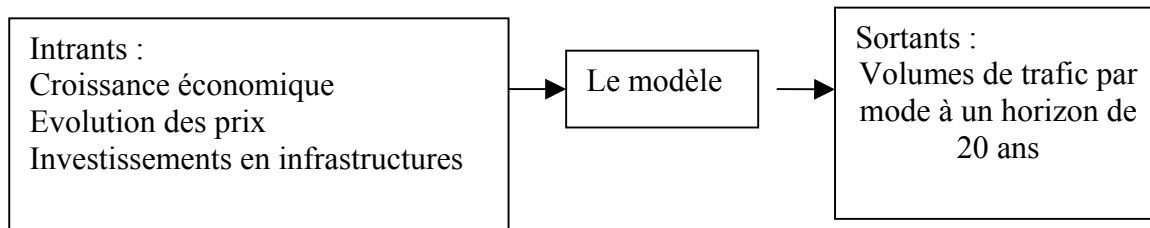
Nous considérons pour le trafic aérien le trafic en voyageurs.kilomètres des lignes intérieur métropole, Corse comprise. En effet, il n'est pas possible d'isoler le trafic vers la Corse avant 1986. Le trafic vers la Corse représente environ 10% du trafic. Le trafic international en pré ou post acheminement sur les lignes intérieures françaises ne peut pas non plus être isolé. Il représente également environ 10% du trafic (chap 1 - II-1.1.).

Pour le trafic ferroviaire, nous retenons le trafic intérieur des lignes SNCF hors Ile-de-France. Compte-tenu des transferts non mesurables entre trafic TER et grandes lignes, il est préférable de ne pas retirer le trafic TER plutôt que de risquer d'introduire des variations artificielles dans les séries utilisées. Le trafic TER représente moins de 15% du trafic considéré (chap 1 - II.1.2.). L'exclusion du trafic international permet de ne pas prendre en compte l'apport de trafic lié à la mise en place d'Eurostar et Thalys et de rester homogène par rapport au champ couvert par l'avion (chap 1 - II.1.2.).

Pour le trafic autoroutier, nous retenons deux indicateurs : l'évolution du volume de trafic VL sur autoroutes concédées exprimé en véhicules.kilomètres et noté Tvlc ainsi qu'un indice de croissance VL à réseau stable sur autoroutes concédées noté Ivlc. L'évolution du volume de trafic Tvlc intègre le basculement de trafic des routes nationales vers les autoroutes concédées, et croît ainsi plus rapidement que l'usage de l'autoroute concédée pour les déplacements à longue distance. Toutefois, l'indice de circulation Ivlc ne prend en compte que partiellement le basculement de trafic ferroviaire sur les autoroutes concédées, du fait qu'il ne prend en compte la croissance du trafic qu'après la mise en service de l'autoroute (chap 1 - II.1.2.). Nous modélisons successivement les deux indicateurs Tvlc et Ivlc.

1.2. Variables explicatives

Les variables explicatives retenues sont la croissance économique, l'extension des réseaux de transport autoroutier et ferroviaire et les prix respectifs des différents modes de transport. Il est fondamental de retenir la croissance économique parmi les variables du modèle car il s'agit d'un facteur explicatif déterminant du niveau de la mobilité à longue distance, et également du partage modal (cf chapitre 2). L'offre de transport, en termes de vitesse comme en termes de prix, constitue également un facteur déterminant du partage modal, et le développement de l'offre de transport est facteur d'induction de trafic (chapitre 2). Par ailleurs, le niveau d'investissements en matière d'infrastructures, ainsi que l'évolution des prix, constituent des leviers d'action sur lesquels peut jouer la puissance publique. (Les pouvoirs publics peuvent influencer le niveau des prix par le biais de taxes comme la TIPP). Pour évaluer les potentialités de ces leviers d'action, il est nécessaire de tester l'introduction de ces variables dans le modèle.



Il aurait été intéressant de prendre en compte des facteurs explicatifs secondaires, tels que la motorisation ou la structure socio-démographique. Toutefois le nombre réduit de points d'observations ne permet pas de conserver de nombreuses variables explicatives dans le modèle. L'effet démographique est ainsi négligé. L'effet motorisation est supposé être repris par la croissance économique.

Pour l'utilisateur, l'offre de transport comprend non seulement les facteurs vitesse et prix, mais aussi la fréquence de desserte, la ponctualité, la régularité et le confort. Fréquence et qualité de service seront négligées, faute de disposer de données permettant de modéliser ces effets. En effet, nous possédons des éléments permettant de déterminer une fréquence aérienne moyenne seulement sur la période 1986-1999, mais pas sur la totalité de la période. Nous ne possédons pas de données chronologiques de fréquences ferroviaires. De même, nous n'avons pas d'indicateur chronologique de fiabilité - ponctualité parmi les variables explicatives du modèle. (Les séries de trafic sont toutefois corrigées pour tenir compte des grandes grèves de 1986-1987 et 1995, ainsi que de la mise en place chaotique de SOCRATE).

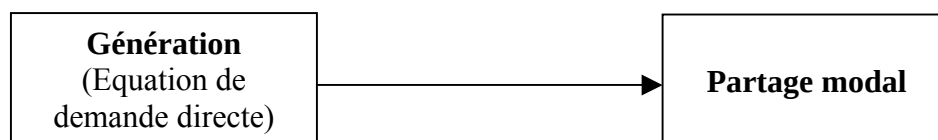
1.3. Les différentes formes de modélisation

Ainsi que nous l'avons vu au chapitre 3 - I.1., deux options sont possibles pour modéliser des séries temporelles.

- Construire des modèles de demande directe :

Les modèles de demande directe sont les modèles les plus usuels dans la littérature (cf. les multiples exemples du chap 3 - I.1.). Ces modèles perdent toutefois la logique de marché génération – partage modal.

- Construire des modèles de type génération + partage modal :



Cette option a été utilisée pour modéliser l'évolution de long terme des trafics marchandises à longue distance par (Gabella-Latreille, 1997). Cette option a l'avantage de reproduire la logique de marché génération / partage modal. Toutefois, pour qu'elle soit vraiment pertinente, il est souhaitable de segmenter le marché en marchés homogènes, par exemple en classes de distance ou de motifs. En matière de trafics marchandises, des séries chronologiques segmentées par NST étaient disponibles de manière annuelle. Il n'en va pas de même pour les séries voyageurs.

Par ailleurs, le partage modal logit présente des difficultés d'application dans le cas d'une compétition entre 3 modes de transport. Différentes formes de modèles de partage modal existent : logit multinomial, logit hiérarchique, dogit (cf chapitre 3).

En section III, nous testons des modèles de demande directe. En section IV, nous discutons la pertinence et la mesurabilité de différentes formes d'architecture de partage modal avant de tester les architectures qui paraissent les plus appropriées.

2. Un objectif d'opérationnalité

La validité des modèles est évaluée à l'aune du triple critère : pertinence, cohérence et mesurabilité. Une première analyse de l'opérationnalité des modèles peut être menée avant calage. Une deuxième analyse est menée après estimation des coefficients, compte tenu des tests statistiques obtenus, du degré d'adéquation du modèle théorique avec les données observées et des éventuels amendements apportés.

2.1. Le nécessaire compromis entre pertinence, cohérence et mesurabilité

Un modèle est une schématisation de la réalité dont l'élaboration suppose plusieurs étapes. La première étape consiste en une schématisation abstraite de l'objet d'étude : segmentation éventuelle de l'objet d'étude selon le motif, la tranche de distance ou la catégorie d'origines-destinations puis définition des facteurs explicatifs et d'un schéma causal. La deuxième étape consiste à construire une formalisation mathématique du précédent schéma : construction d'indicateurs pour schématiser les différentes variables ainsi que de formes fonctionnelles calables. A chaque étape, il y a simplification.

Un modèle est opérationnel s'il est à la fois pertinent, cohérent et mesurable (Bonnaïfous, 1989), ces exigences étant toutefois contradictoires. Les conditions d'opérationnalité d'un modèle ont déjà été abordées lors de l'analyse bibliographique des différentes méthodes de modélisation. Nous les reprécisons ici.

2.1.1. La pertinence

La pertinence du modèle doit être vérifiée à un double niveau : au niveau de la pertinence des variables et au niveau de la pertinence de la formulation.

- **La pertinence des variables**

La pertinence des variables doit être vérifiée à la fois quant au choix des facteurs explicatifs pris en compte, et quant à la pertinence des indicateurs qui les caractérisent.

Il ne doit pas y avoir d'omission de facteurs explicatifs ayant un impact important sur le modèle. Toutefois, un facteur explicatif peut être négligé s'il remplit l'une ou l'autre des conditions suivantes :

- le facteur omis a un impact très faible sur le phénomène étudié quel que soit son niveau de variation ;
- le facteur omis varie suffisamment peu pour qu'il ait un impact négligeable par rapport à celui des autres facteurs (à la fois sur la période de calage, pour ne pas créer de biais dans l'estimation des coefficients, et dans la période d'application du modèle) ;
- l'évolution du facteur omis est corrélée à celle d'une autre variable explicative (aussi bien sur la période de calage *que sur la période de projection*) ; dans ce dernier cas, l'effet de ce facteur est intégré à celui de la variable à laquelle il est corrélé ; il en résulte un biais dans l'estimation du coefficient relatif à cette variable mais les simulations de trafic ne sont pas biaisées.

Au-delà du choix des facteurs explicatifs, il faut s'interroger sur la pertinence des indicateurs qui caractérisent ces facteurs. Cette question est d'autant plus importante que l'on considère un modèle agrégé. Les politiques tarifaires sont différenciées spatialement et par catégories d'usagers. Comment traduire de façon pertinente l'évolution de ces politiques par un indicateur agrégé unique ? Les investissements en infrastructures sont localisés et 1 km d'infrastructure n'a pas le même impact s'il est construit dans la Vallée du Rhône ou dans le Massif Central. Comment traduire les investissements en infrastructures par un indicateur pertinent ?

- **La pertinence de la formulation**

La pertinence de la formulation s'analyse d'abord en termes de logique d'action des différentes variables. Les variables doivent avoir un impact qui va dans le "bon" sens sur le plan de la logique économique. Il faut aussi s'interroger sur la stabilité de la formulation. Localement, différentes formulations peuvent se révéler plausibles. Il est toutefois nécessaire de s'interroger sur la constance des coefficients sur l'ensemble de la période de calage. Une modification de l'offre peut ainsi entraîner un changement de clientèle, donc une évolution de l'élasticité du trafic par rapport à la croissance économique. Si la modification de l'élasticité est faible sur l'ensemble de la période, le modèle peut être considéré comme pertinent. Si tel n'est pas le cas, il serait souhaitable de corriger la formulation de façon à avoir un coefficient variable... mais la complexification de la formulation conduit à un problème de mesurabilité. Une autre solution peut consister à caler la formulation avec des paramètres différents sur deux périodes distinctes. Toutefois le nombre de points d'observations de chacune des séries à caler s'en trouve réduit, ce qui rend impossible la mesure des paramètres lorsque la série initiale compte une vingtaine de points.

2.1.2. La cohérence

La cohérence se vérifie sur un double plan : externe et interne. Le modèle doit être compatible avec les objectifs qu'on lui a assignés, et permettre d'évaluer en ordre de grandeur l'impact des principales variables de commande sur la période de projection souhaitée. En matière de cohérence interne, les principales limites du modèle viennent de la difficulté à assurer la cohérence partage modal/induction. Sans escompter une cohérence totale du modèle, il est souhaitable de s'assurer qu'au sein d'une certaine plage de validité le modèle reste cohérent, ou du moins que les incohérences portent sur des impacts de faible ampleur par rapport aux variations de trafics.

2.1.3. La mesurabilité

La mesurabilité doit être vérifiée à plusieurs niveaux : au niveau des variables et au niveau des relations et de leurs paramètres. Au niveau des variables, il est nécessaire de s'assurer qu'elles sont correctement mesurées : pas de points "aberrants", pas de ruptures de séries, une précision de mesure des variables inférieure aux variations annuelles des variables. Au niveau des paramètres, il faut bien sûr qu'il y ait suffisamment de points de calage pour pouvoir mesurer les paramètres avec un minimum de fiabilité. Il faut veiller aux critères économétriques de validité d'estimation de ces paramètres.

2.1.4. Un compromis entre ces critères

Ces critères sont contradictoires (Bonnafeux, 1989), et ne peuvent pas être respectés simultanément de façon stricte. La contrainte de mesurabilité limite de façon drastique le nombre de coefficients qu'il est possible d'estimer et par voie de conséquence le niveau de complexité donc de pertinence et de cohérence du modèle. Elle rend aussi impossible toute segmentation. Les erreurs de mesure des séries de données brouillent par ailleurs les variations des séries de trafic, ce qui rend les impacts des diverses variables difficilement détectables. Pour que le modèle soit jugé opérationnel, il lui est demandé d'être conforme aux objectifs qu'on lui a assignés. En l'occurrence, il faut être en mesure d'estimer l'ordre de grandeur de la variation des trafics à estimer en fonction des variations des principales grandeurs explicatives, et ce sur une certaine plage de validité. Il n'est pas grave de négliger certains facteurs si l'impact de ceux-ci est faible par rapport à la variation de trafic final à modéliser, de même qu'il n'est pas grave d'observer certaines incohérences ou défauts de pertinence si ceux-ci sont faibles par rapport à la variation de trafic à modéliser. Si tel n'est pas le cas, il est possible de conserver le modèle en en réduisant la plage de validité, par exemple en posant des conditions sur l'amplitude de variation des variables ou des conditions de corrélation entre certaines variables à maintenir.

2.2. Analyse de l'opérationnalité avant et après calage

Une première analyse de l'opérationnalité d'un modèle peut être effectuée avant même la phase de calage (2.2.1). Cette analyse est complétée après calage par l'observation des signes des coefficients, la qualité de reconstitution des trafics observés et différents tests statistiques (2.2.2).

2.2.1. Analyse de l'opérationnalité avant calage

L'analyse porte à la fois sur la pertinence et la cohérence des formes de modélisation envisagées (a), sur la mesurabilité des variables (b) et sur la cohérence du modèle (c).

a. Analyse de la pertinence et de la cohérence des formes de modélisation envisagées

Il s'agit d'analyser si les variables contenues dans le modèle envisagé sont pertinentes, les principaux facteurs explicatifs bien pris en compte, la formulation pertinente et cohérente avec les objectifs fixés et s'il y a des risques que la cohérence interne ne soit pas respectée.

b. Analyse de la mesurabilité des variables explicatives

Les données disponibles, les corrélations entre variables explicatives entraînent des limites à l'opérationnalité, indépendamment des architectures et des formulations envisagées. Plusieurs questions peuvent ainsi être soulevées :

- Dans quelle mesure est-il possible de redresser les séries de données ?

Les séries de données sont nécessairement entachées d'erreurs de mesure, qui peuvent être des erreurs de mesure pure, ou bien des erreurs d'homogénéité des séries. Par ailleurs les séries de données peuvent comporter des points aberrants. Si ces erreurs sont du même ordre de grandeur que l'imprécision des phénomènes à mesurer, il devient impossible de mesurer les paramètres du modèle. Il est dès lors important d'analyser la qualité des séries utilisées.

- Les variables explicatives du modèle ont-elles connu des variations significatives ?

Si certains facteurs explicatifs ont peu varié sur la période de calage, il n'est pas possible de mesurer une élasticité du trafic par rapport à ces facteurs, ou du moins l'estimation de l'élasticité risque d'être peu précise.

- Les variables du modèle sont-elles corrélées entre elles sur la période de calage ?

Si plusieurs variables explicatives sont corrélées entre elles, l'impact d'une variable risque de se reporter sur une autre variable, les coefficients sont alors biaisés. Dans l'hypothèse où les variables restent corrélées en période de projection, les projections de trafic ne s'en trouvent pas affectées. En revanche, dans le cas où les variables ne restent pas corrélées entre elles, les simulations de trafic seront erronées. La condition de maintien de la corrélation entre variables sur la période de projection constitue une réduction de la plage de validité du modèle.

- Les variations de trafics dues aux phénomènes qu'on cherche à modéliser ont-elles une chance d'être "visibles" à toutes les étapes de la modélisation ?

Certains phénomènes peuvent avoir un impact visible à une certaine échelle spatiale ou modale mais être "noyés" à une échelle d'agrégation supérieure. Notre objectif est d'évaluer l'impact d'un certain nombre de variables sur les trafics train, avion, voiture. Si l'impact de la variable n'est pas (ou à peine) visible à l'échelle d'un mode donné, le train par exemple, malgré une variation significative de la variable, cela signifie qu'on peut retirer la variable du modèle sans en compromettre l'opérationnalité : la variable n'a que peu d'impact sur notre objet d'étude. En revanche, si la variable a un impact suffisamment sensible sur le trafic dudit mode, il est a priori nécessaire de prendre en compte cette variable dans la modélisation. Or,

si on applique un modèle de type génération / partage modal, il se produit un phénomène d'agrégation / désagrégation. La variation du trafic du train due à la variation d'un facteur devient proportionnellement 7 fois moins visible à l'échelle du trafic total (la part de marché du train étant de l'ordre de 15%) et risque de devenir du même ordre de grandeur que les incertitudes portant sur le trafic total. L'élasticité du trafic total par rapport à cette variable risque d'être difficilement mesurable ; il y a eu perte d'information. Si on essaye de rééclater les trafics, il n'est pas possible de récupérer l'information perdue. Si l'imprécision du phénomène à étudier est trop forte par rapport à la mesure des données, il n'est pas possible de mesurer une élasticité par rapport à cette variable. Si l'impact final de la variable est peu visible, alors cela n'a pas d'impact sur l'opérationnalité du modèle. Cela signifie qu'il est possible de négliger cette variable. En revanche il faut s'assurer qu'il n'y ait pas d'effet de "noyade intermédiaire".

2.2.2. Analyse de l'opérationnalité après calage

Après calage, l'opérationnalité du modèle peut être évaluée à travers l'analyse des signes des coefficients et de différents tests statistiques.

a. Tests relatifs aux coefficients

Les variables doivent avoir un signe conforme à la logique économique. Par ailleurs, il faut vérifier que les coefficients sont significativement différents de 0. Si le t de Student est supérieur à 1,96, le coefficient est différent de 0 avec un risque d'erreur de 5%.

b. Tests du R^2 et du Durbin-Watson et comparaison graphique entre trafics théoriques et observés

Pour vérifier la pertinence globale du modèle plusieurs tests peuvent être menés. Le R^2 et le DW permettent de tester l'adéquation entre modèle théorique et données observées.

Le coefficient de détermination R^2 , comme rapport de la variance expliquée sur la variance totale, est la première mesure de la qualité de l'ajustement. Lorsque le modèle est écrit en taux de variations, le R^2 est généralement faible, de l'ordre de 0,3. Lorsque le modèle est écrit en niveau, une revue de la littérature montre que le R^2 est généralement très proche de 1, mais le R^2 est dans ce cas un test statistique peu discriminant sur la qualité du modèle. L'analyse du R^2 doit alors être complétée par l'analyse du Durbin-Watson (Bourbonnais, 2000).

Le DW est particulièrement important dans le cadre de séries temporelles car le R^2 est toujours très élevé pour les séries temporelles, compte tenu du trend sous-jacent, et seul le test du DW permet de vérifier l'adéquation du modèle hors trend. Un DW éloigné de 2 est généralement le signe d'une formulation inadéquate : absence d'une variable importante, mauvaise spécification, autocorrélation des résidus (Bourbonnais, 2000).

La représentation graphique constitue aussi un excellent moyen de détecter une mauvaise adéquation du modèle par rapport aux données.

c. Cohérence interne

Lorsqu'on construit un modèle génération + partage modal, on court le risque d'aboutir à une incohérence induction / partage modal (cf chapitre 3). Pour vérifier la cohérence du modèle, il est nécessaire d'analyser non seulement le signe des élasticités dans les équations de notre modèle, mais aussi le signe des "élasticités équivalentes".

Considérons un modèle de partage modal air/fer. Lors de l'analyse de la pertinence du modèle, on vérifie que l'élasticité du trafic total par rapport à chaque variable V_i est logique et que les élasticités des parts modales par rapport à chaque variable sont logiques. Afin de vérifier la cohérence du modèle, il est nécessaire de vérifier aussi que les élasticités des trafics air et fer obtenues en combinant les deux équations sont aussi logiques.

Considérons maintenant des modèles de demande directe. Lors de l'analyse de la pertinence du modèle, on s'assure que les élasticités des trafics air et fer par rapport aux diverses variables explicatives V_i ont le même signe. Afin de vérifier la cohérence du modèle, il est souhaitable de vérifier aussi que l'élasticité du trafic total par rapport à ces variables, ainsi que les élasticités des parts modales par rapport à ces variables, sont logiques.

Bien sûr, si l'incohérence est de faible ampleur par rapport aux variations de trafic concernées, l'opérationnalité du modèle n'est pas à remettre en cause.

Pour analyser la cohérence de nos modèles, nous devons donc calculer les élasticités des équations calibrées mais aussi les "élasticités équivalentes" : élasticité du total du trafic et des parts modales par rapport aux différentes variables dans le cas des modèles de demande directe et élasticité des trafics de chaque mode par rapport aux différentes variables dans le cas d'un modèle génération / partage modal. Nous présentons ci-dessous le calcul théorique de ces élasticités dans le cas de la modélisation de l'évolution des trafics de deux modes a et f, par des équations de demande directe d'une part, et par une formulation génération – partage modal d'autre part.

On note T_f le trafic du mode f, T_a le trafic du mode a. $E_{f/v}$ est l'élasticité de T_f par rapport à la variable explicative V et $E_{a/v}$ est l'élasticité de T_a par rapport à la variable explicative V .

1) Cohérence des modèles génération / partage modal

On note :

T le trafic total $T_f + T_a$

P_f la part du mode f et P_a la part du mode a,

U_f l'utilité du mode f et U_a l'utilité du mode a.

Les trafics T_f et T_a sont modélisés par les équations :

$$T_f = T * P_f \quad \text{et} \quad T_a = T * P_a$$

avec T modélisé de façon classique par une équation de demande directe

$$P_f \text{ modélisé par une formulation logit : } P_f = \frac{1}{1 + \exp U} \quad \text{avec } U = U_a - U_f$$

$$P_a = 1 - P_f$$

On note :

$E_{T/V}$ l'élasticité de T_f par rapport à V ,

$E_{P_f/V}$ l'élasticité de T_f par rapport à V .

La forme étant multiplicative, les élasticités sont additives :

$$E_{T/V} = \frac{dT_f/T_f}{dV/V} = \frac{dT_f/dV}{T_f/V} = \frac{(dT/dV)P_f + (dP_f/dV)T}{(T P_f)/V} = \frac{dT/dV}{T/V} + \frac{dP_f/dV}{P_f/V}$$

$$\boxed{E_{T/V} = E_{T/V} + E_{P_f/V}}$$

Elasticité $E_{T/V}$ du trafic total par rapport à la variable V :

L'élasticité est la puissance relative à V dans l'équation modélisant E_T .

Elasticité $E_{P_f/V}$ de la part modale du fer par rapport à V :

Dérivons P_f par rapport à la variable explicative V :

$$\frac{dP_f}{dV} = - \left[\frac{1}{1 + \exp U} \right]^2 \exp U \frac{dU}{dV} = -P_f^2 \left(\frac{1 - P_f}{P_f} \right) \frac{dU}{dV} = P_f(P_f - 1) \frac{dU}{dV} = -P_f P_a \frac{dU}{dV}$$

$$\boxed{\frac{dP_f}{dV} = P_f P_a \left[\frac{dU_f}{dV} - \frac{dU_a}{dV} \right]}$$

De façon symétrique :

$$\boxed{\frac{dP_a}{dV} = P_a P_f \left[\frac{dU_a}{dV} - \frac{dU_f}{dV} \right]}$$

On vérifie la relation : $\frac{dP_f}{dV} = -\frac{dP_a}{dV}$

Dans l'hypothèse où les utilités U_a et U_f sont linéaires par rapport à V , avec k_{pav} et k_{pfv} les coefficients relatifs à V respectivement dans U_a et U_f ,

$$\boxed{\frac{dP_f}{dV} = P_f P_a (k_{pfv} - k_{pav})} \text{ et } \boxed{\frac{dP_a}{dV} = P_f P_a (k_{pav} - k_{pfv})}$$

On en déduit les élasticités $E_{P_f/V}$ et $E_{P_a/V}$

$$E_{P_f/V} = \frac{dP_f/P_f}{dV/V} = \frac{dP_f/dV}{P_f/V} = \frac{-P_f P_a dU/dV}{P_f/V} = -P_a V \frac{dU}{dV}$$

$$\boxed{E_{P_f/V} = P_a V \left[\frac{dU_f}{dV} - \frac{dU_a}{dV} \right]}$$

De façon symétrique :

$$E_{Pa/V} = P_f V \left[\frac{dU_a}{dV} - \frac{dU_f}{dV} \right]$$

On vérifie la relation : $E_{Pa/V} = -(P_f/P_a)E_{Pf/V}$

Dans l'hypothèse où les utilités U_a et U_f sont linéaires par rapport à V , avec k_{pav} et k_{pfv} les coefficients relatifs à V respectivement dans U_a et U_f ,

$$E_{Pf/V} = P_a V(k_{pfv} - k_{pav}) \text{ et } E_{Pa/V} = P_f V(k_{pav} - k_{pfv})$$

L'élasticité du trafic d'un mode donné par rapport à une variable donnée est d'autant plus importante que la part du mode est faible.

Nous pouvons en déduire les valeurs des élasticités globales :

$$E_{f/V} = E_{T/V} + E_{Pf/V} = \frac{dT}{dV} + P_a V \left[\frac{dU_f}{dV} - \frac{dU_a}{dV} \right] \quad (1)$$

$$E_{a/V} = E_{T/V} + E_{Pa/V} = \frac{dT}{dV} + P_f V \left[\frac{dU_a}{dV} - \frac{dU_f}{dV} \right] \quad (2)$$

Dans l'hypothèse où les utilités U_a et U_f sont linéaires par rapport à V , avec k_{pav} et k_{pfv} les coefficients relatifs à V respectivement dans U_a et U_f ,

$$E_{f/V} = E_{T/V} + P_a V(k_{pfv} - k_{pav})$$

$$E_{a/V} = E_{T/V} + P_f V(k_{pav} - k_{pfv})$$

Pour que le modèle de génération/partage modal soit cohérent, il faut s'assurer que $E_{f/v}$ et $E_{a/v}$ (formulations (1) et (2)) sont de signe correct.

On note que $E_{f/v}$ et $E_{a/v}$ dépendent de V .

Il est clair que si on suppose qu'au sein du modèle génération – partage modal les coefficients du modèle de génération et les coefficients des fonctions d'utilité restent constants, on ne peut pas modéliser les trafics par un modèle de demande directe où les coefficients seraient également fixes. Inversement si les données de trafics sont modélisables par des modèles de demande directe aux coefficients fixes, il n'est pas possible de modéliser ces données de trafic par un modèle génération – partage modal où les coefficients seraient également fixes.

Si, localement, les modèles de génération – partage modal et de demande directe permettent de modéliser les évolutions des trafics, alors les relations qui lient élasticités du modèle

estimées et élasticités équivalentes du modèle alternatif seront localement vérifiées. Mathématiquement, ces relations ne peuvent être valides qu'en un point donné.

Les deux types de modèles, demande directe et partage modal, ne peuvent pas être valides simultanément de manière stricte. Toutefois, si la part d'un des deux modes est prédominante par rapport à celle de l'autre, il ne doit pas y avoir d'incompatibilité majeure entre une modélisation de ce mode en demande directe, et une modélisation sous forme de structure génération – partage modal.

2) Cohérence des modèles de demande directe

Dans un modèle de demande directe de type KV^{a_v} nous connaissons les élasticités des trafics fer et air par rapport à la variable V : ce sont les coefficients relatifs a_v . Nous pouvons alors en déduire l'élasticité par rapport au trafic total :

$$\boxed{E_{T/v} = P_f E_{f/v} + P_a E_{a/v}} \quad (1)$$

Or nous avons les égalités :

$$E_{Pf/v} = E_{T/v} - E_{f/v} \quad \text{et} \quad E_{Pa/v} = E_{T/v} - E_{a/v}$$

Nous en déduisons :

$$\boxed{E_{Pf/v} = P_a (E_{f/v} - E_{a/v})} \quad \text{et} \quad \boxed{E_{Pa/v} = P_f (E_{a/v} - E_{f/v})} \quad (2)$$

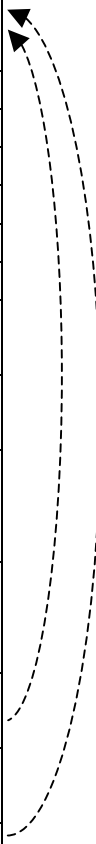
Pour que le modèle de demande directe soit cohérent il faut s'assurer que les signes de $E_{T/v}$, $E_{Pf/v}$ et $E_{Pa/v}$ (équations (3) et (4)) sont corrects.

2.2.3. Bilan

Les critères d'opérationnalité peuvent être résumés dans la grille d'opérationnalité ci-dessous (Tableau 35). Si ces critères ne sont pas, ou sont mal vérifiés, il est nécessaire : soit d'amender le modèle, soit de poser des conditions d'utilisation ou d'émettre des réserves sur le niveau de fiabilité des résultats. Certaines limites d'opérationnalité viennent de la spécification du modèle. Toutefois un certain nombre de limites viennent des données elles-mêmes : du niveau de précision des données préexistantes d'une part, de leur degré de variabilité et de leur niveau de corrélation sur la période de calage d'autre part. Par ailleurs il est clair qu'il n'est pas possible d'avoir un modèle totalement pertinent, ou totalement cohérent. La mesurabilité limite en effet le niveau de pertinence et de cohérence du modèle (Bonnaïfous, 1989).

Tableau 35

AVANT : modèle non calibré	
pertinence	Les principaux facteurs explicatifs sont-ils bien pris en compte ?
	Les variables retenues dans le modèle sont-elles pertinentes ?
	La spécification est-elle pertinente ?
cohérence	La formulation est-elle cohérente avec les objectifs fixés ?
	Y a-t-il des risques que la cohérence interne ne soit pas respectée ?
mesurabilité	Quel est le niveau de fiabilité de nos séries de données ?
	Les variables de notre modèle ont-elles connu des variations significatives ?
	Les variables de notre modèle sont-elles corrélées entre elles sur la plage de calage et si oui, vont-elles le rester sur la plage de projection ?
	Les variations de trafics dues aux phénomènes qu'on cherche à modéliser ont-elles une chance d'être "visibles" à toutes les étapes de la modélisation ?
APRES : modèle calibré	
mesurabilité et pertinence	Les coefficients ont-ils des signes conformes à la logique économique et sont-ils significativement différents de 0 ?
	Le pouvoir explicatif du modèle est-il suffisant ? Autrement dit, le R^2 du modèle est-il acceptable ? Le DW du modèle est-il proche de 2 ?
cohérence	L'évaluation des "élasticités équivalentes" montre-t-elle que le modèle est cohérent au sein d'une certaine plage ?



Nous pouvons dès maintenant aborder la question de l'opérationnalité des modèles tant au niveau des variables explicatives que des structures de modèles "avant calage". Dans les sections II à V nous reviendrons sur l'opérationnalité des modèles une fois l'estimation effectuée.

3. Opérationnalité des modèles envisagés

L'opérationnalité des différents types de modèles sera étudiée plus en détail dans les sections II à IV, toutefois il est possible de porter un premier regard sur leurs chances d'opérationnalité, au regard de la grille d'opérationnalité précédente. Dans cette grille d'opérationnalité, certaines questions relèvent du choix de la forme des modèles (3.1.), d'autres du choix et de la construction des variables (3.2.).

3.1. Choix de la forme des modèles et opérationnalité

Les modèles de demande directe sont bien adaptés pour modéliser la croissance du trafic d'un mode non soumis à concurrence (cf. chapitre 3). En revanche lorsqu'un mode est progressivement soumis à la concurrence d'un mode de plus en plus performant, les courbes de croissance des trafics des modes concernés subissent des inflexions que les modèles de demande directe éprouvent des difficultés à retracer (chapitre 3). En pratique, les modèles de demande directe restent adaptés à la modélisation d'un mode lorsque celui-ci est largement majoritaire. En revanche dans le cas d'un mode de transport fortement concurrencé par d'autres modes, les modèles de demande directe semblent moins adaptés.

A priori une formulation de demande directe semble à même de retracer la croissance du trafic routier. En effet la route constitue un mode de transport largement dominant en volume (80% du trafic à plus de 100km exprimé en voyageurs.kilomètres) : l'approximation de l'évolution du trafic routier par un modèle de demande directe n'est pas à rejeter d'emblée. Le trafic aérien est a priori plus compliqué à modéliser que le trafic routier. L'ampleur des basculements de trafic passager de l'avion vers le train lors des mises en service de nouvelles lignes TGV montre l'importance de la concurrence air/fer. Rien ne garantit que l'élasticité du trafic aérien au PIB reste constante. Le trafic ferroviaire semble plus compliqué encore à modéliser par un modèle de demande directe. En effet le trafic ferroviaire est soumis à la fois à la concurrence du trafic routier et du trafic aérien ; les mises en service de TGV ont pu entraîner des ruptures d'élasticité au PIB que risquent de mal reproduire les modèles de demande directe.

En section III, nous testons des modèles de demande directe pour chacun des modes route, air et fer et analysons les résultats produits. En section IV, nous testons des architectures de partage modal. Différentes variantes d'architectures de partage modal y sont présentées : certaines considèrent 3 modes de transport, d'autres quatre : route, avion, train classique et train rapide. Leurs avantages et inconvénients y sont discutés.

3.2. Choix des variables explicatives et opérationnalité des modèles

Préalablement à la spécification des différentes architectures, il est nécessaire de choisir et construire les différentes variables explicatives. Dans notre modélisation macroéconomique sur séries temporelles, les difficultés sont principalement de trois ordres : un nombre de variables explicatives qui doit être restreint pour des raisons de mesurabilité (3.1.1.), le caractère agrégé des variables (3.1.2.) et enfin un risque élevé de corrélation entre les variables (3.1.3.).

3.1.1. Un nombre de variables explicatives forcément limité

Le nombre restreint de points de nos séries chronologiques limite de façon drastique le nombre de facteurs explicatifs qu'il est possible de prendre en compte. Les séries observées comptent seulement 21 points. A cela s'ajoute le problème des perturbations ponctuelles (grèves SNCF, mise en place de SOCRATE) qui viennent perturber les séries de trafic. Les points aberrants ont été filtrés et remplacés par la moyenne des années avant-après des séries à

expliquer et explicatives. Cette opération entraîne la perte de degrés de liberté. Dans ce contexte, il n'est pas possible d'introduire plus de 4 ou 5 facteurs explicatifs dans les modèles afin de préserver un nombre suffisant de degrés de liberté.

Ainsi que nous l'avons déjà explicité, certains facteurs explicatifs secondaires ne figurent pas parmi les variables du modèle (structure socio-démographique ou motorisation). Malgré tout, le nombre de facteurs conservés risque de se révéler trop important pour certaines équations. Le nombre de variables prises en compte dans les modèles de demande directe doit être nécessairement restreint. Dans le cas d'un modèle de demande directe autoroutier, les élasticités par rapport aux variables des modes concurrents seront faibles, car les élasticités croisées dépendent de la part de marché des modes concurrents. On peut donc espérer avoir peu de variables explicatives dans le modèle sans que la qualité de la modélisation soit affectée en termes de pertinence. Le modèle peut être mesurable. En ce qui concerne le modèle de demande directe relatif à l'air, les élasticités croisées du trafic air par rapport aux variables routières seront là encore faibles (INRETS, 1997b) car à l'échelle nationale les interactions entre marché de l'air et marché de la route sont faibles. Le nombre de variables prises en compte en est plus réduit ce qui améliore la mesurabilité du modèle. En revanche le fer est soumis à la concurrence à la fois de la route et de l'air et aucune interaction ne peut a priori être négligée. De nombreuses variables doivent être insérées dans la modélisation, ce qui limite la mesurabilité du modèle. Si pour le fer nous devons prendre en compte les prix des trois modes, les variables relatives aux réseaux ferroviaire et routier ainsi que la croissance économique, cela ferait 6 variables explicatives pour 21 points d'observation, ce qui serait excessif.

3.2.2. Mesurabilité, pertinence des variables et agrégation

Les variables explicatives utilisées sont nécessairement fortement agrégées à la fois sur les motifs (les données ne permettent pas de distinguer motifs personnels et professionnels), et sur les origines-destinations. Or une même variation d'une variable explicative peut correspondre à des impacts différents sur les trafics globaux.

Ainsi, au niveau du réseau ferroviaire, un gain de temps sur une liaison d'un temps de parcours supérieur à 7 heures n'a pas le même poids que sur une liaison plus courte. Un indicateur de vitesse moyenne calculé sur un ensemble d'origines-destinations risque de se révéler moyennement pertinent.

Une variation de prix n'a pas le même impact sur la clientèle professionnelle ou de loisirs ; si pendant un temps, les variations de prix se font de façon homogène sur l'ensemble des segments de clientèle puis qu'à partir d'une certaine date les variations portent de façon différenciée sur les différents segments, avec des baisses de tarifs sur des segments très sensibles aux prix et des hausses sur des segments peu sensibles, l'élasticité au produit moyen risque de ne pas être constante.

Suivant les variables et les modes de transports concernés, suivant l'homogénéité ou l'hétérogénéité des variations spatiales des variables, le caractère agrégé des indicateurs peut se révéler plus ou moins gênant.

La section II est consacrée au choix et / ou à la construction des indicateurs modélisant les différentes variables. La production d'indicateurs pertinents est toutefois conditionnée par la disponibilité des données adéquates.

3.3.3. Mesurabilité et corrélation

Une importante corrélation entre les variables constitue un phénomène préjudiciable à l'estimation des paramètres. Or les variables explicatives présentes dans le modèle risquent d'être trendées et fortement corrélées. Une analyse des corrélations entre variables devra être effectuée.

3.3. Démarche

Quelle que soit l'architecture retenue, il est nécessaire de nous attacher à bâtir des indicateurs représentatifs des variables explicatives les plus pertinents possibles compte tenu des données à disposition. C'est l'objectif de la section II. Nous testons alors différentes architectures possibles : modèles de demande directe (section III) et de partage modal (section IV) avant d'effectuer un bilan des résultats obtenus.

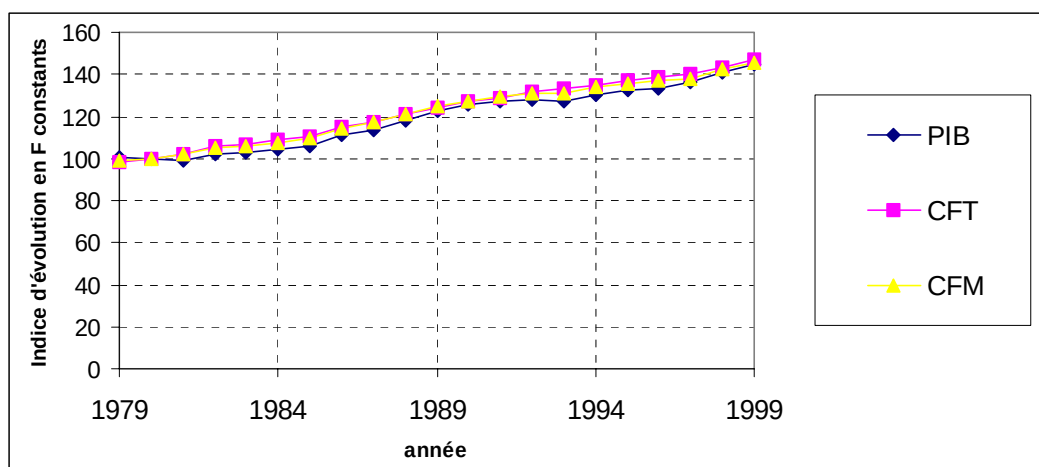
II. Construction des variables explicatives

Dans le modèle nous prenons en compte comme facteurs explicatifs la croissance économique et l'offre de transport (amélioration des réseaux autoroutiers et ferroviaires, évolution des prix de la route, de l'air et du fer). Dans la présente section nous étudions la manière dont ces facteurs peuvent être pris en compte à travers des variables explicatives synthétiques. La construction de variables synthétiques pertinentes est délicate, particulièrement en ce qui concerne l'offre de transport. L'évolution du réseau de transport est souvent caractérisée par un indicateur de vitesse moyenne ou par un indicateur de longueur totale de réseau. Or une même variation de vitesse moyenne peut correspondre à des variations du système de transport très différentes et par voie de conséquence à des impacts sur les trafics très différents. Une même variation d'un indicateur de prix moyen peut correspondre à différentes évolutions de politiques tarifaires. Il est donc important de considérer non seulement l'évolution des vitesses moyennes ou des prix moyens mais également les structures de leurs variations, afin d'adapter les indicateurs en conséquence, ou du moins d'être conscient des risques de rupture dans la constance des élasticités. Dans un premier temps nous considérons les indicateurs modélisant la croissance économique (1.). Nous nous intéressons ensuite aux variables permettant de prendre en compte l'évolution de l'offre de transport : réseau routier (2), ferroviaire (3) puis indicateurs d'évolution des coûts de transport (4). A chaque fois nous présentons les données disponibles en séries chronologiques avec leurs éventuelles ruptures comptables (condition de mesurabilité) puis les indicateurs retenus avec leurs éventuelles limites.

1. Les variables socio-économiques

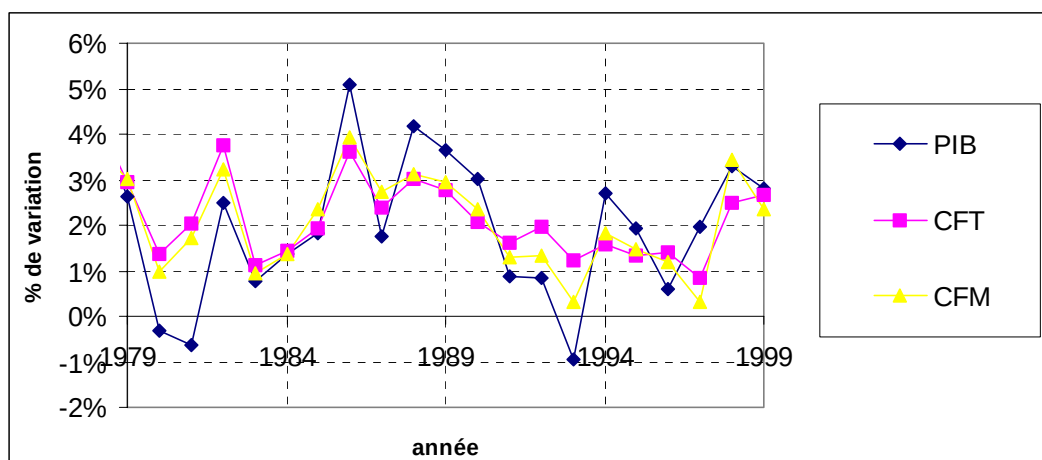
Les indicateurs habituellement utilisés pour caractériser la conjoncture économique sont le produit intérieur brut (PIB), la consommation finale totale (CFT), la consommation finale des ménages (CFM). Le mode de calcul du PIB, de la CFT et de la CFM a changé en 1995 afin de s'aligner sur la comptabilité européenne. Nous avons raccordé les séries avant et après 1995 en effectuant une règle de 3. Les variations de la consommation finale des entreprises et des ménages sont très corrélées au PIB avec toutefois des variations de moins grandes amplitudes (Graphique 122 à Graphique 123). La variable habituellement retenue dans les modèles de déplacement à longue distance est la CFM (INRETS, 1997a ; Blain, NGuyen, 1994). Les trafics longue distance étant majoritairement des trafics pour motif personnel (d'après l'enquête transports et communications de 1993, 80% des déplacements à plus de 100km sont des déplacements pour motif personnel), il peut sembler naturel de retenir un indicateur de consommation des ménages plutôt qu'un indicateur global de PIB. Toutefois les variations du PIB et de la CFM sont fortement corrélées, ce qui rend l'utilisation du PIB et de la CFM aussi valides l'une que l'autre. Par ailleurs, la longue distance est un type de consommation très sensible à la conjoncture, plus que d'autres postes de consommation de la CFM davantage contraints. Or, la différence fondamentale entre PIB et CFM réside dans l'amplitude de leurs fluctuations respectives. Le PIB peut ainsi se révéler être une variable plus appropriée que la CFM pour la modélisation des dynamiques liées à la conjoncture.

Graphique 122 : Evolution du PIB, de la CFT et de la CFM (base 100 en 1980)



Source : d'après les Annuaire Statistiques de l'INSEE

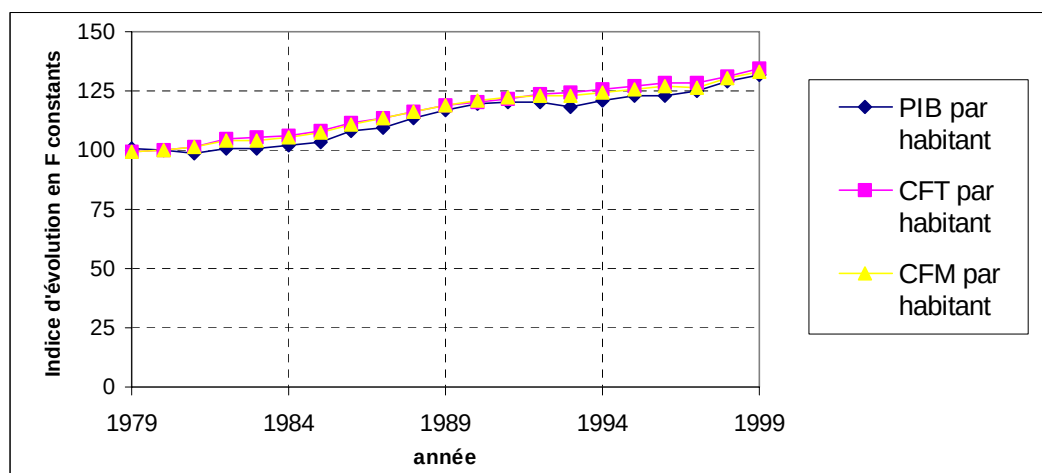
Graphique 123 : Pourcentage de variation du PIB, de la CFT et de la CFM



Source : d'après les Annuaire Statistiques de l'INSEE.

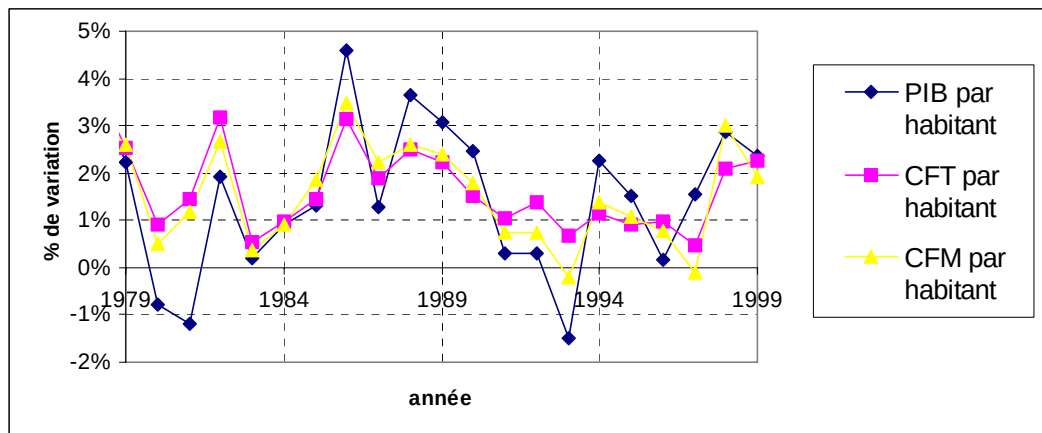
Outre les variations du PIB, de la CFT et de la CFM totales nous présentons aussi les variations du PIB, de la CFT et de la CFM par habitant (Graphique 124 à Graphique 125). Le PIB par habitant suit les mêmes évolutions que le PIB global.

Graphique 124 : Evolution du PIB, de la CFT et de la CFM par habitant (base 100 en 1980)



Source : d'après les Annuaire Statistiques de l'INSEE

Graphique 125 : Pourcentage de variation du PIB, de la CFT et de la CFM par habitant



Source : d'après les Annuaire Statistiques de l'INSEE

2. Prise en compte des coûts des différents modes

Dans notre modèle nous prenons en compte dans nos variables explicatives le coût du trajet sur autoroutes concédées par voyageur.kilomètre, le coût du trajet en train par voyageur.kilomètre et le coût du trajet en avion par voyageur.kilomètre. Pour évaluer l'évolution des prix, plusieurs types d'indicateurs existent : des indicateurs de prix à structure tarifaire constante (type indices "INSEE") et des indicateurs intégrant l'évolution de la structure des produits tarifaires (type "produits moyens"). Par ailleurs, l'évolution des politiques tarifaires du ferroviaire et de l'aérien vers le yield management et l'optimisation des recettes entre origines-destinations rendent les impacts des structures de coût aussi importants que l'impact apparent d'un indicateur moyen de coût de transport. Après avoir abordé la problématique de l'évaluation du coût de transport (2.1.), nous étudions mode par mode les coûts à intégrer dans l'évaluation du coût global, les données à disposition, le mode de calcul de l'indicateur de prix final (2.2. à 2.4.). Nous récapitulons alors nos différents indicateurs pour comparer leurs modes de construction, leur pertinence et leurs limites (2.5.).

2.1. Les différents types de mesure de l'évolution des prix : avantages et limites

Après nous être interrogés sur ce qu'est un coût de transport (2.1.1.), nous explicitons la différence entre indices de prix à structure tarifaire constante et produits moyens (2.1.2.). Nous montrons ensuite la difficulté à prendre en compte les politiques de yield management à travers les indicateurs de prix (2.1.3.). Nous abordons enfin la question de la comparaison des prix d'une année à l'autre et de l'inflation (2.1.4.).

2.1.1. Coût réel et coût ressenti

Dans le modèle nous devons intégrer les coûts ressentis par le consommateur, qui ne correspondent pas nécessairement aux coûts réels. Ainsi le coût d'un trajet sur autoroute comprend les péages, le carburant mais aussi les frais d'entretien et d'amortissement du véhicule. Toutefois seuls le carburant et les péages sont réellement ressentis ; seuls ces coûts

doivent être pris en compte dans la modélisation. En matière de trafics aérien et ferroviaire le prix d'achat du billet s'accompagne de conditions d'utilisation (possibilité de remboursement ou non, possibilité d'échange) et d'avantages (obtention de miles dans l'aérien) qui modifient la perception des prix des usagers. La prise en compte des conditions d'utilisation des billets est toutefois difficilement quantifiable.

2.1.2. Produit moyen ou indice de prix à qualité constante

L'INSEE fournit des indices de prix à la consommation pour les carburants, le transport ferroviaire et, depuis 1990, pour le transport aérien (INSEE, *Annuaire Statistique de l'INSEE*). Le principe de base de l'INSEE en matière de calcul de prix consiste à calculer les prix à qualité constante : l'INSEE considère chaque type de tarif séparément et surveille son évolution. Pour prendre en compte la diversité des tarifs (tarifs pleins et tarifs réduits), l'INSEE pondère les évolutions de prix des différents niveaux de tarifs par la part de chaque catégorie de tarif au sein de l'ensemble du trafic... mais à structure de catégories tarifaires constante. Autrement dit, à partir du moment où un billet Joker ou un billet jeune n'est pas l'équivalent d'un billet plein tarif en termes de droit d'utilisation ou de facilité de réservation, l'INSEE calcule son indice des prix hors variation de la part respective de ces différents types de billets. Pourtant le consommateur profite de la multiplication éventuelle de places Joker ou des quotas de places seniors ou jeunes, même si tous les clients ne peuvent pas en profiter, même si certains de ces billets sont assortis de conditions de réservation ou d'heures de départ moins pratiques.

Plutôt que de considérer des indices de prix INSEE, nous privilégions lorsque c'est possible des évolutions de produit moyen au voyageur.kilomètre (recettes totales / trafic). Cet indicateur est sensible aux politiques de gestion des quotas de places en réduction, aujourd'hui composantes importantes des politiques tarifaires des opérateurs, et est ainsi plus représentatif du coût moyen ressenti par l'usager³⁵.

Dans la mesure du possible nous retenons le produit moyen au voyageur.kilomètre afin d'intégrer les politiques de variations de quotas de classes tarifaires. Le choix entre produit moyen et indices de prix INSEE se fait toutefois en fonction des données disponibles.

2.1.3. Produit moyen et variations des structures tarifaires entre origines-destinations

Les produits moyens de l'air et du fer sont sensibles aux politiques commerciales des compagnies ferroviaires et aériennes puisqu'une politique de multiplication du nombre de promotions, ou d'augmentations du nombre de places en réduction se traduit par une baisse de produit moyen. Toutefois les produits moyens constituent un indicateur moyen, donc ne prennent pas en compte la structure des tarifs, notamment la structure par origines-destinations. Une même évolution de produit moyen peut correspondre à des évolutions de politiques tarifaires différentes. Ainsi une hausse de produit moyen peut correspondre soit à une hausse globale des tarifs pleins, soit à des pratiques d'optimisation de la recette par passager par une meilleure gestion des quotas de réductions en fonction du taux de

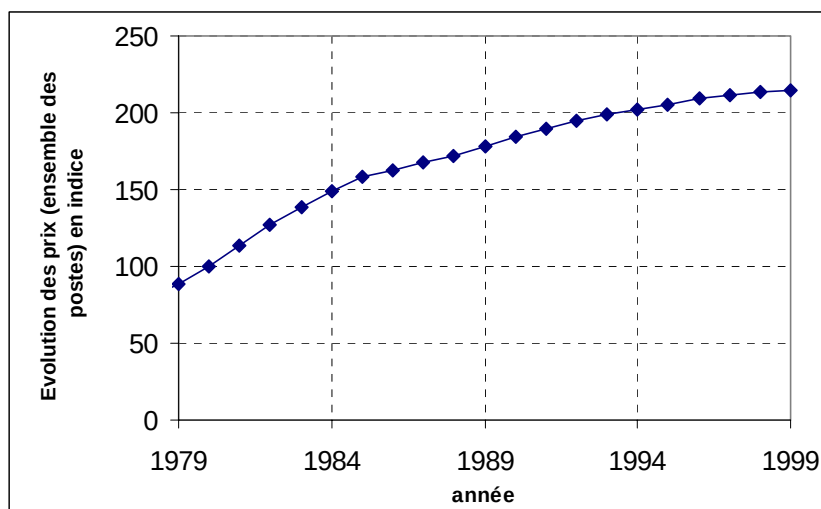
³⁵ Il faut toutefois être prudent quant à l'interprétation de cet indicateur. Ainsi l'évolution du produit moyen est sensible à l'évolution des structures de clientèle. Une mise en service de TGV entraîne une augmentation de la part de clientèle première classe, donc une augmentation du produit moyen au voyageur.kilomètre indépendamment de tout changement tarifaire de la part de la SNCF.

remplissage des trains. L'impact sur les trafics ne sera pas le même alors que l'indicateur de produit moyen sera au même niveau. Par ailleurs la SNCF a fait évoluer sa politique commerciale au cours des années 1990 en augmentant ses tarifs sur des liaisons où elle est en position dominante (Paris-Nantes) et en les réduisant sur de plus longues distances où elle est fortement concurrencée (chapitre 2, section II). Une même variation de produit moyen peut correspondre à des structures d'évolutions de tarifs par origine-destination très variables et par voie de conséquence à des impacts différenciés sur les trafics. Si la variation de produit moyen est de faible ampleur, l'impact de la variation de structure tarifaire peut être supérieure à l'impact de la variation moyenne des prix. Le concept d'élasticité du trafic au produit moyen atteint alors ses limites.

2.1.4. L'inflation

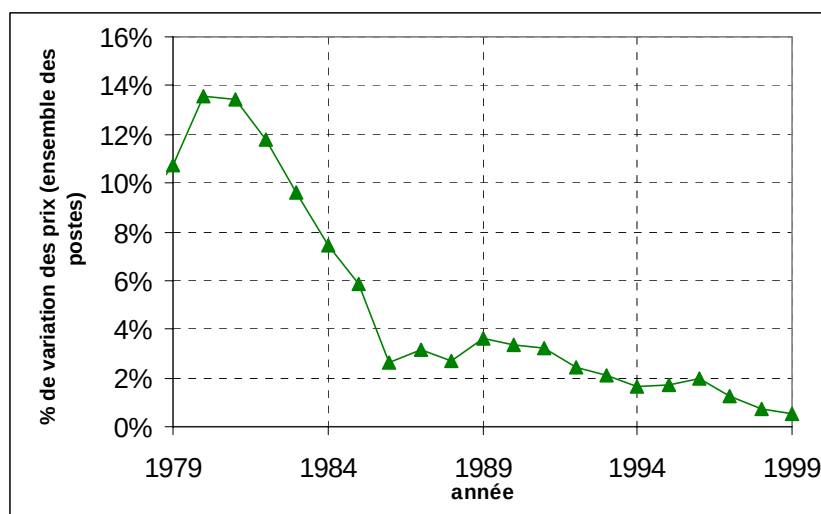
Comme pour le PIB, nous déflatons les prix de l'inflation. Nous faisons en effet l'hypothèse que l'utilisateur perçoit les prix du transport de façon relative par rapport aux autres prix ; l'inflation ne doit pas modifier le rapport entre prix et vitesse. Toutefois il est probable que même si les prix restent stables en prix constants, des hausses de prix courants sont perçues de façon négative par l'utilisateur indépendamment de l'éventuelle inflation. Dans notre travail, les prix sont des prix en francs constants 1980. En matière d'inflation, les 20 dernières années ont été marquées par des périodes très différenciées : entre 1980 et 1985 l'inflation est extrêmement élevée (jusqu'à 14% en 1980) ; entre 1986 et 1993 l'inflation est restée modérée (4% maximum) et depuis 1993 elle n'a pas dépassé les 2,5% (Graphique 126 et Graphique 127). La rupture des années 1980 est éventuellement susceptible de modifier la perception des prix.

Graphique 126 : Evolution des prix (ensemble des postes), base 100 en 1980



Source : d'après les Annuaire Statistiques de l'INSEE.

Graphique 127 : Pourcentage de variation des prix (ensemble des postes)



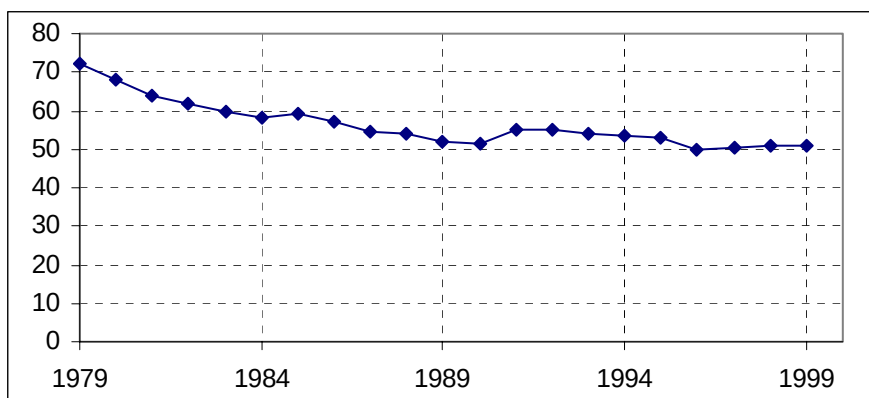
Source : d'après les Annuaire Statistiques de l'INSEE.

Nous passons maintenant en revue les modes de construction des coûts au kilomètre des différents modes de transport en précisant les coûts pris en compte, les types d'indicateurs utilisés, l'homogénéité de l'évolution des indicateurs sur un plan comptable afin de détecter des problèmes de mesurabilité. Par ailleurs il est important de voir si les évolutions de structure de coûts sont homogènes sur l'ensemble du territoire national ou non, et si l'impact des évolutions de structure tarifaire l'emporte sur l'impact de l'évolution moyenne des trafics.

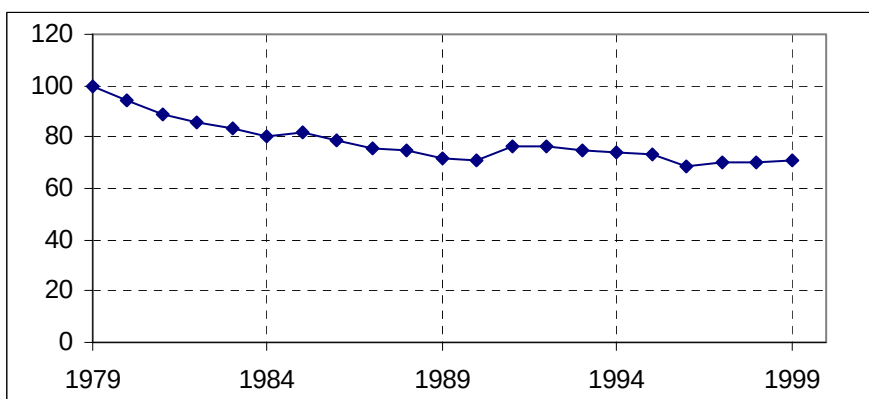
2.2. Le prix de l'aérien

Nous ne disposons d'aucun indicateur de prix homogène sur l'ensemble de la période. Jusqu'en 1997, date de la fusion d'Air Inter et d'Air France, nous pouvons évaluer le produit moyen du voyageur.kilomètre chez Air Inter (recettes totales / trafic) grâce aux résultats de l'entreprise Air Inter publiés dans le cadre des Comptes Transports de la Nation. Nous assimilons le produit moyen du voyageur.kilomètre chez Air Inter au produit moyen de l'aérien du trafic intérieur métropole. Après 1997, les résultats d'Air Inter sont confondus avec ceux d'Air France et il n'est plus possible de distinguer l'évolution des recettes intérieur métropole et les recettes à l'international. A partir de 1990, l'INSEE produit un indice de prix de l'aérien à structure tarifaire constante (INSEE, annuel, Annuaire Statistiques). Cet indicateur ne prend pas ou mal en compte les promotions, les évolutions dans la gestion des quotas de places en réduction. Nous utilisons cet indicateur pour continuer la série, faute de disposer d'autres données. Les graphiques suivants (Graphique 128, Graphique 129 et Graphique 130) présentent les évolutions du coût du trajet par air par voyageur.kilomètre au cours de la période 1979-1999. Il est clair que la rupture d'indicateur en 1997 est susceptible d'entraîner une modification comptable d'élasticité.

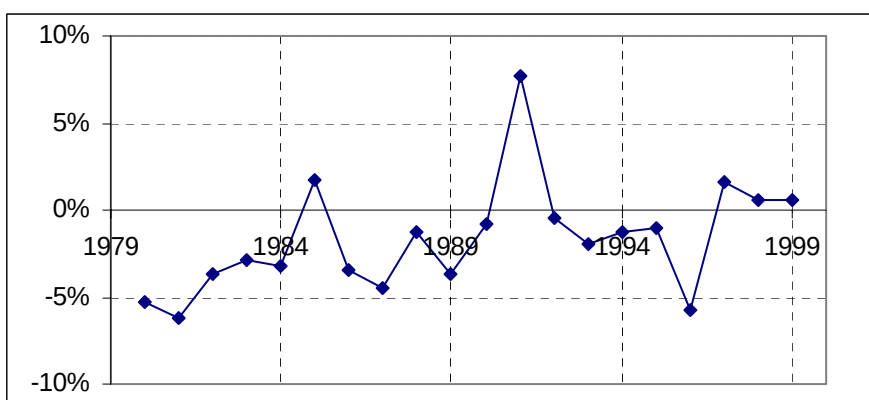
Graphique 128 : Prix de l'aérien par voyageur.km en centimes constants de 1980



Graphique 129 : Indice d'évolution du prix de l'aérien par voyageur.km (en F constants)



Graphique 130 : Pourcentages de variation du prix de l'aérien par voyageur.km (en F constants)



Par ailleurs, au-delà de l'évolution du produit moyen, la structure tarifaire a évolué au cours des dernières années. Or certaines liaisons sont plus concurrentielles que d'autres. Une amélioration de la politique commerciale par la modification des structures tarifaires peut avoir des répercussions sur les variations de trafic à produit moyen constant. L'évolution des politiques tarifaires a été exacerbée à partir de 1996/1997, date d'ouverture du ciel à la concurrence.

Toutefois le produit moyen de l'aérien a fortement baissé sur la période considérée, donc il est probable que au moins sur la période 1980-1990, l'impact de la baisse générale des prix l'ait emporté sur les impacts de structures tarifaires.

2.3. Le prix du fer

Nous disposons du produit moyen par voyageur.km sur l'ensemble du réseau grandes lignes + SRV (SNCF, annuel, Mémentos Statistiques). Comme nous considérons le trafic intérieur France, nous souhaiterions connaître le produit moyen du voyageur.kilomètre pour le seul trafic intérieur. Nous n'en disposons pas (ni de celui des seuls voyageurs grandes lignes). Le trafic international représente de l'ordre de 15% du trafic GL+SRV, mais a fluctué au cours des 20 dernières années ce qui peut éventuellement entraîner un léger biais.

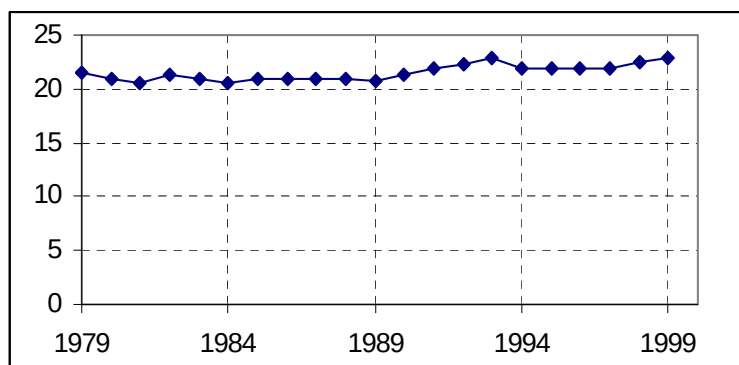
Les changements de mode de comptabilité (notamment l'extension du périmètre de la région parisienne en 1991) affectent les niveaux de prix aussi bien que les trafics. Nous avons donc redressé la série de produit moyen au voyageur.kilomètre de façon analogue aux redressements effectués pour les données de trafic SNCF. Toutefois, ces redressements ont un impact négligeable sur l'évolution des prix (contrairement aux redressements de données de trafic qui ont un impact significatif sur les évolutions de trafic du début des années 1990).

Le produit moyen est sensible aux évolutions de structure 1^{ère} classe / 2^{ème} classe. Quand la SNCF met en service des liaisons TGV, elle récupère de la clientèle haute contribution, des premières classes, des tarifs pleins. L'apparition d'une clientèle haute contribution au moment des mises en service de TGV entraîne une hausse du produit moyen indépendamment des variations de tarifs, ce qui peut conduire sur un plan théorique à une élasticité positive du trafic par rapport au prix.

Le prix du fer a connu des variations de moins grande ampleur que le prix de l'air au cours des 20 dernières années (chapitre 2, section II). On note des hausses de tarif au moment des mises en service de TGV (1982 pour la mise en service du TGV Sud-Est, 1990-1993 pour les mises en service des TGV Atlantique et Nord). En 1994, suite à la chute de trafic inquiétante de 1993, la SNCF a revu ses prix à la baisse, revenant ainsi au niveau de 1990. Après 1998 le produit moyen a de nouveau augmenté, en lien avec la politique de yield management (Graphique 131, Graphique 132, Graphique 133).

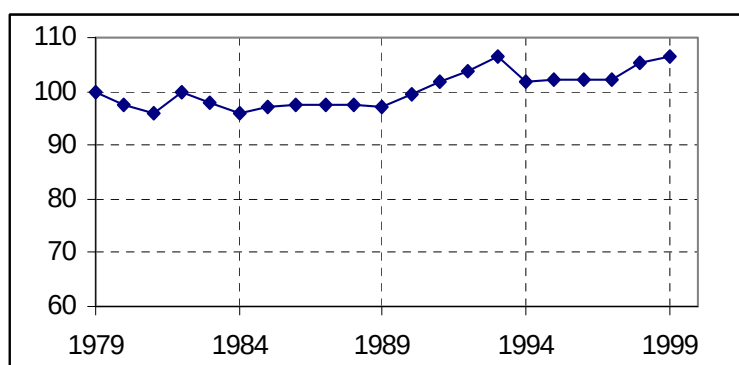
La politique tarifaire de la SNCF ayant évolué au cours des dernières années de façon à optimiser la structure des coûts, les évolutions de produits moyens du début et de la fin des années 1990 n'ont sans doute pas la même signification. L'évolution de la structure des coûts a un impact sur les trafics. Comme le produit moyen du fer a relativement stagné entre 1979 et 1999 pour osciller entre 20 et 23 centimes constants, l'impact de la structure tarifaire sur les trafics risque d'être du même ordre de grandeur que l'impact de la variation du produit moyen. L'évaluation d'une élasticité au prix risque d'être délicate. D'ailleurs, d'après le modèle MATISSE (INRETS, 1997b), une hausse de produit moyen de 0,1%/an sur 1980-1992 entraîne une hausse de trafic de 0,4%/an ... soit une élasticité de +4. Cette élasticité est positive, ce qui peut paraître surprenant pour une élasticité tarifaire. Le signe est dû à l'évolution des structures de coûts et des structures de clientèles. Une telle élasticité a peu de chances de rester constante ; le concept d'élasticité au produit moyen atteint des limites de pertinence.

Graphique 131 : Prix moyen du ferroviaire (par voy.km) en centimes constants de 1980

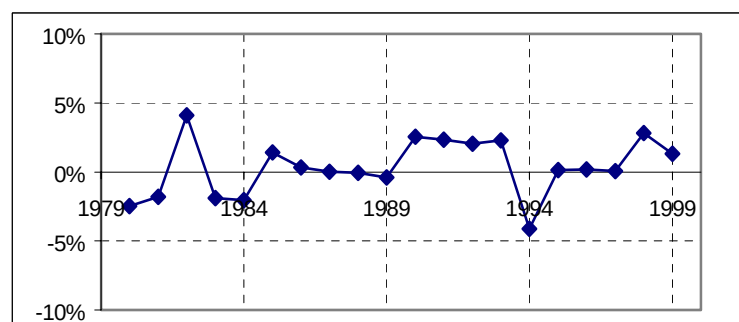


Source : d'après Mémentos Statistiques de la SNCF.

Graphique 132 : Indice d'évolution du prix du ferroviaire par voy.km (évolution en F constants)



Graphique 133 : Pourcentages de variation (en F constants) du prix du ferroviaire par vkm



2.4. Le coût de l'autoroute

Pour la route, nous évaluons plusieurs prix : un prix du carburant, un prix des péages, et un coût généralisé autoroutier. Nous évaluons ici un prix au véhicule.kilomètre. Le nombre moyen de passagers par véhicule étant de l'ordre de deux³⁶, cela permet d'estimer le produit moyen au voyageur.kilomètre.

³⁶ d'après les enquêtes routières réalisées par le SETRA et les CETE.

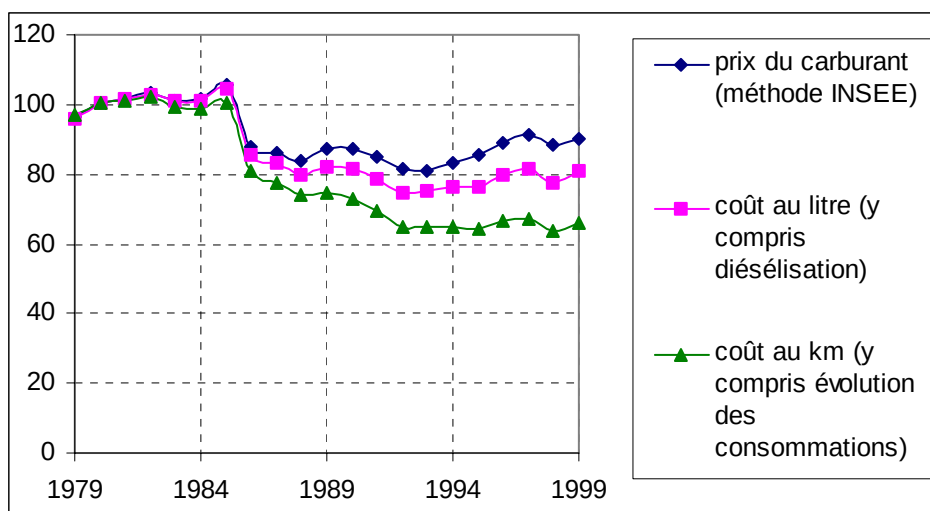
2.4.1. Le prix du carburant

Nous possédons deux sources de données pour l'estimation du prix du carburant : l'INSEE et l'INRETS. Il existe trois dimensions dans l'évolution de la consommation d'un produit : prix, qualité et volume. L'INSEE calcule une évolution de prix à qualité constante. Ainsi l'INSEE calcule une évolution du prix des carburants à structure de carburants constante (hors effet de diésélisation du parc). Or le diesel coûte moins cher que l'essence et le parc s'est fortement diésélisé. L'INRETS calcule un coût du carburant au litre qui tient compte de cet effet diésélisation du parc. Par ailleurs la consommation au kilomètre des véhicules a diminué sur la période 1979-1999 (malgré l'augmentation des cylindrées). Pour prendre en compte ce troisième effet, l'INRETS a calculé un indice d'évolution du prix des carburants au kilomètre qui tient compte de ce phénomène.

L'indice INRETS d'évolution du prix des carburants au kilomètre, qui tient compte de la diésélisation du parc et de la meilleure efficacité énergétique des véhicules, est l'indice qui rend le mieux compte de la baisse du prix pour l'usager. C'est cet indice que nous utilisons. Il faut toutefois noter que cet indice au véhicule.kilomètre a été calculé pour l'ensemble des trajets en voiture (urbains et interurbains) et que les consommations de carburants sur les trajets longue distance ne sont pas identiques à la moyenne des trajets. Nous faisons néanmoins l'hypothèse que l'évolution du prix moyen du carburant sur autoroutes est identique à l'évolution du prix moyen des carburants sur l'ensemble des trajets urbains et interurbains.

Pour passer de l'indice d'évolution à l'évolution en niveau du coût du carburant, nous multiplions l'indice d'évolution par le coût du carburant estimé par le SETRA en 1994 dans le cadre du calcul de sa matrice de coûts généralisés entre zones d'emplois (évaluation qui tenait compte de la structure de vente des carburants et des consommations au kilomètre).

Graphique 134 : Evolution du prix des carburants de 1970 à 1999 : comparaison des indices INSEE, INRETS au litre et INRETS au km.



Source : d'après (INSEE, INRETS)

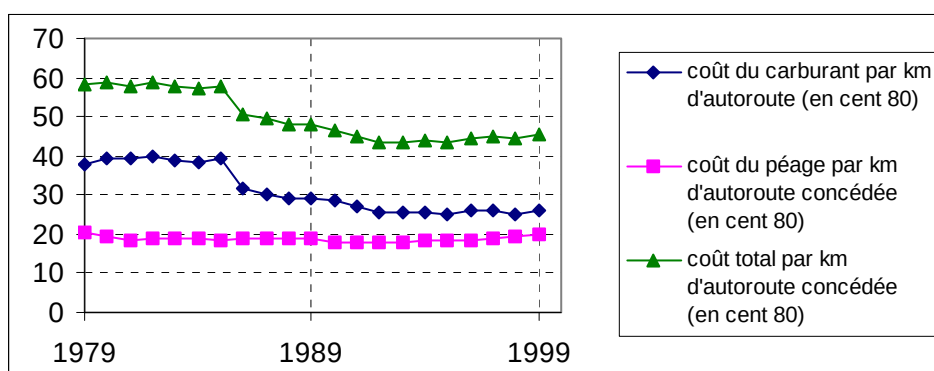
2.4.2. Le prix des péages

Nous possédons un indice d'évolution du péage moyen par véhicule.kilomètre VL et PL confondus de source ASFA ou SES. Cet indice est fourni en indice par l'ASFA, en niveau par le SES ; il a été calculé en divisant les évolutions des recettes VL + PL des différentes sociétés autoroutières par le volume total de véhicules.kilomètres. Par ailleurs le péage moyen par VL/kilomètre est de l'ordre de 0,42F courants en 1999 (source ASFA). Nous possédons aussi les recettes de péage de chaque société d'autoroutes, avec la distinction VL/PL pour un certain nombre d'entre elles³⁷. A partir des données des six sociétés d'autoroutes dont nous connaissons les évolutions de prix, nous pouvons calculer un prix moyen des péages au kilomètre VL seuls. Son niveau est légèrement inférieur au prix SES, ce qui est logique puisque le SES inclut les PL. En revanche l'évolution du coût du véhicule.kilomètre VL seuls est pratiquement confondu avec l'évolution du prix ASFA/SES VL/PL mélangés. Au final, nous retenons l'évolution ASFA et le niveau de 0,42F/kmVL en 1999 (en Francs courants).

2.4.3. Le coût autoroutier

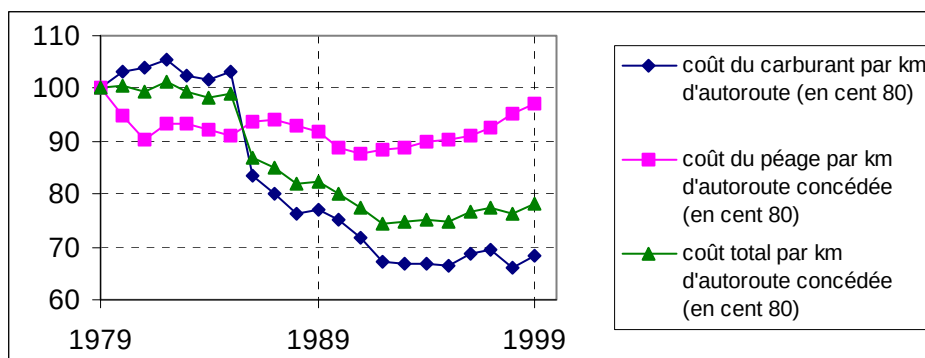
Nous estimons des coûts au véhicule.kilomètre. Pour un trajet effectué exclusivement sur autoroute, nous considérons comme coût au kilomètre la somme des coûts du carburant au kilomètre et des coûts de péage au kilomètre. Cette hypothèse suppose que l'automobiliste perçoit de la même manière péages et prix du carburant, ce qui n'est pas garanti, mais introduire de façon séparée coût des carburants et des péages n'est pas possible car cela entraînerait un trop grand nombre de variables explicatives dans la modélisation. Les prix autoroutiers ont l'avantage de varier de façon homogène sur l'ensemble du territoire. Contrairement au fer et à l'air, le problème de la structure des coûts ne se pose pas.

Graphique 135 : Evolution des coûts relatifs à l'autoroute au véhicule.km

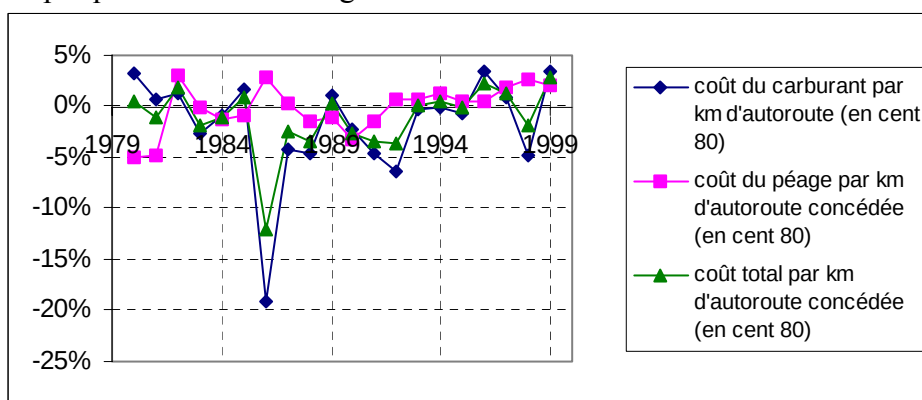


³⁷ Nous avons la distinction pour ASF, SAPRR, Escota, SAPN, SANEF-Metz, STMB, et nous ne l'avons pas pour Cofiroute, AREA, SANEF-Senlis et SANEF-Reims.

Graphique 136 : Indices d'évolution des coûts relatifs à l'autoroute



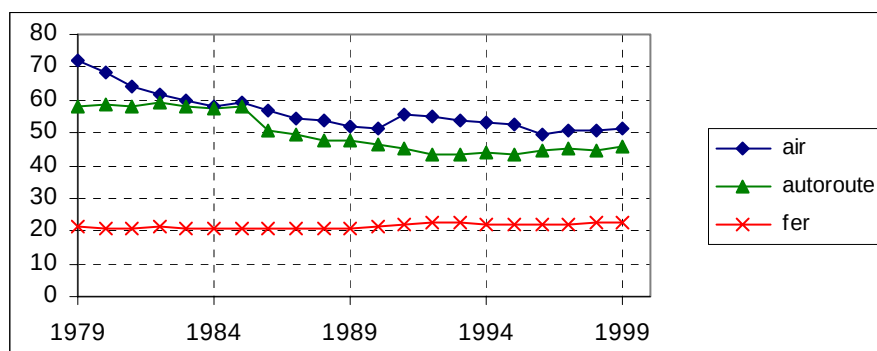
Graphique 137 : Pourcentages de variation des coûts relatifs à l'autoroute



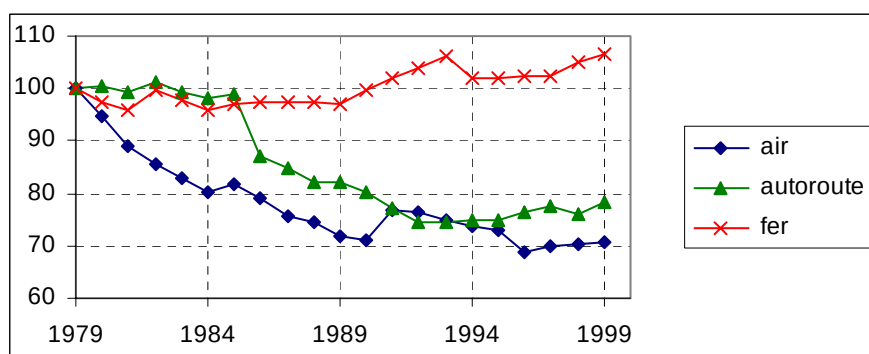
2.5. Comparaison des trois prix : air-fer-autoroute

Ainsi que nous l'avons explicité dans le chapitre 2 – section II – 2.4, l'écart entre les coûts moyens de l'air et du fer d'une part, et de l'autoroute d'autre part, se sont considérablement réduits (Graphique 138). En 1999, le transport aérien reste 2,5 fois plus cher que les déplacements par autoroute. Avec un taux d'occupation de 2 personnes par véhicule, les trajets par autoroute ont un coût de revient équivalent à un trajet en train. Les prix du fer et de l'air revêtent toutefois une grande variabilité, d'une origine-destination à l'autre, d'un horaire à l'autre.

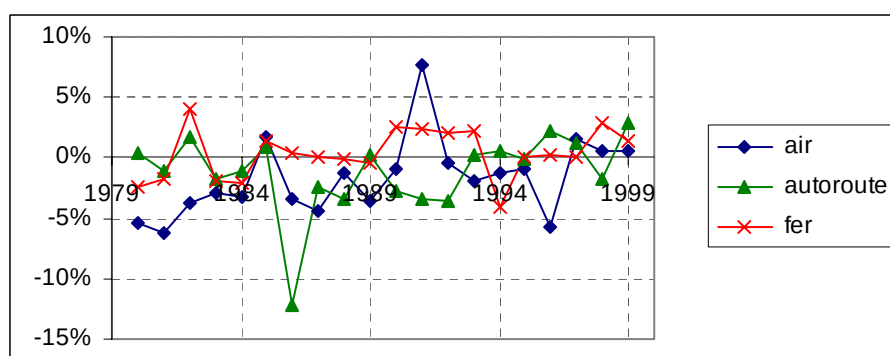
Graphique 138 : Evolution des produits moyens de l'aérien et du fer par voyageur.km et de l'autoroute par véhicule.km³⁸



Graphique 139 : Indice d'évolution des prix



Graphique 140 : Pourcentages de variation des prix



³⁸ Le prix de l'autoroute sur ce graphique est un prix au véh.km (1 personne dans la voiture) En moyenne, le taux d'occupation est de deux personnes / véhicule (d'après SETRA). Nous ne disposons pas d'informations sur l'évolution de ce taux d'occupation au fil des ans. Nous supposons donc ce taux d'occupation constant. Il est nécessaire de diviser le prix de l'autoroute par 2 pour obtenir une estimation du prix par voyageur.kilomètre.

3. Indicateurs de développement des réseaux

Dans la présente section nous présentons des indicateurs d'extension de réseaux autoroutiers et ferroviaires. L'utilité des réseaux de transports est liée aux gains d'accessibilité que leur extension procure. Il est possible de prendre en compte les gains d'accessibilité dus à l'amélioration des vitesses, à travers de simples indicateurs de longueurs de réseau. On peut en effet faire l'hypothèse que les tronçons construits produisent des gains d'accessibilité de plus en plus faibles et conduisent donc à des gains d'utilité de plus en plus faibles. On peut ainsi modéliser le gain d'utilité dû aux investissements autoroutiers par une fonction décroissante de la longueur de réseaux, dont on paramètre la vitesse de décroissance. Lorsque nous disposons de flux origines-destinations, nous pouvons évaluer des évolutions de vitesses moyennes. Toutefois les gains d'utilité se font par paliers ; l'accessibilité à un lieu se mesure moins en termes de temps de parcours qu'en termes de possibilité d'effectuer l'aller-retour dans la journée (en gardant un temps disponible à destination suffisant), possibilité d'effectuer l'aller-retour dans la demi-journée, impossibilité d'effectuer l'aller-retour dans la journée (Klein, 2001). Un gain de vitesse n'a pas le même impact suivant qu'il se produit sur des liaisons à temps de parcours élevé ou sur des liaisons courtes. Il peut dès lors être utile de définir des indicateurs de vitesse "écrêtée" tenant compte de ce phénomène. D'autres indicateurs peuvent éventuellement être envisagés. Dans un premier temps nous étudions la construction d'un indicateur d'utilité autoroutière puis nous présentons des indicateurs d'utilité ferroviaire.

3.1. Construction d'un indicateur d'utilité autoroutière

L'utilité des réseaux routiers et autoroutiers est souvent modélisée par des longueurs de réseau (Gabella-Latreille, 1997). Les longueurs de réseaux sont souvent intégrées dans les modèles à l'aide de formulations du type L_c^b . L'hypothèse implicite est que les kilomètres de réseau sont construits du plus utile au moins utile et que l'utilité d'un kilomètre d'autoroute supplémentaire est fonction de la longueur L_c d'autoroutes déjà construites selon une formulation du type :

$$r_r(L_c) = K * L_c^a$$

où $r_r(L_c)$ est l'utilité du $L_c^{\text{ème}}$ kilomètre de réseau autoroutier,
 L_c est la longueur de réseau sur autoroutes concédées,
 K et a sont des constantes avec $a < 0$.

L'hypothèse que les tronçons autoroutiers sont construits par ordre d'utilité décroissante semble être une hypothèse plus que raisonnable. En revanche rien ne garantit la continuité de la décroissance de la fonction. En effet il se peut que les premiers tronçons construits soient des axes de circulation majeurs "très utiles" et d'utilités voisines (ou faiblement décroissantes) mais qu'une fois le réseau structurant établi, il existe un décrochage d'utilité entre ces premiers kilomètres et les kilomètres supplémentaires. S'il y a rupture dans la décroissance de l'utilité, la modélisation risque de se trouver prise en défaut.

Pour voir si un tel effet de palier se produit, nous regardons les variations du trafic d'un tronçon à l'autre à une année de référence donnée, en l'occurrence 1999, en fonction de l'ancienneté du réseau. Nous considérons en effet que les utilités des différents tronçons autoroutiers sont proportionnelles aux trafics circulant sur ces tronçons. Nous possédons pour

l'année 1999 les TMJA (Trafics Moyens Journaliers Annuels) pour les différents tronçons autoroutiers. Nous pouvons analyser les variations du $TMJA_{1999}$ des tronçons autoroutiers en fonction du kilométrage d'autoroutes déjà construites au moment de la mise en service des tronçons (courbe « observée » du Graphique 141).

Nous constatons effectivement une décroissance du $TMJA_{1999}$ en fonction du kilométrage autoroutier déjà construit lors de l'ouverture du tronçon supportant ce TMJA. Les tronçons les plus récents sont moins chargés en trafic que les premiers construits, ce qui traduit une moindre utilité. Par ailleurs nous ne constatons pas de palier de TMJA entre une première partie du réseau et une deuxième partie, mais plutôt une décroissance continue. Bien sûr il existe des irrégularités dans cette décroissance : les tronçons sont construits a priori par ordre d'utilité décroissant mais il peut exister des entorses à la marge à cette règle. Au vu de l'allure de la courbe reliant $TMJA_{1999}$ et kilométrage d'autoroutes construites au moment de la date de mise en service, il paraît possible de modéliser la variation de $TMJA_{1999}$ en fonction de la longueur L_c des autoroutes concédées déjà construites par une fonction de la forme $TMJA_{1999}(L_c) = K * L_c^a$ (où K et a sont des constantes). En partant du principe que l'utilité d'un kilomètre d'autoroutes est proportionnelle au $TMJA_{1999}$ du tronçon, nous pouvons modéliser l'utilité $r_f(L_c)$ du $L_c^{ème}$ tronçon par une fonction du type $r_f(L_c) = K' * L_c^a$ (où K' est une constante et a la même constante que précédemment). Du moins nous modélisons ainsi les TMJA et l'utilité à partir de 1000km de tronçons construits. En deçà la forte pente conduirait à une limite de TMJA trop élevée ; nous pouvons supposer que l'utilité des premiers kilomètres est relativement constante.

En calant numériquement les paramètres, nous modélisons $TMJA_{1999}(L_c)$ par les équations suivantes :

Si $L_c < 1000\text{km}$: $TMJA_{1999}(L_c) = C$ avec $C = 34\,208 \text{ véh/jour}$.

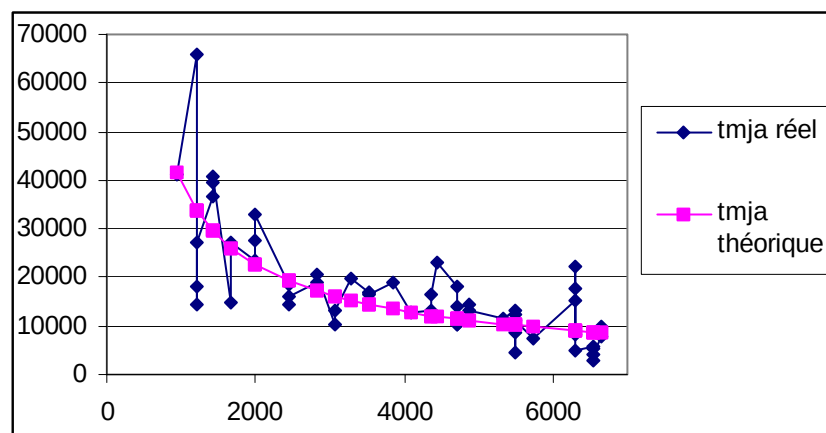
Si $L_c > 1000\text{km}$: $TMJA_{1999}(L_c) = K * L_c^{-b}$ avec $K = \ln(14,50)$ et $b = 0,588$

L_c est la longueur du réseau d'autoroutes concédées.

$R^2 = 0,57$ ce qui est correct pour une régression sur des données spatiales.

Nous comparons TMJA théoriques et observés (Graphique 141).

Graphique 141 : Comparaison du TMJA théorique et du TMJA observé



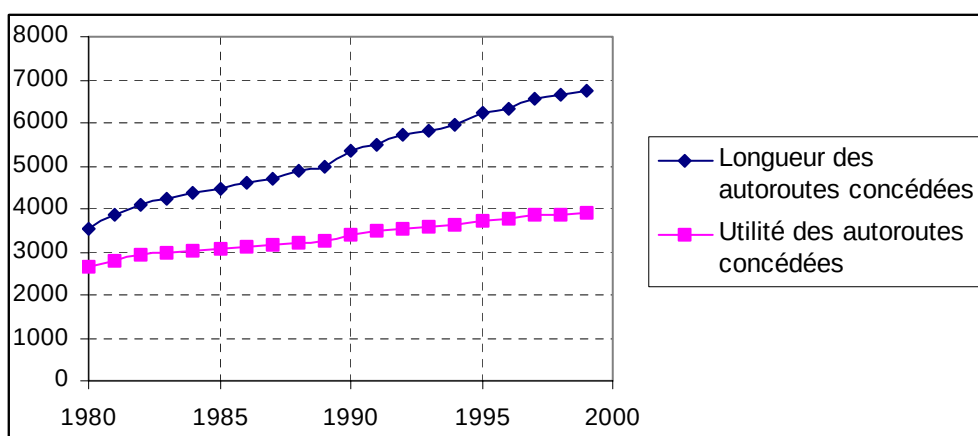
Par intégration, nous pouvons en déduire $R_r(L_c)$, utilité des L_c premiers kilomètres d'autoroutes : $R_r(L_c) = \int_0^{L_c} r_r(L_c) dL_c$. Bien sûr R_r est définie à une constante multiplicative près. Nous choisissons la constante de façon à ce que R_r soit égale à la longueur du réseau autoroutier sur les 1000 premiers kilomètres. Nous en déduisons l'utilité du réseau autoroutier R_r :

Si $L_c < 1000\text{km}$: $R_r = C'L_c$ avec $C' = 1$
 Si $L_c > 1000\text{km}$: $R_r = C'' + K''L_c^{b''}$ avec $C'' = -1429$; $K'' = 141.5$ et $b'' = 0,412$

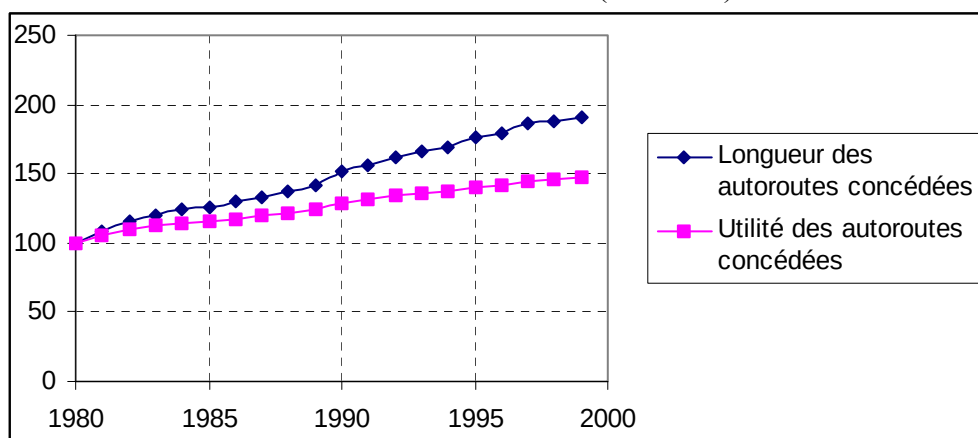
En pratique, cette formulation est presque équivalente à une formulation du type $K * L_c^{0,412}$. Dans les modèles de demande directe modéliser l'utilité du réseau des autoroutes concédées par une simple longueur de réseau L_c serait ainsi presque identique à l'utilisation de cet indicateur, l'équation étant du type $K * L_c^b$. Pour les modèles de partage modal à fonction d'utilité linéaire il peut en revanche être intéressant de connaître précisément a et d'utiliser R_r .

Les (Graphique 142, Graphique 143 et Graphique 144) présentent les évolutions comparées de la longueur et de l'indicateur R_r d'utilité autoroutière.

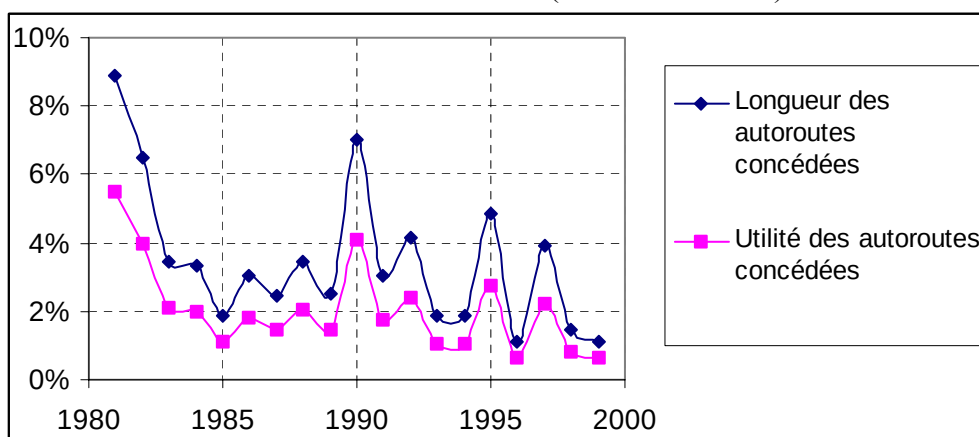
Graphique 142 : Evolution de la longueur des autoroutes concédées et de l'utilité du réseau des autoroutes concédées



Graphique 143 : Evolution de la longueur des autoroutes concédées et de l'utilité du réseau des autoroutes concédées (en indice)



Graphique 144 : Evolution de la longueur des autoroutes concédées et de l'utilité du réseau des autoroutes concédées (taux de variation)



3.2. Construction d'un indicateur d'utilité du réseau ferroviaire

Les améliorations liées aux extensions du réseau TGV peuvent être prises en compte à travers des indicateurs de longueurs de réseaux (3.2.1.) ou de vitesses moyennes (3.2.2.a). Toutefois ces indicateurs présentent un certain nombre de limites. En particulier l'indicateur de vitesse moyenne ferroviaire prend mal en compte les différences d'impact des variations de vitesse ferroviaire suivant que ces variations ont lieu sur des liaisons sensibles ou peu sensibles aux variations de vitesse. Nous proposons alors de modéliser l'extension du réseau TGV par une variable de vitesse moyenne écrêtée (3.2.2.b.). D'autres indicateurs peuvent éventuellement être envisagés, indicateurs d'accessibilité notamment (3.2.3.). Nous présentons alors les variations de vitesse moyenne ferroviaire et de vitesse moyenne ferroviaire écrêtée (3.2.4.).

3.2.1. Les indicateurs de longueurs de réseau

Comme pour la route nous pouvons supposer que les tronçons sont construits par ordre d'utilité décroissante et dans l'hypothèse où cette décroissance se ferait de façon régulière nous pourrions introduire l'extension du réseau TGV dans le modèle à travers une variable de longueurs de voie. Nous connaissons d'une part l'évolution de la longueur totale de voies nouvelles et d'autre part l'évolution des longueurs de voie parcourues par les TGV. Ces deux indicateurs sont toutefois imparfaits. La longueur de voies nouvelles est un indicateur insuffisant car elle ne prend pas compte les voies aménagées à 220km/h. La mise en service du TGV A risque de s'en trouver sous-estimée et le TGV Nord surestimé. A l'opposé l'indicateur de longueurs de voie parcourues par les TGV n'est pas très pertinent car il met sur le même plan 1km de ligne sur Lyon-St-Etienne et 1km de ligne sur Paris-Lyon. Il serait possible de construire un indicateur panachant ces deux types de longueurs de réseaux. Toutefois, contrairement au réseau autoroutier, nous connaissons le trafic sur les principales origines-destinations ferroviaires à une année de référence (1992). Nous nous orientons plutôt sur un indicateur de vitesse moyenne évalué à partir des origines-destinations.

3.2.2. Les indicateurs de vitesse moyenne et vitesse moyenne écrêtée

Nous considérons les 15 liaisons région à région radiales non contiguës, autrement dit les 15 liaisons Ile-de-France vers Nord-Pas-de-Calais, Bretagne, Pays-de-Loire, Poitou-Charentes, Aquitaine, Midi-Pyrénées, Limousin, Auvergne, Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon, PACA, Lorraine, Alsace, Franche-Comté. Les temps de parcours entre régions sont assimilés aux temps de parcours entre les métropoles régionales. Nous connaissons les volumes de trafics entre régions en 1992.

Indicateur de vitesse moyenne

La vitesse moyenne ferroviaire est la vitesse moyenne sur ces différentes liaisons :

$$V_n = \sum_{ij} \frac{T_{ijN}}{T_N} v_{ijn}$$

avec :

V_n : vitesse moyenne à l'année n ;

T_{ijN} : trafic train + air sur l'origine destination ij à l'année de référence N (en pratique, l'année 1992) ; T_{ijN} est exprimé en voyageurs.kilomètres ;

T_N : le trafic total fer et air à l'année de référence $N=1992$, autrement dit la somme des T_{ijN} ;

v_{ijn} : vitesse des trains les plus rapides sur ces origines-destinations à l'année n .

Nous considérons les trafics sur les 15 liaisons radiales entre régions non contiguës. Il n'est guère envisageable de prendre en compte les évolutions de temps de parcours sur 20 ans pour l'ensemble des 210 OD régions à régions et nous pouvons considérer que ces 15 liaisons sont assez représentatives de l'évolution du système de transport ferroviaire.

Les trafics concernés par des liaisons entre régions contiguës sont en effet relativement peu sensibles aux améliorations liées à la grande vitesse ferroviaire : les gains de temps sont en partie compensés par les contraintes de réservation, le coût du temps gagné est extrêmement élevé en regard du gain de temps réalisé. L'avantage de la grande vitesse n'apparaît pas décisif sur de telles liaisons. Les trajets entre régions contiguës sont proportionnellement plus diffus par rapport aux centroïdes de zones que des trajets longs, ce qui tend là encore à surestimer l'impact des vitesses.

Au sein des liaisons entre régions non contiguës, les radiales non contiguës représentent 80% du trafic et sont uniformément réparties sur l'ensemble de l'espace métropolitain. Les temps de parcours entre régions non contiguës, qui transitent pour une grande part par l'Ile-de-France, suivent en partie l'évolution des temps de parcours des radiales. L'indicateur de vitesse moyenne calculé sur les seules radiales non contiguës occulte les TGV Jonctions mis en service dans la deuxième moitié des années 1990. Leur prise en compte est toutefois délicate dans la mesure où les fréquences, rares pour les trains directs, constituent un facteur aussi important que la vitesse.

Le zonage adopté est celui des régions françaises et les temps de parcours sont calculés entre centroïdes de zones. Nous disposons en effet des trafics origine-destination 1992 selon un zonage par régions. Toutefois certaines régions sont assez vastes et les centroïdes de zones excentrés (Bordeaux, Marseille, Rennes, Nantes). Un zonage plus fin permettrait d'affiner le calcul. En 1992, nous ne disposons pas de trafics origines-destinations à une échelle plus fine. Aussi nous avons conservé ce zonage. Nous aurions pu affiner le calcul avec les matrices

SNCF de 1996-2000 pour lesquelles nous possédons des trafics gare à gare Ile-de-France vers tous les départements français (ainsi que les gares à gares régions à régions).

T_{ij} représente la somme des trafics air et fer et pas simplement les trafics fer afin que le poids d'une origine-destination i-j ne dépende pas du fait que la grande vitesse ait été mise en place avant 1992 ou après 1992 (le volume de trafic ferroviaire étant fort variable suivant que la ligne à grande vitesse est ou n'est pas mise en place). Comme nous modélisons des voyageurs.kilomètres, les pondérations T_{ijN} doivent être exprimées en voyageurs.kilomètres.

L'indicateur de vitesse écrêtée ferroviaire

Une même variation de vitesse peut correspondre à des variations différentes du réseau et à des impacts très variables en termes de trafics. Or une réduction de temps de parcours n'a pas le même impact suivant qu'elle se produit sur des temps de parcours élevés ou plus faibles. Réduire un temps de parcours de 5h à 4h n'a pas le même effet que de le faire passer de 3h à 2h ou de 2h à 1h. Au-delà de 5h la part de marché du fer au sein du total air + fer est voisine de 20% et est peu sensible au temps de parcours; à 4h elle est d'environ 40%, à 3h de 60%, à 2h de 90% à 95% (Mignauw, 1998). L'indicateur de vitesse moyenne a tendance à surestimer l'impact des réductions de temps de parcours au-delà de 5heures, et en-deçà de 2h. Pour corriger cet effet nous considérons un indicateur de vitesse écrêtée Rf :

$$Rf(n) = \sum_{ij} \frac{T_{ijN}}{T_N} w_{ijn}$$

avec :

$Rf(n)$: indicateur de vitesse écrêtée moyenne à l'année n ;

T_{ijN} : trafic fer + air sur l'origine destination ij à l'année de référence N (en pratique, l'année 1992) ; T_{ijN} est exprimé en voyageurs.kilomètres ;

T_N : le trafic total fer et air à l'année de référence $N=1992$, somme des T_{ijN} ;

w_{ijn} : vitesse écrêtée des trains les plus rapides sur ces origines-destinations à l'année n ; les temps de parcours sur les différentes origines destinations sont écrêtés à [2h-5h] ; si le temps de parcours est inférieur à 2h, il est écrêté à 2h ; si le temps de parcours est supérieur à 5h, il est écrêté à 5h ; on en déduit la vitesse.

Rf est calculé sur le même ensemble de liaisons que Vf .

3.2.3. Autres indicateurs

Outre des indicateurs de vitesse moyenne et de vitesse moyenne écrêtée, il est possible de calculer d'autres indicateurs en particulier des indicateurs d'accessibilité.

"L'accessibilité est généralement définie comme une mesure à la fois de la séparation spatiale et de la facilité à atteindre des activités à partir d'une localisation d'origine donnée. Ce concept intègre donc deux aspects opposés constitutifs de tout déplacement : l'élément de déplacement dans l'espace et l'élément d'attraction de la destination" (Durand, 2001). Une formulation générale de l'accessibilité d'un lieu par rapport à un autre est définie par : $A_{ij} = D_j * f(C_{ij})$ où D_j constituent les caractéristiques d'attraction, opportunités en j et $f(C_{ij})$ la fonction d'impédance, de coût généralisé de transport. En général la formulation de f est une fonction exponentielle décroissante : $A_{ij} = D_j * e^{-(1/\tau)C_{ij}}$. D_j est le facteur d'attraction ou d'opportunités du lieu de destination j . C_{ij} est le facteur résistant, le coût généralisé de

transport. τ traduit le niveau de rapidité de l'effet d'atténuation de la distance sur les opportunités (Durand, 2001).

En prenant $D_j = k * \text{pop}_j^a$ avec pop_j la population de j et k une constante ; $C_{ij} = t_{ij} + T$ où t_{ij} est le temps de parcours et T une constante ; en posant $b = 1/\tau$, la formulation d'accessibilité devient : $A_{ij} = k * \text{pop}_j^a * e^{-b(t_{ij}+T)}$.

En moyennant les accessibilités par les populations sur un ensemble de liaisons on obtient un indicateur d'accessibilité agrégée $A = \sum_{ij} k * (\text{pop}_i * \text{pop}_j)^a * e^{-b(t_{ij}+T)}$.

Pour calibrer les coefficients a et b nous modélisons les trafics trains sur les 15 radiales $i = \text{Paris}$ vers $j = \text{région}$ comme proportionnels à l'accessibilité sur $i-j$.

$$T_{\text{train-}ij} = K * \text{pop}_{ij}^a * e^{-b(t_{ij}+T)} \quad (1)$$

Evidemment un tel calage ne peut pas être très explicatif car il prend mal en compte la concurrence entre les modes notamment sur courtes distances (route) et les phénomènes de "cloche" que cela entraîne. Pour obtenir une formulation plus représentative de l'utilité du train, nous pouvons modifier la formulation afin d'obtenir une accessibilité "relative" qui tient compte de la séparation spatiale mais aussi du niveau d'accessibilité ou de concurrence des autres modes :

$$T_{\text{train-}ij} = K * \text{pop}_{ij}^a * e^{-b(t_{ij}+T)} d_{ij}^c \quad (2)$$

$T_{\text{train-}ij}$: trafic train entre les régions i et j .

K, a, b, c : constantes

pop_{ij} : produit des populations des régions i et j

t_{ij} : temps de parcours en train entre i et j

T : temps d'accès au mode

d_{ij} : distance entre i et j

Le terme exponentiel correspond à la décroissance des trafics au fur et à mesure de l'éloignement et de la concurrence de l'avion pour les temps de parcours élevés. Le terme de distance corrige l'effet de la concurrence de la route pour des distances faibles. Il existe un effet positif de la distance en faveur du train.

Il est à noter que cette formulation se simplifie. En posant $K' = K * \text{pop}_{\text{paris}}^a * e^{-bT}$, nous obtenons : $T_{\text{train-}ij} = K' * \text{pop}_j^a * e^{-bt_{ij}} d_{ij}^c$.

Nous avons calé cette formulation sur les 15 radiales non contiguës dans 2 cas de figures : en négligeant le terme distance (formulation 1) (Tableau 35), puis en le prenant en compte (formulation 2) (Tableau 37).

Tableau 36 : Calage de la formulation 1

R ² =0.914	Coefficients	Erreur-type	t de Student	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95%
Constante	-5,90	1,53	-3,86	0,0023	-9,22	-2,57
a	0,99	0,10	9,49	<0,0001	0,76	1,22
-b	-0,31	0,05	-6,30	<0,0001	-0,42	-0,21

Tableau 37 : Calage de la formulation 2

R ² =0.92	Coefficients	Erreur-type	t de Student	Probabilité	Limite inférieure pour seuil de confiance = 95%	Limite supérieure pour seuil de confiance = 95%
Constante	-6,69	1,95	-3,43	0,0056	-10,98	-2,40
a	0,97	0,11	8,66	<0,0001	0,72	1,21
-b	-0,38	0,11	-3,55	0,0045	-0,61	-0,14
c	0,22	0,32	0,68	0,5094	-0,48	0,91

Le tableau suivant compare trafics observés et théoriques (Tableau 38).

Tableau 38 : Comparaison des trafics observés et théoriques avec les 2 calages

	Temps 1992	Trafic observé	Trafic théorique (formule 1)	Trafic théorique (formule 2)	Ecart en % (formule 1)	Ecart en % (formule 2)
Strasbourg	3,83	926	1163	1144	26%	24%
Metz	2,75	2053	2311	2237	13%	9%
Besançon	2,50	1136	1198	1235	5%	9%
Lille	2,00	3404	4988	4543	47%	33%
Caen	2,00	2607	1772	1672	-32%	-36%
Nantes	2,00	4555	3868	3980	-15%	-13%
Rennes	2,07	3642	3462	3510	-5%	-4%
Poitiers	1,45	2073	2412	2507	16%	21%
Bordeaux	2,97	2381	2613	2753	10%	16%
Limoges	2,83	803	714	725	-11%	-10%
Toulouse	5,08	1202	1172	1173	-3%	-2%
Clermont-Ferrand	3,50	1021	1053	1021	3%	0%
Lyon	2,00	7910	6728	6982	-15%	-12%
Montpellier	4,67	1043	1163	1177	12%	13%
Marseille	4,67	3020	2325	2331	-23%	-23%

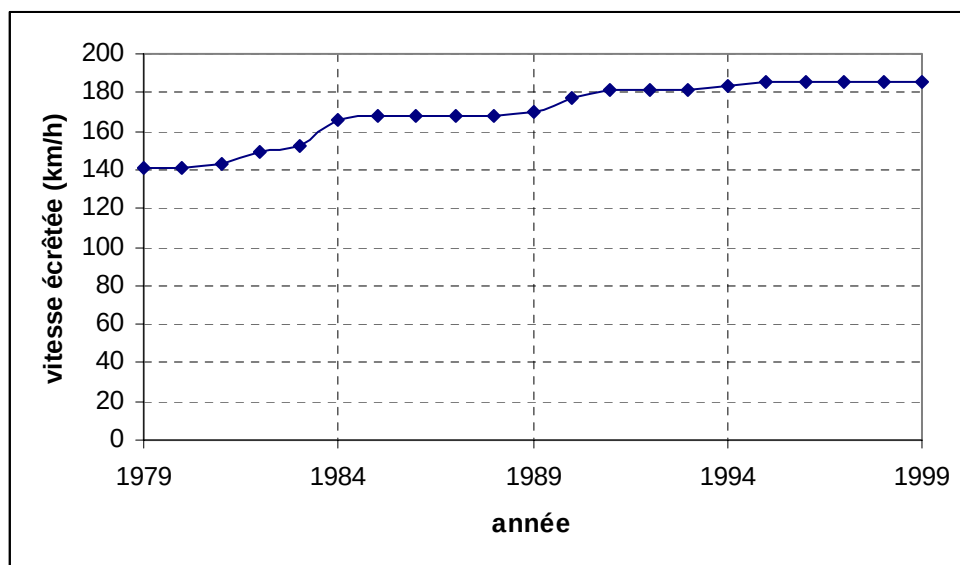
En pratique, nous constatons que la distance est faiblement significative (t de Student de 0,68 seulement). Certains écarts entre trafics observés et prédits (notamment sur Paris-Lille) sont importants. Compte-tenu du caractère très simplifié de ce modèle et de sa mauvaise prise en compte de la dimension multimodale, nous préférons conserver l'indicateur précédent de

vitesse ferroviaire écrêtée. L'indicateur de vitesse écrêtée a en effet le mérite de mettre en valeur la plage de pertinence maximale du transport ferroviaire tout en étant très simple.

3.2.4. Conclusion : évolution de l'indicateur de vitesse écrêtée

Le Graphique 145 retrace l'évolution de l'indicateur de vitesse écrêtée sur la période 1979-1999.

Graphique 145 : Indicateur de vitesse écrêtée



4. Bilan de l'opérationnalité des variables explicatives

Dans cette section II nous nous sommes attachés à construire les indicateurs les plus pertinents possibles dans la limite des données dont nous disposons. Après un bref rappel des indicateurs retenus, nous étudions l'opérationnalité des indicateurs pris un à un puis nous analysons les limites de l'opérationnalité en regardant les indicateurs dans leur globalité.

4.1. Variables retenues

Pour modéliser la croissance économique nous considérons le PIB ou la CFM. Pour prendre en compte les gains d'accessibilité routière et ferroviaire nous utilisons différents indicateurs. L'utilité du réseau autoroutier peut être prise en compte à travers un indicateur de longueur de réseaux ou par l'indicateur d'utilité R_r calculé en étudiant la décroissance du TMJA observé sur une année de référence (en l'occurrence 1999) en fonction de l'ancienneté du tronçon. L'utilité ferroviaire est mesurée à travers un indicateur de vitesse moyenne écrêtée R_f calculé en tenant compte des paliers d'accessibilité et en privilégiant les gains de temps effectués sur la tranche [2h-5h]. Pour prendre en compte les coûts de trajets autoroutiers, nous considérons la somme du coût des péages au véhicule.km et du coût du carburant au véhicule.km (y compris diésélisation et évolution des consommations) calculé par l'INRETS. Pour prendre en

compte les coûts de trajets ferroviaires, nous considérons la recette moyenne au voyageur.km. Pour prendre en compte les coûts de trajets en avion, nous considérons la recette moyenne au voyageur.km jusqu'en 1997 (date de fusion d'Air Inter avec Air France) puis l'indice de prix à structure tarifaire constante de l'INSEE. Ces indicateurs de prix ne sont toutefois que moyennement pertinents pour expliciter l'évolution des prix sur la période considérée. La politique tarifaire de la SNCF a évolué à partir de 1997 pour s'orienter vers une politique de volume et ajuster au mieux ses tarifs au profil des liaisons et au niveau de concurrence qui y règne. La recette moyenne ne traduit pas complètement le changement de politique. Par ailleurs 1997 correspond à un changement de mode de calcul et de signification de l'indice de coût du transport aérien (passage d'une recette moyenne à un indice des prix à structure tarifaire constante). Enfin sur 1996-1998, la SNCF a développé des TGV Jonction que l'indicateur d'accessibilité ne prend pas complètement en compte, sans compter des mesures de cadencement (sur Paris-Lille en 1998). 1997 marque aussi l'ouverture à la concurrence du ciel aérien et une augmentation des fréquences dans le ciel français qui n'est pas prise en compte dans le modèle. Pour toutes ces raisons, nous ajoutons une variable complémentaire "Polit" au modèle qui prend la valeur 0 jusqu'en 1996, 0,5 en 1997, 1 en 1998 et 1999 et qui reprend ces divers effets de rupture. Cette variable est destinée à traduire l'évolution des politiques tarifaires de la SNCF et des compagnies aériennes et intègre aussi l'augmentation des fréquences des TGV Jonction.

4.2. Opérationnalité des indicateurs pris séparément

En termes de mesurabilité, les indicateurs retenus sont pour la plupart construits de façon homogène sur l'ensemble de la période, sauf un : le prix de l'air. En effet, en raison de la fusion d'Air France avec Air Inter, il existe une rupture dans la série comptable à cette date.

En termes de pertinence, nous avons expliqué pour chaque indicateur les raisons de sa construction. Nous avons utilisé les connaissances issues des sources bibliographiques et de l'analyse des données spatiales (chapitre 2) pour calculer un indicateur d'impact des investissements ferroviaires plutôt qu'une vitesse moyenne ferroviaire pure. De même nous avons exploité les données spatiales autoroutières pour calculer un indicateur alternatif à la stricte longueur autoroutière. En matière de prix, il aurait été intéressant d'exploiter des données d'évolution de la structure spatiale tarifaire pour calculer des indicateurs plus pertinents que des recettes tarifaires moyennes, mais les données à disposition ne permettent pas de le faire.

4.3. Corrélations entre variables et opérationnalité d'ensemble

Pour pouvoir estimer de façon fiable les paramètres du modèle, il est nécessaire que les variables soient le moins corrélées possibles. En cas de corrélation élevée entre deux variables (supérieure à 0,95), les estimations des coefficients relatifs à ces deux variables sont covariantes et l'impact de l'une se reporte sur l'autre (Rys, Vaneecloo, 1998 ; Bourbonnais, 2000 ; cf. chapitre 3). Nous avons calculé les corrélations entre variables (Tableau 39).

Tableau 39 : Tableau des corrélations entre variables

	PIB	Prix du fer	Prix de l'air	Prix de la route	Indicateur d'accessibilité routière	Vitesse du fer
PIB	1	0,89	-0,90	-0,96	0,98	0,94
Prix du fer		1	-0,64	-0,83	0,88	0,80
Prix de l'air			1	0,87	-0,92	-0,93
Prix de la route				1	-0,93	-0,93
Vitesse route					1	0,96
Vitesse du fer						1

Les variables sont, comme c'est très souvent le cas pour des séries temporelles, fortement corrélées les unes aux autres : les coefficients de corrélation oscillent entre 0,64 et 0,98. Toutefois, jusqu'à 0,95, les corrélations restent acceptables. La corrélation qui pose vraiment problème pour l'estimation est la corrélation entre PIB et accessibilité routière : 0,98. Il risque d'être difficile de séparer l'impact de la croissance économique de l'impact de l'offre routière. L'une des deux variables risque de ne pas être significative et, si elles le sont toutes les deux, il existe des risques de mauvaise attribution de l'effet de l'une des variables à l'autre. Le modèle sera d'autant plus valide en projection que les deux variables resteront corrélées.

III. Les modèles de demande directe

Dans la présente section, nous appliquons les modèles les plus usuels, à savoir les modèles de demande directe. Nous modélisons successivement les trafics routier (section 1), ferroviaire (section 2) et aérien (section 3). L'objectif est d'évaluer l'opérationnalité de ce type de modèles pour les différents modes, de comparer différentes spécifications, de tester l'opérationnalité des variables présentées dans la section précédente et d'évaluer les impacts respectifs des différents facteurs explicatifs. Le détail des formulations figure en annexe.

1. Modélisation du trafic autoroutier par un modèle de demande directe

Nous modélisons deux indicateurs d'évolution des trafics. Nous modélisons d'une part l'indice de circulation VL sur autoroutes concédées, noté I_{vlc} , et présenté au chapitre 1. Nous modélisons aussi le volume de trafic circulant sur autoroutes concédées et noté T_{vlc} . Ce dernier indicateur intègre le basculement d'une partie des déplacements des routes nationales vers les autoroutes lors de la mise en service de nouveaux tronçons, et ce indépendamment du contexte économique. Nous explicitons les différentes formulations testées pour I_{vlc} puis pour T_{vlc} (sections 1 puis 2) avant de conclure (section 1.3.).

1.1. Modélisation de l'évolution de l'indice de circulation des véhicules légers sur autoroutes concédées

Le trafic autoroutier est largement majoritaire et est donc a priori insensible aux caractéristiques de l'offre aérienne et peu sensible aux variations de l'offre ferroviaire. Dans un premier temps (section 1.1.1.), nous modélisons l'évolution du trafic sur autoroutes concédées par une équation de demande directe en niveaux qui ne tient compte que des caractéristiques de l'offre autoroutière (extension du réseau et coût du trajet par autoroute), ainsi que de la croissance économique. Les caractéristiques des modes concurrents sont exclues. Dans un deuxième temps (section 1.1.2.), nous testons l'impact des caractéristiques de l'offre ferroviaire. Dans ces deux premières sections (1.1.1. et 1.1.2.), les variables explicatives testées sont des variables classiques (longueur du réseau et PIB). En section 1.1.3., nous testons l'impact du remplacement de ces variables classiques par l'indicateur R_r d'utilité du réseau autoroutier et par la consommation finale des ménages. En section 1.1.4., nous testons des spécifications en taux de croissance.

1.1.1. Equation de long terme avec comme variables explicatives le PIB et l'offre autoroutière

Nous modélisons l'évolution de l'indice de circulation sur autoroutes concédées en ne tenant pas compte de la concurrence du fer. La modélisation est effectuée à l'aide des indicateurs croissance économique, prix du kilomètre parcouru sur autoroute, et longueur du réseau des autoroutes concédées (Formulation 1).

Formulation 1

$$\ln I_{vlc} = -7,03 + 1,26 \ln P_{ib} - 0,61 \ln P_r + 0,46 \ln L_c$$

(5,0) (5,40) (5,21) (3,67)

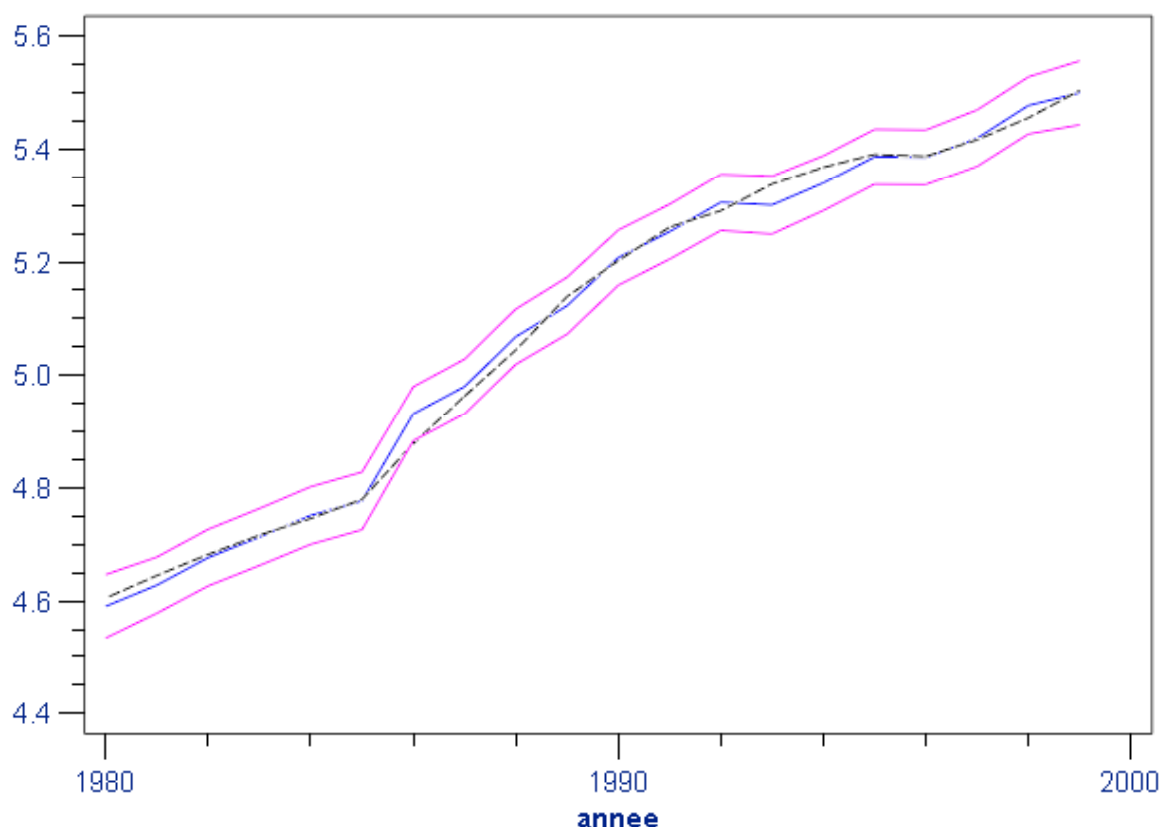
$$R^2 > 0,99 ; DW = 1,58$$

Tous les coefficients ont un signe correct et sont très significativement différents de 0. La croissance économique est clairement une variable fortement explicative avec une élasticité de l'ordre de 1,3 et un t de Student très élevé. La longueur autoroutière est fortement corrélée au PIB (cf section 2). Malgré cette forte corrélation, le coefficient relatif à la longueur du réseau autoroutier est lui aussi très significativement différent de 0. L'extension du réseau autoroutier a un impact important sur l'indice de circulation avec une élasticité de 0,5. L'élasticité au prix du kilomètre parcouru sur autoroute est de l'ordre de -0,6.

Dans ce modèle, nous avons testé les seules variables PIB, coût de l'autoroute et longueur du réseau des autoroutes concédées. Ces trois variables semblent suffisantes pour expliquer les dynamiques du trafic sur autoroutes concédées. En effet, la statistique de Durbin-Watson est tout à fait satisfaisante, il n'y a pas d'autocorrélation des résidus. Par ailleurs, la visualisation graphique montre une très bonne superposition des trafics modélisés et observés (Graphique 146). Nous testons néanmoins en section suivante l'ajout des variables ferroviaires, afin d'évaluer si ces variables ont un certain impact sur le trafic autoroutier et si leur introduction améliore la qualité du modèle.

Graphique 146 : Modélisation de l'indice de circulation VL sur autoroutes concédées à partir du PIB, de la longueur des autoroutes concédées et du coût de l'autoroute : comparaison des logarithmes des trafics modélisés par la Formulation 1 et des logarithmes des trafics observés

PREDICTED



Source : sortie graphique SAS®

1.1.2. Prise en compte de l'impact du ferroviaire

Nous introduisons parmi les variables explicatives du modèle le prix moyen du ferroviaire par voyageur.kilomètre et l'indicateur de vitesse ferroviaire Rf (Formulation 2).

Formulation 2

$$\ln I_{vlc} = -7,42 + 1,21 \ln Pib - 0,63 \ln Pr + 0,44 \ln Lc - 0,030 \ln Rf + 0,35 \ln Pf$$

$$(4,4) \quad (4,7) \quad (4,9) \quad (2,0) \quad (0,1) \quad (1,3)$$

$$R^2 > 0,99 ; DW = 1,89$$

L'impact de l'indicateur Rf d'extension du réseau TGV sur le trafic autoroutier est nul : le t de Student est de 0,1 seulement. Ce résultat n'est guère surprenant. En effet, sur un axe donné, le trafic détourné de l'autoroute vers le TGV est modeste par rapport au volume de trafic autoroutier circulant sur l'axe concerné. Ainsi, comme nous l'avons mentionné dans le chapitre 2, la part modale de la route est passé de 67% avant ouverture du TGV Nord à 63% après et l'évolution de la répartition modale semble être davantage attribuable à de l'induction sur le mode ferroviaire qu'à un détournement de trafic routier (SES, 1998b). Modeste à l'échelle locale, la variation de trafic devient invisible à l'échelon national.

Nous avons donc recalibré la formulation en éliminant la variable Rf (Formulation 3).

Formulation 3

$$\ln I_{vlc} = -7,54 + 1,23 \ln P_{ib} - 0,62 \ln P_r + 0,42 \ln L_c + 0,36 \ln P_f$$

$$(5,3) \quad (5,4) \quad (5,4) \quad (3,4) \quad (1,4)$$

$R^2 > 0,99$; DW = 1,88

Les coefficients et les t de Student des variables PIB et offre routière sont quasiment identiques dans les formulations 2 et 3, ce qui est logique compte tenu de la quasi-nullité du t de Student relatif à la variable ferroviaire supprimée.

L'élasticité de l'indice de circulation autoroutière par rapport au prix du ferroviaire est de 0,35. Toutefois cette variable n'est pas significative au risque d'erreur 5%, même si le t de Student atteint tout de même la valeur de 1,4. Les variations du prix du ferroviaire s'appliquent à l'échelle nationale et pas seulement locale, ce qui explique la meilleure significativité du prix du ferroviaire par rapport à l'extension du réseau ferroviaire. Toutefois, la part modale du fer reste modérée comparée à celle de l'autoroute, ce qui explique la faiblesse du t de Student (inférieur à 1,96).

Les variables ferroviaires peuvent ainsi être négligées dans la modélisation de l'évolution du trafic autoroutier. L'adjonction des variables ferroviaires ne modifie pas (ou marginalement) les élasticités relatives aux variables routières. On conserve la Formulation 1.

1.1.3. Impact du choix de l'indicateur pour les variables explicatives

Pour affiner la modélisation de l'évolution des trafics ferroviaires, il est possible de prendre en compte non plus la longueur de réseau autoroutier mais la variable d'utilité du réseau autoroutier notée Rr et définie en section II du présent chapitre (Formulation 4 à Formulation 6).

Formulation 4

$$\ln I_{vlc} = -9,55 + 1,30 \ln P_{ib} - 0,59 \ln P_r + 0,74 \ln R_r$$

$$(7,3) \quad (5,7) \quad (5,0) \quad (3,5)$$

$R^2 > 0,99$; DW = 1,51

Formulation 5

$$\ln I_{vlc} = -9,90 + 1,24 \ln P_{ib} - 0,61 \ln P_r + 0,72 \ln R_r + 0,38 \ln P_f - 0,030 \ln R_f$$

$$(7,4) \quad (4,9) \quad (4,8) \quad (1,9) \quad (1,4) \quad (0,1)$$

$R^2 > 0,99$; DW = 1,86

Formulation 6

$$\ln I_{vlc} = -9,87 + 1,26 \ln P_{ib} - 0,60 \ln P_r + 0,68 \ln R_r + 0,39 \ln P_f$$

$$(7,8) \quad (5,7) \quad (5,3) \quad (3,3) \quad (1,5)$$

$R^2 > 0,99$; DW = 1,85

Les élasticités restent globalement inchangées. L'élasticité au prix de l'autoroute est toujours de -0,6. L'élasticité au PIB est peu changée : 1,30 au lieu de 1,26. L'élasticité de la croissance des trafics par rapport à l'indicateur d'utilité du réseau est de 0,74, ce qui fait une élasticité du trafic à la croissance du réseau autoroutier sur la période récente légèrement plus faible que

précédemment : 0,3 au lieu de 0,45. Les variables relatives au ferroviaire sont toujours peu significatives. La Formulation 4 peut être conservée pour modéliser les trafics.

Nous testons l'usage de la CFM à la place du PIB pour voir si l'usage de la CFM améliore le calibrage. Au lieu de prendre en compte le PIB comme indicateur de croissance économique, il est possible de prendre en compte la CFM (Formulation 7 et Formulation 8).

Formulation 7

$$\ln I_{vlc} = -10,95 + 1,56 \ln C_{fm} - 0,58 \ln P_r + 0,75 \ln R_r$$

(6,4) (4,5) (4,1) (3,0)

$R^2 > 0,99$; $DW = 1,17$

Formulation 8

$$\ln I_{vlc} = -11,20 + 1,46 \ln C_{fm} - 0,61 \ln P_r + 0,78 \ln R_r + 0,37 \ln P_f - 0,056 \ln R_f$$

(6,5) (3,7) (3,9) (1,7) (1,2) (0,2)

$R^2 > 0,99$; $DW = 1,39$

Les coefficients relatifs à P_r et R_r sont identiques dans les Formulation 7 et Formulation 8. En revanche l'élasticité par rapport à la CFM est un peu plus élevée : 1,55 au lieu de 1,25.

1.1.4. Equation en taux de variations

Les équations en niveau testées jusqu'à présent sont des formulations en niveaux de long terme. Dans la présente section, nous testons des formulations en taux de variation. Cette formulation permet de tester une spécification à élasticité variable. Dans un premier temps, nous calibrons une formulation avec constante à l'origine, puis dans un deuxième temps une formulation sans constante à l'origine.

a) Formulation avec constante à l'origine

Nous testons une formulation en taux de variation qui inclut les variables PIB, prix de la route et indicateur d'utilité du réseau autoroutier (Formulation 9).

Formulation 9

$$dI_{vlc}/I_{vlc} = 0,026 + 0,88 dP_{ib}/P_{ib} - 0,29 dP_r/P_r + 0,18 dR_r/R_r$$

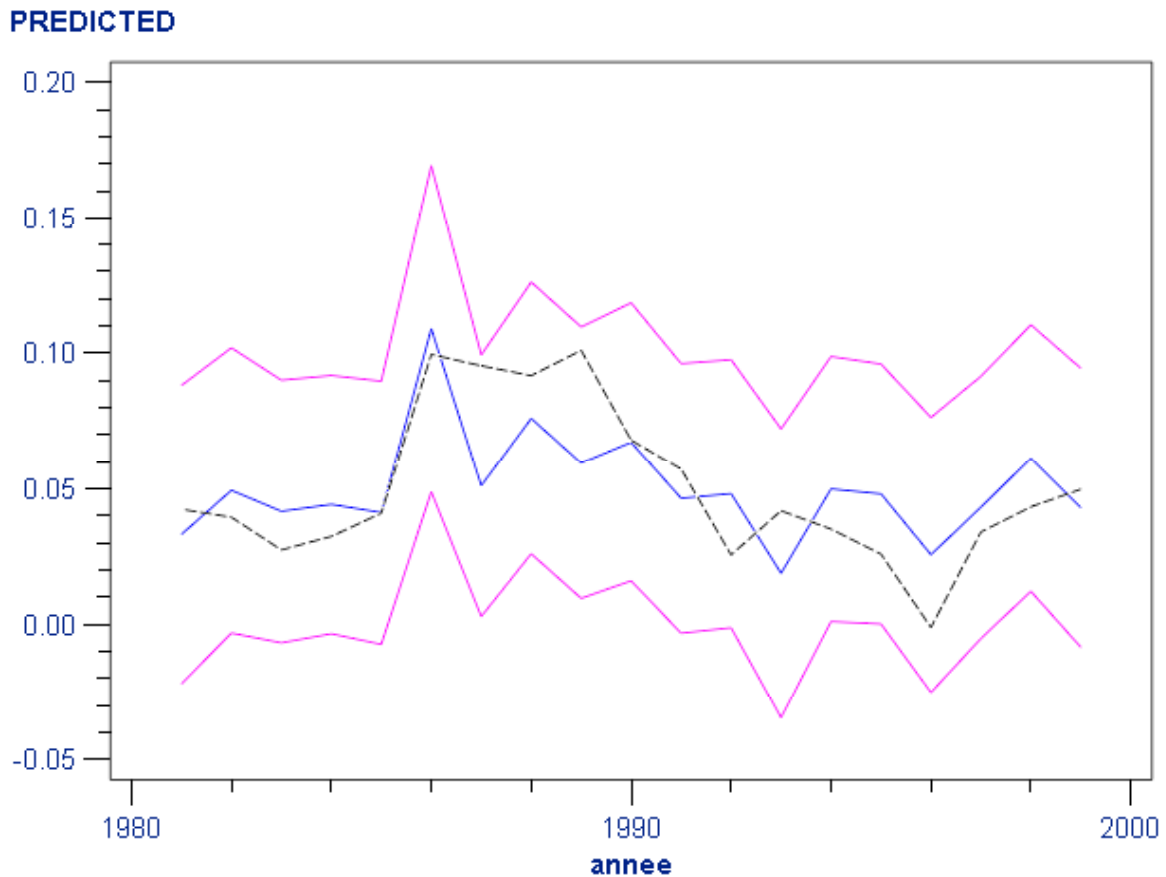
(2,0) (2,4) (1,7) (0,5)

$R^2 = 0,32$; $DW = 1,63$

La valeur de la constante se révèle être très élevée : 2,6% de croissance par an indépendamment de la conjoncture économique ou de toute autre variable explicative. Une constante aussi élevée se justifie difficilement sur un plan théorique. Dans la modélisation marchandises (Gabella-Latreille, 1997), une formulation à élasticités variables s'était avérée préférable à la formulation à élasticités constantes. La constante était négative et se justifiait sur un plan théorique par les gains de productivité du secteur. Dans la modélisation voyageurs, la constante positive pourrait correspondre à l'impact de facteurs socio-économiques non pris en compte (structure socio-démographique, évolution des modes de vie), mais un tel niveau ne se justifie pas. La variable d'extension du réseau autoroutier devient non significative. La croissance du réseau autoroutier ayant été assez régulière au

cours du temps, il est probable que la constante reprend une partie de l'effet d'extension du réseau autoroutier.

Graphique 147 : Modélisation des variations de la circulation VL sur autoroutes concédées (avec constante)



b) Formulation sans constante

Nous testons alors un modèle sans constante dans lequel les variables explicatives sont la croissance économique et l'offre autoroutière (extension du réseau et prix) (Formulation 10).

Formulation 10

$$dIv_{lc}/Iv_{lc} = 1,37 \frac{dPib}{Pib} - 0,22 \frac{dPr}{Pr} + 0,81 \frac{dRr}{Rr}$$

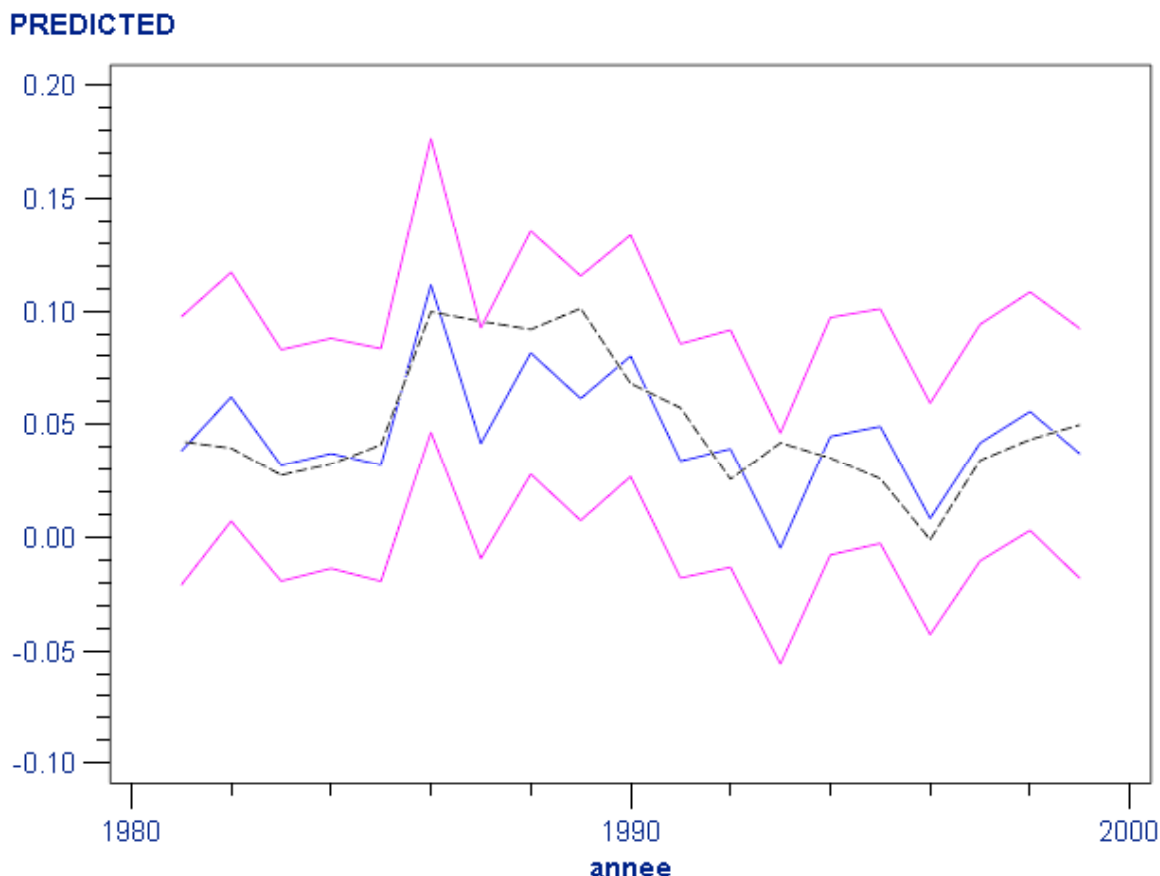
(4,7) (1,2) (3,2)

DW=2,29

Ce modèle n'est pas économétriquement équivalent au modèle en niveau. Les élasticités sont ici des élasticités de court terme. On constate toutefois que les élasticités obtenues sont cohérentes avec celles du modèle de long terme. Les élasticités produites sont légèrement inférieures à celles du modèle en niveau, ce qui est normal. L'élasticité relative au PIB dans le modèle en taux de variations n'est que faiblement inférieure à celle du modèle en niveau. L'impact de la croissance économique se répercute immédiatement sur les trafics. En revanche, l'élasticité relative au prix est sensiblement inférieure dans le modèle en taux de

variations par rapport au modèle en niveau (-0,22 au lieu de -0,60), ce qui montre que l'induction par rapport au prix s'étale sur plusieurs années.

Graphique 148 : Modélisation des variations de la circulation VL sur autoroutes concédées (sans constante)



Dans un dernier temps, nous introduisons les variables relatives au mode ferré (prix et indicateur de vitesse ferroviaire) dans le modèle (Formulation 11).

Formulation 11

$$dIv_{lc}/Iv_{lc} = 1,27 \frac{dPib}{Pib} - 0,30 \frac{dPr}{Pr} + 0,80 \frac{dRr}{Rr} + 0,083 \frac{dPf}{Pf} - 0,045 \frac{dRf}{Rf}$$

(3,8) (1,4) (2,0) (0,3) (0,2)

DW=2,30

Les variables relatives au fer se révèlent non significativement différentes de 0, ce qui n'est pas surprenant compte tenu du fait que ces variables étaient faiblement significatives dans les modèles en niveau. Les mises en service de TGV ont un impact local significatif, mais à l'échelle de la France cet impact est trop dilué pour être perceptible. La construction de l'indice Iv_{lc} a d'ailleurs pour effet de gommer une grande partie du détournement de trafic routier vers le fer. Quant au prix, on note que cette variable est encore moins significative que dans les équations de demande directe. Parmi les formulations en taux de variation, la Formulation 10 paraît donc la plus appropriée pour modéliser le trafic autoroutier. Toutefois, à partir du moment où la formulation en taux de variation la plus adaptée est une formulation sans constante, il paraît préférable de conserver la formulation en niveau.

1.2. Modélisation de l'évolution du volume total de trafic sur le réseau autoroutier

L'inconvénient de l'indicateur Ivlc est de ne pas mesurer les basculements de trafic ferroviaire du réseau ferré vers les autoroutes puisque ces basculements sont en grande partie antérieurs à la prise en compte du réseau stable dans l'évaluation de l'indice Ivlc. Pour tenter de l'appréhender nous utilisons l'indicateur Tvlc, volume de trafic VL sur autoroutes concédées.

1.2.1. Modélisation sans le fer

Dans un premier temps, nous modélisons l'évolution du volume de trafic sur autoroutes concédées sans tenir compte de la concurrence du fer. La modélisation est effectuée en ne gardant que des indicateurs de croissance économique, prix de l'autoroute, longueur du réseau.

Formulation 12

$$\ln Tvlc = -10,38 + 1,24 \ln Pib - 0,57 \ln Pr + 0,86 \ln Lc$$

(6,7) (4,9) (4,5) (6,4)

$$R^2 > 0,99 ; DW = 1,62$$

Le trafic autoroutier observé est correctement reconstitué.

1.2.2. Modélisation intégrant le fer

Dans un deuxième temps, nous observons l'impact des variables prix du fer et indicateur de vitesse ferroviaire.

Formulation 13

$$\ln Tvlc = -10,69 + 1,17 \ln Pib - 0,60 \ln Pr + 0,88 \ln Lc + 0,38 \ln Pf - 0,067 \ln Rf$$

(5,9) (4,2) (4,3) (3,6) (1,3) (0,3)

$$R^2 > 0,99 ; DW = 1,96$$

Comme pour Ivlc, les variables ferroviaires se révèlent être non significatives, particulièrement la variable Rf.

1.2.3. Comparaison avec d'autres indicateurs

Nous retestons ces équations en remplaçant la variable longueur de réseau par l'utilité du réseau autoroutier Rr, et la variable Produit Intérieur Brut par la variable consommation Consommation Finale des Ménages.

Formulation 14

$$\ln Tvlc = -15,17 + 1,32 \ln Pib - 0,54 \ln Pr + 1,41 \ln Rr$$

(10,5) (5,2) (4,1) (6,1)

$$R^2 > 0,99 ; DW = 1,48$$

Formulation 15

$$\ln T_{vlc} = -15,62 + 1,23 \ln P_{ib} - 0,57 \ln P_r + 1,45 \ln R_r + 0,44 \ln P_f - 0,079 \ln R_f$$

(10,8) (4,5) (4,1) (3,5) (1,5) (0,3)

$R^2 > 0,99$; $DW = 1,89$

Formulation 16

$$\ln T_{vlc} = -16,66 + 1,61 \ln C_{fm} - 0,52 \ln P_r + 1,41 \ln R_r$$

(9,2) (4,4) (3,5) (5,2)

$R^2 > 0,99$; $DW = 1,18$

Les principaux résultats restent inchangés : non significativité des variables relatives au ferroviaire, importance de la conjoncture économique. L'élasticité au coût autoroutier reste pratiquement inchangée.

L'élasticité à la CFM est un peu plus forte que l'élasticité par rapport au PIB. L'élasticité relative à l'utilité du réseau autoroutier est de l'ordre de 1,4, ce qui correspond à une élasticité aux kilomètres d'autoroutes concédées supplémentaires de l'ordre de 0,6, ce qui est un peu inférieur à l'élasticité de 0,86 précédemment trouvée. Ce résultat est logique dans la mesure où l'indicateur R_r distingue réseau utile et réseau supplémentaire : l'élasticité relative à ce réseau complémentaire est moins forte que l'élasticité par rapport à un réseau « moyenné ».

1.3. Conclusion

L'évolution des trafics autoroutiers est bien reconstituée par une équation de demande directe dans laquelle les variables explicatives sont le PIB, l'extension du réseau autoroutier et le coût de l'autoroute (prix du carburant et des péages). Les trafics observés sont très bien reconstitués, y compris leurs inflexions au cours du temps. L'offre ferroviaire n'intervient pas dans l'équation. Ces résultats peuvent s'expliquer : à l'échelle nationale, les déplacements autoroutiers sont majoritaires au sein des déplacements à longue distance, ce qui diminue d'autant les élasticités relatives aux modes concurrents.

Les modèles routiers, qu'ils soient calibrés sur l'indice de circulation VL ou sur le volume total de trafic T_{vlc} , donnent des résultats convergents en termes d'élasticité : une élasticité au PIB de l'ordre de 1,2 et une élasticité à la consommation finale des ménages de l'ordre de 1,5. L'élasticité au prix du kilomètre parcouru sur autoroutes est de l'ordre de -0,60 sachant qu'il s'agit ici d'une élasticité de long terme ; la réaction aux variations du prix de l'essence s'étale en réalité sur plusieurs années, l'élasticité de court terme étant de l'ordre de -0,35 à -0,40 la première année. L'élasticité par rapport à l'utilité du réseau routier est de l'ordre de 0,75 lorsqu'on considère l'indice de croissance de la circulation et de l'ordre de 1,40 lorsqu'on considère la croissance du volume global de trafic. L'élasticité par rapport à la longueur du réseau autoroutier est de 0,45 pour I_{vlc} et de 0,85 pour T_{vlc} .

2. Modélisation du trafic aérien par un modèle de demande directe

Les interactions entre la route et l'air étant a priori limitées, nous modélisons les trafics aériens par un modèle de demande directe où n'interviennent que les variables aériennes et

ferroviaires ainsi que la croissance économique. Les formulations relatives à l'aérien sont présentées en annexe.

2.1. Formulation avec comme variables explicatives le PIB, l'offre aérienne et l'offre ferroviaire

Dans un premier temps, nous modélisons le trafic aérien à l'aide du PIB, du produit moyen du fer Pf, de l'indicateur de prix de l'air Pa (produit moyen de l'air prolongé par la série d'indice de prix INSEE) et de l'indicateur de vitesse ferroviaire écrêtée Rf. Ainsi que nous l'avons mentionné dans la section II, il existe une rupture de méthode de calcul dans la série de prix de l'air en 1997 (date de la fusion Air France – Air Inter). Par ailleurs les méthodes de calcul des produits moyens du fer et de l'air ne permettent pas de prendre en compte pleinement les évolutions de la politique commerciale des compagnies aériennes et de la SNCF de la fin des années 1990. Enfin les améliorations importantes de fréquences qui ont eu lieu dans l'aérien (mise en place de navettes vers les principales destinations aériennes à partir de 1996) et dans le ferroviaire (TGV Jonction) ne sont pas prises en compte dans ce premier modèle. En effet nous ne possédons pas d'indicateur national sur l'évolution des fréquences ferroviaires ; nous ne possédons un indicateur d'évolution des fréquences aériennes qu'à partir de 1986. Nous calons ainsi la Formulation 17.

Formulation 17

$$\ln Ta = -6,04 + 1,23 \ln Pib - 1,28 \ln Pa + 0,28 \ln Pf + 0,52 \ln Rf$$

(3,61) (4,98) (5,16) (0,49) (3,79)

$$R^2 > 0,99 ; DW = 0,85$$

Ce modèle n'est pas satisfaisant, même si l'allure générale de croissance du trafic aérien est reproduite. Le signe relatif à la vitesse ferroviaire est contraire à la logique. La faiblesse du Durbin-Watson est le signe de l'absence d'une variable explicative dans le modèle ou d'une mauvaise spécification (cf. section I – 2.2.2. du présent chapitre, ou chapitre 3 I – 1.1.). En 1989/1990, on observe une rupture de pente dans l'évolution des trafics aériens que les évolutions de la croissance économique et de l'offre de transport n'expliquent pas.

2.2. Modélisation en introduisant le facteur de rupture de pente

Cette rupture de pente peut s'expliquer par la fin de l'effet de diffusion de l'aérien au cours des années 1980 (INRETS, 1997b) et par une mauvaise spécification de l'aérien ne permettant pas de prendre en compte cette rupture de pente. L'aérien n'a qu'une part de marché encore faible et est un mode en phase d'expansion. Dans le cadre d'une concurrence intermodale, la courbe d'évolution de ce mode est sans doute proche de la deuxième partie de courbe de la figure 3 « Croissance du trafic du mode "qui concurrence"... » du chapitre 3, section I-1.1.3. Un modèle logit serait peut-être plus adapté pour modéliser l'évolution de l'aérien (c'est ce que nous testons dans la section IV du présent chapitre). Dans le cadre d'un modèle de demande directe, la seule manière de prendre en compte cet effet de diffusion de l'aérien dans les années 1980 est d'introduire une variable complémentaire dans le modèle. Pour prendre en compte l'allure du phénomène, la variable de diffusion doit avoir une forme logarithmique (fonction du temps) sur la période 1980-1990, et être constante par la suite.

En notant t le nombre d'années à compter de 1979, le phénomène de diffusion peut être pris en compte de la façon suivante :

pour $1979 < t < 1990$,	t^a avec $0 < a < 1$,
pour 1979 et pour $t \geq 1990$	constantes telles que la fonction soit continue

La constante a représente le facteur de rapidité de diffusion de l'aérien. Ce facteur est à calibrer lors de la régression linéaire sur les logarithmes.

Par passage aux logarithmes et par factorisation de la constante a , l'intégration de ce terme de diffusion revient à introduire dans la formulation de $\ln Ta$, une variable notée « Diff », telle que :

Diff = 0	pour 1979
Diff = $\ln(t)$	pour $1979 < t < 1990$ avec $t = \text{année} - 1979$
Diff = $\ln(10)$	pour $t \geq 1990$

La variable $\ln Ta$ peut être modélisée par la formulation suivante (Formulation 18) :

Formulation 18 :

$$Ta = -9,57 + 1,54 \ln PIB + 0,13 \text{ Diff} - 0,63 \ln Pa + 0,76 \ln Pf - 0,13 \ln Rf$$

(12,2) (14,8) (9,0) (5,0) (3,3) (1,7)

$R^2 > 0,99$; DW = 0,87

Désormais tous les signes sont conformes à la logique économique, les coefficients sont significativement différents de 0. Les critères AIC et SBC sont fortement améliorés (le SBC passe de -90 à -122 et l'AIC de -94 à -128). Toutefois le DW reste très faible (0,87 seulement) ce qui témoigne vraisemblablement de l'absence d'une variable explicative dans le modèle ou de la persistance d'une mauvaise spécification. La variable relative à la vitesse du fer est faiblement significative. La visualisation graphique montre que les écarts entre trafics théoriques et trafics observés s'observent dans la période récente (à partir de 1996). Cette constatation rejoint les réserves mentionnées à la section II sur la nature des indicateurs de prix. Les années 1997-1998 ont été marquées par un changement de politique tarifaire de la SNCF que reproduit mal l'évolution du produit moyen ferroviaire. Par ailleurs, ces années ont été marquées par un renforcement des fréquences aériennes et par la mise en place d'un cadencement des dessertes ferroviaires. Pour prendre en compte ces effets, nous testons l'ajout d'une variable discrète "Polit" destinée à modéliser ces changements de politique.

2.3. Introduction de la variable « Polit »

La variable "Polit" prend la valeur 0 jusqu'en 1996, 0,5 en 1997 et 1 ensuite. Nous obtenons ainsi la Formulation 19 :

Formulation 19

$$\ln Ta = -9,10 + 1,48 \ln PIB + 0,12 \text{ Diff} - 0,77 \ln Pa + 0,99 \ln Pf - 0,026 \text{ Polit} - 0,16 \ln Rf$$

(16,3) (20,9) (14,5) (9,3) (6,2) (4,2) (3,0)

$R^2 > 0,99$; DW = 1,81

Dans ce nouveau modèle, le Durbin-Watson est excellent (DW=1,80 ; il n'y pas d'autocorrélation des résidus), ce qui est un bon critère de qualité de l'explicativité du modèle. Les critères AIC et SBC se trouvent encore améliorés. Tous les coefficients ont des signes

conformes à la logique et sont significativement différents de 0. Les trafics sont parfaitement superposés.

Cette nouvelle formulation est bien sûr à prendre avec une certaine précaution. En effet, cette dernière formulation comporte 6 variables explicatives, ce qui est considérable pour des séries d'observation aussi courtes. L'indicatrice « Polit » est évidemment très schématique et l'élasticité relative à cette variable n'a pas de signification intrinsèque. Par ailleurs, et contrairement aux modèles autoroutiers qui comportent exclusivement des variables relatives à des facteurs explicatifs, cette dernière formulation comprend deux indicatrices : le trend de diffusion et l'indicatrice de prix. L'emploi de ces indicatrices correspond à des phénomènes bien identifiés, toutefois un modèle qui ne comporterait que des indicatrices serait peu explicatif et n'aurait aucun pouvoir de simulation : les indicatrices sont à utiliser avec précaution.

En pratique, on constate que les coefficients ne changent que faiblement entre la Formulation 18 et la Formulation 19, ce qui est un gage de fiabilité. L'une ou l'autre de ces formulations peut être utilisée pour simuler les trafics aériens.

3. Modélisation du trafic ferroviaire par un modèle de demande directe

Le mode ferroviaire est un mode plus compliqué à modéliser que la route ou l'air. On ne peut négliger a priori, ni les interactions entre le fer et la route, ni les interactions entre le fer et l'air. Il apparaît dès lors nécessaire d'introduire à la fois les variables d'offre ferroviaire, aérienne et routière dans le modèle, en plus de la conjoncture économique. Compte tenu du nombre limité de points d'observations, l'introduction de l'ensemble de ces variables explicatives risque de conduire à un problème de mesurabilité. Par ailleurs, comme le fer subit à la fois la concurrence de la route et de l'air, son évolution subit des variations plus heurtées, ce qui rend l'utilisation d'un modèle de demande directe plus délicate. Nous présentons les formulations testées (3.1.) puis les résultats (3.2.).

3.1. Modélisation avec les variables croissance économique, offre ferroviaire, prix de l'air et de la route

Dans un premier temps, nous calibrons un modèle avec comme variables explicatives le PIB, la vitesse moyenne écrêtée du fer R_f , ainsi que les variables de prix des différents modes : produit moyen du fer, produit moyen de l'air prolongé par la série INSEE de prix de l'air à partir de 1997, coût moyen de l'autoroute par véhicule.kilomètre. Les restrictions relatives aux différentes variables de prix explicitées en section II et rappelées dans la section III-2 précédente sont valables pour le fer comme pour l'air. On peut noter que nous n'introduisons pas la croissance de la longueur du réseau autoroutier dans le modèle. En effet cette variable est très corrélée avec le PIB, ce qui pose des problèmes de mesurabilité dans un modèle contenant déjà 5 variables explicatives. Nous calibrons la Formulation 20.

Formulation 20

$$\ln Tf = 2,03 + 0,59 \ln Pib - 2,04 \ln Pf + 0,41 \ln Rf + 0,11 \ln Pa + 0,21 \ln Pr$$

(0,5) (1,4) (2,8) (2,8) (0,3) (1,0)

$$R^2=0,88 ; DW = 0,74$$

La courbe des trafics observés reste comprise à l'intérieur de l'intervalle de confiance du modèle (cf graphique en annexe). Toutefois le modèle n'est pas satisfaisant. Plusieurs variables ne sont pas significatives, essentiellement les prix de l'air et de la route (t de Student respectivement égaux à 0,3 et 1,0) et dans une moindre mesure le PIB (t de Student de 1,4). La statistique de Durbin-Watson est faible (0,74). La faiblesse du DW pourrait être le signe d'une formulation autorégressive. Une formulation autorégressive a été testée (Formulation 20 – bis présentée en annexe), toutefois cette formulation n'améliore pas significativement la qualité de la représentation. La période mal expliquée par le modèle est la période de la deuxième moitié des années 1990. Ainsi que nous l'avons signalé précédemment, les années 1997-1998 ont été marquées par des évolutions de politiques tarifaires que reprennent mal les évolutions du produit moyen. Ces années 1997-1998 ont été marquées par une augmentation des fréquences aériennes mais aussi ferroviaires et par la mise en place de systèmes de navettes pour l'aérien ou de cadencement pour le train.

3.2. Recalibrage avec les seules variables ferroviaires

Nous recalibrons la Formulation 20 précédente en éliminant les variables non significatives que sont les indicateurs de prix de l'air et de la route. Nous obtenons la Formulation 21 suivante :

Formulation 21

$$\ln Tf = 5,05 + 0,30 \ln Pib - 1,83 \ln Pf + 0,37 \ln Rf$$

(8,4) (2,0) (4,7) (3,4)

$$R^2=0,87 ; DW=0,74$$

Le DW reste inchangé et le trafic reconstitué est analogue au précédent (ce qui s'explique par la très faible significativité des variables qui ont été supprimées). La croissance économique et les variables ferroviaires permettent de reconstituer l'allure des trafics modélisés, mais des écarts subsistent surtout sur les dernières années.

3.3. Introduction de la variable Polit

Dans un deuxième temps nous essayons d'améliorer la qualité du modèle en introduisant la variable discrète "Polit" déjà utilisée dans la modélisation des trafics aériens, et destinée à prendre en compte les ruptures des années 1997/1998 : évolution de la politique tarifaire de la SNCF, rupture comptable dans le calcul de prix de l'aérien, augmentation des fréquences sur les TGV Jonction. On calibre alors la formulation en prenant en compte « Polit » (Formulation 22).

Formulation 22

$$\ln Tf = 5,88 + 0,21 \ln Pib - 2,00 \ln Pf + 0,055 \text{ Polit} + 0,45 \ln Rf$$

(10,4) (1,6) (6,1) (2,9) (4,9)

$$R^2=0,92 ; DW = 0,62$$

En conservant le terme autorégressif (qui ne peut pas être éliminé au seuil de confiance 95%), la Formulation 22 conduit à :

$$\ln Tf = 5,12 + 0,13 \ln Pib - 1,53 \ln Pf + 0,06 \text{ Polit} + 0,45 \ln Rf + e_t$$

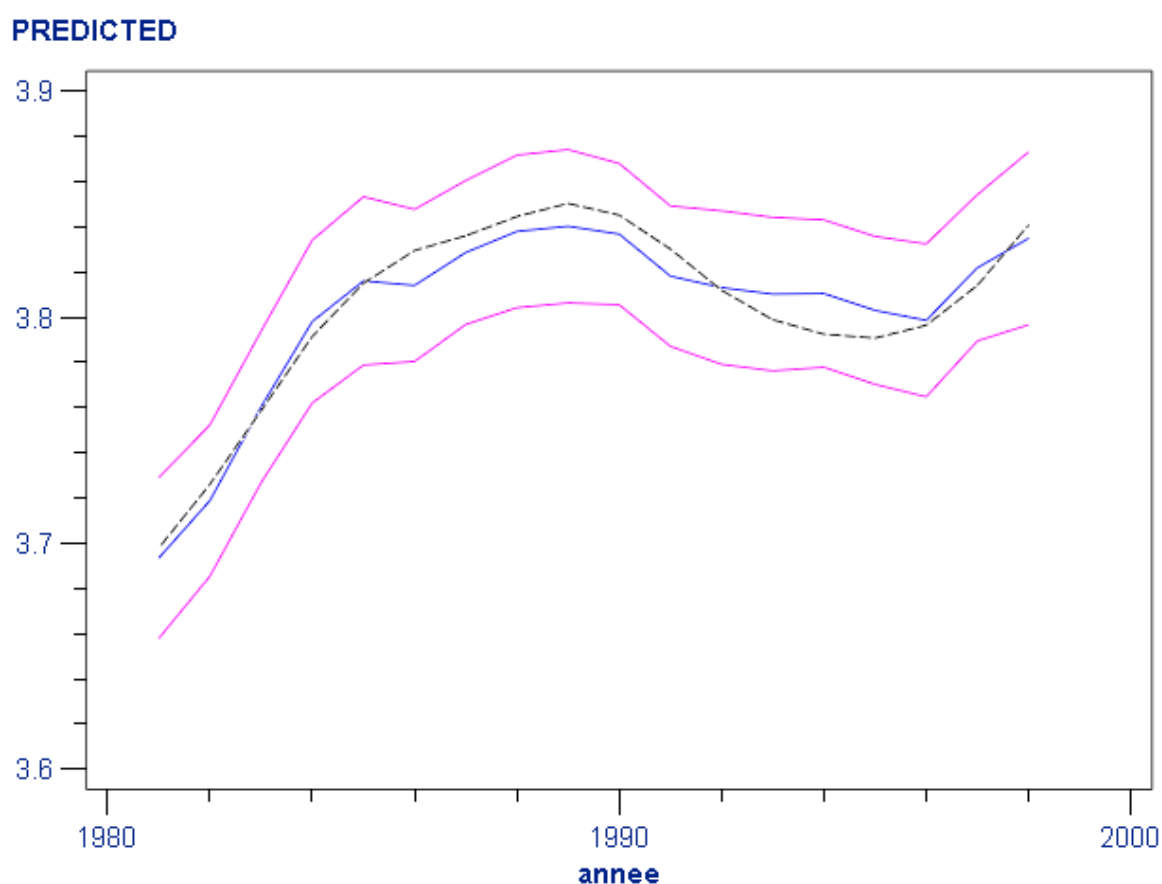
(6,5) (0,9)
(4,3)
(3,7)
(4,8)

avec $e_t = 0,676 e_{t-1}$

$$R^2=0,97$$

Le caractère autorégressif de l'équation permet d'améliorer grandement la qualité de reconstitution des trafics.

Graphique 149 : Modélisation du trafic ferroviaire par la Formulation 22 (trafics en logarithmes)



4. Conclusion sur les modèles de demande directe

Chaque modèle a été analysé séparément. Il apparaît utile de confronter les différents modèles pour vérifier la cohérence globale de la modélisation.

La modélisation du trafic autoroutier paraît satisfaisante. Les modèles retenus contiennent uniquement les variables croissance économique et offre autoroutière (en termes d'extension du réseau et de prix). Des modèles incluant la variable prix du ferroviaire pourraient aussi être

conservés, même si la variable relative au prix du ferroviaire n'est pas significative au risque d'erreur de 5%. L'absence de variable relative à la vitesse du ferroviaire et à l'extension du réseau TGV s'explique : la mise en service d'une liaison TGV entraîne une baisse de trafic autoroutier visible à l'échelle locale (-2% de trafic sur l'axe Sud-Est suite à la mise en service du TGV Sud-Est (INRETS, 1997b)), mais est totalement diluée à l'échelle nationale. Contrairement à l'extension du réseau TGV, qui ne concerne qu'une partie du trafic, les variations de prix s'appliquent à l'échelle nationale. Toutefois, l'importance du volume de trafic autoroutier par rapport au volume de trafic ferroviaire atténue les élasticités relatives au ferroviaire (plus la part modale d'un mode est importante, plus l'élasticité du trafic de ce mode par rapport aux variables des modes concurrents est faible). Par ailleurs, le profil des déplacements par route est relativement différent du profil des déplacements par fer. Ainsi que nous l'avons vu au chapitre 2, la compétition entre les différents modes de transport a lieu sur certains créneaux : les trajets longue distance, et plus particulièrement les trajets pour motif professionnel. Pour d'autres créneaux, les trajets courtes distances et les trajets personnels de plusieurs nuits d'absence, la route est hégémonique et la compétition joue finalement peu.

Le trafic aérien peut être modélisé par des modèles de demande directe, même si les équations économétriques présentent certaines limites. La croissance économique, le prix de l'air et l'offre ferroviaire apparaissent de façon significative. Outre ces variables, des facteurs de diffusion de l'aérien et de politique de prix peuvent être greffés dans les équations.

Dans le modèle ferroviaire, la concurrence de l'aérien n'est pas prise en compte. Cela est plus gênant, car même si les parts modales sont disproportionnées, on pourrait s'attendre à un effet mesurable des caractéristiques de l'air sur le fer. Il y a un problème de cohérence à prendre en compte l'effet du prix du fer sur l'air et à ne pas prendre en compte l'effet du prix de l'air et de la diffusion de l'air sur le trafic ferroviaire. Il y a aussi un problème de pertinence à ne pas prendre en compte l'effet de la diffusion de l'air et du prix de l'air sur le trafic ferroviaire. Cette non prise en compte est due à un problème de mesurabilité. Le trafic ferroviaire est bien plus massif (3 fois supérieur en volume à celui de l'air) ce qui atténue mécaniquement l'impact de l'offre concurrente, et le rend non mesurable compte tenu de la présence par ailleurs de plusieurs variables toutes plus ou moins corrélées. La non prise en compte de la concurrence de l'air se traduit sans doute par la baisse apparente de l'élasticité au PIB.

Nous considérons maintenant les facteurs de mobilité les uns après les autres, et nous analysons la pertinence de leur présence, leur mesurabilité et la plausibilité de leur ordre de grandeur par rapport à celui de certains autres paramètres.

Le PIB est fortement significatif dans toutes les équations. L'élasticité au PIB est de l'ordre de 1,3 pour la route, de 1,5 pour l'air, et de 0,2 pour le fer. Toutefois il est normal qu'il existe des différences d'élasticité au PIB d'un mode à l'autre. En effet l'air, le fer et la route regroupent des marchés différents en termes de clientèle. La route comprend une part de motifs loisirs plus importante que le fer et l'air. Le trafic aérien contient une part de trafic international en préacheminement plus importante que la route et le fer. Les différents marchés que constituent trafic international, trafic pour motif loisir, trafic professionnel (...), ne croissent pas à la même vitesse. Les élasticités des différents segments de demande par rapport au PIB sont différentes ; il est donc logique que les élasticités des trafics des différents modes de transport par rapport au PIB soient différentes. Par ailleurs, la croissance économique entraîne une croissance de la valeur du temps donc une évolution de la part de marché des différents modes : une baisse de la part de marché du train, une augmentation de la part de marché de

l'avion, notamment. A structure de marché identique, l'élasticité au PIB du fer devrait de toute façon être inférieure à celle de l'air. La différence d'élasticité entre air et fer reste considérable. On peut en fait penser que la demande ferroviaire comprend une superposition de plusieurs marchés : un marché non TGV à élasticité nulle, et un marché TGV à élasticité bien supérieure à 0,2.

Le facteur diffusion de l'aérien est présent de façon explicite dans le modèle et est fortement significatif. Seule sa présence peut expliquer la cassure dans l'évolution du trafic aérien.

Le prix de la route connaît une évolution homogène quels que soient le type de trafic et les caractéristiques des individus. La variable de produit moyen du véhicule.kilomètre peut être considérée comme pertinente. Par ailleurs son calcul provient d'une source fiable et peut être considéré comme assez précis. La variable de prix de la route est donc pertinente et mesurable. Le paramètre relatif à cette variable est significativement différent de 0. L'élasticité de $-0,6$ du trafic routier par rapport à l'évolution des prix peut être considérée comme fiable. Les prix de l'air et du fer doivent être considérés avec davantage de circonspection. Pour le fer, la politique de yield management a joué autant que la baisse moyenne du produit moyen. Sur la période 1980-1992, le produit moyen du fer est ainsi resté stable alors que compte tenu de la baisse des tarifs sur longue distance, la politique tarifaire aurait entraîné une hausse de trafic (selon Matisse) (INRETS, 1997b). L'élasticité au prix du fer $(-2,0)$ est sujette à caution. Cette élasticité de $-2,0$ est énorme. Il faut toutefois noter que les variations de trafic sur certaines lignes (hausse significative de trafic sur Paris-Lille en 1998 consécutivement à une baisse tarifaire importante et un cadencement) montrent que l'impact du prix sur le trafic est élevé. Le problème est similaire pour l'aérien.

La variable relative à l'extension du réseau autoroutier apparaît de façon significative dans l'équation autoroutière. Quant à l'indicateur de vitesse ferroviaire écrêtée, l'élasticité du trafic ferroviaire à cet indicateur est de 0,45, l'élasticité du trafic air à cet indicateur est de $-0,16$.

IV. Les modèles de partage modal

Dans cette section, nous testons diverses architectures de partage modal. Il existe différentes structures envisageables pour des modèles de partage modal 3 modes : logits multinomiaux, logits hiérarchiques, modèles "mixtes" demande directe / partage modal. Toutefois certaines architectures peuvent être rejetées d'emblée comme étant non réalistes dans le cas de la longue distance. Au sein d'une même architecture, différentes formulations des fonctions d'utilité peuvent être adoptées. Dans un premier temps, nous analysons les différentes architectures possibles et leur chances d'opérationnalité. Dans un deuxième temps nous testons ces différentes architectures.

1. Les différentes architectures envisagées

Pour un partage modal 3 modes sur une OD donnée, plusieurs architectures différentes peuvent être envisagées : structures multinomiales (logits multinomiaux ou modèles dogit) ou structures hiérarchiques. Le logit multinomial présente une contrainte d'opérationnalité forte :

le respect de la propriété IIA (Indépendance des Alternatives non Associées) selon lequel si certaines alternatives sont enlevées de l'ensemble des alternatives disponibles, les probabilités relatives entre les alternatives au sein du sous-ensemble ainsi construit restent inchangées (cf chap 3 – I- 1.2.2.b). Concrètement, cette propriété signifie par exemple que le développement du réseau TGV entraîne des réductions identiques des trafics aérien et routier en termes de pourcentage, ou qu'une baisse du trafic aérien entraîne des pourcentages de réduction identiques des trafics ferroviaire et routier. Cette propriété n'est pas réaliste, que ce soit à l'échelle d'une origine-destination ou à l'échelle d'un pays. Les élasticités croisées de demande seraient fausses. Cette architecture est à proscrire.

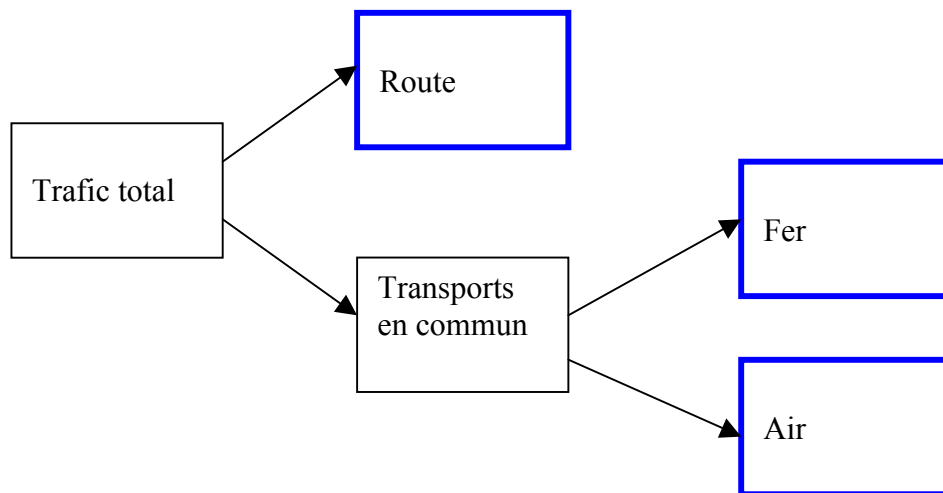
Pour contourner l'obstacle de la propriété IIA, plusieurs pistes peuvent être envisagées. La première piste consiste à considérer un modèle Dogit généralisé (cf chap 3 – I – 1.2.2.c). Toutefois, cela impliquerait de caler 6 paramètres supplémentaires (les 6 θ_{ij}), ce qui réduit la mesurabilité du modèle. Par ailleurs, les trafics air et fer étant beaucoup plus petits que les trafics routiers, les variations des trafics fer et air dues aux impacts des différents facteurs explicatifs risquent d'être invisibles à pareille échelle. Le modèle Dogit est a priori difficilement mesurable.

La deuxième piste consiste à étudier la possibilité de monter une structure hiérarchique : modéliser dans un premier temps un partage route / transports en commun puis dans un deuxième temps un partage air / fer. Pour modéliser un partage modal route – fer – air sur une origine-destination donnée, un partage modal logit hiérarchique paraît davantage réaliste qu'un partage multinomial. En effet, pour effectuer un voyage donné, on peut supposer que la personne effectue le choix du mode de transport en deux temps : dans un premier temps, elle choisit entre voiture particulière et transports en commun en tenant compte à la fois des qualités d'offre respectives des différents modes de transport (temps, prix, régularité, confort) mais aussi en fonction de déterminants spécifiques : motorisation, nécessité de posséder une voiture à destination, attirance particulière pour la voiture ; dans un deuxième temps, si elle a opté pour les transports en commun, elle choisit entre le train et l'avion. Le logit hiérarchique reproduit cette démarche : le panier inférieur du logit modélise le choix train / avion exclusivement en fonction de caractéristiques de ces deux modes de transport ; le panier supérieur du modèle de choix modélise le choix entre voiture particulière et transports en commun en fonction d'une utilité composite de ces deux modes et des facteurs de choix voiture particulière / transports en commun. Dans cette architecture, le partage air/fer se fait indépendamment des caractéristiques du mode routier.

Toutefois cette démarche en deux temps trouve son fondement théorique lorsqu'on raisonne au niveau de *l'individu* dans le cadre d'une démarche désagrégée. Cette démarche peut éventuellement être étendue pour modéliser le partage modal sur une origine-destination donnée, où la séparation des volumes de trafics des différents modes peut se hiérarchiser de façon analogue : séparation route / transports en commun puis fer / air. En revanche l'extension de la structure hiérarchique au cas d'un partage modal à l'échelle nationale semble plus problématique. En effet les trafics nationaux mélangent des segments très divers en termes de types de liaisons. Il n'existe pas de logique de choix hiérarchique où l'arbitrage se fait entre la route et les transports en commun puis entre l'air et le fer, mais une superposition de segments de marché où la compétition se fait tantôt entre la route et le fer, tantôt entre le fer, l'air et la route. Au niveau national, une amélioration de l'offre routière fait mécaniquement baisser l'usage du fer, à commencer par les liaisons où l'air n'est pas présent. L'amélioration de l'offre routière n'a pas ou peu d'impact sur l'air, en revanche elle en a beaucoup sur le fer, elle fait donc mécaniquement baisser la part de marché de l'air au sein du

trafic fer + air. Une structure logit hiérarchique où le partage air / fer du panier inférieur se fait exclusivement en fonction des caractéristiques de l'air et du fer risque de ne pas être satisfaisante. En fait, pour prendre en compte la baisse mécanique du trafic ferroviaire au sein du partage air/fer due à l'influence de la route, on peut imaginer de prendre en compte parmi les déterminants du logit air/fer des caractéristiques relatives à la route. Il n'est à première vue pas très orthodoxe d'effectuer un partage modal air/fer en introduisant des caractéristiques routières dans les fonctions d'utilité ; toutefois il faut bien considérer qu'il ne s'agit pas d'un raisonnement microéconomique modélisant les choix d'un individu, mais bien d'une répartition des trafics tenant compte des influences des diverses variables. La significativité des caractéristiques routières au sein du partage air/fer sera de toute façon testée. L'architecture proposée est définie dans le schéma ci-dessous (Schéma 1).

Schéma 1 : Architecture "classique"

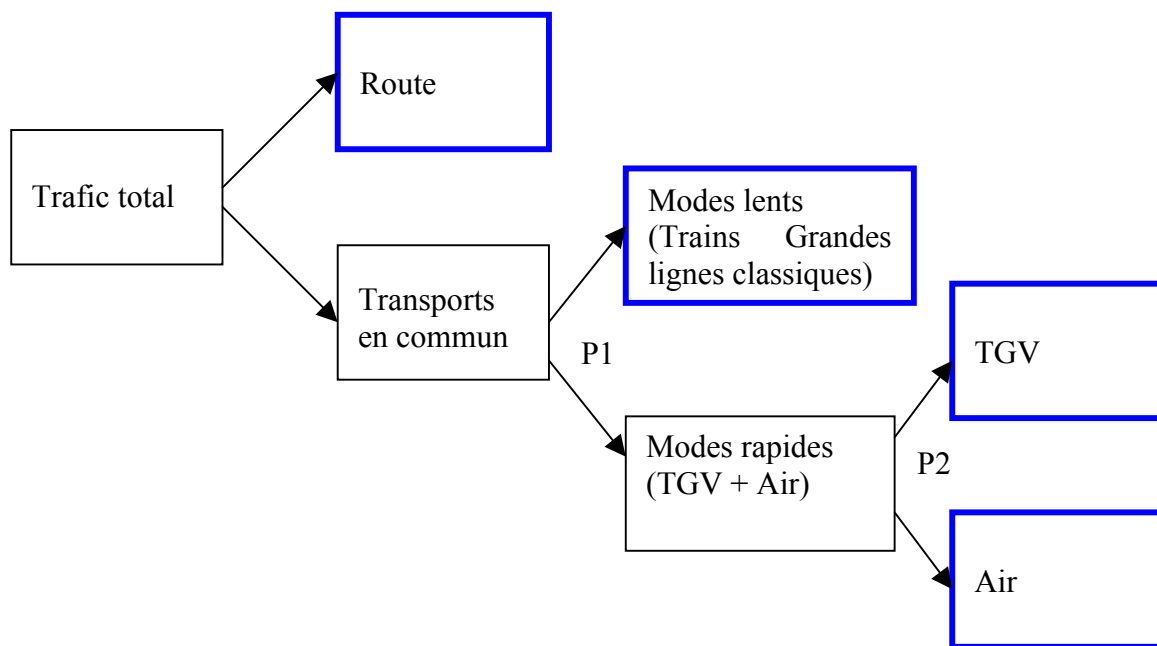


La séparation air / fer se fait à l'aide d'un logit binomial qui fait intervenir dans les fonctions d'utilité les caractéristiques aériennes et ferroviaires et éventuellement aussi les caractéristiques routières. En revanche on peut s'interroger sur la manière de répartir trafic routier et trafic transports en commun : construit-on un modèle de partage modal ou des modèles de demande directe ? Si on utilise l'indicateur T_{vlc} , le trafic en transports en commun fer + air se trouve noyé dans la masse. Si on considère l'indice I_{vlc} (multiplié par le volume de trafic routier de l'année de référence), d'une part le problème de visibilité des trafics air et fer demeure (même s'il est de moindre ampleur), d'autre part le supplément de trafic train sur les autoroutes lié à la mise en service des autoroutes n'apparaît pas dans I_{vlc} , le partage modal route/fer est sous-estimé. Nous préférons donc modéliser séparément le trafic routier et le trafic air + fer par des modèles de demande directe. Ce modèle "mixte" (modélisation de la route par une équation de demande directe ; modélisation des trafics air et fer par un modèle génération / partage modal) est testé en section suivante.

Outre ce modèle "mixte" nous testons un autre type de modélisation : un modèle hiérarchique où sont distingués non pas 3 modes de transport : l'air, le train, l'autoroute mais quatre : l'air, le TGV, les trains classiques, l'autoroute. En effet le TGV peut être considéré comme un mode de transport à part entière qui se rapproche davantage de l'avion que du train classique : desserte des seules grandes métropoles sans point d'arrêt intermédiaire, proximité en termes

de vitesse (temps de parcours souvent peu supérieurs à ceux de l'avion si on tient compte des temps d'accès aux aéroports et des délais de précaution de l'aérien, mais près de deux fois inférieurs aux temps de parcours initiaux en trains classiques). Là où le TGV est présent il existe une compétition TGV / air, ailleurs la compétition train / air est moins vive ; les trains classiques sont présents sur des dessertes courtes distances où s'exerce la concurrence routière ; les TGV sont présents sur des segments de marché plus longue distance. Nous testons alors une architecture originale de modèle qui consiste à hiérarchiser la séparation des trafics selon l'architecture ci-dessous (Schéma 2).

Schéma 2 : Architecture "grande vitesse"



Les trafics route et transports en commun sont modélisés séparément par des modèles de demande directe. La séparation du trafic total en transports en commun entre trains classiques et trafics à grande vitesse et la séparation des trafics à grande vitesse entre air et TGV sont modélisés à l'aide de partages modaux logit. Il est clair que ces partages modaux représentent des basculements d'aires de marchés géographiques d'un mode à l'autre plus que des évolutions de choix de modes de transport à aire géographique constante. L'évolution de la répartition trafics à grande vitesse / TRN vient en effet en grande partie du basculement de secteurs entiers de dessertes de l'escarcelle des trains classiques à celle des trains à grande vitesse avant l'impact des autres facteurs.

Dans les sections suivantes nous testons successivement l'architecture classique, puis l'architecture "grande vitesse". Dans toutes les architectures que nous testons, nous testons différentes fonctions d'utilité. En effet le choix de la forme des fonctions d'utilité ainsi que la caractérisation des variables explicatives constitue un élément déterminant de la pertinence des modèles de partage modaux.

2. Modèle "mixte" route / fer / air

Ce modèle consiste à modéliser la route d'une part, et le trafic fer + air d'autre part, par des modèles de demande directe, le partage modal fer / air étant effectué à l'aide d'un partage modal logit. Dans un premier temps (2.1.) nous rappelons les équations de demande directe routières. Dans un deuxième temps, nous testons les équations de demande directe air + fer (2.2.) puis les équations de partage modal air / fer (2.3.). Nous effectuons un récapitulatif des élasticités dans un dernier paragraphe (2.4.).

2.1. La route : modélisation par des modèles de demande directe

Les modèles de demande directe ont été présentés dans la section III. Nous rappelons ici les modèles retenus.

Les variables relatives au mode ferroviaire n'étant pas significativement différentes de 0, l'indicateur de croissance du trafic autoroutier à réseau stable peut être modélisé avec les seules variables PIB et caractéristiques de l'offre autoroutière en termes de prix et d'extension du réseau autoroutier (Formulation 4) :

Formulation 4 :

$$\ln Ivlc = -9,55 + 1,30 \ln Pib - 0,59 \ln Pr + 0,74 \ln Rr$$

(7,3) (5,7) (5,0) (3,5)

$$R^2 > 0,99 ; DW = 1,51$$

Toutefois une formulation alternative intégrant le prix du fer peut également être envisagée, compte-tenu de la presque significativité au seuil de 5% de la variable prix du fer (Formulation 6) :

Formulation 6 :

$$\ln Ivlc = -9,87 + 1,26 \ln Pib - 0,60 \ln Pr + 0,68 \ln Rr + 0,39 \ln Pf$$

(7,8) (5,7) (5,3) (3,3) (1,5)

$$R^2 > 0,99 ; DW = 1,85$$

Le volume total de trafic sur réseau autoroutier peut être modélisé de manière analogue à Ivlc par la Formulation 14.

Formulation 14 :

$$\ln Tvlc = -15,17 + 1,32 \ln Pib - 0,54 \ln Pr + 1,41 \ln Rr$$

(10,5) (5,2) (4,1) (6,1)

$$R^2 > 0,99 ; 1,48$$

2.2. Modélisation du trafic air + fer par une formulation de demande directe

Les formulations du trafic total air + fer sont présentées en annexe (Formulation 23 à Formulation 30).

2.2.1. Formulation avec les seules variables PIB, prix moyen de l'air et du fer et indicateur de vitesse ferroviaire

Dans un premier temps, nous calons l'équation avec les variables croissance économique, produit moyen de l'air et du fer, vitesse moyenne écrêtée du fer (Formulation 23).

Formulation 23

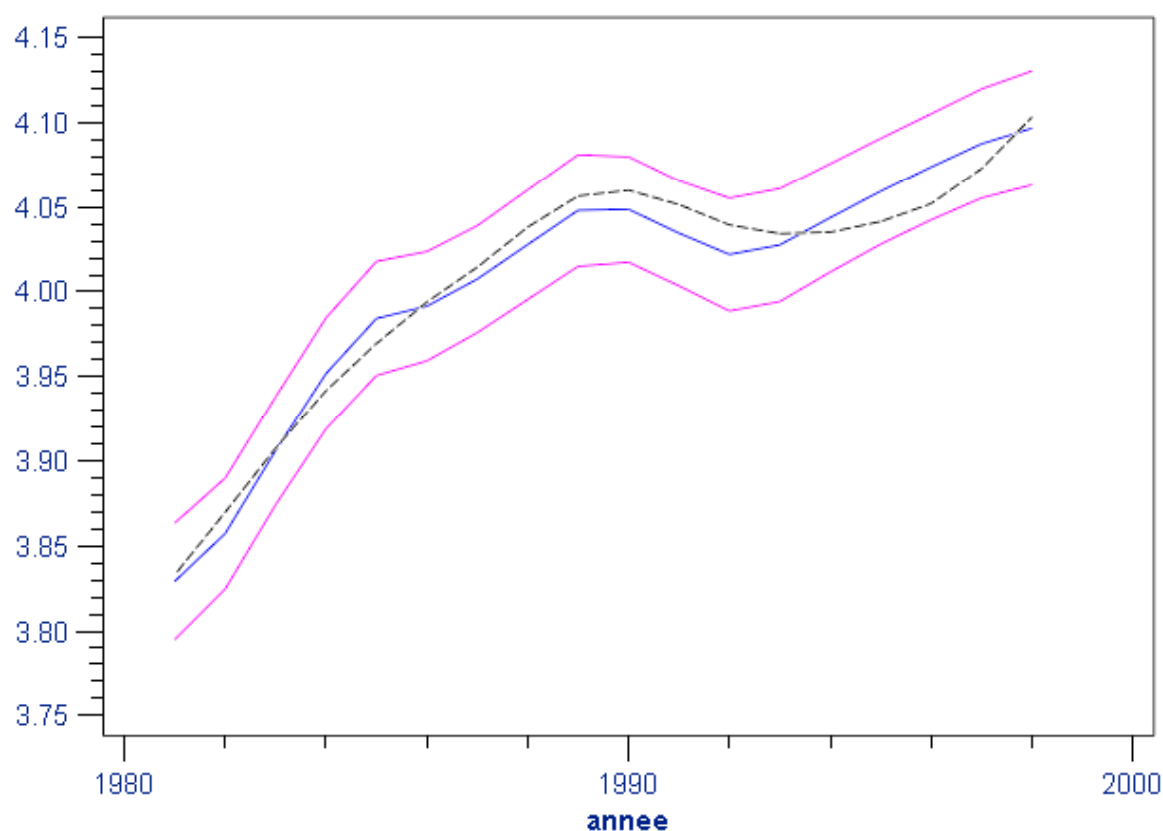
$$\ln(Ta+Tf) = 0,77 + 0,67 \ln Pib - 1,36 \ln Paf + 0,44 \ln Rf$$

(2,5) (6,3) (6,6) (6,0)

$R^2=0,98$; $DW = 0,72$

Graphique 150 : Modélisation du trafic air+fer par la Formulation 23 (trafics en logarithmes)

PREDICTED



Les coefficients ont tous un signe conforme à la logique économique, et sont significativement différents de 0. L'évolution globale du trafic total air + fer est correctement reproduite. Toutefois, le DW est médiocre (0,72), ce qui traduit une autocorrélation des résidus. Les coefficients sont ainsi à prendre avec une certaine précaution.

Pour tenter d'améliorer la Formulation 23, nous testons l'introduction de variables complémentaires : variable « Polit » ou variables routières puis nous testons des formulations autorégressives.

2.2.2. Introduction de la variable « Polit »

Nous recalibrons la formulation précédente avec la variable "Polit" (Formulation 24).

Formulation 24

$$\ln(Ta+Tf) = 0,76 + 0,68 \ln Pib - 1,36 \ln Paf + 0,44 \ln Rf - 0,0011 \text{ Polit}$$

(2,2) (5,1) (6,0) (5,2) (0,1)

$$R^2=0,98 ; DW = 0,73$$

La variable « Polit » est non significative (le t de Student est nul). Cette variable, qui est apparue significative lors de la modélisation du trafic ferroviaire, ne l'est plus lorsqu'on raisonne en termes de trafic total air + fer.

2.2.3. Essai d'introduction de l'offre autoroutière (rejeté)

Compte-tenu des interactions entre le trafic autoroutier et le trafic fer et air, les variables autoroutières sont susceptibles d'influencer le trafic fer+air. Nous testons donc l'ajout de la variable coût du trajet par autoroute (Formulation 25 sans « Polit » et Formulation 26 avec « Polit ») puis nous intégrons aussi la variable utilité du réseau routier (Formulation 27).

Formulation 25

$$\ln(Ta+Tf) = 3,08 + 0,55 \ln Pib - 1,51 \ln Paf + 0,41 \ln Rf - 0,20 \text{ Pr}$$

(2,1) (4,3) (6,9) (5,8) (1,6)

$$R^2=0,98 ; DW = 0,97$$

Formulation 26

$$\ln(Ta+Tf) = 8,63 + 0,0052 \ln Pib - 1,58 \ln Paf + 0,49 \ln Rf - 0,62 \text{ Pr} + 0,067 \text{ Polit}$$

(3,8) (0,0) (8,8) (7,7) (3,5) (2,9)

$$R^2=0,99 ; DW = 1,32$$

Formulation 27

$$\ln(Ta+Tf) = 10,3 - 0,25 \ln Pib - 1,73 \ln Paf + 0,42 \ln Rf - 0,78 \text{ Pr} + 0,21 \ln Rr + 0,074 \text{ Polit}$$

(3,3) (0,6) (6,7) (3,6) (2,9) (0,8) (2,9)

$$R^2=0,99 ; DW = 1,35$$

Ces formulations ne peuvent être acceptées : la variable prix du fer est d'un signe contraire à la logique et est par ailleurs peu significativement différente de 0 dans une des équations. La variable Rr d'extension du réseau autoroutier est non significativement différente de 0, la variable PIB est elle aussi non significative. La non significativité de Rr et du PIB s'explique par la forte corrélation entre PIB et extension du réseau autoroutier. L'élasticité au PIB est la résultante de deux effets contraires : la croissance économique tend à augmenter la mobilité tous modes ; inversement l'extension du réseau autoroutier (qui est fortement corrélée au PIB) tend à diminuer le trafic sur les modes air et fer. Il est difficile de démêler les deux effets. Par ailleurs, les équations contenant les variables d'offre autoroutière s'appuient sur de très nombreuses variables, ce qui rend l'estimation des élasticités fragile, particulièrement celles relatives au mode concurrent (prix de l'autoroute et extension du réseau routier).

2.2.4. Formulations autorégressives

Nous testons alors des formulations autorégressives (Formulation 28 et Formulation 29). Dans un premier temps nous retenons comme variables le PIB, le produit moyen de l'air et du fer et l'indicateur de vitesse écrêtée ferroviaire. La vitesse du fer n'est pas très significative.

Formulation 28

$$\ln(Ta+Tf) = 0,84 + 0,59 \ln(Ta+Tf)_{-1} + 0,38 \ln Pib - 0,79 \ln Paf + 0,070 \ln Rf$$

(7,0) (8,2) (6,6) (7,7) (1,4)

$$R^2 > 0,99$$

En ajoutant la variable "Polit", toutes les variables deviennent significatives.

Formulation 29

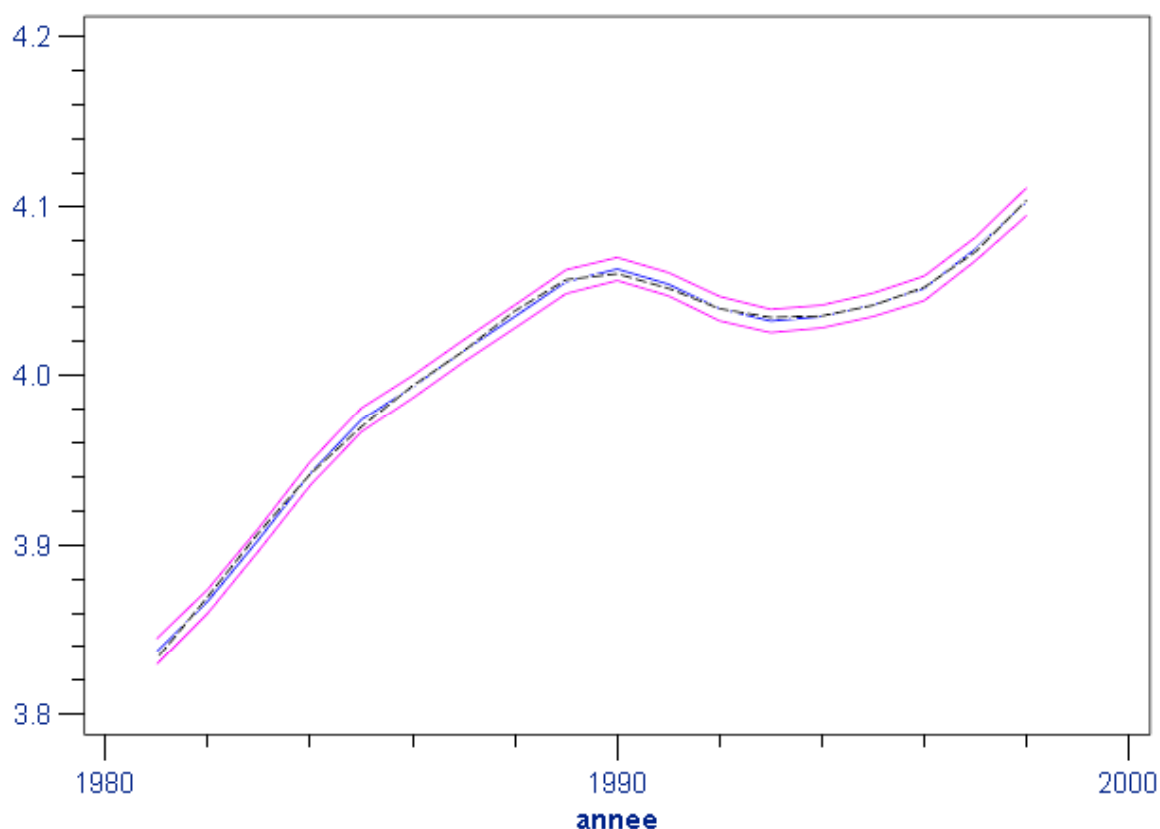
$$\ln(Ta+Tf) = 1,06 + 0,69 \ln(Ta+Tf)_{-1} + 0,23 \ln Pib - 0,61 \ln Paf + 0,073 \ln Rf + 0,023 \text{ Polit}$$

(14,9) (17,2) (5,9) (10,1) (2,9) (6,1)

$$R^2 > 0,99$$

Graphique 151 : Modélisation du trafic air+fer par la Formulation 29 (trafic en logarithme)

PREDICTED



2.3. Le partage modal du modèle de génération / partage modal

L'objectif de la présente section est de tester l'opérationnalité d'une équation de partage modal air/fer, de déterminer les importances respectives des différentes variables, et aussi de sélectionner les formulations optimales de la fonction d'utilité.

L'équation de la fonction d'utilité doit comprendre en premier lieu les caractéristiques des offres aériennes et ferroviaires (en termes de prix et de vitesse). Toutefois ces variables sont sans doute insuffisantes pour modéliser correctement le partage modal. En effet le revenu joue sur le partage modal air/fer (cf chapitre 2). Une hausse de la croissance économique et des revenus entraîne une hausse des valeurs du temps qui conduit à une augmentation de la part de marché de l'avion. Il apparaît ainsi utile d'introduire la variable de PIB dans le modèle. Cette variable peut être introduite de façon additive. Une autre façon de la prendre en compte est de l'introduire pour quotienter les variables de prix de la fonction d'utilité. En effet nous pouvons faire l'hypothèse que la valeur du temps croît au même rythme que le PIB, ce qui conduit à quotienter l'évolution des prix par le PIB.

Par ailleurs, même si dans la présente architecture nous supposons que le choix modal se fait en deux temps (choix modal route / transports en commun puis partage modal air/fer), en pratique, la part du fer au sein du trafic air + fer n'est pas indépendante de l'offre routière. Une amélioration de l'offre routière conduit en effet à un détournement de trafic ferroviaire en faveur de la route plus important que le détournement de trafic aérien en faveur de trafic routier. Il n'est donc pas aberrant de tester l'introduction des variables d'offre routière dans la fonction d'utilité du partage modal air/fer. Compte tenu de la forte corrélation entre croissance du réseau autoroutier et PIB, et du nombre important de variables, il est toutefois probable qu'on se heurte à un problème de mesurabilité.

En termes de spécification, une formulation générale du différentiel d'utilité est une forme du type $\sum_i a_i X_i^{b_i}$ (Gaudry, 1989). Toutefois cette formulation nécessite le calage de trop nombreux coefficients par rapport au nombre de points d'observations dont nous disposons. En conséquence, nous calons seulement des cas particuliers de cette fonction : les fonctions linéaires $\sum_i a_i X_i$ et loglinéaires $\sum_i a_i \ln(X_i)$. Nous présentons les formulations linéaires en section 2.2.1. et les formulations loglinéaires en section 2.2.2. avant d'analyser les résultats et de conclure (2.2.3).

2.3.1. Partage modal avec fonctions d'utilités linéaires

Les formulations linéaires de partage modal air / fer sont présentées en annexe (Formulation 31 à Formulation 35).

a) Partage modal ne prenant en compte que la croissance économique et les variables d'offres ferroviaire et aérienne

Dans un premier temps, nous modélisons le choix modal en faisant l'hypothèse que l'offre routière n'influe pas sur la répartition air/fer. Nous prenons en compte les seules variables d'offres aériennes et ferroviaires ainsi que la croissance économique (Formulation 31).

Formulation 31

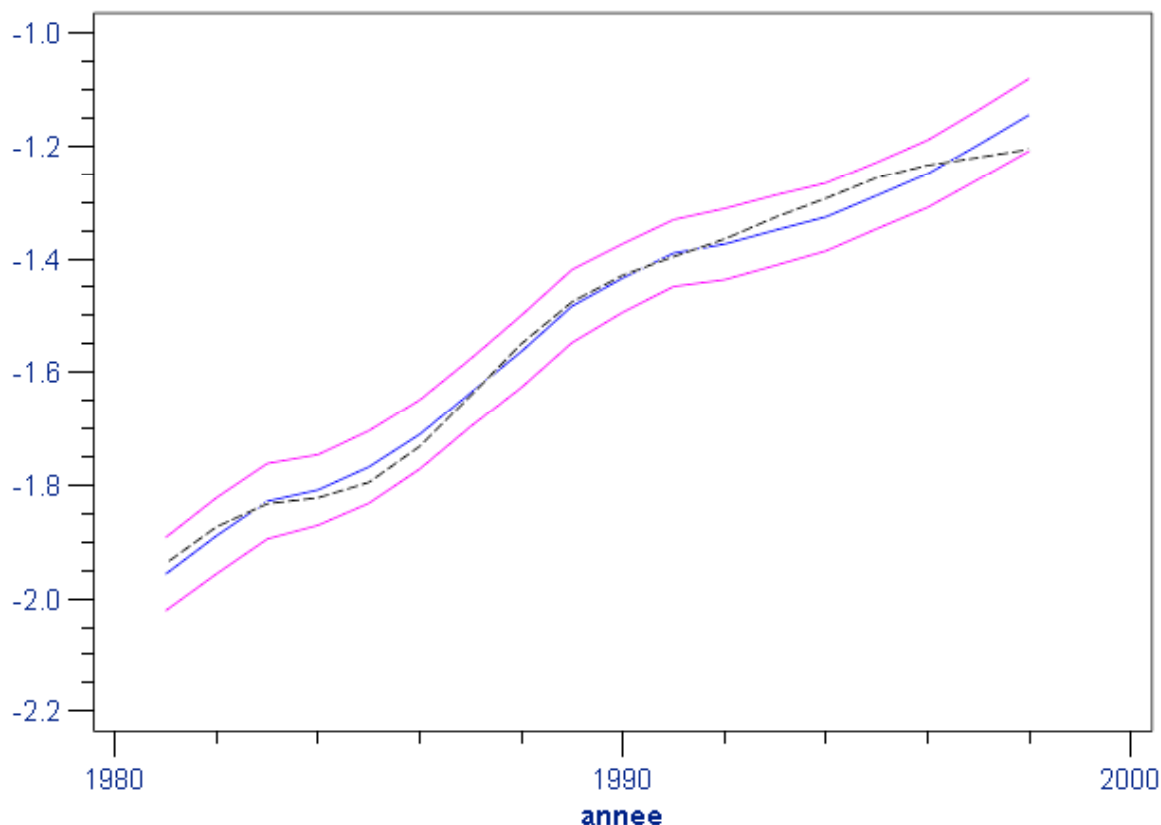
$$\ln(Ta/Tf) = -3,58 + 0,00034 Pib + 0,086 Pf + 0,00062 Rf - 0,019 Pa$$

(8,2) (3,3)
(2,1) (0,5)
(3,0)

$R^2=0,99$; $DW = 0,6$

Graphique 152 : Modélisation de $\ln(Ta/Tf)$ par la Formulation 31

PREDICTED



Le coefficient relatif à la variable d'extension du réseau ferroviaire est peu significativement différent de 0 et contraire à la logique économique. Par ailleurs, la statistique de Durbin-Watson est très faible, ce qui est généralement le signe que des variables importantes sont absentes de l'équation. Visuellement, les courbes observées et prédites sont peu éloignées, sauf dans la période la plus récente. Comme pour les modélisations par des équations de demande directe, nous constatons un retournement de tendance vers 1997.

b) Introduction de la variable « Polit »

Ceci nous suggère d'introduire la variable binaire "Polit" déjà utilisée dans les modèles de demande directe (Formulation 32). Cette variable prend en compte les évolutions de politique tarifaire, l'augmentation de fréquences de l'aérien et les ruptures de mode de calcul du prix de l'air qui sont intervenues en 1997.

Formulation 32 :

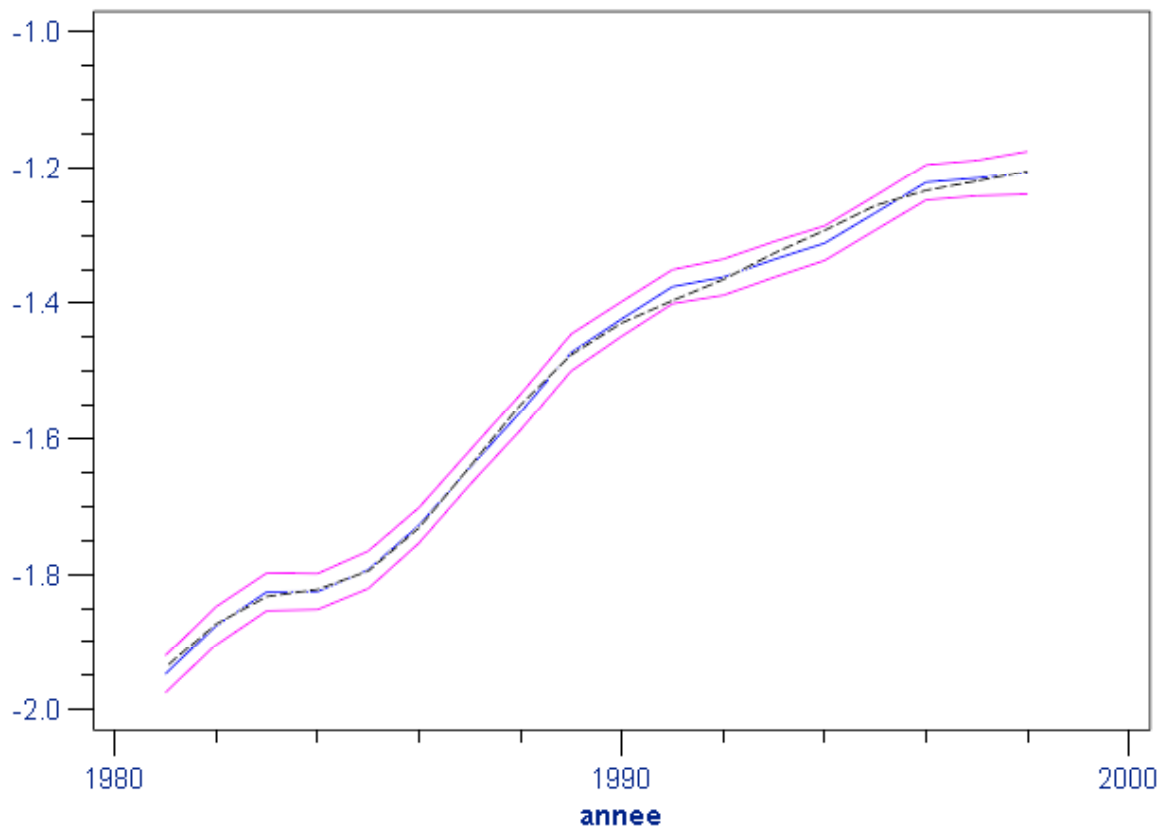
$$\ln(Ta/Tf) = -3,78 + 0,00034 Pib + 0,13 Pf - 0,0014 Rf - 0,025 Pa - 0,11 Polit$$

(20,6) (8,0)
(7,1) (2,4)
(9,2) (8,2)

$R^2>0,99$; $DW=1,50$

Graphique 153 : Modélisation de $\ln(Ta/Tf)$ par la Formulation 32

PREDICTED



Les signes sont tous corrects et la statistique DW est correcte (1,5), il n'y a plus d'autocorrélation des résidus. Nous acceptons ce modèle.

c) Autres spécifications (non retenues) : introduction de l'offre routière

Nous avons testé d'autres spécifications. Nous avons notamment testé l'ajout de variables relatives à la route (prix de la route et efficacité du réseau routier) (Formulation 33). En effet, ainsi que nous l'avons mentionné précédemment, le partage air/fer peut être influencé indirectement par le mode routier. La statistique de Durbin-Watson est correcte (2,0). Toutefois le PIB n'est plus du tout significatif. La corrélation énorme entre PIB et utilité de la route conduit vraisemblablement la variable R_r à reprendre l'impact du PIB, surestimant l'impact des variations d'offre routière et sous-estimant l'impact de la croissance économique.

Formulation 33

$$\ln(Ta/Tf) = -1,96 + 0,000029 Pib + 0,057 Pf - 0,0026 Rf - 0,017 Pa - 0,046 Polit - 0,0072 Pr + 0,00036 Rr$$

(4,0)
(0,3)
(2,4)
(5,2)
(5,7)
(2,2)
(3,7)
(3,7)

$R^2 > 0,99$; DW=2,02

Nous testons alors deux autres formulations (Formulation 34 et Formulation 35) dans lesquelles le PIB n'est plus pris en compte de façon additive mais pour quotienter les prix : en

effet la croissance économique tend à augmenter les revenus donc diminuer la valeur du temps, donc diminuer l'impact des prix. La Formulation 34 ne fait pas intervenir "Polit" alors que la Formulation 35 fait intervenir cette variable. Dans la Formulation 34, le DW est correct même s'il est un peu faible (1,5). Les signes sont corrects et l'ensemble des variables significatives. Dans la Formulation 35 avec "Polit" les signes sont là encore corrects et les variables toutes significatives. Le DW est excellent (1,9). Les Formulation 34 et Formulation 35 peuvent être acceptées.

Formulation 34 :

$$\ln(Ta/Tf) = -1,71 - 0,0028 Rf + 2,96 \frac{Pf}{Pibhab} - 0,89 \frac{Pa}{Pibhab} - 0,035 Pr + 0,00039 Rr$$

(11,2) (5,8) (3,8) (6,6) (11,4) (15,9)

$R^2 > 0,99$; DW = 1,53

Formulation 35 :

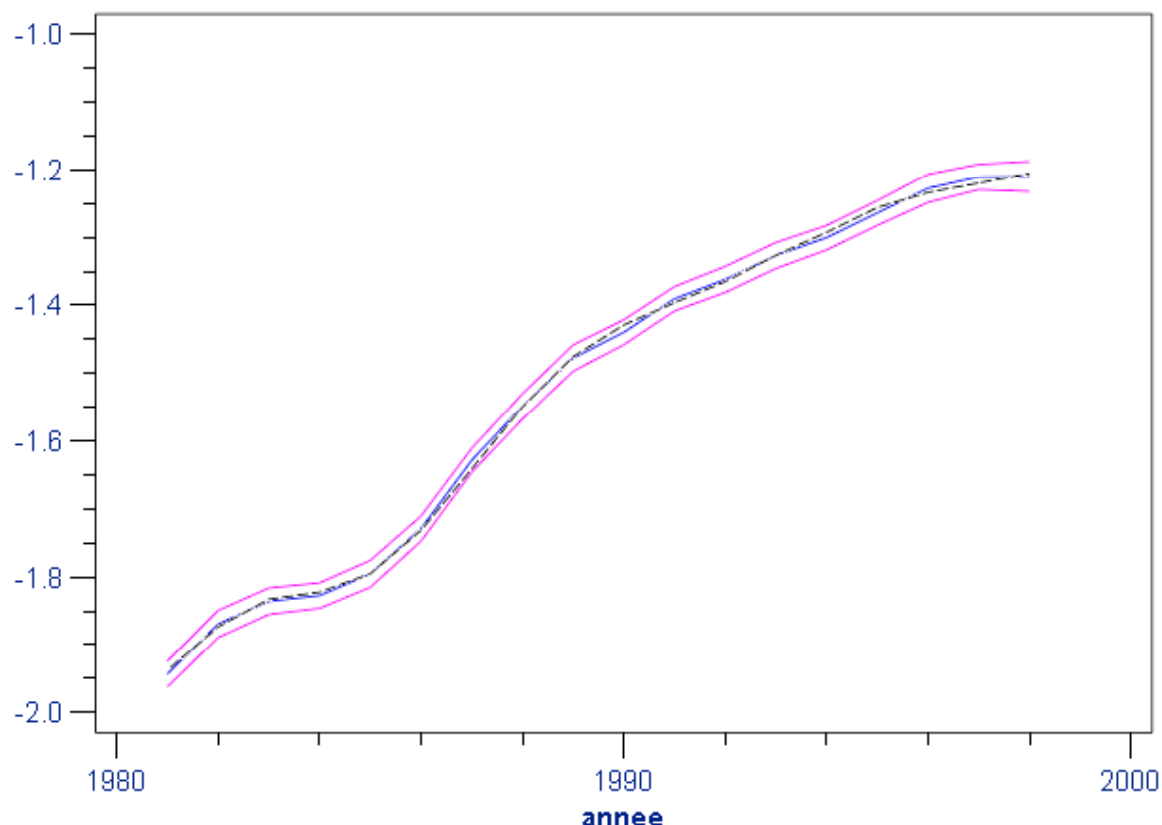
$$\ln(Ta/Tf) = -1,76 - 0,0032 Rf + 1,97 \frac{Pf}{Pibhab} - 0,78 \frac{Pa}{Pibhab} - 0,035 Polit - 0,029 Pr + 0,00046 Rr$$

(13,8) (7,5) (2,6) (6,6) (2,7) (8,3) (14,1)

$R^2 > 0,99$; DW = 1,92

Graphique 154 : Modélisation de $\ln(Ta/Tf)$ par la Formulation 35

PREDICTED



2.3.2. Partage modal avec fonctions d'utilités loglinéaires

Afin de tester l'influence de la forme de la spécification (linéaire ou loglinéaire), nous avons testé les formulations suivantes (Formulation 36 à Formulation 40) (présentées en annexe). Les résultats se révèlent être analogues aux formulations linéaires.

a) Partage modal ne prenant en compte que la croissance économique et les variables d'offres ferroviaire et aérienne

Dans un premier temps, nous testons les variables PIB, prix de l'air et du fer, vitesse du ferroviaire (Formulation 36). Comme dans le cas de la formulation linéaire, l'indicateur de vitesse ferroviaire a un signe contraire à la logique.

Formulation 36

$$\ln(Ta/Tf) = -12,35 + 1,053 \ln Pib - 1,15 \ln Pa + 2,12 \ln Pf + 0,078 \ln Rf$$

(5,1) (3,2) (3,3) (2,8) (0,5)

$R^2 > 0,99$; $DW = 0,7$

b) Introduction de la variable « Polit »

Nous introduisons alors la variable "Polit" (Formulation 37). Le DW monte à 1,6. Les coefficients sont de signes corrects et significativement différents de 0. Cette équation peut être conservée.

Formulation 37

$$\ln(Ta/Tf) = -11,21 + 0,90 \ln Pib + 3,09 \ln Pf - 1,56 \ln Pa - 0,16 \ln Rf - 0,10 \text{ Polit}$$

(9,5) (5,5) (7,8) (8,7) (1,9) (6,8)

$R^2 > 0,99$; $DW = 1,6$

c) Essai d'introduction de l'offre routière (non retenu)

Nous testons alors une nouvelle formulation en intégrant une variable relative à la route : le prix de la route (Formulation 39). Le signe de Pr , de même que ceux des autres variables, sont corrects. En revanche le coefficient relatif au PIB n'est plus significatif. Nous rejetons cette équation.

Formulation 39

$$\ln(Ta/Tf) = -6,23 + 0,42 \ln Pib + 3,27 \ln Pf - 1,71 \ln Pa - 0,17 \ln Rf - 0,065 \text{ Polit} - 0,31 \ln Pr$$

(1,8) (1,2) (8,2) (8,6) (2,1) (2,5) (1,5)

$R^2 > 0,99$; $DW = 1,6$

Si on rajoute en plus la variable Rr dans l'équation (Formulation 40), le signe du PIB n'est absolument plus significatif. Il est vrai que le nombre de variables commence à devenir trop important par rapport au nombre de points d'observations. L'équation est rejetée.

Formulation 40

$$\ln(Ta/Tf) = -7,1 + 0,021 \ln Pib + 0,90 \ln Pf - 0,90 \ln Pa - 0,45 \ln Rf - 0,009 \text{ Polit} - 0,71 \ln Pr + 1,34 \ln Rr$$

(2,3) (0,1) (1,5) (4,0) (5,3) (0,5) (4,2) (4,3)

$R^2 > 0,99$; DW = 2,1

2.4. Conclusion

Nous rappelons ici les différentes équations relatives au partage modal et à la génération.

- **Equation de génération :**

Formulation 29

$$\ln(Ta+Tf) = 1,06 + 0,69 \ln(Ta+Tf)_{-1} + 0,23 \ln Pib - 0,61 \ln Paf + 0,073 \ln Rf + 0,023 \text{ Polit}$$

(14,9) (17,2) (5,9) (10,1) (2,9) (6,1)

$R^2 > 0,99$

- **Equations de partage modal :**

Formulation 32

$$\ln(Ta/Tf) = -3,78 + 0,00034 Pib + 0,13 Pf - 0,0014 Rf - 0,025 Pa - 0,11 \text{ Polit}$$

(20,6) (8,0) (7,1) (2,4) (9,2) (8,2)

$R^2 > 0,99$; DW = 1,50

Formulation 37

$$\ln(Ta/Tf) = -11,21 + 0,90 \ln Pib + 3,09 \ln Pf - 1,56 \ln Pa - 0,16 \ln Rf - 0,10 \text{ Polit}$$

(9,5) (5,5) (7,8) (8,7) (1,9) (6,8)

$R^2 > 0,99$; DW = 1,60

L'équation de génération ne comprend pas de variables relatives à la route. Par souci de cohérence entre partage modal et génération, nous ne conservons comme équations de partage modal que les équations ne comportant pas de variables routières, autrement dit la Formulation 32 et la Formulation 37. Nous en déduisons les élasticités relatives aux différentes variables calculées pour l'année 1999 (Tableau 40).

Tableau 40 : Elasticités des trafics route, fer, air estimées pour l'année 1999 à l'aide du modèle de demande directe Formulation 4 pour la route et des modèles de partage modal Formulation 32 + Formulation 29 et Formulation 37+ Formulation 29 pour l'air et le fer

	Air					Fer					Route
	Elasticités relatives au partage modal		Elasticités relatives à la génération	Elasticités globales		Elasticités relatives au partage modal		Elasticités relatives à la génération	Elasticités globales		Elasticités globales
Formulations	Formulation 32	Formulation 37	Formulation 29	Formulation 32	Formulation 37	Formulation 32	Formulation 37	Formulation 29	Formulation 32	Formulation 37	Formulation 4
Pib	1,03	0,68	0,74	1,77	1,42	-0,32	-0,22	0,74	0,42	0,53	1,30
Rf	-0,19	-0,12	0,24	0,04	0,11	0,06	0,04	0,24	0,30	0,27	0,00
Pf	2,17	2,35	-1,50	0,67	0,85	-0,68	-0,74	-1,50	-2,18	-2,24	0,00
Pa	-0,96	-1,18	-0,47	-1,43	-1,65	0,30	0,37	-0,47	-0,17	-0,10	0,00
Pr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,59
Rr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74

Les modèles air / fer ne sont pas complètement cohérents puisque l'élasticité du trafic aérien par rapport à la vitesse ferroviaire est positive et que l'élasticité du trafic ferroviaire par rapport au prix de l'air est négative. Toutefois ces modules sont faiblement différents de 0 (0,04 et 0,11 pour l'élasticité du trafic air par rapport à la vitesse ferroviaire) ; (-0,17 et -0,10 pour les élasticités du trafic ferroviaire par rapport au prix de l'air). Finalement cela revient à avoir certaines variables aux coefficients non significatifs dont il ne faut pas tenir compte. Nous considérons donc les élasticités produites par le modèle en-dehors des élasticités relatives à ces variables là.

Contrairement aux équations de demande directe, le modèle de génération – partage modal permet aux élasticités de varier dans le temps. Nous avons calculé ces élasticités pour l'année 1999. Les modèles avec et sans forme logarithmique fournissent approximativement les mêmes résultats, ce qui est un gage de robustesse.

L'élasticité du trafic aérien au PIB est de 1,42 / 1,77 (approximativement la même que dans les modèles de demande directe où elle était de 1,50). L'élasticité du trafic rail au PIB est plus élevée (0,42 à 0,53) par rapport à ce qu'elle était dans l'équation de demande directe (0,21). L'élasticité du trafic fer à l'indicateur de vitesse écartée ferroviaire Rf est plus faible dans le modèle de génération / partage modal que dans le modèle de demande directe (0,3 au lieu de 0,45).

L'élasticité du trafic aérien à la vitesse du rail est différente de celle des modèles de demande directe. Dans les modèles de demande directe elle était faible mais de signe correct ; dans les modèles génération – partage modal elle est de signe contraire à la logique : 0,04 à 0,10, mais de fait on peut considérer que l'élasticité est non significativement différente de 0.

L'élasticité du trafic aérien au coût de l'air est plus élevée que dans les modèles de demande directe (-1,4 à -1,6 au lieu de -0,8). L'élasticité du trafic rail par rapport aux tarifs aériens est très petite et du mauvais signe (-0,10 au lieu de -0,15 ; dans l'équation de demande directe elle était non significative). L'élasticité du trafic rail par rapport au prix du rail est toujours aussi forte que dans les modèles de demande directe (-2,2 au lieu de -2,0). L'élasticité du trafic aérien au prix du rail est de l'ordre de 0,7 à 0,85, soit du même ordre de grandeur que dans les modèles de demande directe.

Les élasticités fournies par le modèle génération – partage modal ne sont sur un plan théorique pas constantes dans le temps. En pratique les élasticités sont quasiment identiques en 1980 et en 1999 sauf pour les élasticités au PIB. Ainsi l'élasticité du trafic ferroviaire par rapport au PIB a baissé de 1980 à 1999 alors qu'on aurait pu s'attendre à ce qu'elle augmente suite à la mise en service des TGV. En fait l'équation de partage modal sans formulation logarithmique impose que lorsque la part du fer augmente, l'élasticité du trafic ferroviaire au PIB diminue (cf les formulations de la section 1). Dans les modèles sans formulation logarithmique, la formulation du modèle ne l'impose pas mais en pratique l'élasticité du trafic ferroviaire diminue encore plus avec cette formulation non logarithmique.

Tableau 41 : Elasticités des trafics route, fer, air estimées pour l'année 1980 à l'aide du modèle de demande directe Formulation 4 pour la route et des modèles de partage modal Formulation 32 + Formulation 29 et Formulation 37 + Formulation 29 pour l'air et le fer

	Air					Fer					Route
	Elasticités relatives au partage modal		Elasticités relatives à la génération	Elasticités globales		Elasticités relatives au partage modal		Elasticités relatives à la génération	Elasticités globales		Elasticités globales
Formulations	Formulation 32	Formulation 37	Formulation 29	Formulation 32	Formulation 37	Formulation 32	Formulation 37	Formulation 29	Formulation 32	Formulation 37	Formulation 4
Formulations	Formulation 32	Formulation 37	Formulation 29	Formulation 32	Formulation 37	Formulation 32	Formulation 37	Formulation 29	Formulation 32	Formulation 37	Formulation 4
Pib	0,79	0,74	0,74	1,53	1,48	-0,17	-0,16	0,74	0,57	0,58	1,30
Rf	-0,15	-0,13	0,24	0,09	0,11	0,03	0,03	0,24	0,27	0,26	0,00
Pf	2,18	2,53	-1,61	0,57	0,92	-0,48	-0,56	-1,61	-2,09	-2,17	0,00
Pa	-1,32	-1,28	-0,35	-1,67	-1,63	0,29	0,28	-0,35	-0,07	-0,07	0,00
Pr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-0,59
Rr	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,74

Pour améliorer ce modèle génération / partage modal, il serait nécessaire de posséder des données permettant de segmenter le trafic par catégorie de motifs ou de types de liaisons.

3. Modèle "mixte" à 4 modes

Dans l'architecture 4 modes, les trafics TGV et trains classiques sont traités de façon séparée. Dans un premier temps, les trafics autoroutier et air+fer sont modélisés par des équations de demande directe. Dans un deuxième temps, le trafic air+fer est décomposé entre trafic aérien, TGV et trains classiques selon une structure de partage modal hiérarchique. Le trafic air+fer est réparti entre trafic des modes à grande vitesse (TGV et avion) et trafic des modes plus lents (trains classiques). Le trafic des modes rapides est alors réparti entre TGV et avion.

L'avantage de cette méthode est de séparer des modes aux dynamiques différentes. Ainsi le TGV est, par bien des aspects, un mode de transport plus proche de l'avion que du train classique (Klein, 2001). Le TGV privilégie les dessertes entre métropoles, offre des temps de parcours porte à porte proches voire inférieurs à ceux de l'avion sur de nombreuses liaisons radiales. La croissance économique favorise le développement des modes rapides au détriment des modes lents. Distinguer TGV et autres trains constitue un moyen d'identifier ce différentiel de croissance.

Par ailleurs, cette architecture permet de mettre en évidence un impact du TGV, au moins à certains stades du modèle. Au sein du trafic ferroviaire national, l'accroissement de trafic dû au TGV se trouve en partie noyé et contrebalancé par les effets de l'évolution de la structure des trafics et de la concurrence de l'autoroute. Il n'en va pas de même au sein de la répartition air/TGV. En effet, l'évolution du partage modal air/TGV est d'une telle ampleur que l'impact du TGV est nécessairement mesurable. De même, l'impact du TGV sur la répartition modes rapides / trains classiques l'est.

Cette architecture présente toutefois certains inconvénients. La répartition entre modes rapides et trains classiques n'est pas indépendante du développement du réseau autoroutier. Les emboîtements multiples risquent de conduire à des difficultés de cohérence interne. Nous connaissons le prix moyen au voyageur.kilomètre d'un trajet en train, mais nous ne connaissons pas la décomposition entre TGV et trains classiques, ce qui rend difficile la mesure de l'impact du prix.

Dans un premier temps (section 3.1.), nous rappelons les équations de demande directe modélisant les trafics autoroutier et en transport collectif. Dans un deuxième temps, nous modélisons la séparation du trafic air+fer entre TGV et air et entre modes rapides et TRN. Le traitement du partage modal en 4 modes nécessite l'utilisation de variables explicatives adaptées. Les séries de trafics TGV et TRN, ainsi que l'analyse et l'adaptation des variables explicatives sont présentées en section 3.2.. Les partages modaux sont présentés ensuite, avec dans un premier temps le panier de choix inférieur entre TGV et air (section 3.3.), puis dans un deuxième temps le panier de choix supérieur entre modes rapides et TRN (section 3.4.).

3.1. Rappel des équations de demande directe modélisant la route d'une part et les trafics fer + air d'autre part

Les modèles de demande directe modélisant la route ont été présentés dans la section III. Nous rappelons une nouvelle fois les trois équations retenues.

Formulation 4

$$\ln I_{vlc} = -9,55 + 1,30 \ln P_{ib} - 0,59 \ln P_r + 0,74 \ln R_r$$

(7,3) (5,7) (5,0) (3,5)

Formulation 6

$$\ln I_{vlc} = -9,87 + 1,26 \ln P_{ib} - 0,60 \ln P_r + 0,68 \ln R_r + 0,39 \ln P_f$$

(7,8) (5,7) (5,3) (3,3) (1,5)

Formulation 14

$$\ln T_{vlc} = -15,17 + 1,32 \ln P_{ib} - 0,54 \ln P_r + 1,41 \ln R_r$$

(10,5) (5,2) (4,1) (6,1)

La génération du trafic fer + air peut être modélisée par l'équation suivante :

Formulation 29

$$\ln(T_a + T_f) = 1,06 + 0,69 \ln(T_a + T_f)_{-1} + 0,23 \ln P_{ib} - 0,61 \ln P_{af} + 0,073 \ln R_f + 0,023 \ln P_{lit}$$

(14,9) (17,2) (5,9) (10,1) (2,9) (6,1)

3.2. Données de trafic et variables explicatives

Cette section précise les séries de trafic et les variables explicatives utilisées.

3.2.1. Séries de trafic

Les séries de trafics relatives à l'aérien et à l'autoroute ont déjà été présentées en section I.

Le trafic ferroviaire modélisé précédemment était le trafic fer intérieur métropole. Il aurait été souhaitable de disposer d'une série TGV intérieur et d'une série trains classiques intérieur, ce qui n'est pas le cas. Nous choisissons donc de modéliser les deux séries suivantes :

- une série TGV sauf Thalys et Eurostar, qui est la somme, en voyageur.kilomètres, des TGV Sud-Est, Atlantique, Nord-Europe et Jonction.
- une série trains classiques, qui est la différence entre la série fer intérieur et la série TGV sauf Thalys et Eurostar.

3.2.2. Variables explicatives

Les variables explicatives relatives à la croissance économique ainsi qu'aux offres aérienne et routière ont déjà été présentées précédemment.

L'indicateur d'extension du réseau TGV est calculé de manière analogue à l'indicateur de vitesse moyenne ferroviaire R_f . Le calcul est mené sur les mêmes origines-destinations que celles prises en compte pour le calcul de R_f . Lorsqu'il n'y a pas de TGV sur une origine-destination, nous comptabilisons la vitesse à 0. Par ailleurs, afin de valoriser la plage [2h – 5h], nous écrivons les temps de parcours selon une procédure identique à celle utilisée pour calculer l'indicateur R_f . Nous obtenons ainsi un indicateur R_{tgv} que nous utilisons comme indicateur d'extension du réseau TGV dans la modélisation.

En matière de prix, nous connaissons l'évolution du produit moyen du ferroviaire par voyageur.kilomètre, sans distinction entre TGV et trains classiques. Nous assimilons le prix au voyageur.kilomètre du TGV et celui du train classique au prix moyen du fer.

3.3. Modélisation de la répartition air / TGV

Nous modélisons l'évolution de la répartition air/TGV à l'aide des variables croissance économique, indicateur d'extension du réseau TGV, prix du fer (assimilé au prix du TGV) et prix de l'air. Dans certaines spécifications, nous introduisons en plus l'indicateur « Polit ».

Nous testons successivement des formulations avec fonctions d'utilité linéaires (3.3.1.), puis des formulations avec fonctions d'utilité non linéaires (3.2.2.).

3.3.1. Formulations linéaires

Dans un premier temps (Formulation 41), nous testons des formulations incluant l'ensemble des variables explicatives : PIB, prix de l'air et du fer, extension du réseau TGV. La statistique de Durbin-Watson est très médiocre (0,93). Par ailleurs, le PIB et le prix de l'air se révèlent être des variables non significatives, avec des t de Student respectivement de 0,1 et 0,4. En ajoutant la variable « Polit » (Formulation 42), la statistique de Durbin-Watson s'améliore (1,77), mais le PIB et le prix de l'air restent non significatifs.

Formulation 41

$$\ln(Ta/T_{tgv}) = -11,77 + 0,000077 \text{ PIB} + 0,024 \text{ Pa} + 0,58 \text{ Pf} - 0,018 \text{ Rtgv}$$

(3,4) (0,1) (0,4) (1,9) (4,8)

$$R^2=0,91 ; DW = 0,93$$

Formulation 42

$$\ln(Ta/T_{tgv}) = -19,7 + 0,00020 \text{ Pib} - 0,043 \text{ Pa} + 1,16 \text{ Pf} - 0,024 \text{ Rtgv} - 0,58 \text{ Polit}$$

(6,7) (0,5) (1,0) (4,9) (8,5) (4,2)

$$R^2=0,97 ; DW = 1,77$$

Nous éliminons alors progressivement le PIB (Formulation 43) puis le PIB et le prix de l'air. Nous aboutissons ainsi à des formulations contenant uniquement l'indicateur d'extension du réseau TGV et le prix du fer (Formulation 44). Ces formulations finales ne sont toutefois pas très satisfaisantes. L'élasticité relative au prix du fer est trop élevée : 16 pour l'élasticité du trafic air par rapport au prix du fer et -5 pour l'élasticité du trafic fer par rapport au prix de l'air. Par ailleurs, il n'est pas très cohérent de faire intervenir au sein de la formulation le prix du fer mais pas celui de l'air. Les Durbin-Watson sont médiocres (1,35 et 1,00).

Formulation 43

$$\ln(Ta/T_{tgv}) = -19,6 - 0,026 \text{ Pa} + 1,1 \text{ Pf} - 0,025 \text{ Rtgv} - 0,58 \text{ Polit}$$

(6,9) (1,1) (6,2) (9,6) (4,3)

$$R^2=0,97 ; DW = 1,55$$

Formulation 44

$$\ln(Ta/Ttgv) = -18,4 + 0,96 Pf - 0,023 Rtgv - 0,49 Polit$$

(7,0) (7,3) (12,1) (4,4)

$$R^2=0,96 ; DW = 1,35$$

Formulation 45

$$\ln(Ta/Ttgv) = -11,965 + 0,6401 Pf - 0,0195 Rtgv$$

(3,62) (3,86) (7,47)

$$R^2=0,91 ; DW = 1,00$$

Nous recalibrons donc une formulation contenant uniquement l'indicateur d'extension du réseau TGV, sans aucune variable de prix (Formulation 46). La statistique de Durbin-Watson est sans surprise faible : 0,63. On remarque néanmoins que la simple variable extension du réseau TGV modélise l'allure de la variation de part modale air/TGV (avec un R^2 de 0,80), ce qui, compte-tenu de l'ampleur de la variation de la part modale et de la simplicité de la formulation, est tout de même intéressant. C'est cette formulation que nous retenons.

Formulation 46

$$\ln(Ta/Ttgv) = 0,8052 - 0,0100 Rtgv$$

(5,8) (7,87)

$$R^2=0,80 ; DW=0,62$$

La non significativité du PIB dans le cadre d'un partage modal air/TGV peut s'expliquer sur un plan théorique. La hausse des revenus entraîne une hausse des valeurs du temps, ce qui conduit les individus à privilégier davantage les modes de transport les plus rapides. Or, sur de nombreuses liaisons, le TGV est un mode de transport aussi rapide en porte à porte – voire plus rapide – que l'avion. Il est donc normal que le PIB n'ait pas l'influence décisive qu'il peut avoir dans le cadre d'un partage modal air / ensemble du trafic fer.

L'absence des variables de prix s'explique plutôt par des limites de mesurabilité. L'évolution du prix du TGV ne suit pas nécessairement exactement l'évolution du prix moyen du fer. Par ailleurs, l'indicateur d'extension du réseau TGV est forcément en partie approximatif, et n'intègre pas l'amélioration progressive des fréquences. Compte-tenu de l'imprécision des indicateurs, seule la principale variable explicative apparaît comme décisive.

3.3.2. Formulations loglinéaires

On teste alors les fonctions d'utilité en testant cette fois les formes logarithmiques. Dans un premier temps (Formulation 48) on teste le PIB, la vitesse TGV écrêtée, les variables fer et air et la variable "Polit". Le DW est correct. Toutefois certaines variables (PIB et prix de l'air) sont non significativement différentes de 0, (et aussi d'un signe contraire à la logique en ce qui concerne le prix de l'air dans la Formulation 47. On reteste alors l'équation en ne conservant que les variables significativement différentes de 0 (Formulation 51). Le DW est correct même s'il est faible. Tous les coefficients sont significativement différents de 0. Toutefois, comme dans les formulations linéaires, l'élasticité par rapport au prix du fer est trop forte : 8. On teste alors une équation ne prenant en compte que la vitesse ferroviaire écrêtée (Formulation 54). Toutefois le DW est (comme dans la spécification linéaire) très faible (0,5).

Formulation 47

$$\ln(Ta/Ttgv) = -24,6 + 1,52 \ln Pib + 2,70 \ln Pa + 2,51 \ln Pf - 1,39 \ln Rtgv$$

(2,99) (1,29) (1,54) (0,78) (9,50)

$$R^2=0,97 ; DW=0,74$$

Formulation 48

$$\ln(Ta/Ttgv) = -27,1 + 0,85 \ln Pib - 0,32 \ln Pa + 8,4 \ln Pf - 1,55 \ln Rtgv - 0,35 Polit$$

(7,0) (1,5) (0,4) (4,8) (21,2) (6,6)

$$R^2=0,99 ; DW = 1,58$$

Formulation 49

$$\ln(Ta/Ttgv) = -15,83 + 0,76 \ln Pib + 6,01 \ln Pf - 1,28 \ln Rtgv$$

(3,36) (0,82) (3,5) (-10,57)

$$R^2=0,97 ; DW=0,65$$

Formulation 50

$$\ln(Ta/Ttgv) = -22,43 - 0,82 \ln Pa + 10,53 \ln Pf - 1,49 \ln Rtgv - 0,36 Polit$$

(9,0) (1,6) (9,7) (22,3) (6,6)

$$R^2=0,99 ; DW=1,47$$

Formulation 51

$$\ln(Ta/Ttgv) = -26,1 + 0,68 \ln Pib + 8,9 \ln Pf - 1,55 \ln Rtgv - 0,35 Polit$$

(9,8) (2,3) (10,7) (22,1) (7,6)

$$R^2=0,99 ; DW = 1,58$$

Formulation 52

$$\ln(Ta/Ttgv) = -14,47 + 6,62 \ln Pf - 1,33 \ln Rtgv$$

(3,3) (4,3) (13,2)

$$R^2=0,96 ; DW=0,57$$

Formulation 53

$$\ln(Ta/Ttgv) = -25,0 + 10,2 \ln Pf - 1,38 \ln Rtgv - 0,26 Polit$$

(7,2) (8,3) (20,1) (4,0)

$$R^2=0,99 ; DW=1,00$$

Formulation 54

$$\ln(Ta/Ttgv) = 4,1 - 0,95 \ln Rtgv$$

(12,3) (13,1)

$$R^2=0,91 ; DW = 0,52$$

3.4. Modélisation de la répartition transports rapides / trains rapides nationaux

Dans un premier temps (Formulation 55), nous modélisons la répartition modale en intégrant, outre les variables de PIB et de réseau TGV, le prix de l'air et du fer. Dans un deuxième temps, nous retirons la variable prix du fer, les deux modes considérés (modes rapides et train classique) étant tous les deux concernés par l'évolution du prix du fer (Formulation 56).

Formulation 55

$$\ln((Ta+Ttgv)/(Ta+Tf)) = -2,4 + 0,00028 Pib - 0,088 Pa + 0,22 Pf + 0,011 Rtgv$$

(1,7) (1,0) (3,3) (1,8) (7,0)

$R^2=0,99$; $DW=0,84$

Formulation 56

$$\ln((Ta+Ttgv)/(Ta+Tf)) = 0,82 + 0,00027 Pib - 0,065 Pa + 0,014 Rtgv + 0,26 Polit$$

(1,4) (2,8) (8,8) (17,6) (7,6)

$R^2>0,99$; $DW=2,30$

3.5. Conclusion sur l'architecture à 4 modes

La cohérence de l'architecture air/TGV est difficile à assurer. Le prix de l'air n'est pas présent dans l'équation de séparation TGV/air, ce qui n'est guère cohérent avec sa présence dans l'équation de séparation modes rapides / modes lents. La non connaissance de l'évolution spécifique du prix du TGV au sein du fer rend par ailleurs problématique la prise en compte des coûts du TGV. Faute de pouvoir intégrer les prix, la modélisation selon une architecture à 4 modes ne comprendrait alors que les variables de PIB et extension du réseau TGV. Au sein des modèles génération / partage modal nous préférons privilégier les modèles à architecture 3 modes testés dans la section précédente.

V. Conclusion

Nous avons ainsi abouti à deux types de modélisation : une architecture correspondant au calage d'un modèle de demande directe et une architecture correspondant à un modèle mixte : équation de demande directe pour modéliser la route + modèle de génération / partage modal pour modéliser le partage modal air/fer.

Une modélisation soumise à la contrainte de mesurabilité ... mais qui permet d'identifier les poids respectifs des principaux facteurs d'évolution des trafics à longue distance

Si le trafic autoroutier se prête bien à des modélisations sur séries temporelles, les trafics des modes collectifs, particulièrement le trafic ferroviaire, sont plus délicats à modéliser. Le trafic ferroviaire est en effet soumis à la double concurrence de l'autoroute et de l'air. Le trafic longue distance consiste en la superposition de plusieurs marchés. Dans le présent chapitre, plusieurs architectures ont été testées. La variable R_f traduisant l'extension du réseau TGV et l'augmentation de la vitesse du fer, a été construite de façon à intégrer des seuils de concurrence entre l'air et le fer. Néanmoins, pour améliorer la qualité de la modélisation, il aurait été souhaitable de pouvoir segmenter les trafics air et fer et caler des modèles génération / partage modal sur séries temporelles segmentées. Malheureusement les données adéquates n'étaient pas disponibles. Les données ferroviaires ne sont disponibles que sur la période 1996-2000, ce qui est trop court pour les mettre en face des données aériennes (qui sont par ailleurs des données aéroport à aéroport et non pas des matrices origines-destinations). Le recueil de données origines-destinations ferroviaires sur une plus longue période et la connaissance des origines-destinations aériennes (et non pas simplement de

trafics aéroport à aéroport) permettrait d'affiner la modélisation. D'autres éléments liés à la mesurabilité sont venus limiter les possibilités de modélisation : ruptures comptables dans les séries de données, manque d'information sur les politiques tarifaires, grèves.

Malgré ces limites qui ont été explicitées tout au long du chapitre, les études sur séries temporelles se révèlent précieuses pour analyser les poids respectifs des trafics à longue distance. En effet, pour produire des simulations sur le long terme, il est nécessaire de s'appuyer sur de la variance temporelle. Les différentes équations étudiées ont permis de mettre en évidence des relations structurantes de long terme entre les séries de trafic et certains facteurs explicatifs. Les trafics observés et reconstitués par les modèles sont proches. Les modèles de demande directe et de génération – partage modal conduisent à des résultats similaires en termes d'élasticités, ce qui est un gage de robustesse.

Des valeurs d'élasticités cohérentes avec les résultats d'autres recherches et qui permettent de tirer certains enseignements

L'élasticité par rapport au PIB est supérieure à 1 pour les trafics aériens et autoroutiers (1,5 pour le trafic aérien et 1,3 pour le trafic sur autoroutes concédées) mais est plus petite pour le trafic ferroviaire (0,3 à 0,5). Étendre le réseau autoroutier a un impact important sur la croissance du trafic autoroutier. L'élasticité de l'indice de croissance de la circulation par rapport à l'indicateur d'utilité autoroutière est de l'ordre de 0,74, ce qui fait une élasticité par rapport à la longueur du réseau autoroutier de l'ordre de 0,30. L'élasticité du trafic total VL sur autoroutes (y compris extension du réseau) par rapport à la longueur autoroutière est de l'ordre de 0,8. L'élasticité du trafic sur autoroutes concédées par rapport au coût du kilomètre sur autoroutes concédées (carburant + péages) est de l'ordre de -0,6. Les impacts de l'extension du réseau ferroviaire à grande vitesse et de l'évolution des tarifs ferroviaires sur la croissance du trafic sur autoroutes concédées ne sont pas très significatifs. L'élasticité du trafic ferroviaire par rapport à notre indicateur de vitesse du fer est de l'ordre de 0,3 à 0,45. L'élasticité du trafic aérien par rapport à l'indicateur de vitesse ferroviaire est faible et pas toujours très significatif. Il est difficile de produire des élasticités des trafics ferroviaires et aériens par rapport aux indicateurs de produit moyen ferroviaire et aérien. La SNCF a amélioré sa politique commerciale, mettant en place une politique de yield management et optimisant ses tarifs en fonction du degré de concurrence de la route et de l'air par rapport au fer selon les origines-destinations. Cette évolution de la politique tarifaire a dû modifier l'élasticité du trafic ferroviaire par rapport au produit moyen du fer et les augmentations des produits moyens du fer du début des années 1990 et de la fin des années 1990 n'ont pas la même signification. Pour l'aérien, l'ouverture du ciel à la concurrence en 1997 a entraîné le même type de problème. Par ailleurs le changement d'indicateur de prix en 1997 pour représenter l'évolution du coût de l'aérien a automatiquement eu des conséquences sur l'élasticité. D'après les modèles il semblerait que les élasticités du trafic ferroviaire par rapport au prix du fer et du trafic air par rapport au prix de l'air soient élevées, celle du trafic air par rapport au prix du fer également élevée, celle du trafic fer par rapport au prix de l'air moindre, mais il faut être prudent.

Ces résultats sont certes à prendre avec une certaine prudence, néanmoins ils rejoignent en ordre de grandeur des résultats produits par d'autres modèles. Ainsi la hiérarchie des facteurs est la même selon MATISSE (INRETS, 1997b) et selon nos modèles. L'élasticité apparente du trafic aérien par rapport à la croissance économique sur la période 1992-2015 est de 1,3 contre 1,5 pour nous, celle du trafic fer par rapport à la croissance économique sur la période

1992-2015 est de 0,5 contre 0,4 à 0,5 pour nos modèles génération / partage modal (les modèles de demande directe produisent une élasticité de 0,20). L'élasticité du trafic autoroutier par rapport à la croissance économique est de 1,0 sur 1992-2015 selon (INRETS, 1997b) et est ainsi inférieure à la nôtre (de l'ordre de 1,3). Toutefois les définitions des trafics routiers sont différentes : trafics autoroutes concédées + autoroutes non concédées à plus de 50km pour (INRETS, 1997) ; tous trafics sur autoroutes concédées pour nous. Entre 1980 et 1992, la croissance des trafics observée est de 94% selon (INRETS, 1992) contre 126% pour nous alors que si les définitions étaient analogues, les croissances seraient identiques. Notre plus forte élasticité à la croissance économique est à rapprocher de la plus forte croissance des trafics observés avec notre définition que dans la définition (INRETS, 1997). L'élasticité du trafic autoroutier par rapport au coût autoroutier est de -0,5 selon MATISSE alors qu'elle est de -0,6 dans nos modèles. L'élasticité du volume de trafic autoroutier par rapport à la longueur du réseau autoroutier est de 0,50 sur 1992-2015 selon MATISSE alors qu'elle est de l'ordre de 0,6 à 0,8 selon nos formulations. En fait MATISSE prévoit une rupture de l'élasticité du trafic autoroutier par rapport à la longueur du réseau autoroutier : 0,85 sur 1980-1992 puis 0,50 sur 1992-2015. Les élasticités du trafic ferroviaire et aérien par rapport aux indicateurs relatifs au réseau ferroviaire ne sont pas comparables car ce ne sont pas les mêmes indicateurs. Toutefois, on peut essayer de comparer, sur la période 1992-2015, les impacts de l'amélioration du réseau TGV, entre MATISSE et nos modèles : MATISSE évalue la variation du trafic ferroviaire sur cette période à +20% et celle du trafic aérien à -20% ; les modèles de demande directe produisent +17% d'augmentation pour le trafic ferroviaire et -6% pour le trafic aérien ; les modèles de génération / partage modal produisent +11% d'augmentation pour le trafic ferroviaire et aucun impact significatif sur l'air. Nos modèles semblent légèrement sous-évaluer l'impact de la mise en service des TGV sur le trafic ferroviaire. Par ailleurs, nos modèles semblent sous-évaluer la baisse de trafic aérien engendrée par le TGV ; toutefois la fourchette de 0% à -20% de baisses produites par les divers modèles est à comparer aux +120% d'augmentation du trafic aérien sur la période, ce qui relativise largement les divergences d'estimation. En ce qui concerne le prix du fer, l'évolution de la tarification SNCF entre 1980 et 1992 a entraîné selon le modèle MATISSE une hausse du trafic ferroviaire de 0,4%/an, alors que le produit moyen par voyageur.kilomètre a *augmenté* de 0,1%/an. Ce phénomène est dû à l'évolution de la structure des tarifs SNCF qui ont augmenté sur les courtes distances et baissé sur les longues distances davantage soumises à la concurrence intermodale. Ceci montre les limites du calcul d'une élasticité apparente au produit moyen, lorsque le produit moyen n'a pratiquement pas varié alors que la structure tarifaire a évolué. En ce qui concerne le mode aérien, les résultats produits dans (INRETS, 1999) ne distinguent pas impact des prix et impact des fréquences, ce qui rend caduc le calcul d'une élasticité apparente.

Cette modélisation nous permet de tirer des conclusions quant à l'évolution des trafics longue distance à un horizon 2020. La croissance économique constitue le facteur prépondérant dans l'évolution des trafics ; une hausse du PIB de 2% par an sur 20 ans conduit à une hausse de 22% des trafics ferroviaires, 67% des trafics autoroutiers, 80% des trafics aériens. Le développement du réseau TGV permet d'améliorer les perspectives du trafic ferroviaire. Si à l'échelle de certaines origines-destinations, le TGV est apte à reprendre des parts de marché à l'aérien, à l'échelle nationale, ses performances se révèlent insuffisantes à elles seules pour contrecarrer durablement la hausse du trafic aérien, ou pour affecter la croissance du trafic autoroutier. Jouer sur le prix de la route constitue un levier d'action intéressant sur le trafic autoroutiers, même si l'élasticité est inférieure à 1 (-0,6). Cette élasticité a été essentiellement calibrée sur une baisse du prix de l'essence, la chute du prix des carburants du milieu des années 1980 constituant l'événement marquant de la période. Si on suppose que l'élasticité par

rapport à une hausse des tarifs est identique à l'élasticité par rapport à une baisse des tarifs (soit $-0,6$), une hausse des coûts routiers doit entraîner une baisse des trafics autoroutiers mais une hausse des recettes (l'élasticité étant inférieure à 1). Toutefois il se pose la question de l'acceptabilité d'une mesure de hausse de la TIPP ou des péages autoroutiers. L'impact des autres facteurs est à considérer avec prudence. En matière de longueurs d'autoroutes construites, il n'y a pas eu par le passé de rupture. Toutefois les futurs tronçons seront de plus en plus destinés à décharger les tronçons en voie de saturation. Il n'est pas possible de dire si l'évolution de leur utilité se fera au même rythme que les évolutions de 1980-1999. Quant aux prix du fer et de l'air il est certain que leur variation a un impact significatif sur les trafics mais il est difficile de les quantifier, les évolutions de structure de prix ayant un impact aussi important que l'évolution du produit moyen dans un contexte de stagnation des prix.

Conclusion générale

L'objectif de ce travail était de construire un outil simple et macro-économique permettant de simuler l'évolution des trafics sur les réseaux à grande vitesse selon différents scénarios de croissance économique et de grandes orientations de politiques de transport. Après avoir présenté les bases de données disponibles, explicité les principaux déterminants de la mobilité à longue distance et analysé les différentes méthodes de modélisation existantes, nous avons testé plusieurs architectures de modèles calés sur séries chronologiques. Nous nous interrogeons sur les enseignements de ces modèles, leur opérationnalité, leurs intérêts et leurs limites.

Les modèles calés sur séries temporelles forment un outil bien adapté pour modéliser les dynamiques de long terme des trafics. Pour effectuer des simulations à long terme, il paraît en effet fondamental de s'appuyer sur des élasticités calées sur de la variance temporelle. Or les élasticités en coupe instantanée divergent généralement des élasticités temporelles, car elles traduisent seulement des écarts intergroupes, sans tenir compte des effets de génération ou de période. Pour obtenir des élasticités applicables dans le cadre de simulations de long terme, il serait nécessaire de disposer de plusieurs enquêtes successives afin d'élaborer des modèles âge-cohorte. Or nous ne disposons que de deux enquêtes-transports (1982 et 1993), qui doivent par ailleurs être comparées avec une certaine prudence compte-tenu des évolutions de méthodologies d'une enquête à l'autre et de la faible taille des échantillons. Des calages effectués en coupe instantanée risqueraient de conduire à des projections biaisées. L'utilisation de séries chronologiques paraît d'autant plus souhaitable dans le cas de la longue distance que les trafics des réseaux à grande vitesse ont augmenté à un rythme très soutenu (triplément des trafics aériens et autoroutiers au cours des vingt dernières années) et que la croissance économique constitue un déterminant crucial de la mobilité à longue distance. Pour le trafic autoroutier par exemple, les inflexions de croissance des trafics suivent celles de la croissance économique, traduisant une relation étroite entre les deux entités. Identifier des relations structurantes de long terme constitue un gage de fiabilité d'une modélisation.

Les modèles calés sur séries chronologiques présentent néanmoins un certain nombre de limites. Ces modèles sont généralement des modèles de demande directe, occultant ainsi la logique de génération – partage modal. Par ailleurs les variables utilisées sont nécessairement agrégées, ce qui soulève des problèmes de pertinence en cas de forte hétérogénéité spatiale dans la variation du facteur explicatif. Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes attachés à tester différentes architectures de modèles (modèles de demande directe et de génération / partage modal ; architectures à 3 et à 4 modes) ainsi que différentes spécifications (linéaires et loglinéaires). Par ailleurs, afin d'améliorer la pertinence de la variable vitesse ferroviaire, nous avons construit un indicateur traduisant des effets de seuil.

A l'issue du test des différentes architectures, deux types de structures sont sélectionnés : modèles de demande directe et modèle « mixte » à 3 modes (équation de demande directe pour le trafic autoroutier combinée à un modèle de génération – partage modal pour l'air et le fer). Les résultats de ces deux approches sont globalement cohérents, ce qui est un signe de robustesse. Au sein de l'architecture mixte à 3 modes, des spécifications linéaires et loglinéaires produisent des résultats semblables, ce qui est là aussi un indice de robustesse. Peu influencé par la concurrence des autres modes à l'échelle nationale, le trafic autoroutier

est correctement modélisé par une équation de demande directe. Pour les transports collectifs en revanche, une architecture de partage modal paraît préférable en termes de pertinence. Toutefois, le marché de la longue distance recouvre des segments de mobilité aux partages modaux contrastés et aux dynamiques différentes. Pour améliorer la pertinence de la modélisation, il aurait été souhaitable de segmenter les trafics par catégories d'origines-destinations, si possible aussi entre marchés professionnel et personnel. Cette démarche se heurte toutefois à un problème de mesurabilité. Les matrices SNCF ne sont disponibles que sur quelques années. Nous ne possédons pas de données origines-destinations pour les autoroutes concédées. Pour l'aérien nous disposons de plus d'informations puisque nous connaissons les trafics aéroport à aéroport année par année depuis 1986 ; toutefois il ne s'agit pas de matrices origines-destinations. La construction de séries chronologiques par segments homogènes s'avère ainsi impossible.

Les modèles calés sur séries chronologiques nécessitent l'emploi d'un nombre limité de variables explicatives et ces variables sont fortement agrégées. Au sein de notre modèle, nous prenons en compte les seules variables croissance économique et offre de transport (en termes de vitesse comme en termes de prix). Bien sûr ces déterminants ne sont pas les seuls facteurs explicatifs de la longue distance : motorisation, structure démographique, effets de génération et évolution des modes de vie influencent tant le niveau de mobilité totale que le partage modal. L'offre de transport ne se résume pas aux dimensions vitesse et prix, mais intègre aussi fréquences, lisibilité des horaires, confort, ponctualité, fiabilité : ces éléments participent aux choix de déplacements. Toutefois, lors du chapitre 2, nous avons pu voir l'ampleur de l'impact des facteurs croissance économique et revenus, vitesse et prix sur les déplacements : triplement du nombre de déplacements entre premier et dernier quintile de revenu, changement radical de répartition modale entre le segment des déplacements professionnels à longue distance et les déplacements personnels de courte et moyenne distance. Ces facteurs semblent a priori être les principaux facteurs explicatifs mesurables.

Le caractère agrégé des variables explicatives nous semble soulever davantage de difficultés en termes de pertinence. Pour la vitesse ferroviaire, une même variation de temps de parcours revêt des impacts différenciés suivant la tranche de temps de parcours initiale. Une même vitesse moyenne à l'échelle nationale peut correspondre à des structures de vitesses différentes donc à des impacts différents sur les trafics. Ne pouvant segmenter les trafics, et afin de contourner cet écueil, nous avons construit une variable de vitesse ferroviaire amendée qui prend en compte les effets de seuil dans la concurrence air/fer. Cet indicateur privilégie les variations de temps de parcours sur les seules tranches horaires où s'effectue le basculement de l'air vers le fer et traduit l'efficacité de la structure des vitesses. En matière de coût de transport, les politiques de prix se sont affinées au cours des dernières années, avec le développement du yield management. Il aurait été souhaitable de segmenter les trafics ou de retravailler les indicateurs de prix de l'air et du fer de façon à intégrer un effet de structure (comme pour la vitesse ferroviaire) mais nous nous sommes heurtés à un problème de mesurabilité : nous ne connaissons pas l'évolution des produits moyens par liaison. Les concepts de produit moyen de l'air ou du fer perdent dès lors une partie de leur signification. Lorsque l'évolution du produit moyen est de grande ampleur par rapport aux fluctuations des prix, comme ce fut le cas pour l'aérien pendant les années 1980, il est vraisemblable que l'impact de la baisse globale du produit moyen l'emporte sur la variabilité des prix. En revanche, lorsque le produit moyen fluctue peu, comme c'est le cas pour le fer, la variabilité des prix risque de jouer un rôle aussi important que l'évolution de produit moyen et les élasticités au produit moyen obtenues sont à prendre avec une certaine prudence.

Les modèles retenus (équations de demande directe d'une part et modèle « mixte » d'autre part) ne sont pas totalement cohérents sur le plan interne, puisque certaines élasticités globales obtenues à l'issue de l'association des différentes équations du modèle présentent un signe non conforme à la logique économique. Ainsi, dans le cadre du modèle génération / partage modal air et fer, l'élasticité du trafic aérien par rapport à l'indicateur de vitesse ferroviaire est légèrement positive et celle du trafic ferroviaire par rapport au prix de l'aérien est légèrement négative. Toutefois les élasticités en question sont de faibles amplitudes en valeur absolue (de l'ordre de 0,1) : ces élasticités sont davantage à interpréter comme une non significativité de l'impact des facteurs explicatifs que comme une non cohérence interne du modèle ; ces anomalies de signes ne sont pas de nature à remettre en cause l'opérationnalité des modèles. Les autres élasticités des modèles retenus ont un signe pertinent, conforme à la logique économique. Par ailleurs les trafics observés se révèlent parfaitement bien reconstitués.

Même si certaines élasticités sont à prendre en ordre de grandeur compte-tenu des limites d'opérationnalité précédemment mentionnées, les modélisations effectuées ont permis de mettre en évidence les poids respectifs des principaux déterminants de la longue distance. Le présent travail permet ainsi d'éclairer les évolutions de la longue distance sur les prochaines années, ainsi que les leviers d'action possibles. La croissance économique devrait entraîner une progression importante des trafics tant autoroutiers qu'aériens avec une élasticité largement supérieure à 1. L'élasticité du trafic ferroviaire à la croissance économique semble plus modeste, même si elle est à prendre avec une certaine précaution, compte-tenu de la superposition au sein du trafic ferroviaire de modes lents et rapides (TGV et trains classiques). Parmi les leviers d'action qui peuvent être mis en œuvre pour influencer le niveau de mobilité et le choix modal, une politique d'extension du réseau TGV permettrait de dynamiser le trafic ferroviaire, mais se révèle insuffisante pour contenir la croissance des trafics aériens et routiers. L'extension du réseau autoroutier est de nature à augmenter des trafics sur autoroutes concédées, bien que dans des proportions très inférieures à l'impact de la croissance économique. Les variations de prix ont un impact significatif sur les niveaux de trafic. L'élasticité du trafic autoroutier par rapport au coût du trajet autoroutier est ainsi de -0,6. Une augmentation du coût de l'autoroute, qu'elle soit liée à un prix du baril plus élevé ou à des hausses de taxes sur les carburants internalisant les coûts externes, constitue un levier fort de modération des trafics automobiles. Pour les modes aériens et ferroviaires, il est difficile de produire des valeurs fermes d'élasticités par rapport aux prix car les politiques tarifaires et la variabilité des prix comptent autant que les évolutions globales de produit moyen. Les modélisations montrent néanmoins qu'il existe une sensibilité significative des trafics par rapport au prix : l'outil tarifaire constitue là aussi un levier d'action. Les marges de manœuvre de l'action politique restent toutefois limitées face à l'impact très fort de la croissance économique.

En termes d'approfondissements possibles, il pourrait être intéressant d'affiner les variables explicatives des modèles. L'indicateur de vitesse ferroviaire a été calculé à partir des principales radiales mais nous pourrions affiner cet indicateur en l'évaluant à partir d'un zonage plus fin, ou en intégrant des origines-destinations transversales. La prise en compte des politiques de prix est plus délicate à effectuer, compte tenu de l'absence de données dans ce domaine. Il nous semble toutefois que la seule façon d'améliorer significativement la qualité du modèle serait de pouvoir segmenter les trafics en classes d'origines-destinations homogènes. Les bases de données à notre disposition n'ont pas permis une telle décomposition dans le cadre de ce travail. La connaissance de matrices origines-destinations ferroviaires sur une période temporelle longue permettrait d'ouvrir de nouvelles perspectives.

Par ailleurs, l'éventualité d'une enquête transport en continu pourrait être la source de nouvelles réflexions sur les méthodes de modélisation envisageables.

Bibliographie

Alperovich G, Machnes Y (1994), The Role of Wealth in the Demand for International Air Travel, *Journal of Transport Economics and Policy*, pp163-173.

Andrikopoulos AA, Brox JA (1990), Canadian Inter-City Passenger Transportation: a Simultaneous Equation Approach, *International Journal of Transport Economics*, vol. XVII-N°3, pp311-328.

Armoogum J, Madre JL, Krakutovski Z (2003), *Validation et amélioration de l'approche démographique de la mobilité urbaine*, rapport INRETS, 72p + annexes.

Armoogum J, Madre J-L (1998), Correction et redressement d'une enquête : les voyages à longue distance dans l'enquête transport, *Actes du colloque "Déplacements à longue distance. Mesures et analyses"*, SES, Paris, février 1998, pp 23-31.

Armoogum J, Madre JL, (1998), *Redressement de l'enquête transports pour l'estimation des matrices origine-destination*, rapport INRETS n°223, Arcueil, 49p.

Armoogum J, Madre J-L (1997), Du redressement des non réponses totales aux contrôles sur la cohérence des réponses, *Recherche Transports Sécurité*, n°57.

ASFA (2001), *Rapport d'activité du secteur autoroutier*, ASFA, Paris, 40p.

ASFA (1999), *Liste des sections au 1er janvier 1999 sur le réseau total*, ASFA, Paris, 25p.

Beauvais JM (1992), A offre nouvelle, mobilité nouvelle?, *Transports Urbains*, n°74, pp5-7.

Bel I Queralt G (1995), Interurban Competition on Inter-Urban Rail, *International Journal of Transport Economics*, vol.XXII-No2, juin 1995, pp181-198

Bel I Queralt G (1996), On the theoretical and empirical microfoundations of intermodal competition on inter-urban rail, *International Journal of Transport Economics*, vol.XXIII-n°3, pp383-391.

Ben Akiva M, Lerman SR (1985), *Discrete Choice Analysis, Theory and Application to Travel Demand*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, USA, 4ème édition, 390p.

Bergel R, Blain JC, Jiang F (1995), *Elasticités du trafic ferroviaire de voyageurs à la consommation et aux prix*, Note de synthèse de l'OEST, novembre 1995.

Bergel R, Mignot V (1992), *Une modélisation à court terme de la circulation routière*, Note de synthèse de l'OEST, avril 1992.

Bergel R, Nespoux V (1996), Modélisation de la demande à court terme de la demande bimodale route/fer de transport, *Actes du groupe de travail "Modélisation du trafic" 1996*, INRETS, Arcueil, pp39-56.

Blain JC (1996), *Les difficultés du trafic ferroviaire de voyageurs bénéficient à la circulation automobile*, Note de synthèse du SES, mars 1996.

Blain JC, Nguyen L (1994a), *Modélisation des trafics de voyageurs: prise en compte de la qualité de l'offre*, Note de synthèse de l'OEST, janvier 1994.

Blain JC, Nguyen L (1994b), *Modélisation des trafics de voyageurs*, OEST, Paris, 133p.

Boiteux M (Prés.), Baumstark L. (2001), *Transport : choix des investissements et coûts des nuisances*, Commissariat Général du Plan, Paris.

Bonnafous A (Prés), Baumstark L, Lapeyre J (1998), *Les perspectives de la demande de transport à l'horizon 2015*, Commissariat Général du Plan, Paris, 88p.

Bonnafous A (1989), *Le siècle des ténèbres de l'économie*, Economica, Paris, 189p.

Bonnafous A (1987), The regional impact of the TGV, *Transportation* 14, pp127-137.

Bonnafous A, Pattier-Marque D, Plassard F (1981), *Les déplacements d'affaires Paris-Rhône-Alpes*, Laboratoire d'Economie des Transports, Collection Etudes et Recherches, Lyon.

Bonnel P (2004), *Prévoir la demande de transport*, Presses de l'ENPC, Paris, 432p.

Bonnel P, Cabanne I, Massot MH (2003), *Evolution de l'usage des transports collectifs et politiques de déplacements urbains*, La documentation Française, collection « Le point sur », 81p.

Bonnel P, Klein O (1999), *Séminaire TGV*, document pédagogique réalisé dans le cadre du cours Politique et Economie des Transports, ENTPE, Lyon.

Bonnet M (1987), *Les voyageurs pour motif de loisirs face aux actions de régulation temporelle du trafic interrégional. Deuxième tome: rythmes de vie et déplacements de loisirs*, rapport INRETS n°29, Arcueil, 123p.

Boulahbal M, Madre JL (2000), Dynamic Analysis and Forecasting of Public Transportation Demand Using a Combination of Demographic and Economic Approaches, *communication à la Conférence de l'AET (Association for European Transport)*, Cambridge, 11-13 septembre 2000, vol. K, pp227-238.

Bourbonnais R (2000), *Econométrie*, Dunod, Paris, 314p.

Box GP, Cox DR (1964), An Analysis of Transformation, *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, 26, pp211-243.

Bravais J, Segueineau S (1998), Présentation du panel SNCF, *Actes du colloque "Déplacements à longue distance. Mesures et analyses"*, SES, Paris, février 1998, pp68-92.

Bresson G, Madre J-L, Pirotte A (1996), Prévision du trafic automobile sur différents types de réseaux aux niveaux national et régional, *Actes du groupe de travail "Modélisation des trafics" 1996*, INRETS, Arcueil, pp11-38.

Bresson G, Pirotte A (1995), *Econométrie des séries temporelles : théorie et applications*, PUF, collection Econométrie, Paris.

Cabanne I (2003), A long term model for long distance travel in France, *communication à la conférence de l'AET (Association for European Transport)*, Strasbourg, 11-13 octobre 2003.

Calio J, Méteyer JC (2001), *Le modèle multimodal de transport intérieur à longue distance du SES : MODEV*, Note de synthèse du SES, juillet-août 2001, 8p.

Calzada C (1999), *Top modèles de transport*, SES, Paris, non paginé.

Calzada C, Hammadou H (1998), Estimation micro-économétrique du choix modal pour les flux Ile de France - Nord Pas de Calais. Panel TGV Nord, *Actes du colloque "Déplacements à longue distance. Mesures et analyses"*, SES, Paris, novembre 1998, pp 404-410.

Calzada C, Hammadou H (1998), Les modélisations du choix modal, *Actes du colloque « Les mesures d'impact d'une nouvelle infrastructure sur la mobilité : le cas du TGV Nord »*, SES, Paris, novembre 1998.

Calzada C, Marchal P, Morellet O, Soleyret D (1997), Evolution du trafic français de voyageurs à longue distance : tendances passées et orientations futures, *Recherche Transports Sécurité* n 56.

Calzada C (1997), *Comparaison des estimations du SES et de l'INRETS pour l'étude des projets d'infrastructures*, Note de synthèse du SES, mars-avril 1997.

Canales M (2002), *Circulation sur le réseau routier national et prix des carburants: les années 2000 et 2001*, Note de synthèse du SES, mars-avril 2002, 6p.

Carlsson F (1999), *Private versus Business and Rail versus Air Passengers : Willingness to Pay for Transport Attributes*, Working Papers in Economics n 14, Department of Economics, Göteborg University.

CEMT (1996), *La mobilité induite par les infrastructures*, CEMT, Table ronde n 105, Paris, 332p.

CERTU (2003), *Modélisation des déplacements urbains de voyageurs. Guide des pratiques*, CERTU, Collection Références, Lyon, 242p.

CERTU (1998), *Comportements de déplacements en milieu urbain : les modèles de choix discrets. Vers une approche désagrégée et multimodale*, CERTU.

Chaigneau E (1986), *Les voyageurs pour motif de loisirs face aux actions de régulation temporelle du trafic interrégional. Premier tome: les fluctuations de la demande au cours de l'année*, rapport INRETS n 14, Arcueil, 149p.

Chopin Y (1998), Modélisation des effets des grands projets: l'expérience de la SNCF, *Actes du colloque "Déplacements à longue distance. Mesures et analyses"*, SES, Paris, février 1998, pp 196-218.

CITEPA (2003), *La pollution atmosphérique*, <http://www.citepa.org/pollution/index.htm>, version du 15/02/2003.

CITEPA (2002), *Inventaire des émissions de polluants atmosphériques en France - séries sectorielles et analyses étendues*, CITEPA, Paris, 202p, en ligne sur <http://www.citepa.org/emissions/nationale/index.htm>.

Commission Européenne (2001), *Livre blanc: la politique européenne des transports à l'horizon 2010 : l'heure des choix*, Luxembourg, Office des Publications Officielles des Communautés Européennes, 135p, en ligne sur http://europa.eu.int/comm/energy_transport/fr/lb_fr.html.

Commissariat Général du Plan (1992), *Transports 2010*, La Documentation Française, Paris, 516p.

Conseil Général des Ponts et Chaussées (2001), *Bilan LOTI du TGV Atlantique*, rapport du Conseil Général des Ponts et Chaussées, Paris, 46p, en ligne sur http://www.equipement.gouv.fr/rapports/themes_avis/transport/avis_1999-0163-01.pdf au 15/03/2003..

Conseil National des Transports (1999), *Les schémas multimodaux de services collectifs de transport de voyageurs et de marchandises*, Conseil National des Transports, Paris, 16p, en ligne sur <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/024000512.shtml>.

CORINAIR working group on emission factors for calculating 1990 emissions from road traffic - Commission of the European Communities (1993), *Volume 1. Methodology and emissions factors*, ECSC-EEC-EAEC, Bruxelles-Luxembourg, 115p.

Coto-Millan P (1996), Intermodal Competition on Inter-Urban Rail: Theoretical and Empirical Microfoundations, *International Journal of Transport Economics*, vol.XXIII-N°3, pp379-381.

Coto-Millan P, Banos-Pino J, Inglada V (1998), Railway Inter-City Passenger Transport in Spain : a Cointegration Analysis, *Proceedings of The World Conference on Transport Research*, vol.III, pp161-160.

Curtet R, Sahli H, Goujon C (1993), *L'enquête aux frontières 1989-1990. Exploitation transport*, OEST, Paris, 221p.

Dagenais M, Gaudry M (1986), Can Aggregate Direct Travel Demand Models Work?, *Proceedings of the World Conference on Transport Research*, Vancouver, pp1669-1676.

Damette F (1994), *La France en villes*, DATAR, La Documentation française, Paris, 271p.

DGAC (2003), *Dossier : comment évolue le marché du transport aérien?*, http://www.aviation-civile.gouv.fr/html/actu_gd/libe_ta/libe_ta.htm, version du 12/02/2003.

DGAC (2003), *Bulletin statistique, trafic commercial*, <http://www.aviation-civile.gouv.fr/html/prospace/stats/commerc.htm> version du 12/02/2003

Dumartin G, Maurice E (1998), Segmentation des déplacements et modélisation du partage modal à longue distance, *Actes du colloque "Déplacements à longue distance. Mesures et analyses"*, Paris, février 1998, pp 300-325.

Durand S (2001), *Analyse et modélisation spatiales à long terme du transport national de marchandises*, thèse de Sciences Economiques Mention Economie des Transports, Université Lumière Lyon 2, 450p.

Fitzroy F, Smith I (1998), Passenger Rail Demand in 14 Western European Countries: a Comparative Time Series Study, *International Journal of Transport Economics*, vol.XXV-N°3, pp299-312.

Fowkes, Nash (1991), *Analysing Demand for Rail Travel*, Institute for Transport Studies, Avebury ed., Aldershot, 191p.

Fridstom L, Thune-Larsen H (1989), An econometric air travel demand model for the entire conventional domestic network : the case of Norway, *Transportation Research part B*, juin 1989, pp213-223.

Gabella-Latreille C (1997), *Le modèle Quinquin-fret, un modèle de simulation à l'horizon 2015 des flux de transport de marchandises*, thèse de Sciences Economiques Mention Economie des Transports, Université Lumière Lyon 2, 280p + annexes.

Gac G, Conduche T (1990), *Un modèle de simulation de l'effet de l'offre de transport routier*, Note de synthèse de l'OEST, septembre 1990.

Gallez C (1995), Une nouvelle perspective pour la projection à long terme des comportements d'équipement et de motorisation, *Recherche Transports Sécurité* n°48.

Gallez C, Madre JL (1992), *Le parc automobile dans les années 2000 : méthodes démographiques de projection à long terme*, 6^{ème} Conférence Mondiale sur la Recherche dans les Transports, Lyon, juin-juillet 1992.

Gallez C, Orfeuil J-P (1998), Dis-moi où tu habites je te dirai comment tu te déplaces, in *Données urbaines*, Mattéi F, Pumain D (Ed), Anthropos, Collection Villes, Paris, pp. 157-164.

Gaudry M, Heinitz F, Last J, Mandel B (1998), *Methodological Developments within the Quasi-Direct Format Demand Structure : the Multicountry Application for Passengers MAP-1*, document de travail du CRT n°CRT-98-46, Centre de Recherche sur les Transports de Montréal, 61p, en ligne sur <http://www.crt.umontreal.ca/> au 19/02/03.

Gaudry M (1991), Quelques innovations en économie des transports, *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°23, pp77-88.

Gaudry M (1981), The Inverse Power Transformation Logit and Dogit Mode Choice Models, *Transportation Research*, 15B, pp97-103.

Gaudry M, Dagenais M (1979), The Dogit Model, *Transportation Research*, 13B, 2, pp105-112.

Gaudry M, Wills M (1979), Testing the Dogit Model with Aggregate Time Series and Cross Sectional Travel Data, *Transportation Research* 13B, 2, pp155-166.

Gelhay C (1998), *Modèle prix-temps et valeur du temps*, CETE du Sud-Ouest - DAI-GETT, rapport d'études, 51p.

Girault M (1997), *Mobilité comparée selon les différents modes de transport*, Note de synthèse du SES, mai-juin 1997.

Goodwin PB (1996), *Trafic supplémentaire induit par la construction de routes: preuves empiriques, incidences économiques et implications politiques*, La mobilité induite par les infrastructures, Table ronde n°105, CEMT, Paris: CEMT.

Goodwin PB (1992), A Review of New Demand Elasticities with Special Reference to Short and Long Run Effects of Price Changes, *Journal of Transport Economics and Policy* vol.XXVI-N°2, pp155-169.

Gouider N (1998), *La mobilité à longue distance des ménages en 1994. Enquête "Transports et communications 1993-1994"*, INSEE, collection INSEE Résultats, Paris, 507p.

Gouider N (1997), *Les Français voyagent de plus en plus*, Note de synthèse du SES, septembre - octobre 1997.

Greene WH (1994), *Econometrics Analysis*, Prentice Hall International Editions, 4ème édition, New York, 1004p.

Guilbault M, Morellet O, Olivier-Trigalo M (1989), *L'amélioration de l'offre de transport: de l'induction directe à l'apprentissage de la mobilité à longue distance*, rapport INRETS n°97, Arcueil, 109p.

Hammadou H, Jayet H (2002), La valeur du temps pour les déplacements à longue distance : une évaluation sur données françaises, *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°42, pp3-23.

Hensher, DA, Button KJ (2000), *Handbook of Transport Modelling*, Pergamon.

Houée M (1998), Enseignements de l'enquête pilote française sur la mobilité à longue distance, *Actes du colloque "Déplacements à longue distance. Mesures et analyses"*, SES, Paris, pp 116-147.

Houée M, Calzada C (1996), *Impact du TGV Nord-Européen sur la mobilité (I)*, Note de synthèse du SES, mai 1996.

Houée M, Calzada C, Fleurance C (1997), *Impact du TGV Nord-Européen sur la mobilité (II)*, Note de synthèse du SES, janvier 1997.

Houée M, Calzada C, Lefol J-F (1997), *Impact du TGV Nord-Européen sur la mobilité (III)*, Note de synthèse du SES, juillet-août 1997.

Inoue S, Mohri Y, Kato H, Yai T (2000), A Long Term Passenger Travel Demand Model of Japan, *communication à la 9^{ème} Conférence de l'IATBR*, Australie, juillet 2000, 15p.

INRETS (1997a), *Modèle Matisse. Description détaillée de la version du 14/05/97*, INRETS, document technique, Arcueil, 306p.

INRETS (1997b), *Modèle MATISSE. Application à l'étude multimodale des schémas directeurs*, rapport réalisé dans le cadre de la convention INRETS-SES sur l'utilisation de MATISSE, INRETS, Arcueil, 142p.

INRETS (1997c), *Enquête Transports et Communications 1981/1982, 1993/1994, Déplacements longue distance (>80km à vol d'oiseau)*, INRETS, document technique, Arcueil, 135p.

INRETS (1995), *Modèle MATISSE. Validation de la version du 06/05/95*, INRETS, document technique, Arcueil, 105p.

INRETS/INSEE (1997), *Spécial Enquête Transports et Communications, Recherche Transports et Sécurité*, n°56-57.

INSEE ([1]-annuel), *Les transports en Comptes des Transports de la Nation*, INSEE, collection Synthèses, Paris.

INSEE ([2]-annuel), *Annuaire statistiques*, INSEE, Paris.

Inspection Générale des Finances, Conseil Général des Ponts et Chaussées, (2003), *Rapport d'audit sur les grands projets d'infrastructures de transport*, Paris, 112p+annexes, en ligne sur <http://www.equipement.gouv.fr> au 15/02/03.

Inspection Générale des Finances, Conseil Général des Ponts et Chaussées (2000), *Rapport de la mission sur les redevances d'infrastructures du TGV Méditerranée*, Paris, 63p+annexes.

Interface transport, Commissariat Général du Plan (1998), *Les Prévisions de trafics urbains et interurbains de voyageurs et de trafics marchandises à l'horizon 2015 : comparaison de simulations issues de différents modèles*, Interface Transports, Lyon, 130p, en ligne sur <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/994000433.shtml>.

Kerisel T (1999), *La desserte des aéroports français*, Conseil National des Transports, Paris, 20p, en ligne sur <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/024000507.shtml>.

Klein O (2001), *Les horizons de la grande vitesse. Le TGV, une innovation lue à travers les mutations de son époque*, thèse de Sciences Economiques Mention Economie des Transports, Université Lumière Lyon 2, 308p.

Klein O (1998), Les enseignements de l'enquête atlantique sur la méthode avant-après d'observation des comportements de déplacement, *Actes du colloque "Déplacements à longue distance. Mesures et analyses"*, SES, Paris, février 1998, pp150-170.

Klein O (1997), Le TGV Atlantique et les évolutions de la mobilité : entre crise et concurrence, *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°32, pp57-83.

Klein O, Claisse G (1997), *Le TGV Atlantique entre récession et concurrence*, Laboratoire d'Economie des Transports, Collection Etudes et Recherches, Lyon, 163p.

Koshal M, Koshal RK, Gupta AK, Nandola KN (1996), Demand for Public and Private Passenger Transport in the United States, *International Journal of Transport Economics*, vol.XXIII-N°2, pp157-172.

Laferrière R (1993a), Les effets de seuil d'un train à haute vitesse dans le corridor Québec-Windsor, 6^{èmes} *Entretiens Jacques Cartier*, 14p, en ligne sur <http://www.crt.umontreal.ca/> au 19/02/03.

Laferrière R (1993b), Les élasticités-prix de la demande de transport interurbain des personnes, *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, n°27, pp37-70.

Laferrière R (1999), *Applying the EAMO Procedure to Define a Zone System for Canadian Air Travel*, document de travail, Agora Jules Dupuit - publication AJD 23, Université de Montréal, 25p, en ligne sur <http://www.crt.umontreal.ca/> au 19/02/03.

Laferrière R, Ekbot D (1993), *Demand Model Developments to Assess High Speed Passenger Train Markets on Windsor to Quebec City Corridor*, 12p, en ligne sur <http://www.crt.umontreal.ca/> au 19/02/03.

Laferrière R, Gaudry M (1993), Testing the Linear Inverse Power Transformation Logit Mode Choice Model, *Selected Proceedings of the 6th World Conference on Transport Research*, vol.II, pp739-750.

Lagarrigue F (1994), *Infrastructures de transport et croissance endogène*, OEST, Paris, 30p.

Le Jeannic T (1997), L'élaboration du zonage en aires urbaines (ZAU), in *Les découpages du territoire. 10^{èmes} entretiens Jacques Cartier*, Lyon, 8-10 décembre 1997, INSEE méthodes N°76-77-78, pp71-90.

Leconte S, Mey A (1987), *Les voyageurs pour motif de loisirs face aux actions de régulation temporelle du trafic interrégional. Troisième tome : attitudes et comportements des voyageurs*, rapport INRETS n°34, Arcueil, 76p.

Lefol JF (1998), Expérience de suivi longitudinal des comportements de mobilité: le panel TGV Nord, analyses et enseignements méthodologiques, *Actes du colloque "Déplacements à longue distance. Mesures et analyses"*, SES, Paris, pp172-174.

Lefol JF (1986), *Les voyages touristiques de courte durée en 1981-1982*, INSEE, Paris, 80p.

Lenoir N (2003), *Cours sur le transport aérien*, <http://www.recherche.enac.fr/leea/cours/>, version du 15/02/03.

Leurent (1997), *Analyse et mesure de l'incertitude dans un modèle de simulation, les principes, une méthode et l'exemple de l'affectation bicritère du trafic*, thèse à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, 301p.

Madre JL (1997a), L'enquête transports, *Recherche Transports et Sécurité*, n°56, pp 6-8.

Madre JL (1994), Disparités géographiques dans la circulation automobile en France, *Recherche Transports Sécurité*, n°43, pp 23-33.

Madre JL, Pirotte A (1992), *Régionalisation des projections à long terme de la circulation automobile*, rapport de convention avec le SETRA, INRETS, Arcueil, 92p.

Madre JL, Lambert T (1989), *Prévision à long terme du trafic automobile*, CREDOC, Collection des rapports, n°60, Paris.

Marche R (1980), Pour mieux comprendre les déplacements interrégionaux de voyageurs: un modèle multimodal de demande, *Les Cahiers Scientifiques de la Revue Transports*, n°3, pp52-68.

Martinand C (1996), *Débat national sur l'avenir du transport ferroviaire : rapport introductif*, Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement, Paris, 51p, <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/964053200.shtml>.

McGeehan H (1984), Forecasting the Demand for Inter-Urban Railway Travel in the Republic of Ireland, *Journal of Transport Economics and Policy*, septembre 1984, pp275-291.

Menendez JM, Guirao B (2000), Modal Split Changes Introduced by the High Speed Line Madrid-Seville, *communication à la conférence de l'AET (Association for European Transport)*, 11-13 septembre 2000, pp211-222.

Merlin P (2000), *Le transport aérien*, La Documentation française, Paris, 152p.

Mignauw T (1998), La grande vitesse en Europe et au Japon, *Actes du 3^{ème} congrès mondial sur la grande vitesse Eurailspeed 98*, Berlin, 28-30 octobre 1998, pp61-64.

Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement – Direction des Routes (1998), *Instruction relative aux méthodes d'évaluation économique des investissements routiers en rase campagne*, Paris, 23p + annexes.

Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement – Direction des Transports Terrestres (1992), *Schéma directeur national des liaisons ferroviaires à grande vitesse*, Paris, 17p.

Ministère de l'Équipement, du Transport et du Logement (2003), *Pages web Economies, Energie et Environnement du Ministère*, <http://www.transports.equipement.gouv.fr> rubrique Economies, Energie et Environnement, version du 15/02/2003.

Mission Interministérielle de l'effet de Serre (2003), *Site web de la Mission Interministérielle de l'Effet de Serre*, <http://www.effet-de-serre.gouv.fr>, version du 15/02/2003.

Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (2002), *Programme National de Lutte contre le Changement Climatique – Bilan 2002*, 115p, en ligne sur <http://www.effet-de-serre.gouv.fr/main.cfm?page=fr/solutions/solutions.htm>.

Mission Interministérielle de l'Effet de Serre (2000), *Programme National de Lutte contre le Changement Climatique*, 218p, en ligne sur http://www.effet-de-serre.gouv.fr/pdf/effetserre/effet_de_serre.pdf.

Monteiro S (1996), *Les vacances des Français. Tendances longues et résultats détaillés de 1993 à 1994*, INSEE, Collection INSEE Résultats, Paris, 194p.

Monzon A, Rodriguez A (2003), *"DWELT" method : Double Weighted Estimator for Long Distance Transport Mode Choice Models*, document de travail, TRANSYT - Université Politécnica de Madrid.

Morellet O, Marchal P (1999), Formulation théorique de l'induction de trafic: garantir à la fois le signe du résultat et la cohérence vis-à-vis du partage modal, *Les cahiers scientifiques du transport*, n°35, pp73-102.

Morellet O, Marchal P (1997), Extension du réseau TGV et évolution du trafic multimodal, *Les cahiers scientifiques du transport*, n°32, pp27-34.

Morellet O, Marchal P (1995), *Matisse, un modèle de trafic intégrant étroitement contexte socio-économique et offre de transport*, rapport INRETS n°203, Arcueil.

Morellet O (1992), La mise en place progressive de l'induction provoquée par une amélioration de l'offre, *Actes de la 6^{ème} Conférence Mondiale sur la Recherche dans les Transports*, Lyon.

Morellet O (1987), *Les voyageurs pour motif de loisirs face aux actions de régulation temporelle du trafic interrégional. Quatrième tome: synthèse et perspectives*, rapport INRETS n°35, Arcueil, 41p.

MVA Consultants (1998), *La modélisation multimodale des déplacements régionaux des personnes. Guide méthodologique*, Ministère de l'Équipement des Transports et du Logement – Direction des Affaires Économiques et Internationales – Service d'Études Statistiques.

Noin D (1996), *L'espace français*, Armand Colin, Paris, 186p.

OEST (1993), *Le répertoire des sources statistiques de transports*, OEST, Paris, 143p.

OEST (1993), *10 ans de transport 1981 à 1991*, OEST, Paris, 67p.

OEST (1987), *L'impact du TGV sur le trafic Sud-Est entre 1981 et 1984*, OEST, Paris, 17p.

OEST ([1]-annuel), *Mémento de statistiques des transports*, OEST, Paris.

Orfeuil JP, Soleyret D (2002), Quelles interactions entre les marchés de la mobilité à courte et à longue distance?, *Recherche Transports Sécurité*, n°76, pp208-221.

Ortuzar J, Willumsen LG (1994), *Modelling Transport*, 2nd edition, John Wiley & Sons, UK, 478p.

Oudin J (2000), *Rapport d'information fait au nom de la Commission des finances, du contrôle budgétaire et des comptes économiques de la Nation sur le financement des infrastructures de transport*, Les Rapports du Sénat n° 42, Paris, en ligne sur <http://www.senat.fr/rap/r00-042/r00-04214.html>.

Oum TH, Van Oostroom JH, Yoon JH (1996), The structure of travel demand in the Netherlands : an application to predict modal shares under the sustainable development goals, *International Journal of Transport Economics*, février 1996, pp31-62.

Owen AD, Philips GDA (1987), The characteristics of railway passenger demand, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol.21, 231-253.

Papon F (1994), *Dégagement. Gestion spatio-temporelle et multimodale du trafic de voyageurs et de marchandises sur le corridor Nord-sud français*, INRETS, Arcueil, 42p.

Papon F (1995), Simulation du trafic sur l'axe nord-sud français: quelques éléments sur le projet Dégagement, *Recherche Transports Sécurité*, n°46, pp 23-36.

Pavaux J (1989), Les leçons de la déréglementation américaine, *ITA magazine*, mars 1989, pp3-11.

Plassard F (1996), [Sans titre], *La mobilité induite par les infrastructures*, CEMT, Table ronde n°105, Paris.

Pochet P, Schéou B (2002), *Le tourisme à l'âge de la retraite*, rapport pour le compte du Conseil National du Tourisme, Secrétariat d'Etat au Tourisme, La Documentation Française, Paris, 268p.

Pochet P (1995), *Mobilité quotidienne des personnes âgées en milieu urbain : évolutions récentes et perspectives*, thèse en Economie des Transports, Université Lumière Lyon 2, 269p.

Postel D (1998), Valorisation des enquêtes de circulation routières. Réalisation d'une matrice origine-destination interdépartementale, *Actes du colloque "Déplacements à longue distance. Mesures et analyses"*, SES, Paris, février 1998, pp52-68.

Potier F (1989), *Evolution de la mobilité de week-end*, rapport INRETS n°109, Arcueil, 86p.

Reynard (1997), [Sans titre], in *Les découpages du territoire, 10èmes entretiens Jacques Cartier*, Lyon, 8-10 décembre 1997, INSEE méthodes n° 76-77-78.

Rickard JM (1988), Factors Influencing Long Distance Rail Passenger Trip Rates in Great Britain, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol.22, pp209-234.

RFF (2003), [Site internet de RFF], <http://www.rff.fr>, version du 15/02/2003.

Rolle JD (1990), *Une estimation de la demande ferroviaire pour le transport de personnes en Suisse à l'aide d'un modèle à erreurs composées*, Université de Fribourg, Collection Documents économiques, Fribourg, 164p.

Rouquette C (2000), *Chaque année quatre Français sur dix ne partent pas en vacances*, INSEE Première N°734.

Rouquette C (2001), Départs en vacances : la persistance des inégalités, *Economie et Statistiques*, pp33-53.

Routhier JL, Durand S, Masson S, Cabanne I, Saliou E, Hennebelle PY, (2000), *Télescopage, modèle de simulation des trafics de marchandises et de personnes locaux et interurbains dans un espace de région-ville*, recherche réalisée pour le compte de l'ADEME, programme PREDIT, Laboratoire d'Economie des Transports, Cete de Lyon, Lyon, 170p.

Rouvillois P (1996), *Rapport sur les perspectives en matière de création de nouvelles lignes ferroviaires à grande vitesse*, Ministère de l'Equipement, du Transport et des Logements, Paris, 28p+annexes, en ligne sur <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/brp/notices/964143200.shtml>.

Rys A, Vaneecloo N (1998), *Econométrie. Théorie et application*, Nathan, Paris, 318p.

Salanié B (1999), *Guide pratique des séries non stationnaires*, CREST, document de travail n°9923, INSEE-CREST, Paris, 37p.

Sauvant A (2002a), *Le transport ferroviaire de voyageurs en France: enfin un bien "normal"?*, Note de synthèse du SES, juillet-août 2002, 6p.

Sauvant A (2002b), *Le "yield management" des transporteurs de voyageurs sur l'axe Paris-Marseille*, Note de synthèse du SES, novembre - décembre 2002, 8p.

SES (2003), *Les voyages des Français en 2002*, SES Infos Rapides, N°186, 6p.

SES (2002), *Les voyages des Français en 2001*, SES Infos Rapides, N°152, 6p.

SES (2000), *Les voyages des Français en 1998*, SES Infos Rapides, N°93, 6p.

SES (1998a), *Actes du colloque "Déplacements à longue distance. Mesures et analyses"*, SES Paris, février 1998.

SES (1998b), *Actes du colloque "Les mesures d'impact d'une nouvelle infrastructure sur la mobilité: le cas du TGV Nord"*, SES, Paris, novembre 1998, 141p.

SES (1998c), *Evaluation de l'impact du TGV Nord-Européen sur la mobilité : résultat des trois années du panel. Enseignements méthodologiques*, SES, Paris, 277p+annexes.

SES (1998d), *Dossier des notes de synthèse « Modèles » de mars 1988 à juin 1998*, SES, Paris.

SES ([1]-annuel), *Mémento de statistiques des transports*, SES, Paris.

SETEC, EYSER (1996), *Etude prospective portant sur les enjeux économiques, logistiques et environnementaux d'une future traversée centrale des Pyrénées par un tunnel de base*, SETEC, Paris.

SETRA (2000), *Circulation-Accidents. Données de base annuelles 1970-1999*, SETRA, Bagneux, 18p.

SETRA (2000), *Les autoroutes concédées en France depuis 1961 - Une infrastructure en expansion*, classeur de cartes, SETRA, Bagneux.

SETRA (1999), *Structure du trafic sur le réseau routier national. Analyse et évolution*, SETRA, Bagneux, 28p.

SETRA (1997), *Constitution de la matrice OD interdépartementale*, note du SETRA-CSTR du 7 janvier 1997, 3p.

SETRA (1992), *Guide des études de trafic interurbain. Guide méthodologique*, SETRA, Bagneux.

SETRA (1987), *Les déplacements automobiles interurbains des ménages*, SETRA, Bagneux, 52p.

SETRA (1986), *Les indices nationaux de la circulation routière. Pourquoi? Pour qui? Comment?*, note d'information 07, mars 1986, SETRA, Bagneux, 4p.

SETRA ([1]-annuelle), *Recensement de la circulation sur les routes nationales et les autoroutes*, Carte, SETRA, Bagneux.

Shilton D, Mitrani A, Swanson J, Walley D (2000), *Framework for rail passenger forecasting in the UK*, communication à la Conférence de l'AET (Association for European Transport), 11-13 septembre 2000, pp41-56.

Sinsou (1999), *Yield and revenue management. Optimisation de la recette dans les transports de passagers*, Presses de l'ITA, Paris, 172p.

SNCF (2003), [Site internet de la SNCF], <http://www.sncf.fr>, version du 15/02/2003.

SNCF (1998), *Bilan a posteriori du projet de desserte de l'Ouest et du Sud-Ouest de la France par trains à grande vitesse (TGV-Atlantique)*, SNCF, Paris, 57p+annexes.

SNCF (1990), *Liaisons ferroviaires à grande vitesse. Premières études de la SNCF*, chemise de fascicules réalisée en vue de l'établissement du Schéma directeur national des liaisons ferroviaires à grande vitesse.

SNCF ([1]-annuel), *Mémento de statistiques*, SNCF, Paris.

SNCF ([2]-annuel), *Rapport d'activité de la SNCF*, SNCF, Paris.

The Netherlands Ministry of Transport and Public Works - Transportation and Traffic Research Division - National Traffic Projection and Policy Analysis Branch (1992), *The National Model System for Traffic and Transport. Outline*, 51p.

Troin JF (1995), *Rail et aménagement du territoire. Des héritages aux nouveaux défis*, Edisud, 261p.

U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration (1999), *Guidebook on Statewide Travel Forecasting*, 138p.

Union Européenne (1998), *COST 318: Interactions between High-Speed Rail and Air Passenger Transport. Final Report*, 213p+annexes.

Union Routière de France (1999), *Faits et chiffres 1998*, Union Routière de France, Paris, 92p.

Union Routière de France (1998), *Faits et chiffres 1997*, Union Routière de France, Paris, 92p.

Vakil F, Russon MG (1996), Income elasticity estimates for short haul air transport passenger flows, *International Journal of Transport Economics*, juin 1996, pp173-186.

Wardman M (1999), The Value of Travel Time, a Review of British Evidence, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol.32 part 3, pp285-316.

Wardman M (1997a), Inter-Urban Rail Demand Elasticities and Competition in Great Britain: Evidence From Direct Demand Models, *Transportation Research*, 33E, pp15-28.

Wardman M, Toner JP, Whelan GA (1997), Interactions Between Rail and Car in the Inter-Urban Leisure Travel Market in Great Britain, *Journal of Transport Economics and Policy*, vol.31, pp163-181.

Wirasinghe SC, Kumarage AS (1998), An Aggregate Demand Model for Intercity Passenger Travel in Sri Lanka, *Transportation*, février 1998, pp77-98.

Wonacott TH, Wonacott RJ (1991), *Statistiques, Economica*, Paris, traduction française de l'ouvrage *Introductory Statistics for Business and Economics*, 4ème édition, John Wiley and Sons, New York.

ANNEXES

Annexes

Annexe 1 : Cartes des réseaux ferroviaire et autoroutier.

Annexe 2 : Formulations testées.

Annexe 3 : Liste des notations.

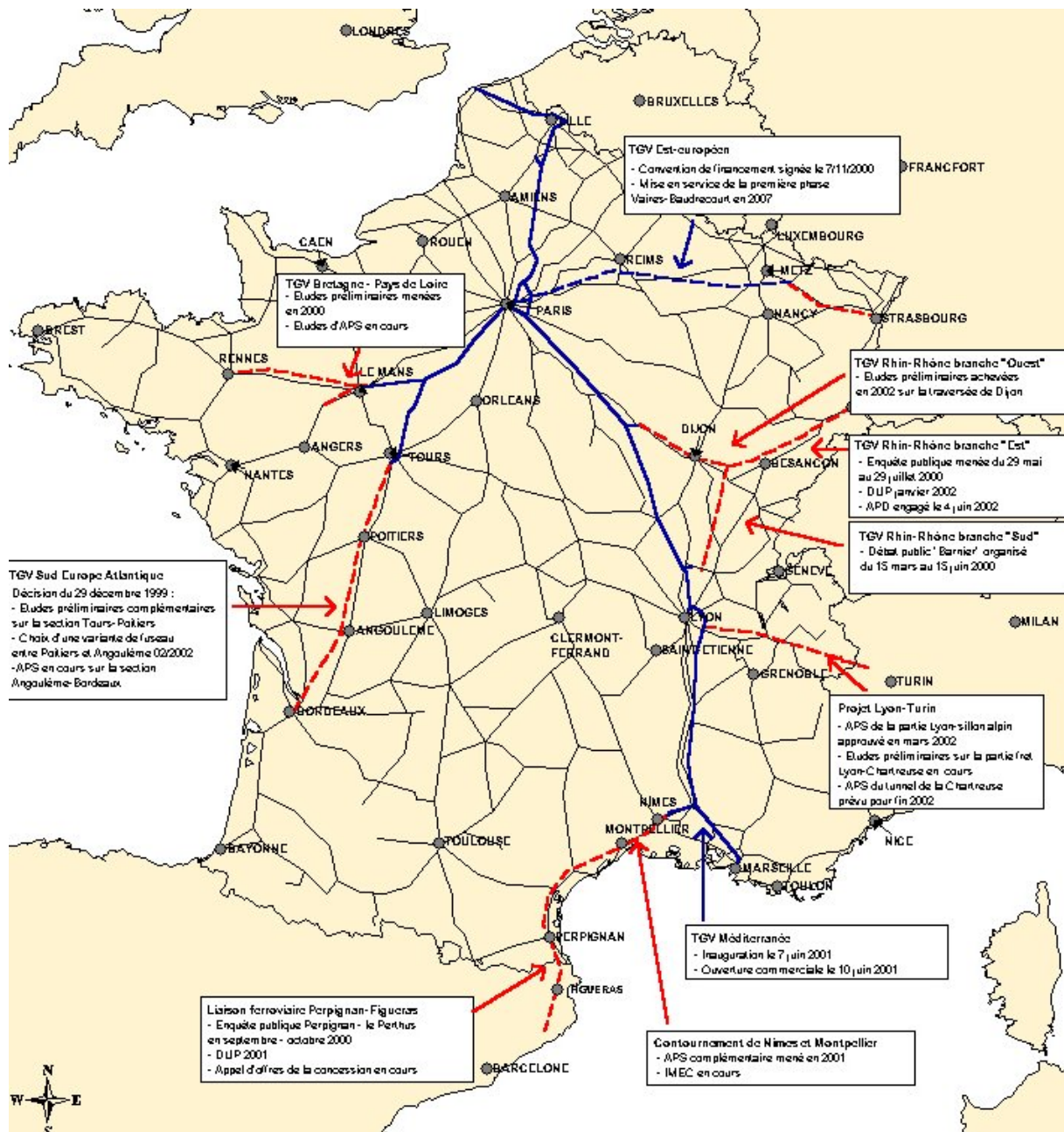
Annexe 1. Cartes des réseaux ferroviaire et autoroutier

Carte 1 : Les lignes ferroviaires à grande vitesse existantes et en projet

Carte 2 : Evolution de la construction du réseau autoroutier

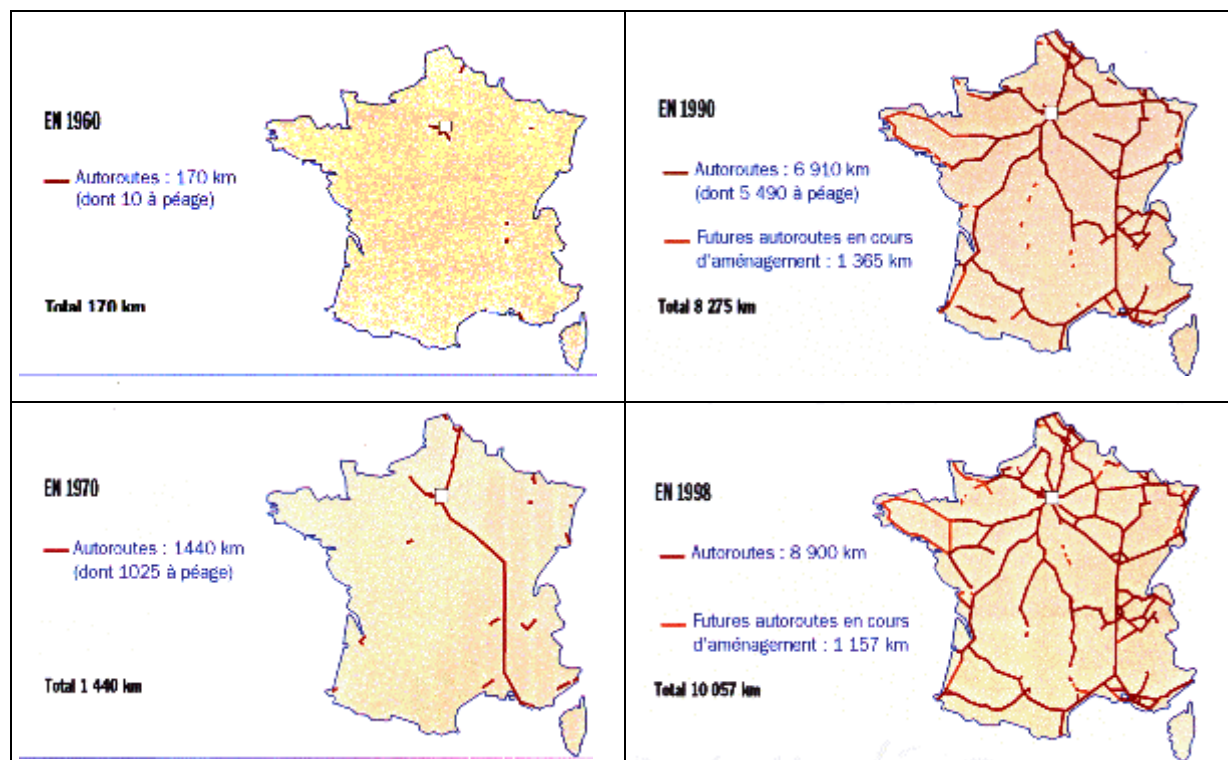
Carte 3 : Carte du trafic sur le réseau routier national en 2002

Carte 1 : Les lignes ferroviaires à grande vitesse existantes et en projet



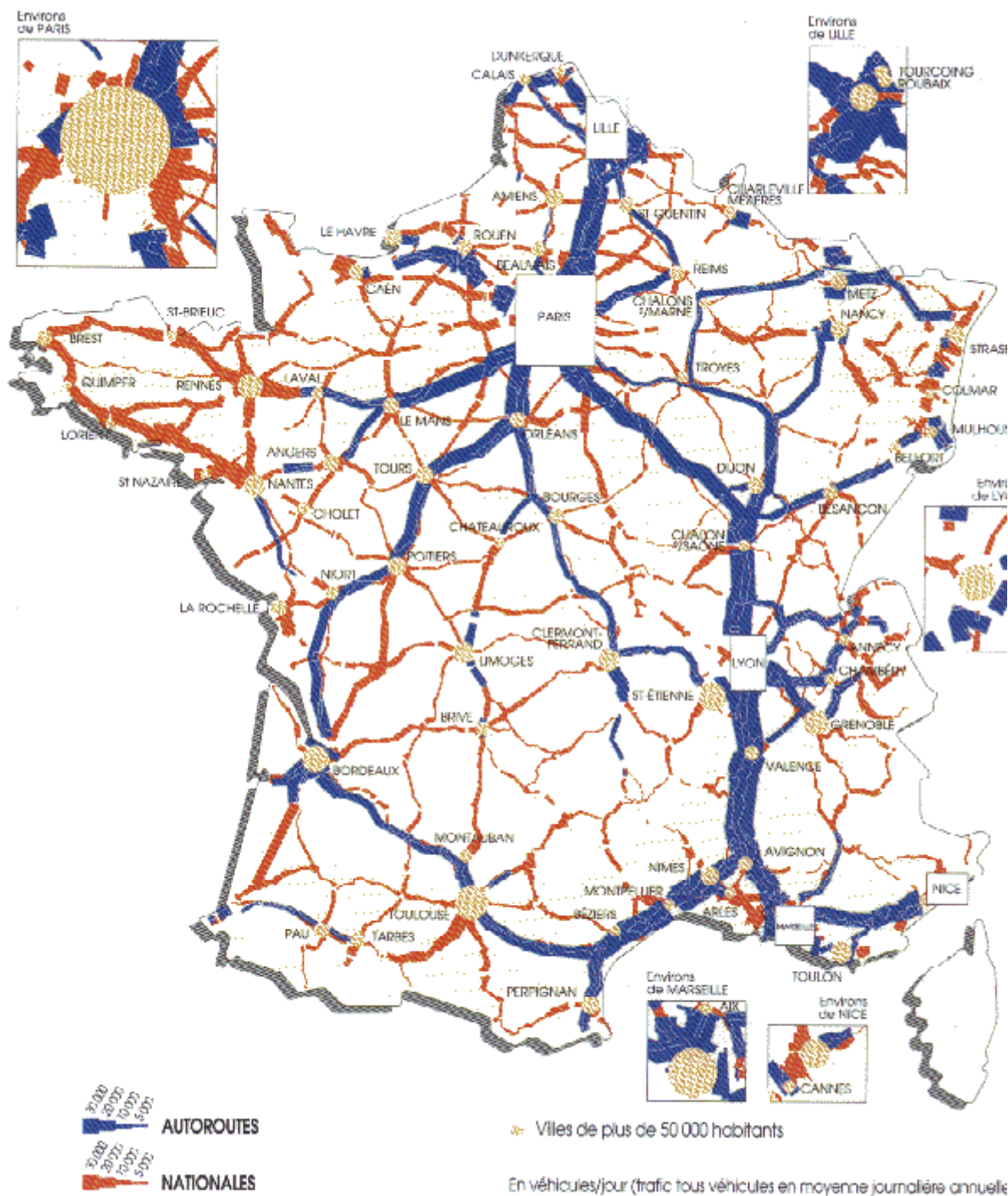
Source : <http://www.transports.equipement.gouv.fr/frontoffice/visupdoc.jsp?id=233&t=2>,
version du 15/02/2003

Carte 2 : Evolution de la construction du réseau autoroutier



Source : <http://www.route.equipement.gouv.fr/RoutesEnFrance/index.htm>
version du 15/02/2003

Carte 3 : Carte du trafic sur le réseau routier national en 2002
(Trafic Moyen Journalier Annuel en véhicules/jours)



Source : <http://www.route.equipement.gouv.fr/RoutesEnFrance/index.htm>,
version du 15/02/2003

Annexe 2. Les formulations testées

Dans cette annexe, nous présentons l'ensemble des formulations testées. Les différentes spécifications sont présentées avec les t de Student entre parenthèses sous les valeurs des coefficients. Nous présentons un certain nombre de statistiques relatives à la qualité de l'ajustement : R^2 , critères d'Akaike et de Schwarz, statistique de Durbin-Watson. Pour chaque formulation, un tableau des coefficients rappelle les noms des variables, leur signification, les valeurs des coefficients et certaines statistiques relatives à ces coefficients (erreurs-types, t de Student et probabilités critiques).

- Les statistiques relatives à la qualité d'ajustement

Le R^2

Le R^2 est le pourcentage de variance expliquée. Il varie entre 0 et 1. Plus le pourcentage de variance expliquée est proche de 1, plus le modèle est explicatif.

Les critères d'Akaike et de Schwarz

Le critère du R^2 est complété par deux autres critères : le critère de Akaike (noté AIC) et le critère de Schwarz (noté SBC) (Bourbonnais, 2000). Ces critères permettent d'arbitrer entre la perte de degrés de liberté du modèle et l'ajustement qui en résulte.

Le modèle optimum est celui qui minimise la fonction de Akaike :

$$AIC = \ln\left(\frac{SCR}{n}\right) + \frac{2k}{n}$$

ou de Schwarz :

$$SBC = \ln\left(\frac{SCR}{n}\right) + \frac{k \ln(n)}{n}$$

avec SCR : somme des carrés des résidus du modèle
 n : nombre d'observations
 k : nombre de variables explicatives

Le Durbin-Watson

Le test de Durbin-Watson permet de détecter une autocorrélation des erreurs d'ordre 1.

Par construction, la statistique du Durbin-Watson est comprise entre 0 et 4. En l'absence d'autocorrélation, le Durbin-Watson vaut 2. L'hypothèse d'absence d'autocorrélation ne peut être acceptée que si le DW ne s'écarte pas trop de 2, ni dans un sens, ni dans l'autre. Les limites à gauche (L_G) et à droite (L_D) de l'intervalle d'acceptation de l'hypothèse « absence

d'autocorrélation » sont symétriques par rapport à 2. Il suffit donc de connaître L_G pour en déduire L_D . La loi que suit DW dépend de trop de paramètres pour pouvoir être tabulée utilement (Rys, Vaneecloo, 1998). Toutefois, Durbin et Watson ont montré que L_G pouvait être encadrée par des valeurs d_1 et d_2 qui ne dépendent que du nombre d'observations n du nombre de variables explicatives k (Rys, Vaneecloo, 1998). Le Tableau 42 donne l'encadrement de la borne gauche de l'intervalle d'acceptation pour $\alpha=5\%$, et pour $n=20$.

Tableau 42 : Extrait de la table de Durbin et Watson pour $n=21$ observations ; encadrements d_1 et d_2 de la borne gauche de l'intervalle d'acceptation de l'hypothèse « absence d'autocorrélation d'ordre 1 du résidu » pour $\alpha=5\%$

Nombre de variables explicatives	1	2	3	4	5
d_1	1,18	1,08	0,97	0,86	0,75
d_2	1,40	1,53	1,68	1,85	2,02
$(d_1+d_2)/2$	1,29	1,31	1,33	1,36	1,39

Source : Rys, Vaneecloo, 1998

Si $DW < d_1$ l'autocorrélation positive du résidu calculé est significative ;
 Si $DW > 4-d_1$ l'autocorrélation négative du résidu calculé est significative ;
 Si $d_2 \leq DW \leq 4-d_2$ l'hypothèse d'absence d'autocorrélation est acceptable.

Les intervalles $[d_1, d_2[$ et $]4-d_2, 4-d_1]$ sont des « zones de doute » où on ne peut savoir si DW fait ou non partie de l'intervalle d'acceptation de l'hypothèse « absence d'autocorrélation » (Rys, Vaneecloo, 1998). Pour $n=20$ observations, et pour un nombre de variables explicatives élevées, la zone de doute est particulièrement large. Cette zone de doute englobe même la valeur 2 pour $k=5$ variables explicatives. Toutefois, plus on est proche de d_1 , plus on est enclin à rejeter l'hypothèse d'absence d'autocorrélation du résidu. Plus on est proche de d_2 , plus l'hypothèse d'absence d'autocorrélation du résidu est acceptable, la valeur $(d_1+d_2)/2$ pouvant servir de limite. La valeur $(d_1+d_2)/2$ varie entre 1,29 pour 1 variable explicative et 1,39 pour 5 variables explicatives.

Le test de Durbin-Watson est construit sous l'hypothèse que la cause de l'autocorrélation du résidu calculé est l'autocorrélation du résidu théorique modélisé sous la forme d'un processus stable du premier ordre. Toutefois, le Durbin-Watson n'est pas un test spécifique, puisqu'un DW anormal est souvent le signe d'une autre anomalie : mauvaise spécification, omission d'une variable explicative, changement de régime à un moment donné (Rys, Vaneecloo, 1998). Les seuils d_1 , d_2 , $(d_1+d_2)/2$, n'ont qu'une valeur indicative.

Ainsi que nous l'avons expliqué au chapitre 3, le calcul de la statistique de Durbin-Watson est fondamental, car dans le cas des séries temporelles, un DW anormal peut être le signe d'une régression fallacieuse.

Toutefois le DW n'est valide qu'à certaines conditions : le modèle doit comporter un terme constant ; la variable à expliquer ne doit pas figurer parmi les variables explicatives.

- Les statistiques relatives aux coefficients

Le t de Student

Le ratio t est égal à la moyenne divisée par l'erreur type. La statistique du t de Student permet de mesurer le niveau de significativité des coefficients. Lorsque le t de Student est supérieur à 1,96, on peut accepter l'hypothèse « le coefficient relatif à cette variable est différent de 0 » au risque d'erreur 5%. Lorsque le t de Student est inférieur à 1,96, la variable n'est pas significativement différente de 0.

La probabilité critique

En plus de la valeur du ratio t de Student, nous fournissons la probabilité que le coefficient soit nul ou de signe contraire à celui du coefficient estimé.

Formulation 1

$$\ln I_{vlc} = -7,03 + 1,26 \ln Pib - 0,61 \ln Pr + 0,46 \ln Lc$$

(5,0) (5,4) (5,2) (3,7)

Satistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-89,00	-92,98	0,9960	1,58	0,60	0,28	non

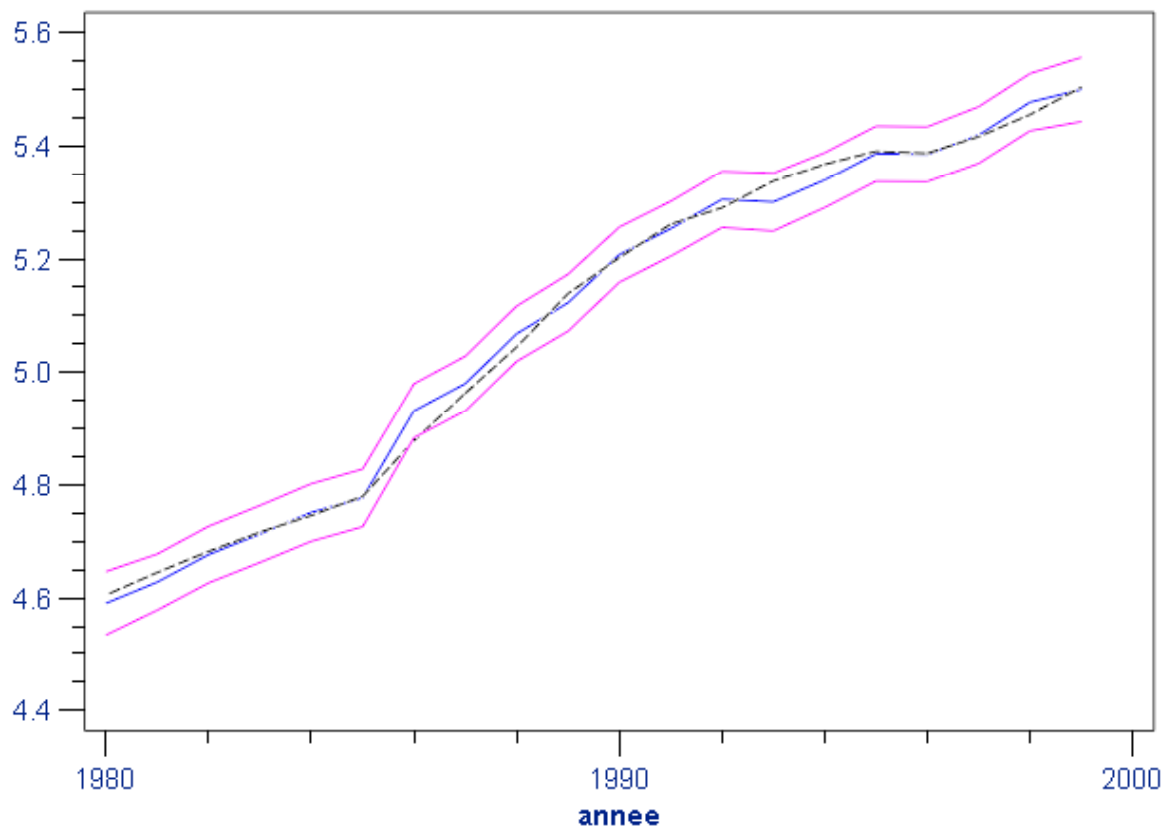
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-7,03E+00	1,42E+00	-5,0	0,0001
ln (PIB)	lnPIB	1,26E+00	2,32E-01	5,4	<0,0001
ln (Prix de l'autoroute)	lnPr	-6,11E-01	1,17E-01	-5,2	<0,0001
ln (Longueur du réseau autoroutier)	lnLc	4,55E-01	1,24E-01	3,7	0,0021

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,193	-0,76	0,46

PREDICTED



Formulation 2

$$\ln Ivlc = -7,42 + 1,21 \ln PIB - 0,63 \ln Pr + 0,44 \ln Lc - 0,029 \ln Rf + 0,35 \ln Pf$$

(4,4) (4,7) (4,9) (2,0) (0,1) (1,3)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-85,57	-91,54	0,9960	1,89	0,09	0,46	non

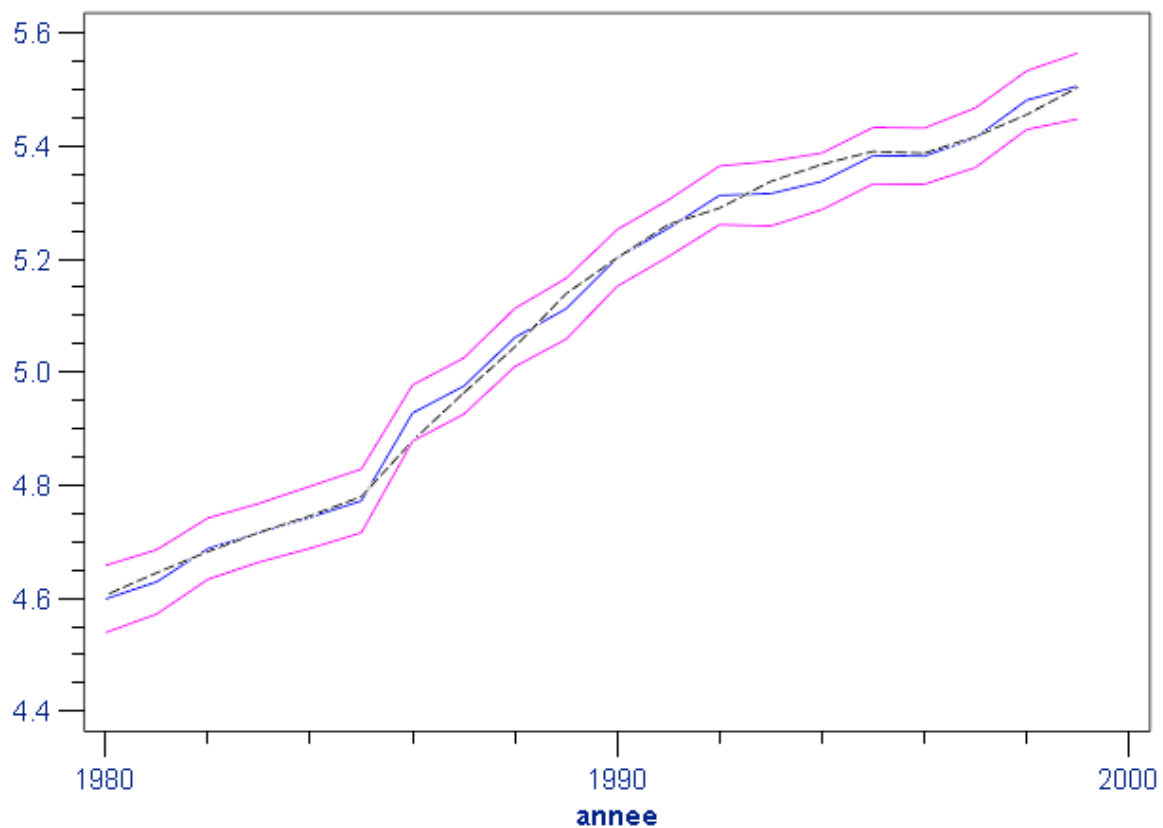
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-7,42E+00	1,69E+00	-4,4	0,0006
ln (PIB)	ln PIB	1,21E+00	2,58E-01	4,7	0,0004
ln (Prix de l'autoroute)	ln Pr	-6,26E-01	1,29E-01	-4,9	0,0002
ln (Longueur des autoroutes concédées)	ln Lc	4,42E-01	2,25E-01	2,0	0,0700
ln (Prix du fer)	ln Pf	3,48E-01	2,77E-01	1,3	0,2300
ln (Vitesse ferroviaire)	ln Rf	-2,93E-02	2,12E-01	-0,1	0,8922

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,050	-0,18	0,86

PREDICTED



Formulation 3

$$\ln I_{vlc} = -7,54 + 1,23 \ln P_{ib} - 0,62 \ln P_r + 0,42 \ln L_c + 0,36 \ln P_f$$

(5,3) (5,4) (5,4) (3,4) (1,4)

Statistiques du modèle

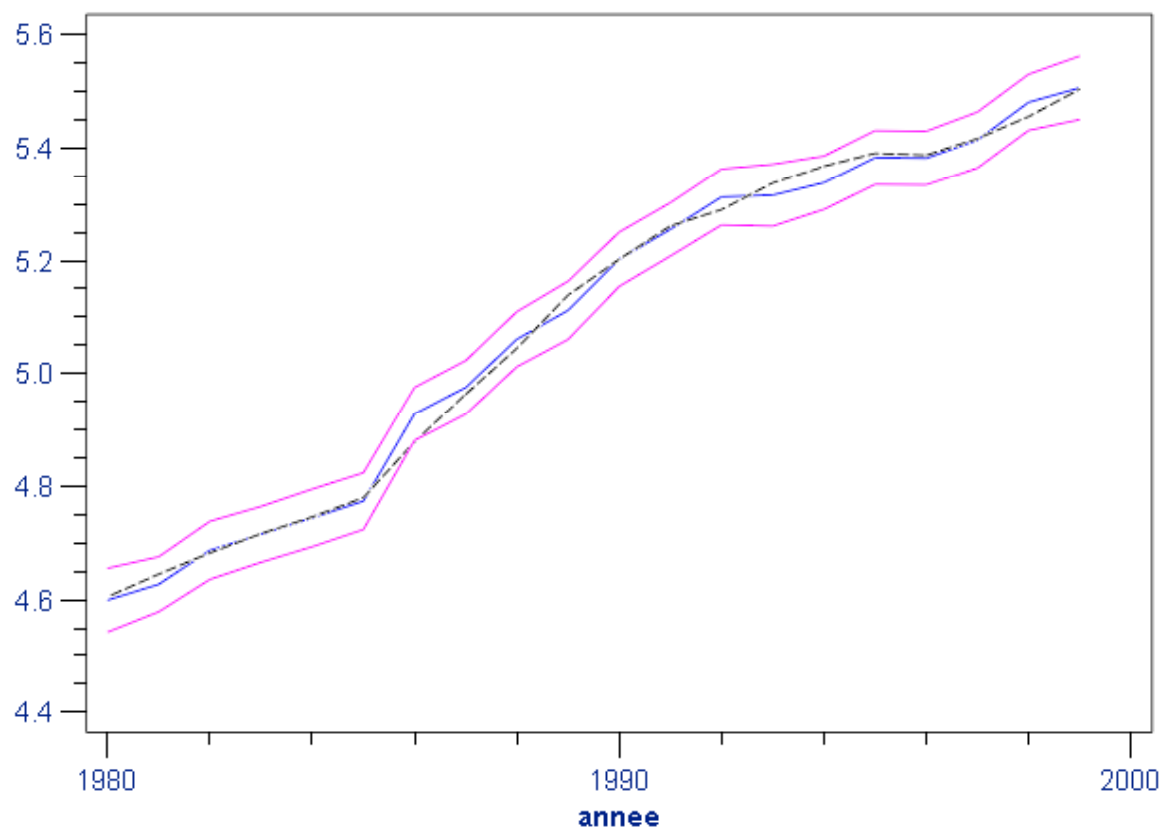
SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-88,54	-93,52	0,9960	1,88	0,14	0,45	non

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-7,54E+00	1,42E+00	-5,3	<0,0001
ln (PIB)	ln PIB	1,23E+00	2,26E-01	5,4	<0,0001
ln (Prix de l'autoroute)	ln Pr	-6,19E-01	1,14E-01	-5,4	<0,0001
ln (Longueur du réseau autoroutier)	ln Lc	4,16E-01	1,24E-01	3,4	0,0042
ln (Prix du ferroviaire)	ln Pf	3,61E-01	2,53E-01	1,4	0,1750

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,056	-0,21	0,84

PREDICTED



Formulation 4

$$\ln Ivlc = -9,55 + 1,30 \ln PIB - 0,59 \ln Pr + 0,74 \ln Rr$$

(7,3) (5,7) (5,0) (3,5)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-88,25	-92,24	0,9960	1,51	0,71	0,24	non

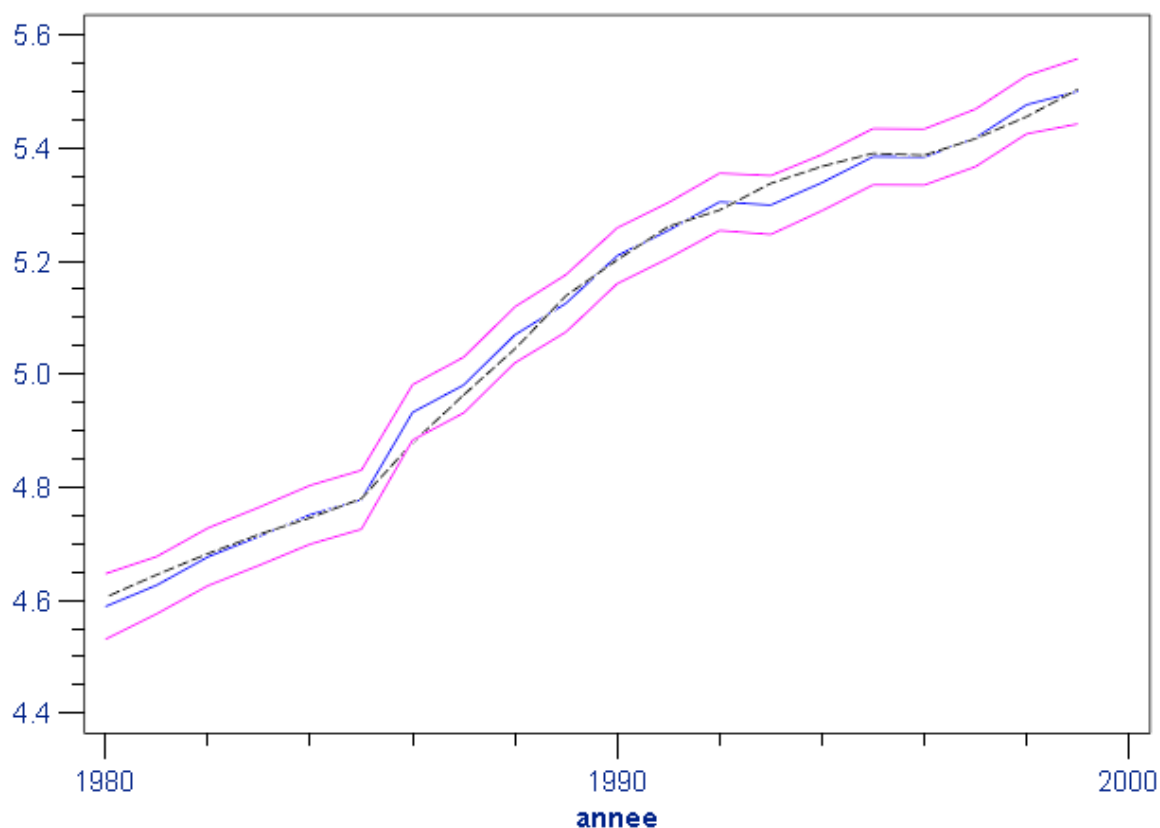
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-9,55E+00	1,31E+00	-7,3	<.0001
ln (PIB)	lnPIB	1,30E+00	2,29E-01	5,7	<.0001
ln (Prix de l'autoroute)	lnPr	-5,94E-01	1,19E-01	-5,0	0.0001
ln (Utilité du réseau des autoroutes concédées)	lnRr	7,37E-01	2,10E-01	3,5	0.0029

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,228	-0,90	0,38

PREDICTED



Formulation 5

$$\ln I_{vlc} = -9,90 + 1,24 \ln P_{ib} - 0,61 \ln P_r + 0,72 \ln R_r + 0,38 \ln P_f - 0,030 \ln R_f$$

(7,4) (4,9) (4,8) (1,9) (1,4) (0,1)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-85,23	-91,20	0,9960	1,86	0,12	0,45	non

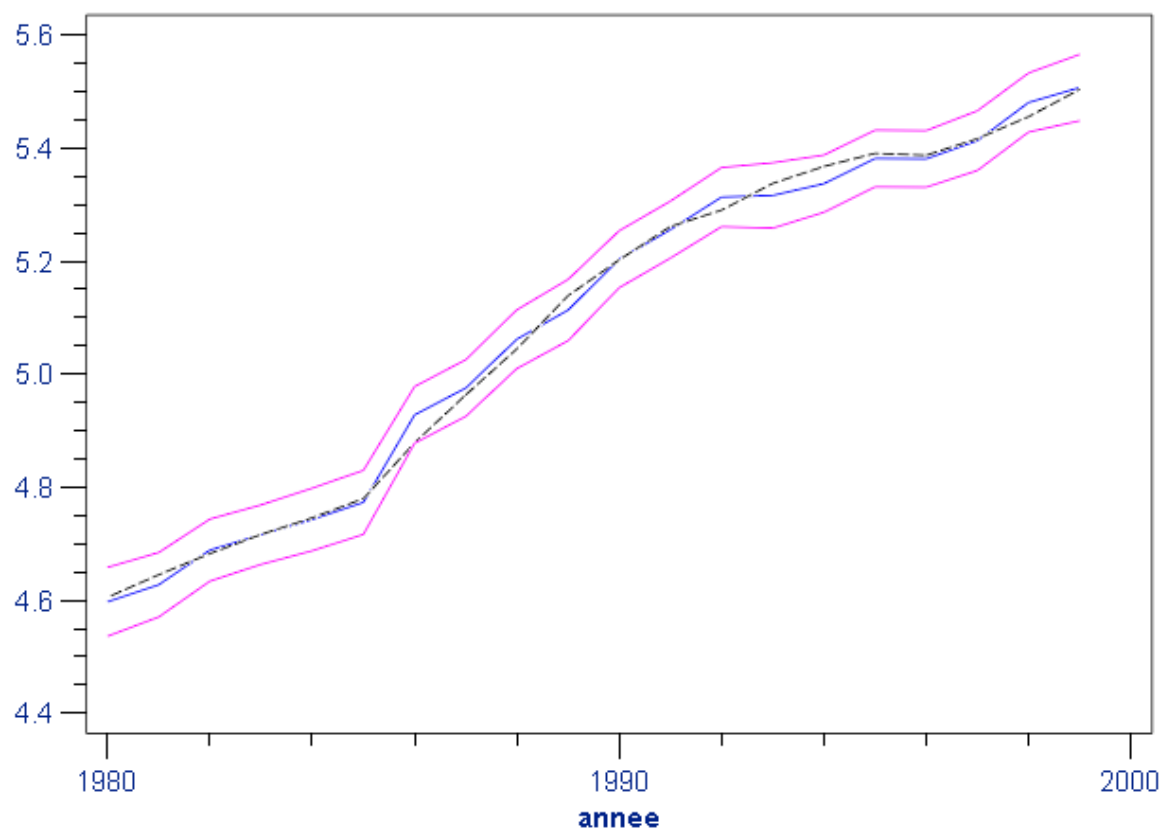
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante	Intercept	-9,90E+00	1,33E+00	-7,4	<0,0001
ln (PIB)	lnpib	1,24E+00	2,52E-01	4,9	0,0002
ln (Prix de l'autoroute)	lnPr	-6,11E-01	1,27E-01	-4,8	0,0003
ln (Utilité du réseau des autoroutes concédées)	lnRr	7,20E-01	3,82E-01	1,9	0,0806
ln (Prix du fer)	lnPf	3,80E-01	2,75E-01	1,4	0,1884
ln (Indicateur vitesse fer)	lnRf	-2,95E-02	2,19E-01	-0,1	0,8946

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,067	-0,24	0,81

PREDICTED



Formulation 6

$$\ln I_{vlc} = -9,87 + 1,26 \ln P_{ib} - 0,60 \ln P_r + 0,68 \ln R_r + 0,39 \ln P_f$$

(7,8) (5,7) (5,3) (3,3) (1,5)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-88,20	-93,18	0,9960	1,85	0,18	0,43	non

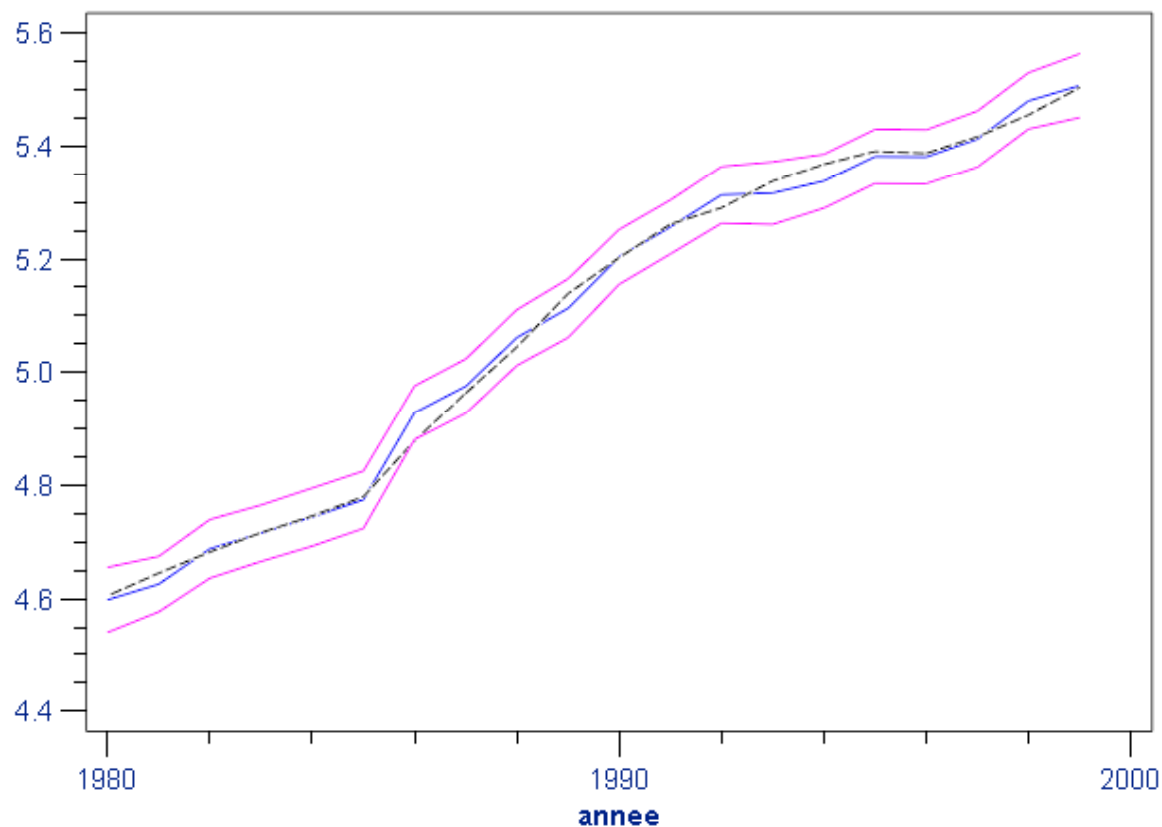
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-9,87E+00	1,27E+00	-7,8	<0,0001
ln (PIB)	ln PIB	1,26E+00	2,22E-01	5,7	<0,0001
ln (Prix de l'autoroute)	ln Pr	-6,04E-01	1,15E-01	-5,3	<0,0001
ln (Utilité du réseau des autoroutes concédées)	ln Rr	6,77E-01	2,05E-01	3,3	0,0048
ln (Prix du fer)	ln Pf	3,91E-01	2,54E-01	1,5	0,1441

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,072	-0,27	0,79

PREDICTED



Formulation 7

$$\ln Ivlc = -10,95 + 1,56 \ln CFM - 0,58 \ln Pr + 0,75 \ln Rr$$

(6,4) (4,5) (4,1) (3,0)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-82,66	-86,64	0,9940	1,17	1,39	0,09	non

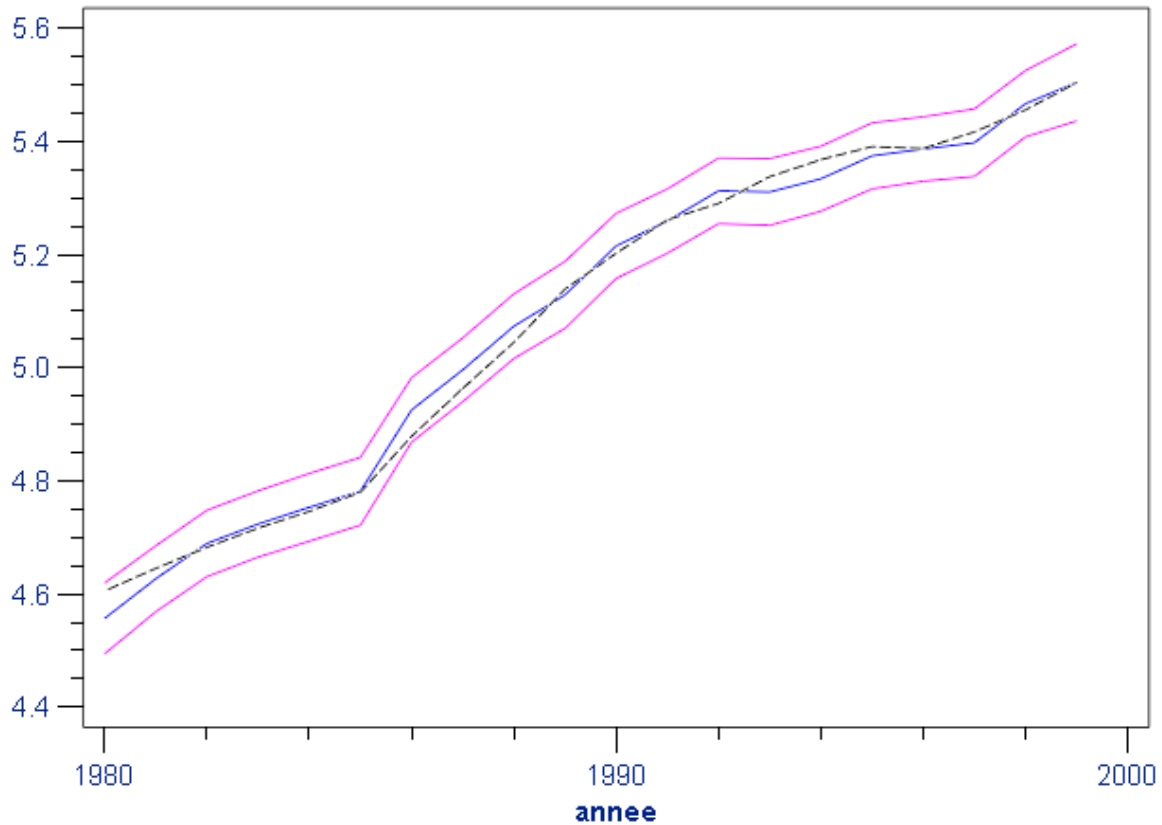
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,09E+01	1,70E+00	-6,4	<0,0001
ln (Consommation finale des ménages)	lnCFM	1,56E+00	3,46E-01	4,5	0,0003
ln (Prix de l'autoroute)	lnPr	-5,81E-01	1,42E-01	-4,1	0,0008
ln (Utilité du réseau des autoroutes concédées)	lnRr	7,53E-01	2,54E-01	3,0	0,0092

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,350	-1,45	0,17

PREDICTED



Formulation 8

$$\ln I_{vlc} = -11,20 + 1,46 \ln C_{fm} - 0,61 \ln Pr + 0,78 \ln R_r + 0,37 \ln P_f - 0,056 \ln R_f$$

(6,5) (3,7) (3,9) (1,7) (1,2) (0,2)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-78,90	-84,88	0,9950	1,39	0,50	0,31	non

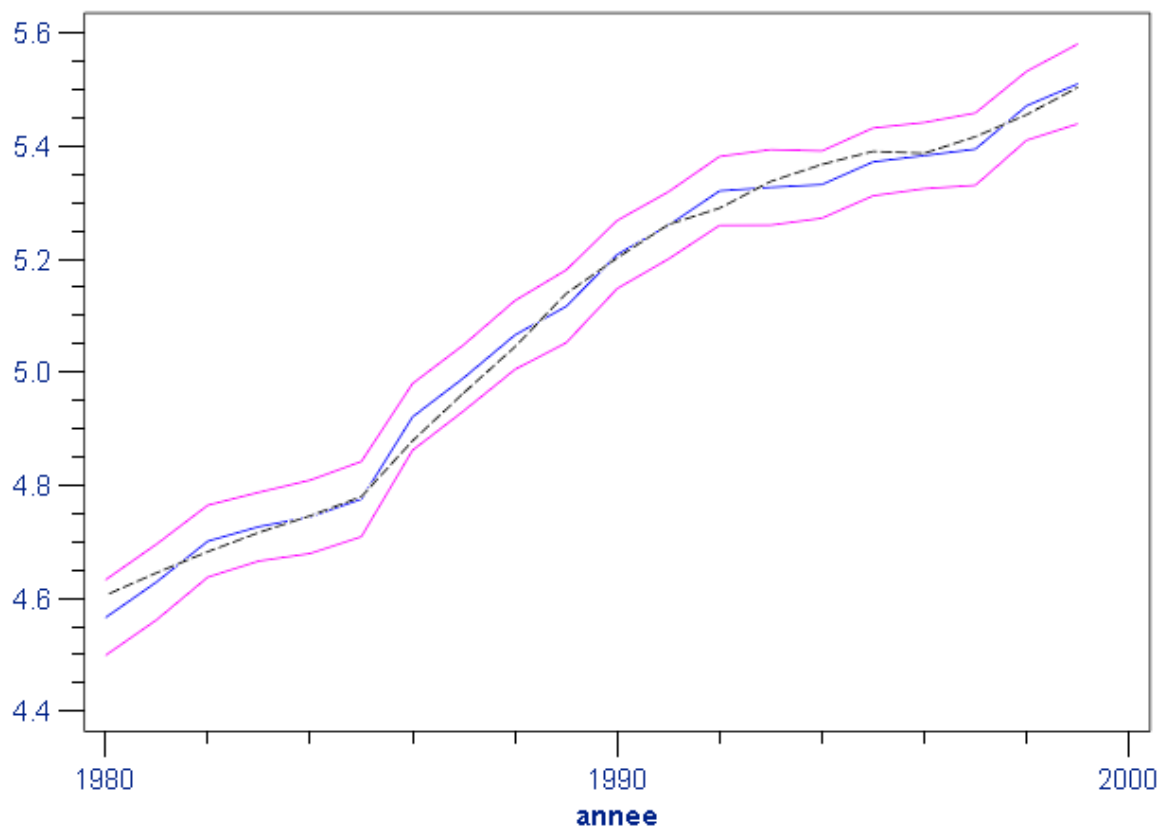
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante	Intercept	-1,12E+01	1,73E+00	-6,5	<0,0001
ln (CFM)	lnCFM	1,46E+00	3,92E-01	3,7	0,0022
ln (Prix de l'autoroute)	lnPr	-6,08E-01	1,57E-01	-3,9	0,0017
ln (Utilité du réseau des autoroutes concédées)	lnRr	7,82E-01	4,68E-01	1,7	0,1170
ln (Prix du fer)	lnPf	3,71E-01	3,22E-01	1,2	0,2685
ln (Indicateur vitesse fer)	lnRf	-5,54E-02	2,60E-01	-0,2	0,8341

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,216	-0,80	0,44

PREDICTED



Formulation 9

$$dIv/c/Iv/c = 0,026 + 0,88 dPib/Pib - 0,29 dPr/Pr + 0,18 dRr/Rr$$

(2,0)
(2,4)
(1,7)
(0,5)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-88,65	-92,64	0,32	1,63	0,94	0,18	non

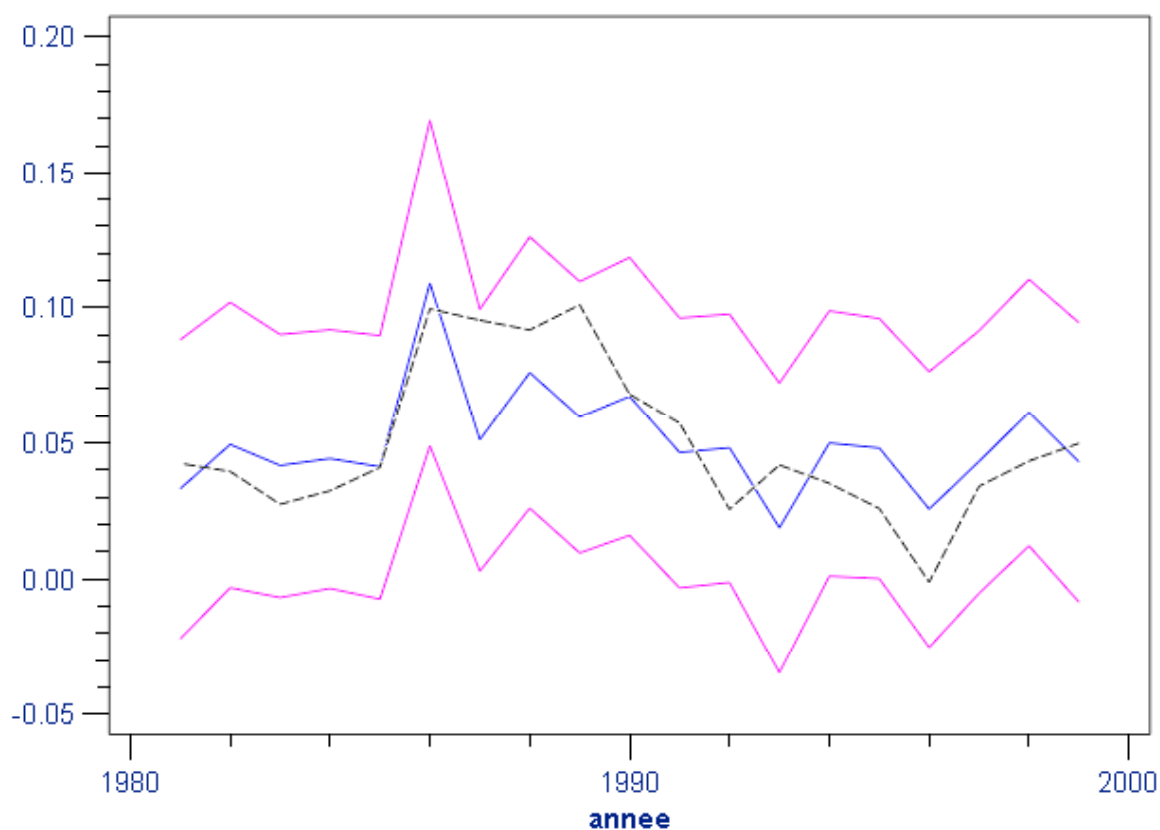
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante	Intercept	2,58E-02	1,29E-02	2,0	0,0622
PIB	PIB	8,79E-01	3,64E-01	2,4	0,0281
Prix de l'autoroute	Pr	-2,92E-01	1,73E-01	-1,7	0,1101
Utilité du réseau des autoroutes concédées	Rr	1,77E-01	3,91E-01	0,5	0,6565

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,18	-0,70	0,50

PREDICTED



Formulation 10

$dIv/c/Iv/c = 1,37 \frac{dPib}{Pib} - 0,22 \frac{dPr}{Pr} + 0,81 \frac{dRr}{Rr}$ (4,7) (1,2) (3,2)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-87,17	-90,15		2,29	0,23	0,41	non

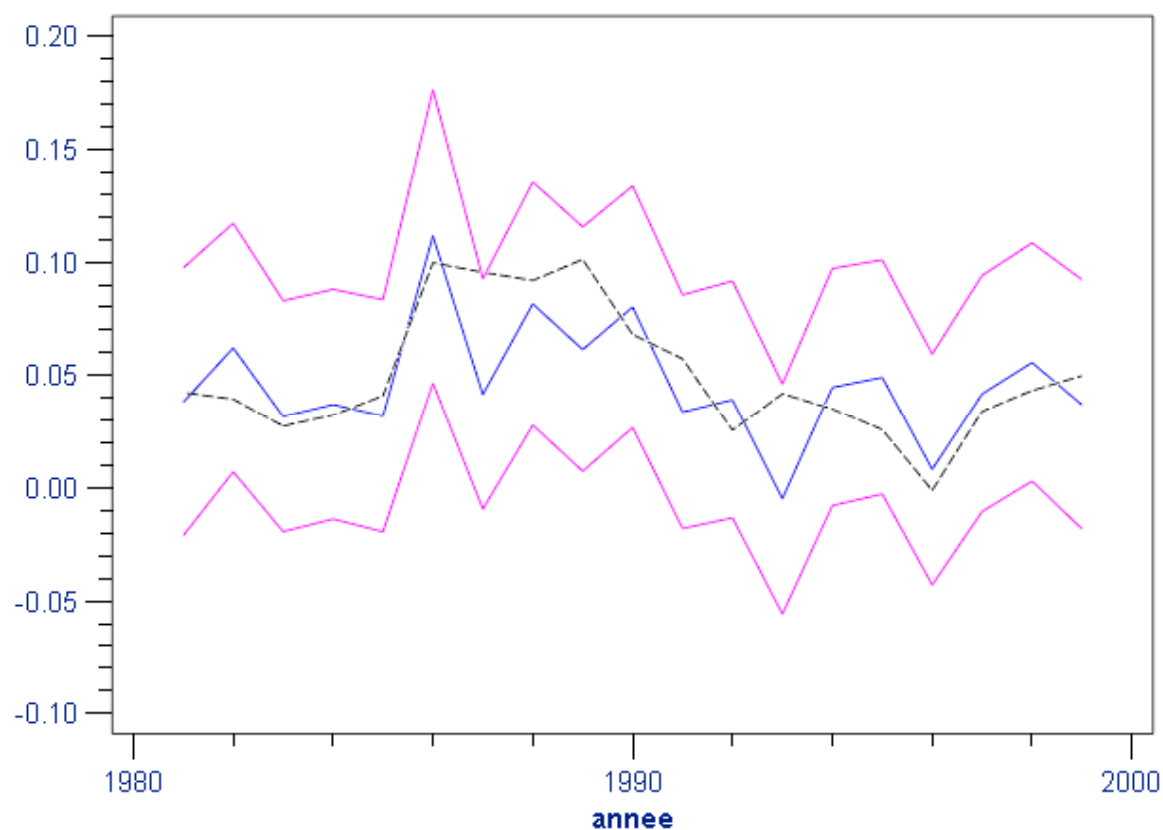
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
PIB	PIB	1,37E+00	2,91E-01	4,7	0,0002
Prix de l'autoroute	Pr	-2,24E-01	1,84E-01	-1,2	0,2394
Utilité du réseau autoroutier	Rr	8,06E-01	2,52E-01	3,2	0,0053

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	0,16	0,63	0,54

PREDICTED



Formulation 11

$$dIv/c/Iv/c = 1,27 \, dPib/Pib - 0,30 \, dPr/Pr + 0,80 \, dRr/Rr + 0,083 \, dPf/Pf - 0,045 \, dRf/Rf$$

(3,8) (1,4) (2,0) (0,3) (0,2)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-81,41	-86,39		2,30	0,19	0,43	non

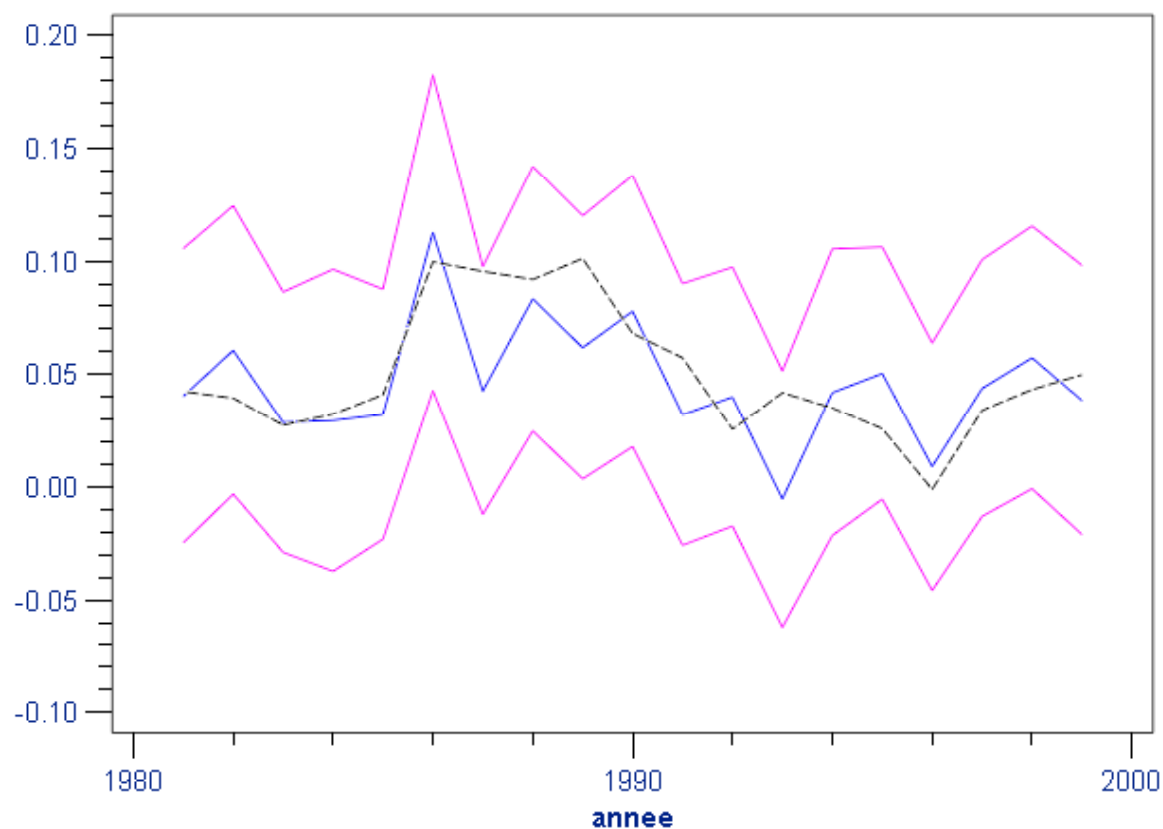
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
PIB	PIB	1,27	3,19E-01	3,8	0,0006
Prix de l'autoroute	Pf	-0,30	1,96E-01	1,4	0,2895
Utilité du réseau des autoroutes concédées	Rr	0,80	3,09E-01	2,0	0,0129
Prix du fer	Pf	0,083	2,81E-01	0,3	0,9385
Indicateur vitesse fer	Rf	-0,045	2,31E-01	0,2	0,6814

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	0,16	0,60	0,56

PREDICTED



Formulation 12

$$\ln Tvlc = -10,38 + 1,24 \ln Pib - 0,57 \ln Pr + 0,86 \ln Lc$$

(6,7) (4,9) (4,5) (6,4)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-85,7	-89,7	1,0	1,62	0,58	0,2862	non

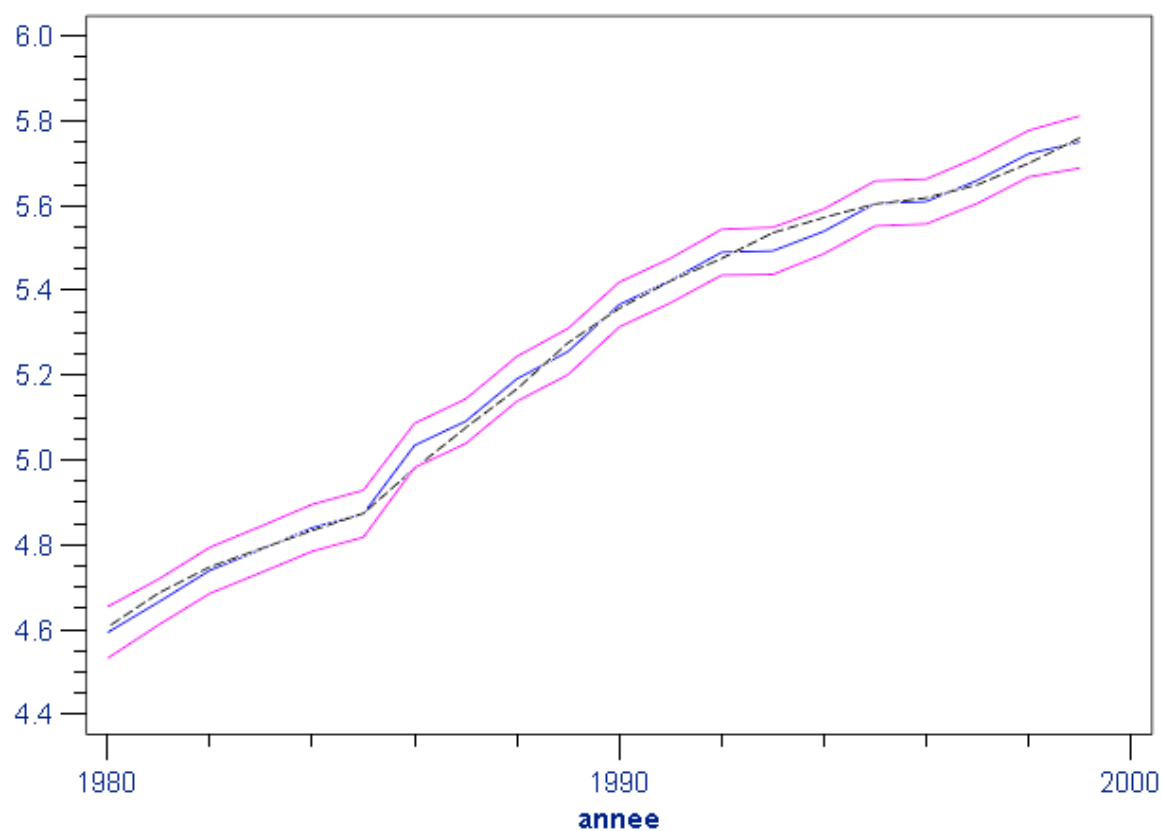
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,04E+01	1,54E+00	-6,7	<0,0001
ln (PIB)	ln PIB	1,24E+00	2,52E-01	4,9	0,0002
ln (Prix de l'autoroute)	ln Pr	-5,72E-01	1,27E-01	-4,5	0,0004
ln(Longueur des autoroutes concedées)	ln Lc	8,63E-01	1,35E-01	6,4	<0,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,176	-0,69	0,50

PREDICTED



Formulation 13

$$\ln Tvlc = -10,69 + 1,17 \ln PIB - 0,60 \ln Pr + 0,88 \ln Lc + 0,38 \ln Pf - 0,067 \ln Rf$$

(5,9) (4,2) (4,3) (3,6) (1,3) (0,3)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-82,58	-88,56	0,997	1,96	0,01	0,496	non

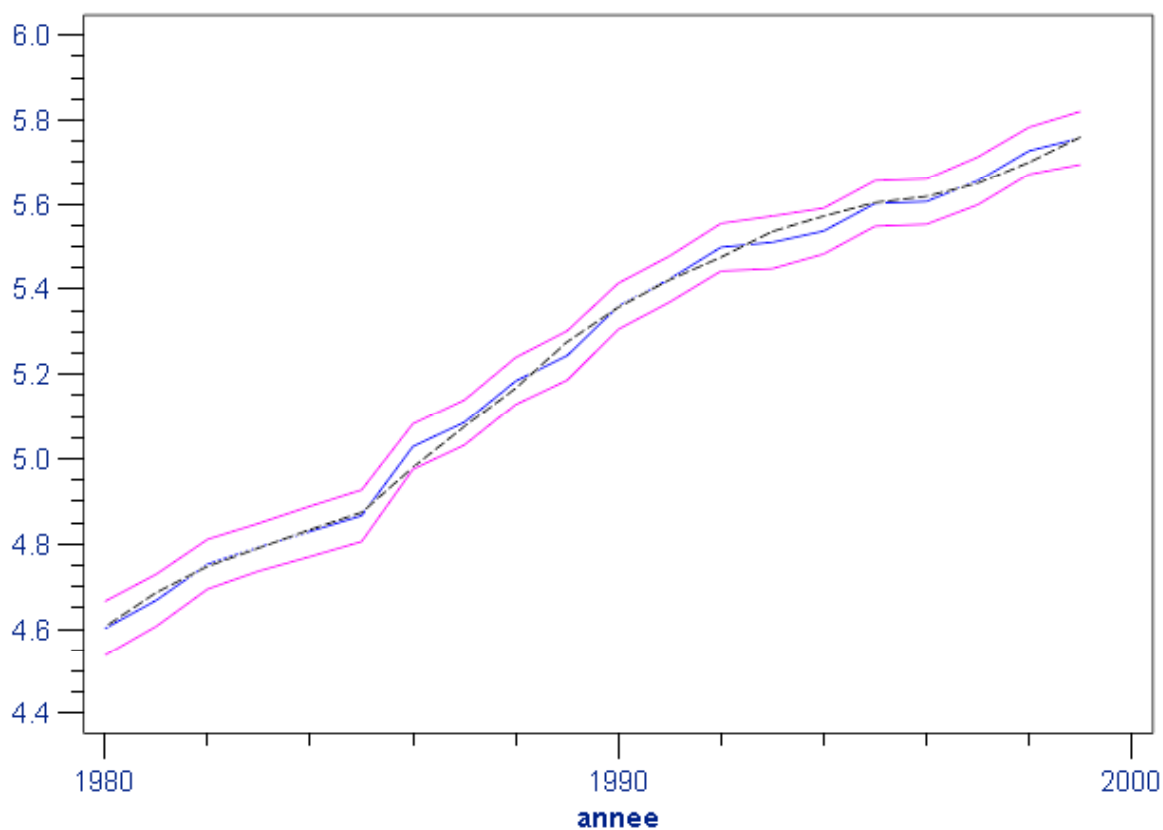
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,07E+01	1,82E+00	-5,9	<0,0001
ln (PIB)	lnPIB	1,17E+00	2,78E-01	4,2	0,0009
ln (Prix de l'autoroute)	lnPr	-5,97E-01	1,39E-01	-4,3	0,0007
ln (Longueur des autoroutes concédées)	lnLc	8,77E-01	2,43E-01	3,6	0,0028
ln (Prix du fer)	lnPf	3,78E-01	2,99E-01	1,3	0,2266
ln (Indicateur vitesse fer)	lnRf	-6,68E-02	2,29E-01	-0,3	0,7747

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1		-0,017	0,95

PREDICTED



Formulation 14

$$\ln T_{vlc} = -15,17 + 1,32 \ln P_{ib} - 0,54 \ln P_r + 1,41 \ln R_r$$

(10,5) (5,2) (4,1) (6,1)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-84,38	-88,37	0,9966	1,48	0,79	0,22	non

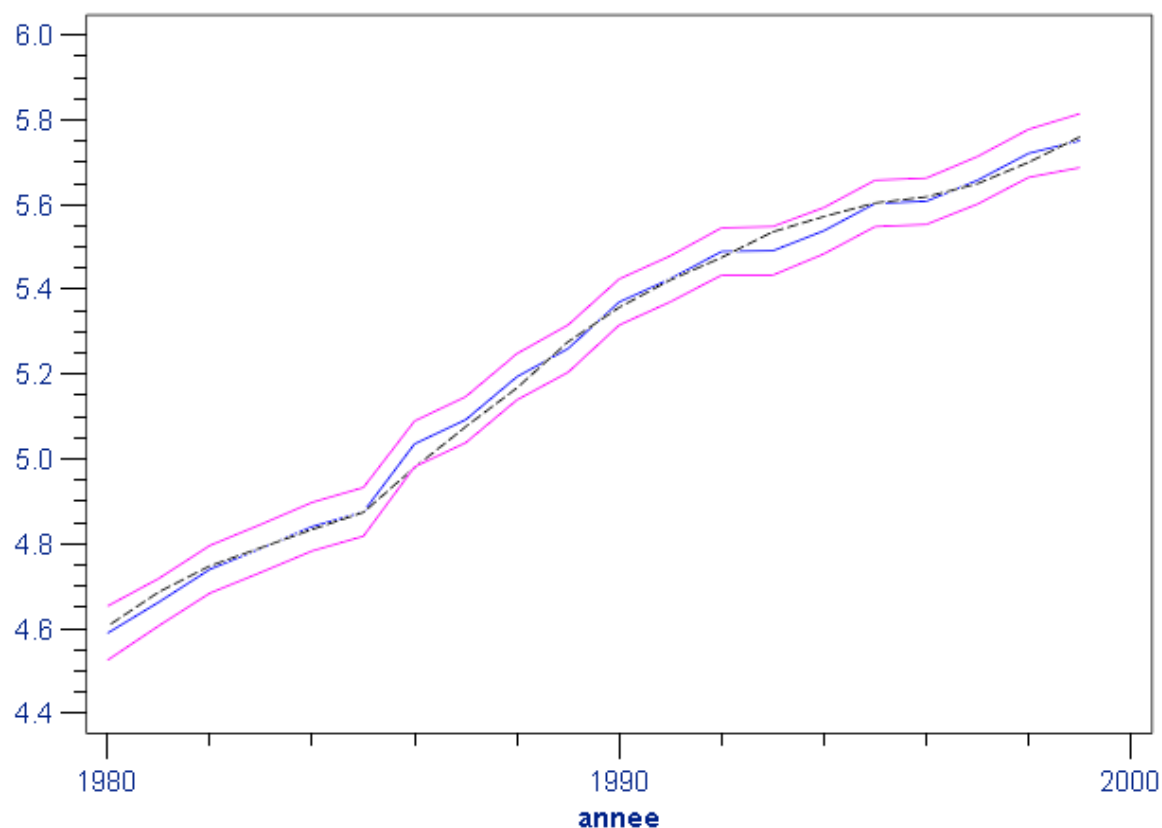
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,52E+01	1,44E+00	-10,5	<0,0001
ln (PIB)	ln PIB	1,32E+00	2,53E-01	5,2	<0,0001
ln (Prix de l'autoroute)	ln Pr	-5,39E-01	1,31E-01	-4,1	0,0008
ln (Utilité du réseau des autoroutes concédées)	ln Rt	1,41E+00	2,31E-01	6,1	<0,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,2398	-0,96	0,35

PREDICTED



Formulation 15

$$\ln Tvlc = -15,62 + 1,23 \ln Pib - 0,57 \ln Pr + 1,45 \ln Rr + 0,44 \ln Pf - 0,079 \ln Rf$$

(10,8) (4,5) (4,1) (3,5) (1,5) (0,3)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-82,02	-87,99	0,9972	1,89	1,89	0,47	non

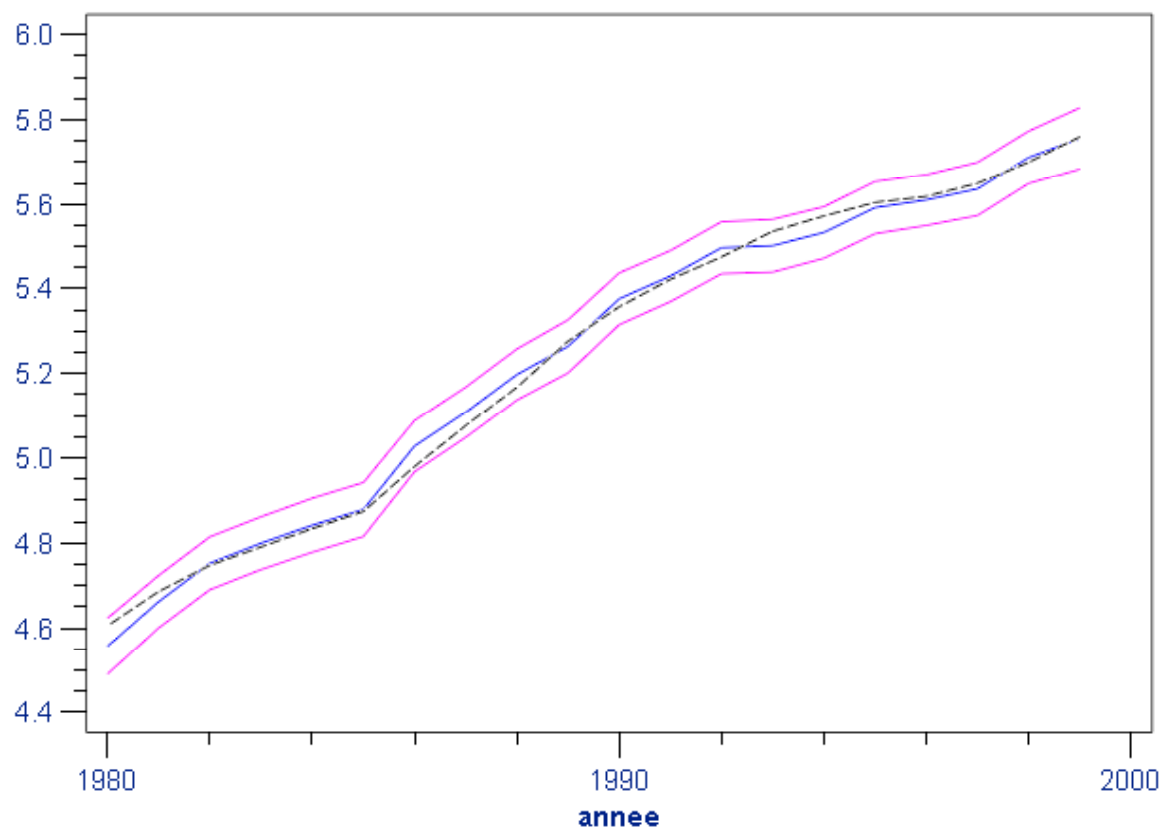
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,56E+01	1,45E+00	-10,8	<0,0001
ln (PIB)	lnPIB	1,23E+00	2,73E-01	4,5	0,0005
ln (Prix de l'autoroute)	lnPr	-5,69E-01	1,38E-01	-4,1	0,0010
ln (Utilité du réseau des autoroutes concédées)	lnRr	1,45E+00	4,14E-01	3,5	0,0035
ln (Prix du fer)	lnPf	4,35E-01	2,98E-01	1,5	0,1659
ln (Indicateur de vitesse écrêtée ferroviaire)	lnRf	-7,88E-02	2,37E-01	-0,3	0,7449

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1			

PREDICTED



Formulation 16

$$\ln Tvlc = -16,66 + 1,61 \ln Cfm - 0,52 \ln Pr + 1,41 \ln Rr$$

(9,2) (4,4) (3,5) (5,2)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-80,36	-84,34	0,9960	1,18	1,71	0,05	non

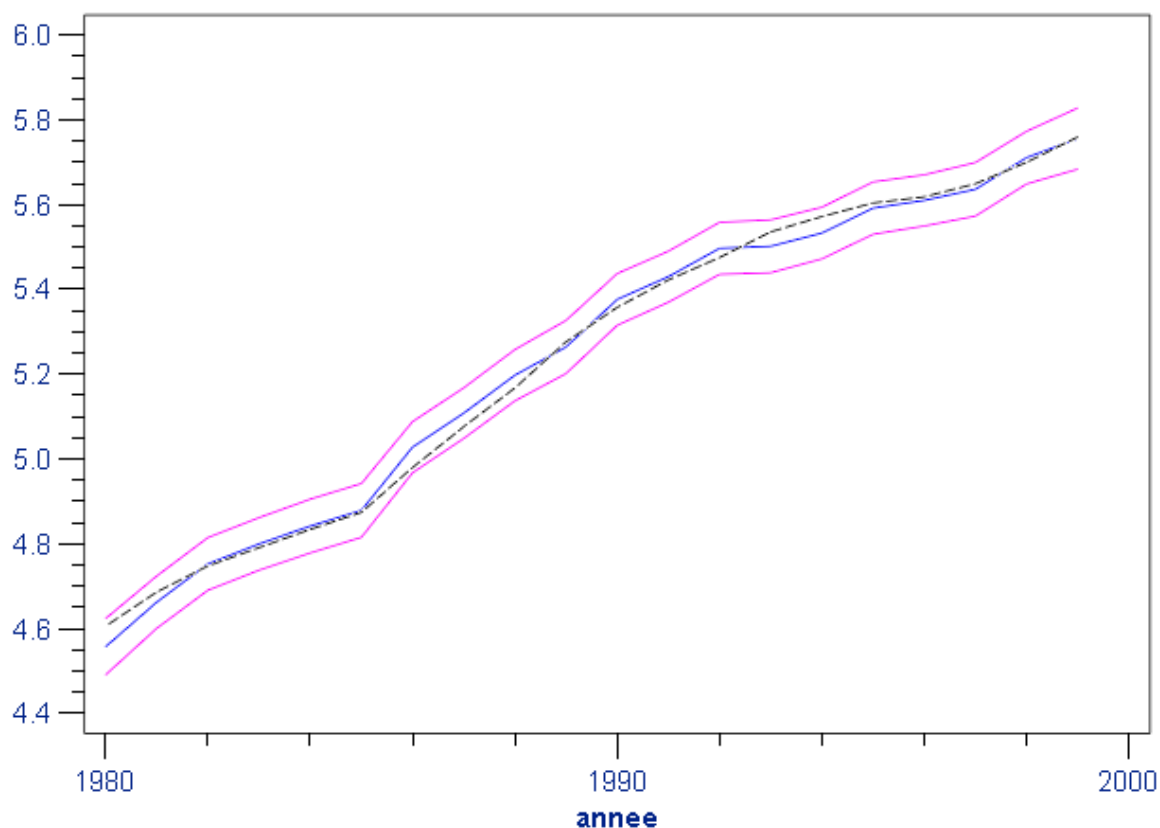
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,67E+01	1,80E+00	-9,2	<0,0001
ln (CFM)	lnCFM	1,61E+00	3,66E-01	4,4	0,0004
ln (Prix de l'autoroute)	lnPr	-5,20E-01	1,50E-01	-3,5	0,0032
ln (Utilité du réseau des autoroutes concédées)	lnRr	1,41E+00	2,69E-01	5,2	<0,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,407	-1,73	0,10

PREDICTED



Formulation 17

$$\ln Ta = -6,04 + 1,23 \ln Pib - 1,28 \ln Pa + 0,28 \ln Pf + 0,52 \ln Rf$$

(-3,61) (4,98) (-5,16) (0,49) (3,79)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-89,77	-94,49	0,9970	0,85	5,62	0,0001	oui

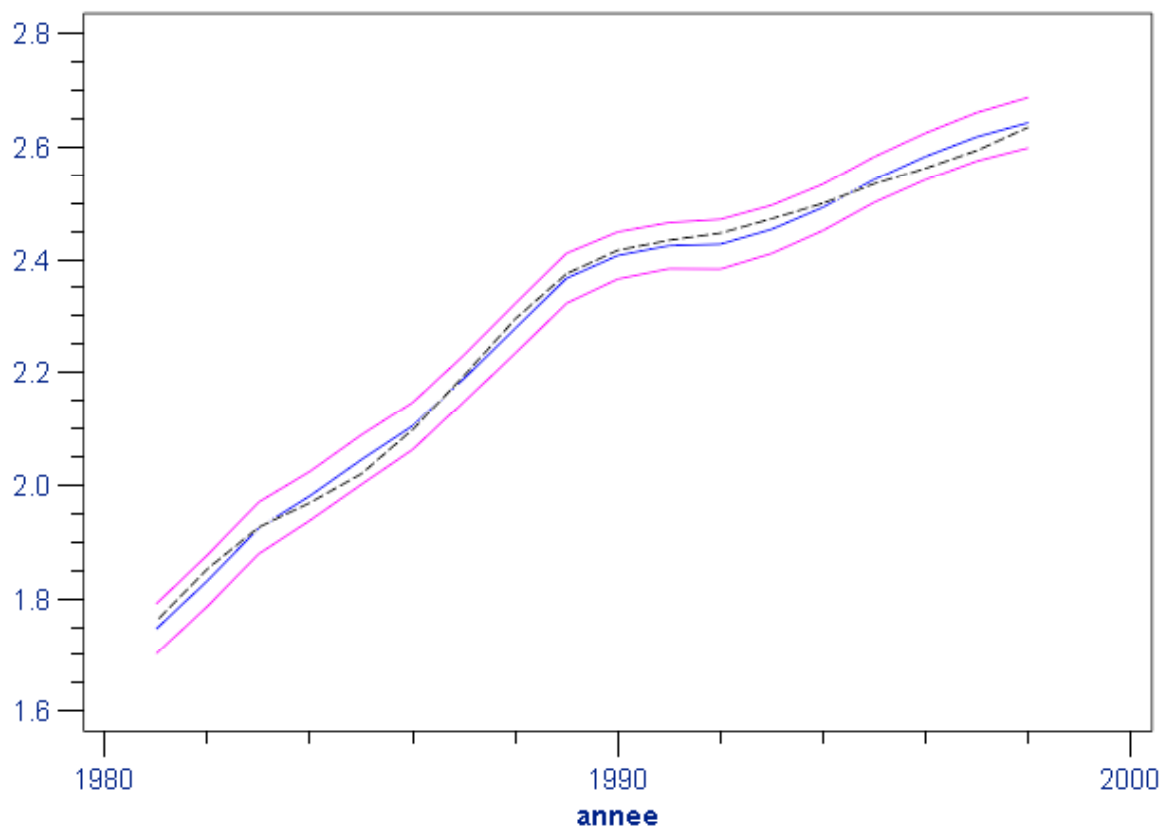
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-6,04E+00	1,67E+00	-3,6	0,0028
ln (PIB)	lnPIB	1,23E+00	2,47E-01	5,0	0,0002
ln (Prix de l'air)	lnPa	-1,28E+00	2,49E-01	-5,2	0,0001
ln (Prix du fer)	lnPf	2,79E-01	5,70E-01	0,5	0,6329
ln (Indicateur vitesse fer)	lnRf	5,16E-01	1,36E-01	3,8	0,0020

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,497	-2,06	0,060

PREDICTED



Formulation 18

$$\ln Ta = -9,57 + 1,54 \ln Pib + 0,13 \text{ Diff} - 0,63 \ln Pa + 0,76 \ln Pf - 0,13 \ln Rf$$

(-12,2) (14,8) (9,0) (-5,0) (3,3) (-1,7)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-122,60	-128,27	1,0000	0,87	2,89	0,01	oui

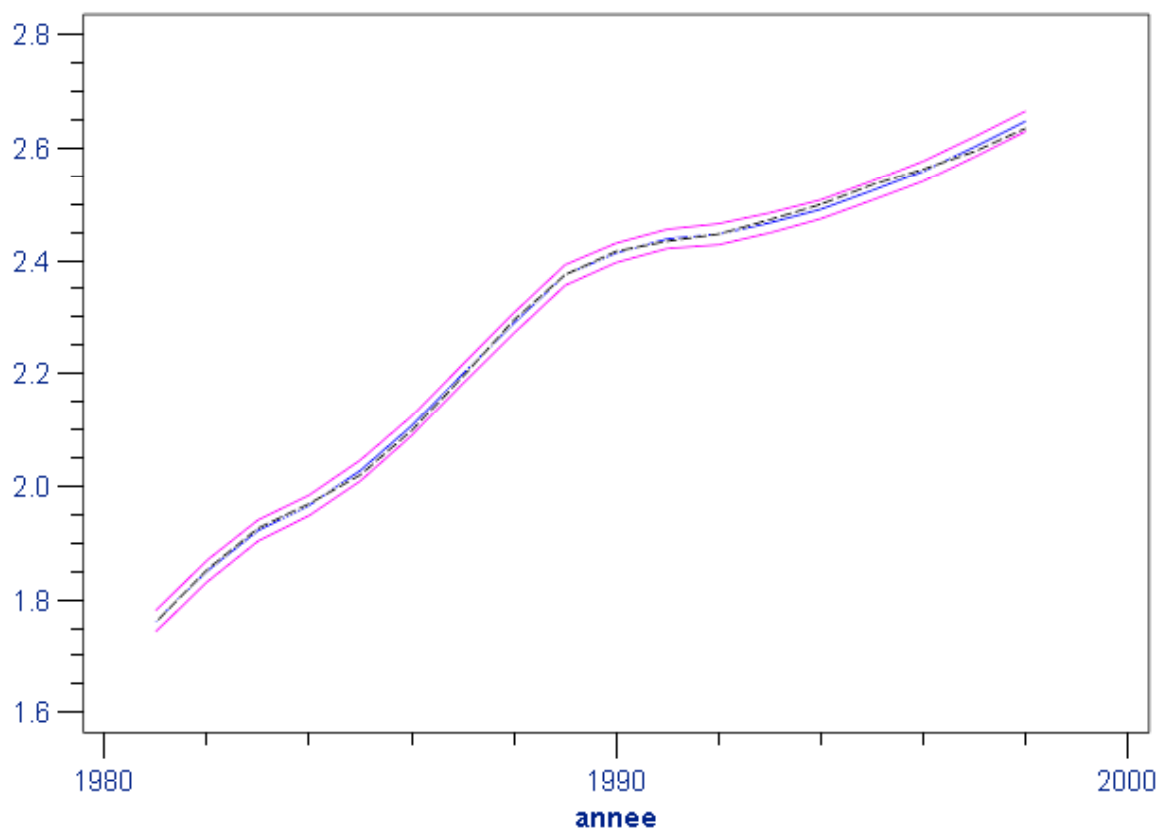
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-9,57E+00	7,87E-01	-12,2	<0,0001
ln (PIB)	lnPib	1,54E+00	1,04E-01	14,8	<0,0001
ln (Prix de l'air)	lnPa	-6,27E-01	1,25E-01	-5,0	0,0002
ln (Prix du fer)	lnPf	7,55E-01	2,31E-01	3,3	0,0061
ln (Indicateur de vitesse écrêtée ferroviaire)	lnRf	-1,31E-01	7,90E-02	-1,7	0,1218
Diffusion de l'aérien	Diff	1,30E-01	1,45E-02	9,0	<0,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,453	-1,76	0,10

PREDICTED



Formulation 19

$$\ln Ta = -9,10 + 1,48 \ln PIB + 0,12 \text{ Diff} - 0,77 \ln Pa + 0,99 \ln Pf - 0,026 \text{ Polit} - 0,16 \ln Rf$$

(16,3) (20,9) (14,5) (9,3) (6,2) (4,2) (3,0)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-137,27	-143,88	0,9998	1,81	0,58	0,29	non

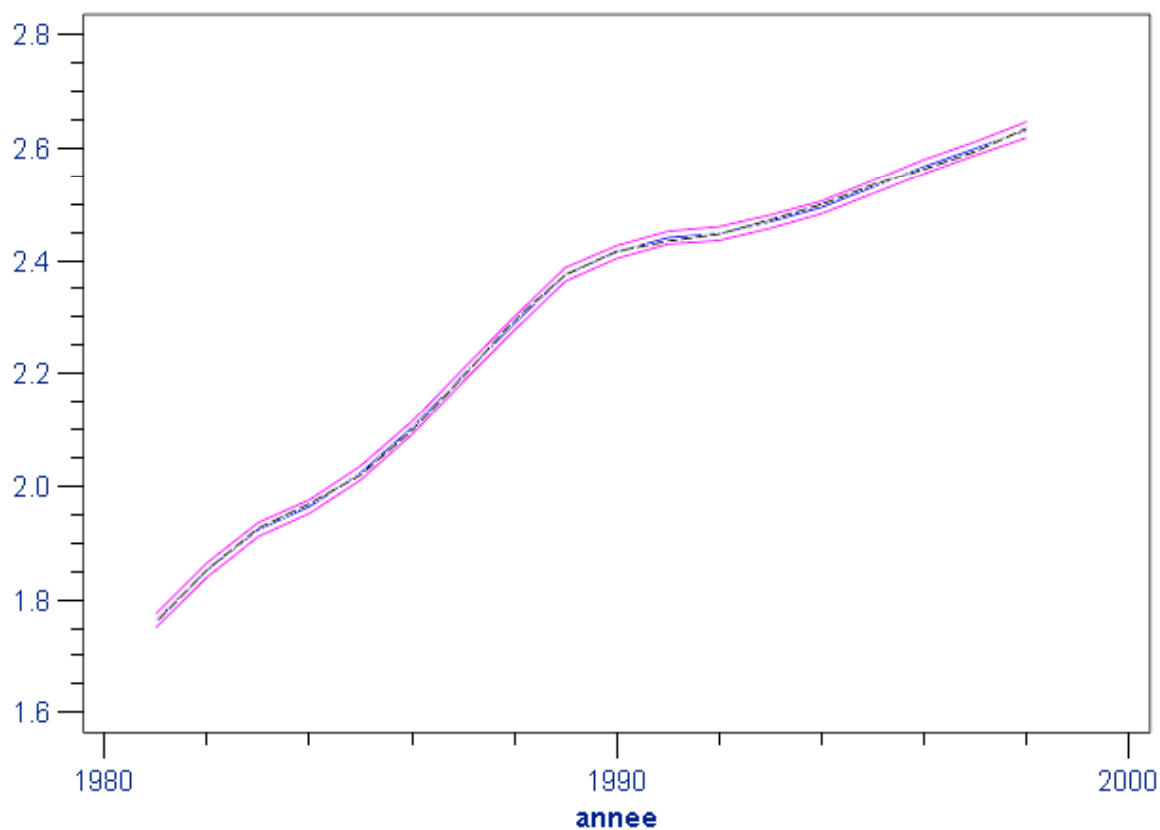
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-9,10	0,53	-16,3	<0,0001
ln (PIB)	lnPIB	1,48	0,07	20,9	<0,0001
Diffusion de l'aérien	Diff	0,12	0,01	14,5	<0,0001
ln (Prix de l'air)	lnPa	-0,77	0,09	9,3	<0,0001
ln (Prix du fer)	lnPf	0,99	0,16	6,2	<0,0001
ln (Politique tarifaire SNCF)	Polit	-0,03	0,01	4,2	0,0011
ln (Indicateur de vitesse du fer)	lnRf	-0,16	0,05	3,0	0,0100

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,083	-0,28	0,79

PREDICTED



Formulation 20

$$\ln Tf = 2,03 + 0,59 \ln Pib - 2,04 \ln Pf + 0,41 \ln Rf + 0,11 \ln Pa + 0,21 \ln Pr$$

(0,5) (1,4) (2,8) (2,8) (0,3) (1,0)

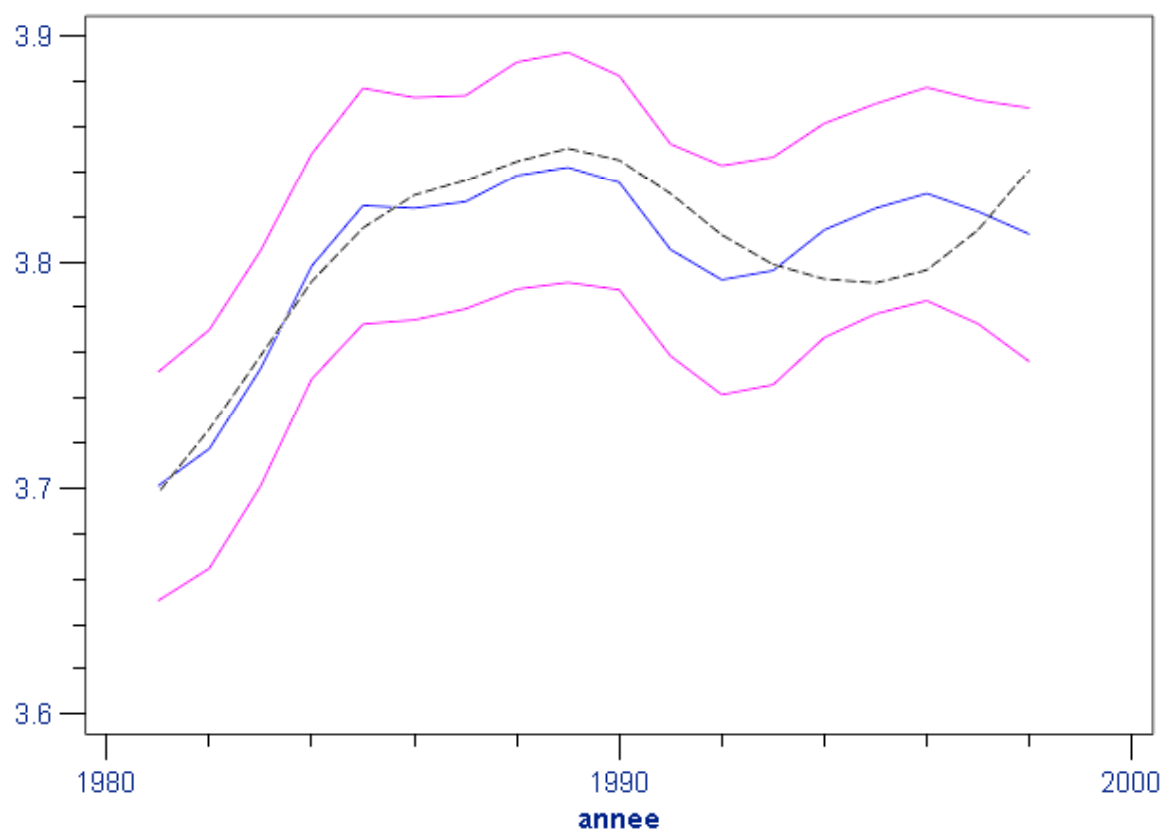
Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-83,69	-89,36	0,8809	0,74	4,78	0	oui

Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		2,03	3,95	0,5	0,6164
ln (PIB)	lnPIB	0,59	0,44	1,4	0,1997
ln (Prix du fer)	lnPf	-2,04	0,71	-2,8	0,0133
ln (Prix de l'air)	lnPa	0,11	0,34	0,3	0,7507
ln (Indicateur de vitesse écrêtée ferroviaire)	lnRf	0,41	0,15	2,8	0,0143
ln (Prix de l'autoroute)	lnPr	0,21	0,20	1,0	0,3160

PREDICTED



Toutefois on ne peut pas rejeter une formulation autorégressive :

Coefficients des paramètres autorégressifs

Retard	Coefficient	Erreur type	t de Student
1	-0,537	0,24	-2,21

Formulation de la régression avec erreurs autorégressives

$$\ln T_f = 0,93 + 0,51 \ln P_{ib} - 1,33 \ln P_f + 0,38 \ln R_f - 0,01 \ln P_a + 0,29 \ln P_r + e_t$$

(0,3) (1,3) (1,9) (2,5) (0,0) (1,4)

$$\text{avec } e_t = 0,537 e_{t-1}$$

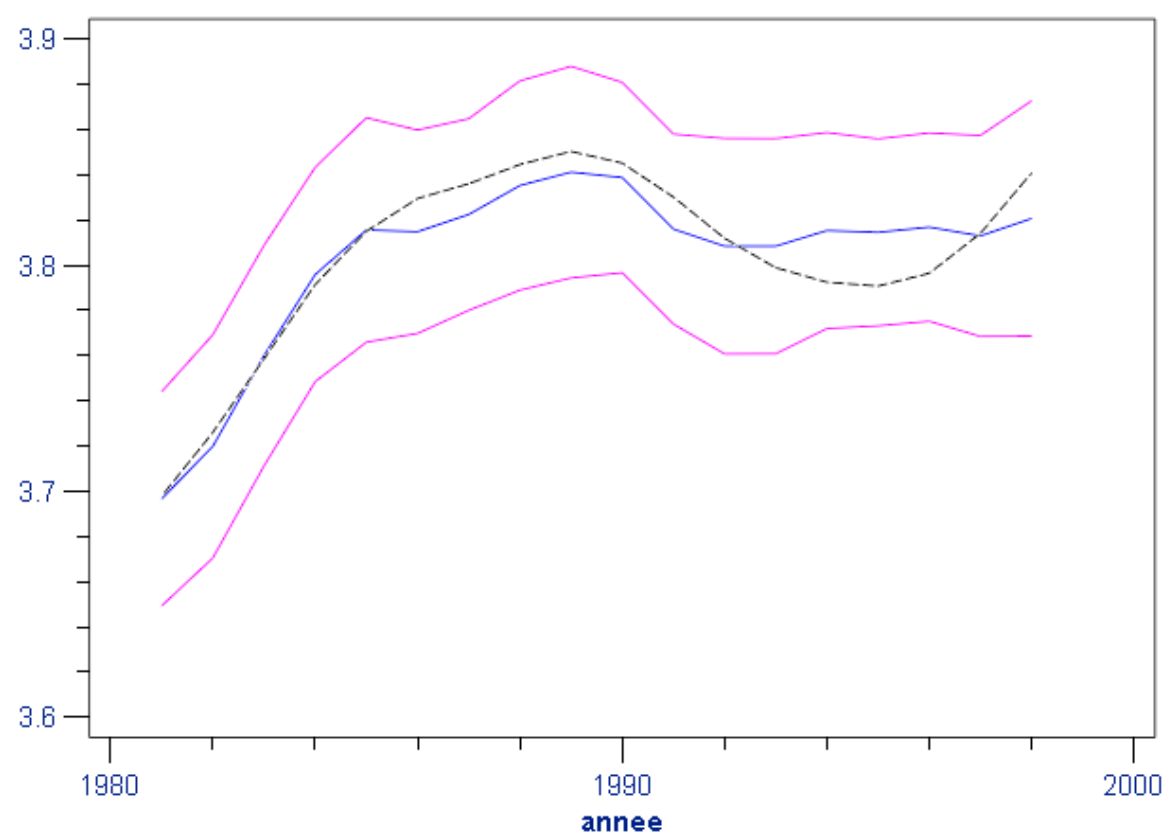
Coefficients de Yule-Walker

SSE	0,002968	DFE	12
MSE	0,000247	Racine des MSE	0,0157
SBC	-91,65	AIC	-98,26
R ²	0,8257	R ²	0,9341
Durbin-Watson	0,62		

Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		0,93	3,44	0,3	0,7916
ln (PIB)	ln PIB	0,51	0,39	1,3	0,2162
ln (Prix du fer)	ln Pf	-1,33	0,70	-1,9	0,0795
ln (Prix de l'air)	ln Pa	-0,01	0,29	0,0	0,9673
ln (Indicateur de vitesse fer)	ln Rf	0,38	0,15	2,5	0,0272
ln (Prix de l'autoroute)	ln Pr	0,29	0,20	1,4	0,1785

PREDICTED



Formulation 21

$$\ln Tf = 5,05 + 0,30 \ln Pib - 1,83 \ln Pf + 0,37 \ln Rf$$

(8,4) (2,0) (4,7) (3,4)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-87,96	-91,73	0,8702	0,74	3,16	0	oui

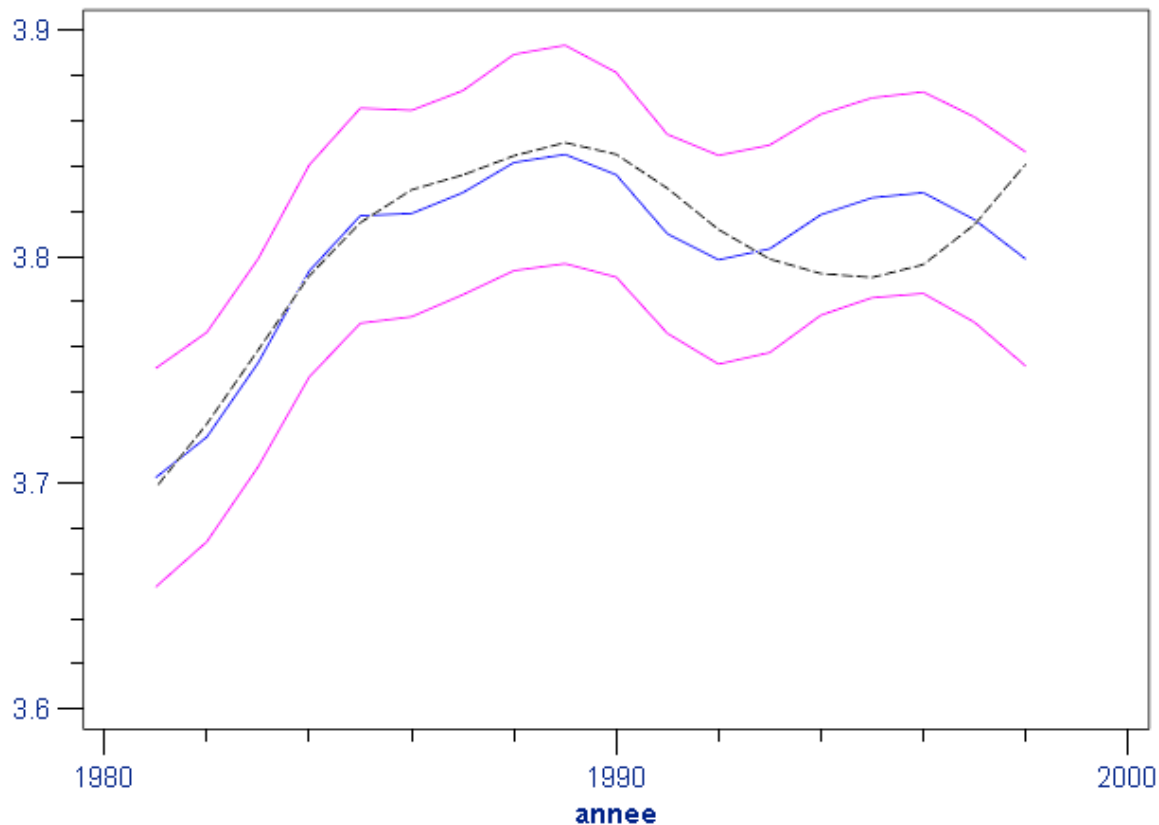
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		5,05	0,60	8,4	<0,0001
ln (PIB)	lnPIB	0,30	0,16	2,0	0,0704
ln (Prix du fer)	lnPf	-1,83	0,39	-4,7	0,0003
ln (Indicateur de vitesse écrêtée ferroviaire)	lnRf	0,37	0,11	3,4	0,0036

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,465	-1,96	0,07

PREDICTED



Formulation 22

$$\ln T_f = 5,88 + 0,21 \ln P_{ib} - 2,00 \ln P_f + 0,055 \text{ Polit} + 0,45 \ln R_f$$

(10,4) (1,6) (6,1) (2,9) (4,9)

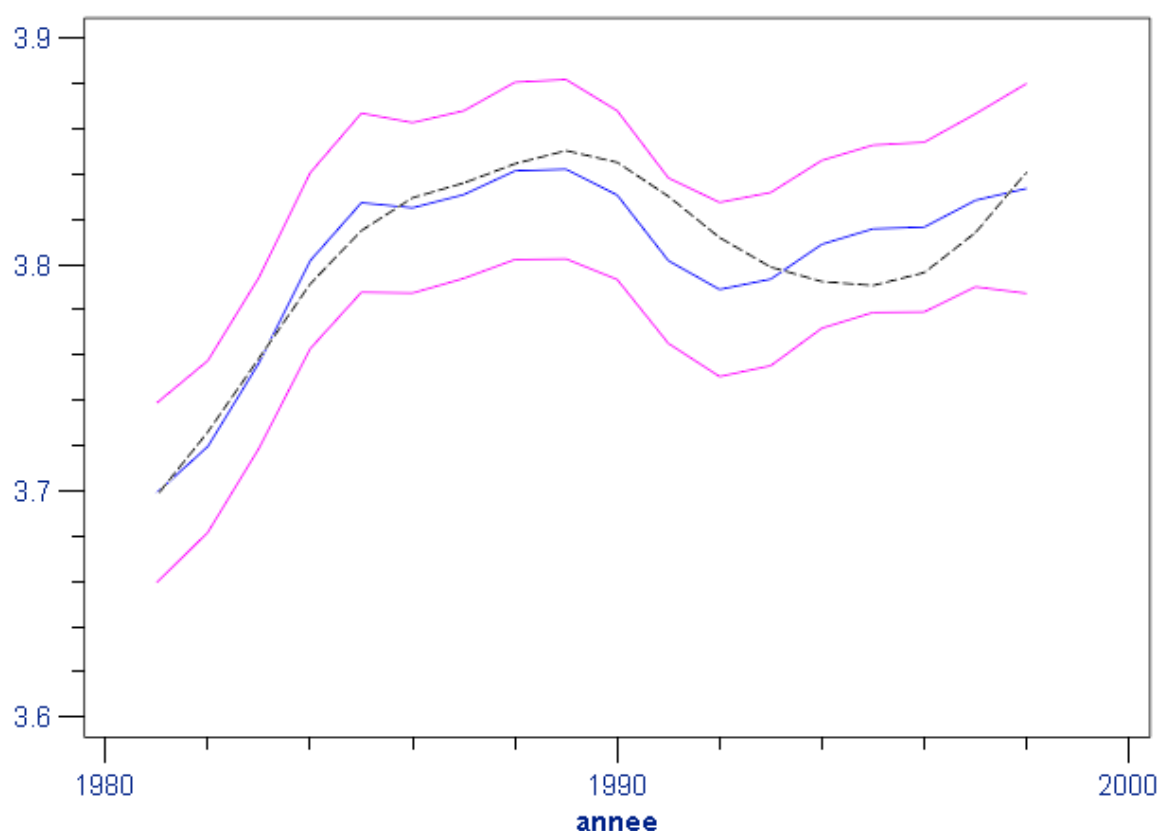
Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-94,10	-98,82	0,9200	0,62	4,51	0	oui

Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		5,88	0,56	10,4	<0,0001
ln (PIB)	ln PIB	0,213	0,13	1,6	0,1236
ln (Prix du fer)	ln Pf	-2,00	0,33	-6,1	<0,0001
Indicateur de politique tarifaire	Polit	0,055	0,02	2,9	0,0110
ln (Indicateur vitesse fer)	ln Rf	0,45	0,09	4,9	0,0002

PREDICTED



Toutefois, on ne peut pas rejeter une formulation avec erreurs autorégressives :

Coefficients des paramètres autorégressifs

Retard	Coefficient	Erreur type	t de Student
1	-0,676	0,20	-3,31

Formulation de la régression avec erreurs autorégressives

$$\ln T_f = 5,12 + 0,13 \ln P_{ib} - 1,53 \ln P_f + 0,06 \text{ Polit} + 0,45 \ln R_f + e_t$$

(6,5) (0,9) (4,3) (3,7) (4,8)

$$\text{avec } e_t = 0,676 e_{t-1}$$

Coefficients des paramètres autorégressifs

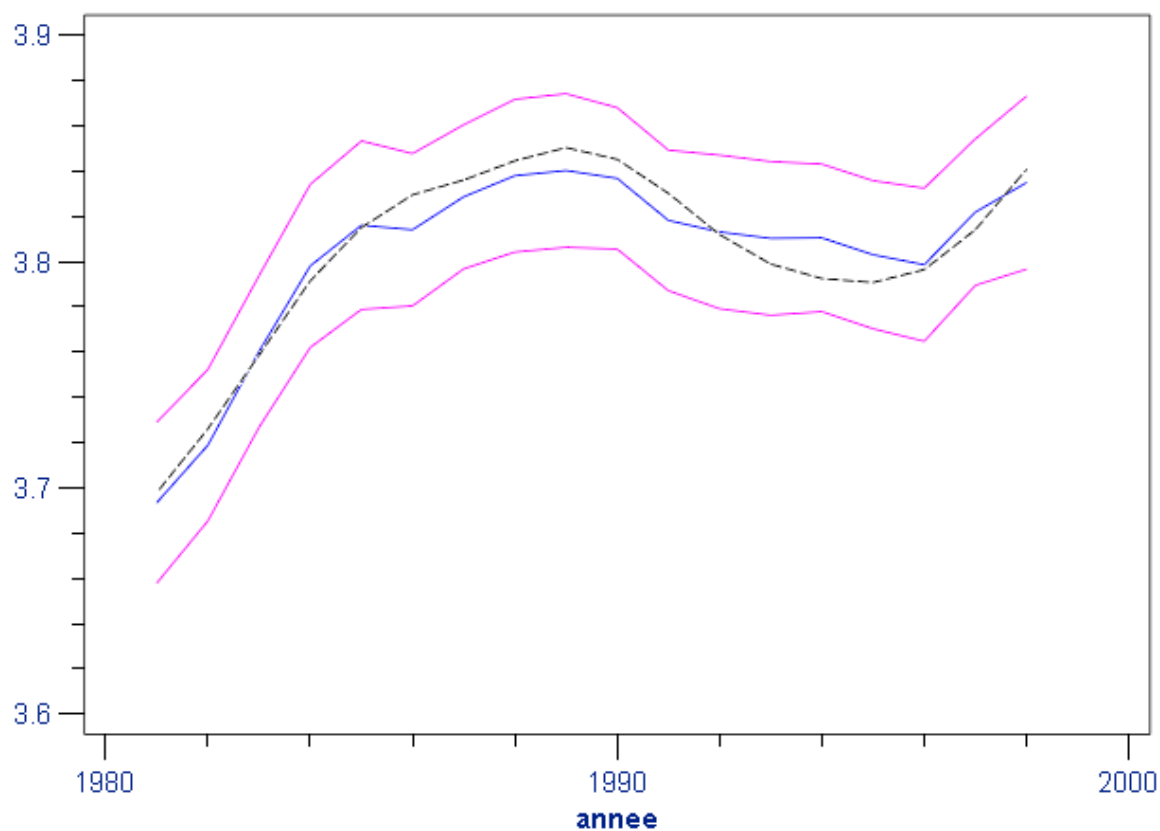
Retard	Coefficient	Erreur type	t de Student
1	-0,676	0,20	-3,31

SBC	-107,03	AIC	-112,70
R ²	0,878	R ²	0,966
Durbin-Watson	0,876		

Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		5,1218	0,7894	6,5	<0,0001
ln (PIB)	ln PIB	0,13	0,13	0,9	0,3655
ln (Prix du fer)	ln Pf	-1,53	0,35	-4,3	0,0009
Indicateur de politique tarifaire	Polit	0,06	0,02	3,7	0,0027
ln (Indicateur de vitesse fer)	ln Rf	0,45	0,09	4,8	0,0004

PREDICTED



Formulation 23

$$\ln(Ta+Tf) = 0,77 + 0,67 \ln Pib - 1,36 \ln Paf + 0,44 \ln Rf$$

(2,5) (6,3) (6,6) (6,0)

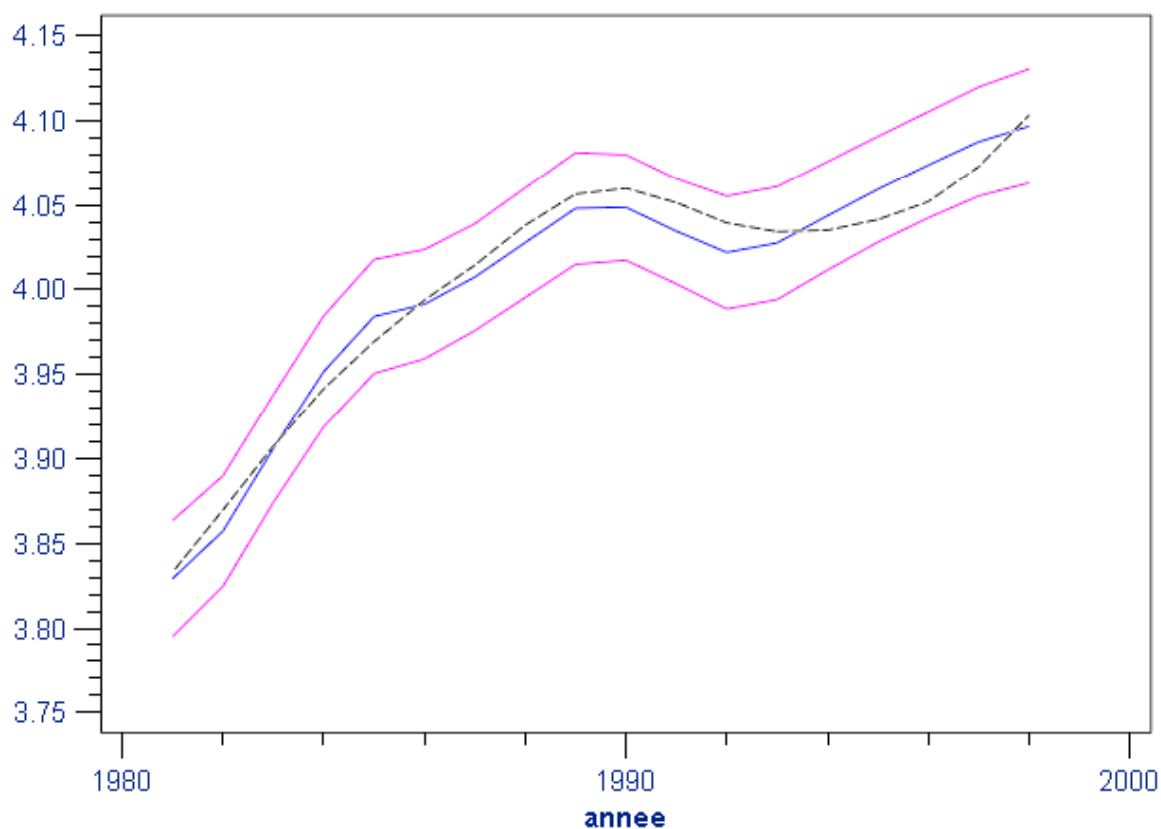
Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-101,24	-105,02	0,9782	0,72	3,93	0,0009	oui

Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		0,77	4,76E-01	2,5	0,0232
ln (PIB)	lnPIB	0,67	1,25E-01	6,3	<0,0001
ln (Prix moyen de l'air et du fer)	lnPaf	-1,36	2,61E-01	-6,6	<0,0001
ln (Indicateur de vitesse fer)	lnRf	0,44	8,62E-02	6,0	<0,0001

PREDICTED



On ne peut rejeter une formulation avec erreurs autorégressives :

Coefficients des paramètres autorégressifs

Retard	Coefficient	Erreur type	t de Student
1	-0,582	0,22	-2,68

Formulation de la régression avec erreurs autorégressives

$$\ln(Ta+Tf) = 0,37 + 0,68 \ln Pib - 1,21 \ln Paf + 0,42 \ln Rf + e_t$$

(0,8) (5,4) (-4,7) (4,9)

avec $e_t = 0,582 e_{t-1}$

Coefficients des paramètres autorégressifs

Retard	Coefficient	Erreur type	t de Student
1	-0,582	0,22	-2,68

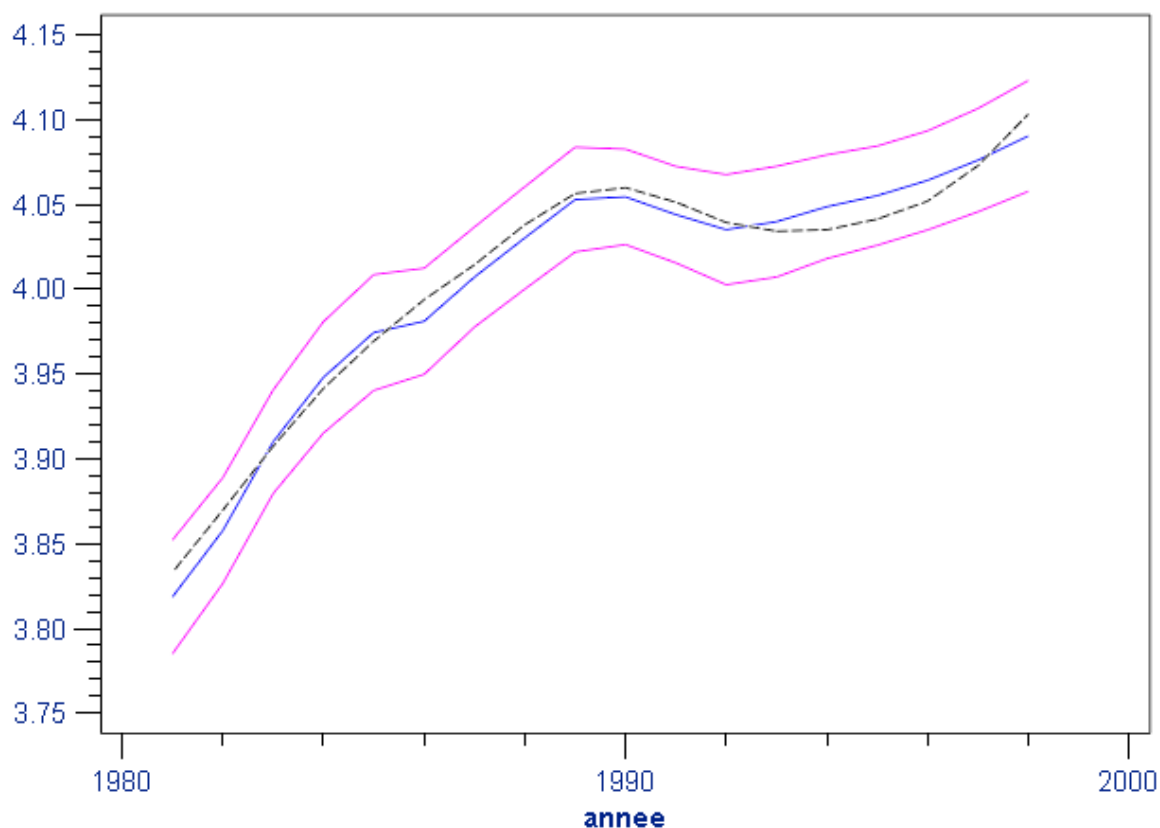
Coefficients de Yule-Walker

SBC	-107,88	AIC	-112,60
R ²	0,958	R ²	0,987
Durbin-Watson	1,13		

Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		3,66E-01	4,76E-01	0,8	0,4543
ln (PIB)	lnPIB	6,77E-01	1,25E-01	5,4	<0,0001
ln (Prix moyen de l'air et du fer)	lnPaf	-1,21E+00	2,61E-01	-4,7	0,0004
ln (Indicateur de vitesse fer)	lnRf	4,19E-01	8,62E-02	4,9	0,0003

PREDICTED



Formulation 24

$$\ln(Ta+Tf) = 0,76 + 0,68 \ln Pib - 1,36 \ln Paf + 0,44 \ln Rf - 0,0011 \text{ Polit}$$

(2,2) (5,1)
(6,0)
(5,2)
(0,1)

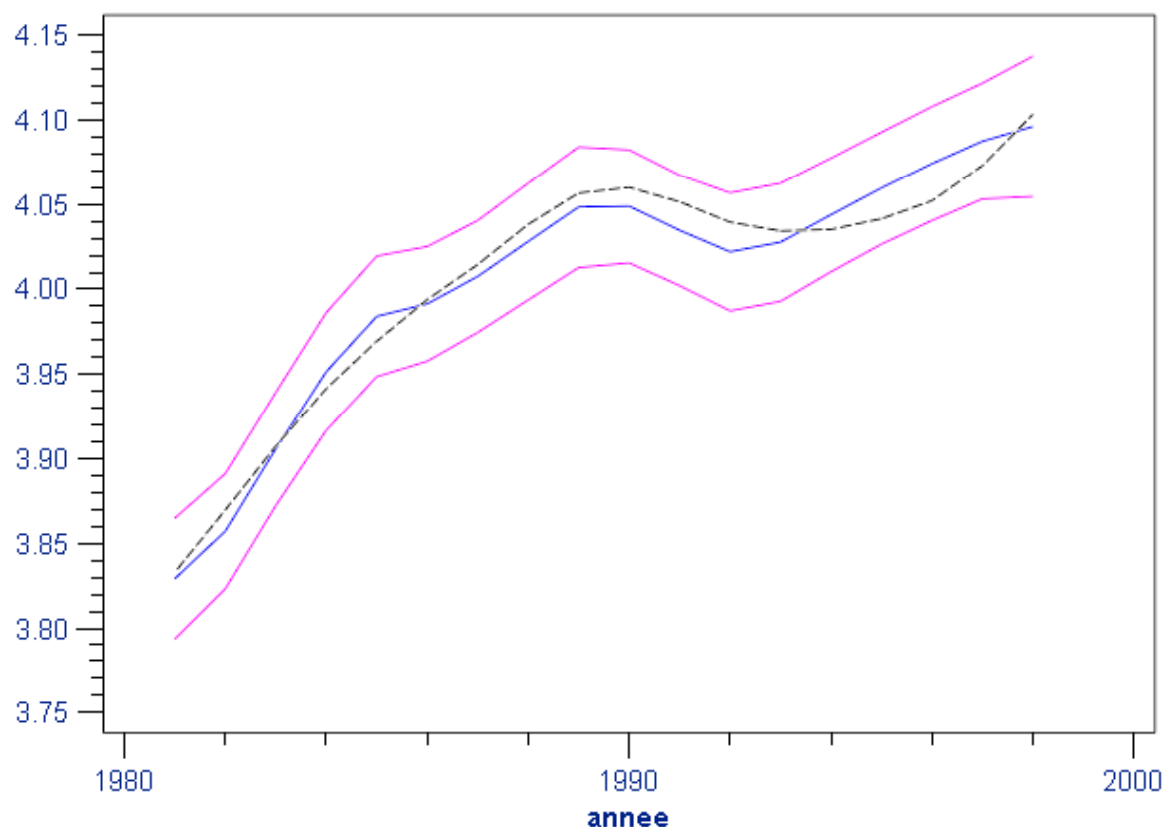
Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-98,30	-103,02	0,9782	0,73	4,18	0	oui

Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		7,63E-01	3,54E-01	2,2	0,0490
ln (PIB)	lnPIB	6,78E-01	1,32E-01	5,1	0,0002
ln (Prix moyen de l'air et du fer)	lnPaf	-1,36E+00	2,26E-01	-6,0	<0,0001
ln (Indicateur de vitesse fer)	lnRf	4,38E-01	8,41E-02	5,2	0,0001
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-1,11E-03	1,73E-02	-0,1	0,9497

PREDICTED



Toutefois, on ne peut pas rejeter une formulation avec erreurs autorégressives :

Coefficients des paramètres autorégressifs

Retard	Coefficient	Erreur type	t de Student
1	-0,575	0,23	-2,53

Formulation de la régression avec erreurs autorégressives

$$\ln(Ta+Tf) = 0,62 + 0,60 \ln Pib - 1,16 \ln Paf + 0,46 \ln Rf - 0,017 \text{ Polit} + e_{t-1}$$

(1,2) (4,1) (4,4) (4,9) (1,0)

$$\text{avec } e_t = 0,575 e_{t-1}$$

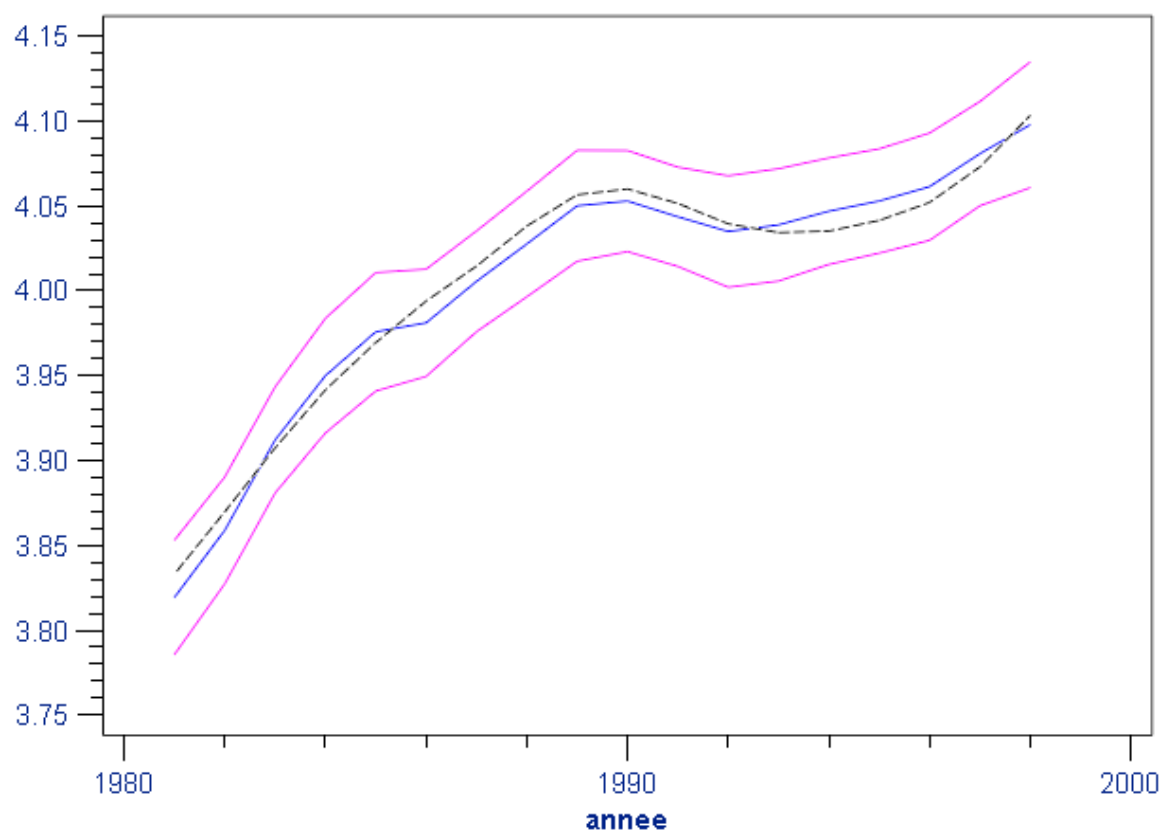
Coefficients de Yule-Walker

SBC	-106,30	AIC	-111,97
R ²	0,96	R ²	0,99
Durbin-Watson	1,10		

Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		0,616	0,528	1,2	0,2640
ln (PIB)	lnPIB	0,600	0,146	4,1	0,0012
ln (Prix moyen de l'air et du fer)	lnPaf	-1,16	0,266	-4,4	0,0008
ln (Indicateur de vitesse fer)	lnRf	0,456	0,0934	4,9	0,0003
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-0,0168	0,0167	1,0	0,3327

PREDICTED



Formulation 25

$$\ln(Ta+Tf) = 3,08 + 0,55 \ln Pib - 1,51 \ln Paf + 0,41 \ln Rf - 0,20 \ln Pr$$

(2,1) (4,3) (6,9) (5,8) (1,6)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-101,62	-106,34	0,9817	0,97	3,17	0	oui

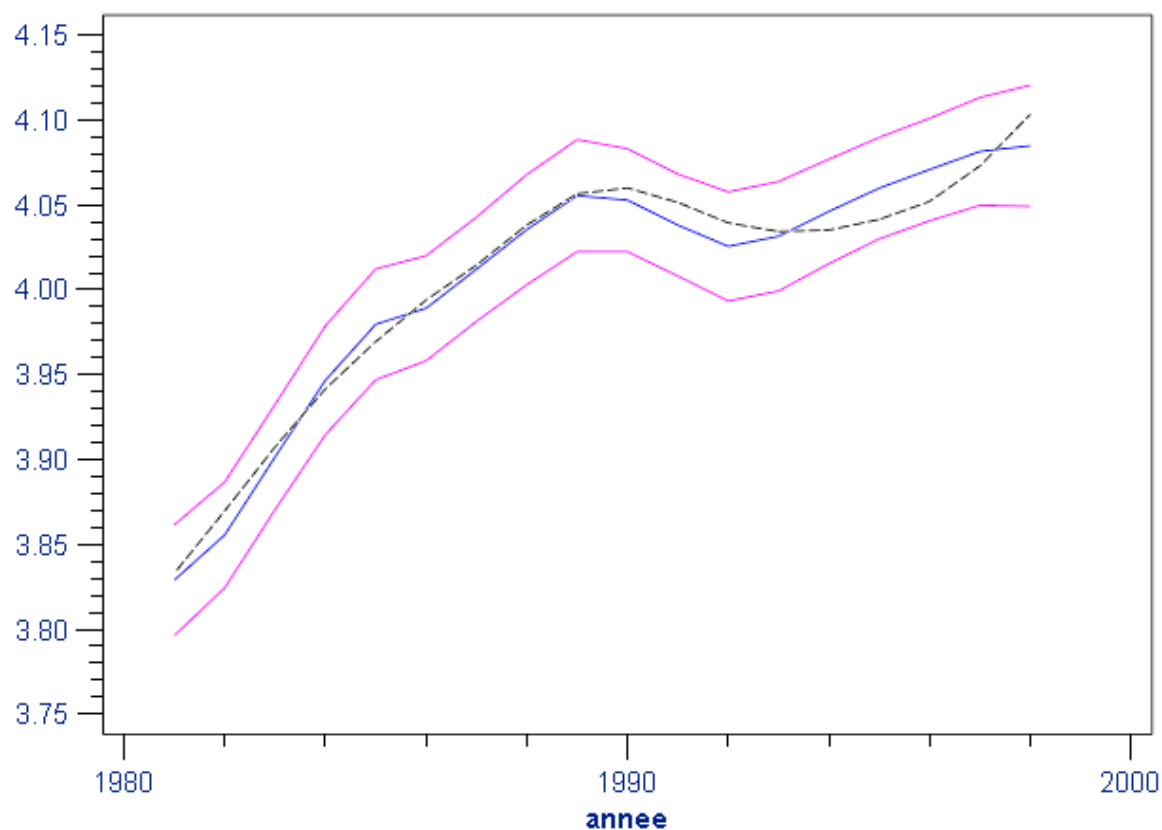
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		3,08E+00	1,44E+00	2,1	0,0506
ln (PIB)	lnPIB	5,48E-01	1,27E-01	4,3	0,0007
ln (Prix moyen de l'air et du fer)	lnPaf	-1,52E+00	2,19E-01	-6,9	<0,0001
ln (Indicateur de vitesse fer)	lnRf	4,12E-01	7,13E-02	5,8	<0,0001
ln (Prix de l'autoroute)	lnPr	-1,98E-01	1,21E-01	-1,6	0,1241

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,372	-1,45	0,17

PREDICTED



Formulation 26

$$\ln(Ta+Tf) = 8,63 + 0,052 \ln Pib - 1,58 \ln Paf + 0,49 \ln Rf - 0,62 Pr + 0,067 Polit$$

(3,8) (0,0) (8,8) (7,7) (3,5) (2,9)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-108,01	-113,68	0,9888	1,32	1,66	0,06	non

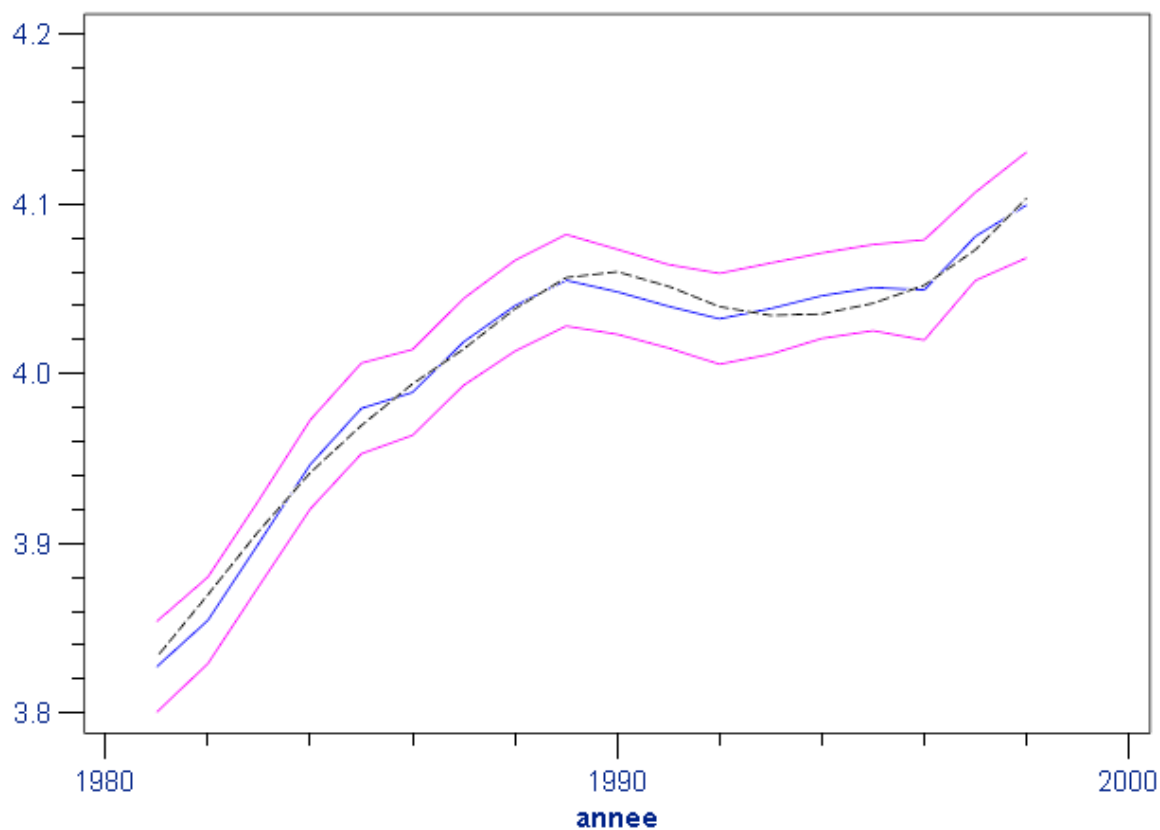
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		8,64E+00	2,26E+00	3,8	0,0021
ln (PIB)	lnPIB	5,21E-02	2,15E-01	0,0	0,9811
ln (Prix moyen de l'air et du fer)	lnPaf	-1,58E+00	1,79E-01	-8,8	<0,0001
ln (Indicateur de vitesse fer)	lnRf	4,94E-01	6,45E-02	7,7	<0,0001
ln (Prix de l'autoroute)	lnPr	-6,22E-01	1,77E-01	-3,5	0,0039
Indicateur de politique tarifaire	Polit	6,65E-02	2,32E-02	2,9	0,0131

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,207	-0,73	0,48

PREDICTED



Formulation 27

$$\ln(Ta+Tf) = 10,3 - 0,25 \ln Pib - 1,73 \ln Paf + 0,42 \ln Rf - 0,78 Pr + 0,21 \ln Rr + 0,074 Polit$$

(3,3) (0,6) (6,7) (3,6) (2,9) (0,8) (2,9)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-106,01	-112,62	0,9894	1,36	2,63	0,01	oui

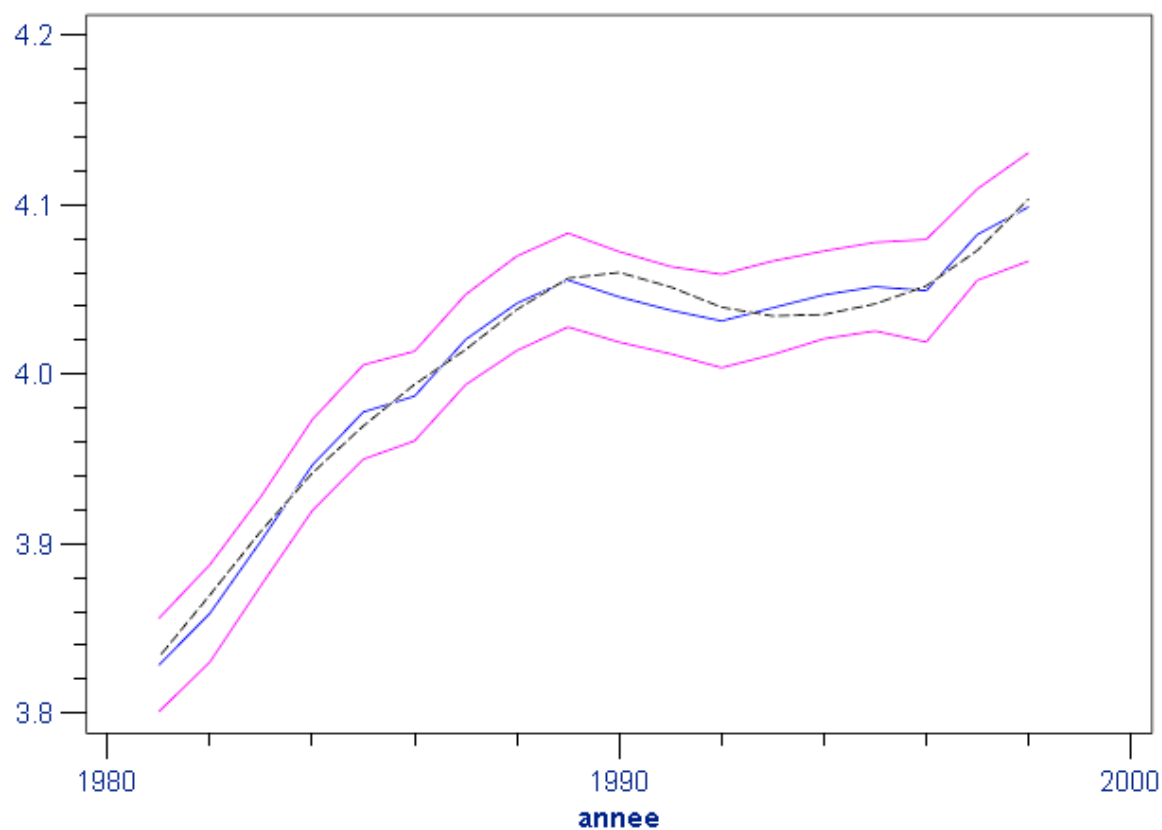
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		1,03E+01	3,12E+00	3,3	0,0064
ln (PIB)	lnPIB	-2,45E-01	3,88E-01	-0,6	0,5394
ln (Prix moyen de l'air et du fer)	lnPaf	-1,73E+00	2,58E-01	-6,7	<0,0001
ln (Indicateur de vitesse fer)	lnRf	4,18E-01	1,17E-01	3,6	0,0039
Indicateur de politique tarifaire	Polit	7,44E-02	2,56E-02	2,9	0,0131
ln (Prix de l'autoroute)	lnPr	-7,76E-01	2,67E-01	-2,9	0,0132
ln (Utilité du réseau des autoroutes concédées)	lnRr	2,14E-01	2,74E-01	0,8	0,4500

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,237	-0,81	0,44

PREDICTED



Formulation 28

$$\ln(\text{Ta}+\text{Tf}) = 0,84 + 0,59 \ln(\text{Ta}+\text{Tf})_{-1} + 0,38 \ln \text{Pib} - 0,79 \ln \text{Paf} + 0,07 \ln \text{Rf}$$

(7,0) (8,2) (6,6) (7,7) (1,4)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-127,98	-132,43	0,9958	1,15	1,57	0,07	non

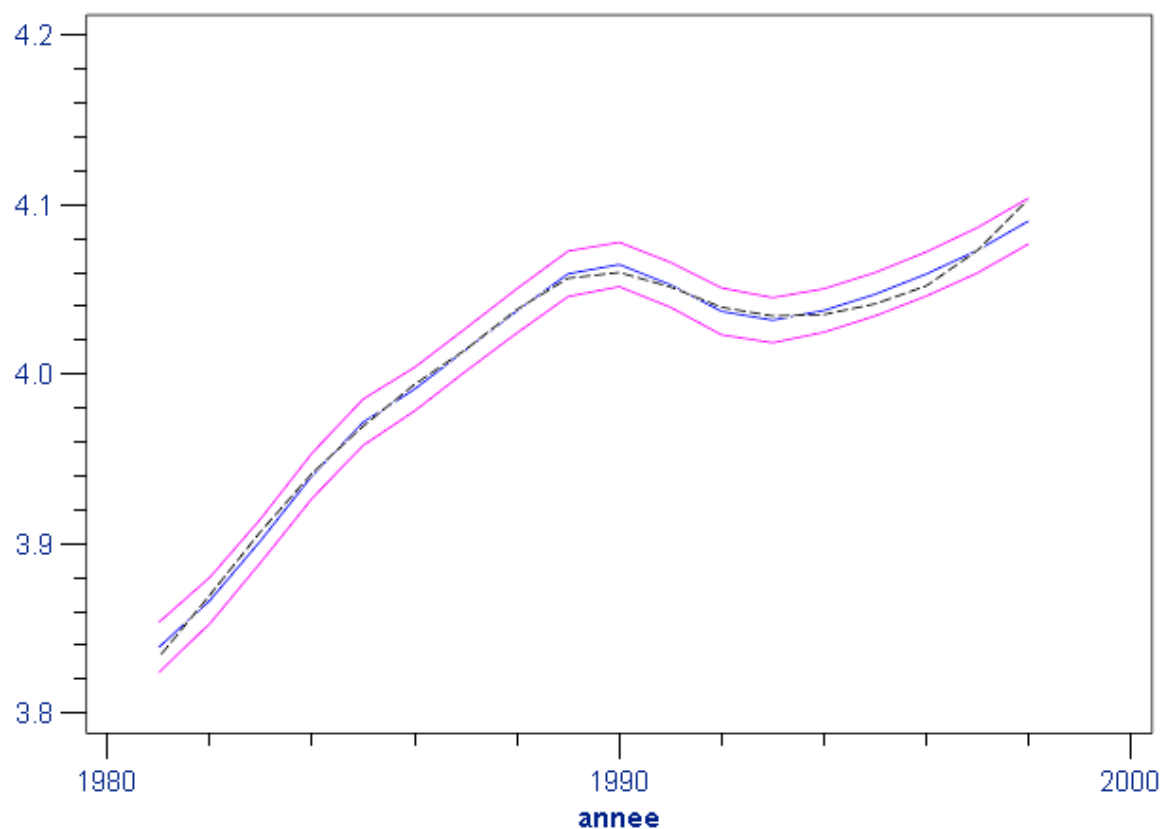
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		8,38E-01	1,20E-01	7,0	<0,0001
ln (Trafic air+fer de l'année précédente)	ln(Ta+Tf) ₋₁	5,86E-01	7,10E-02	8,2	<0,0001
ln (PIB)	lnPIB	3,82E-01	5,80E-02	6,6	<0,0001
ln (Prix moyen de l'air et du fer)	lnPaf	-7,95E-01	1,04E-01	-7,7	<0,0001
ln (Indicateur de vitesse fer)	lnRf	7,01E-02	4,93E-02	1,4	0,1784

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,164	-0,58	0,57

PREDICTED



Formulation 29

$$\ln(\text{Ta}+\text{Tf}) = 1,06 + 0,69 \ln(\text{Ta}+\text{Tf})_{-1} + 0,23 \ln \text{Pib} - 0,61 \ln \text{Paf} + 0,073 \ln \text{Rf} + 0,023 \text{Polit}$$

(14,9) (17,2)
(5,9)
(10,1)
(2,9)
(6,1)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-150,66	-156,00	0,9990	1,76	0,52	0,31	non

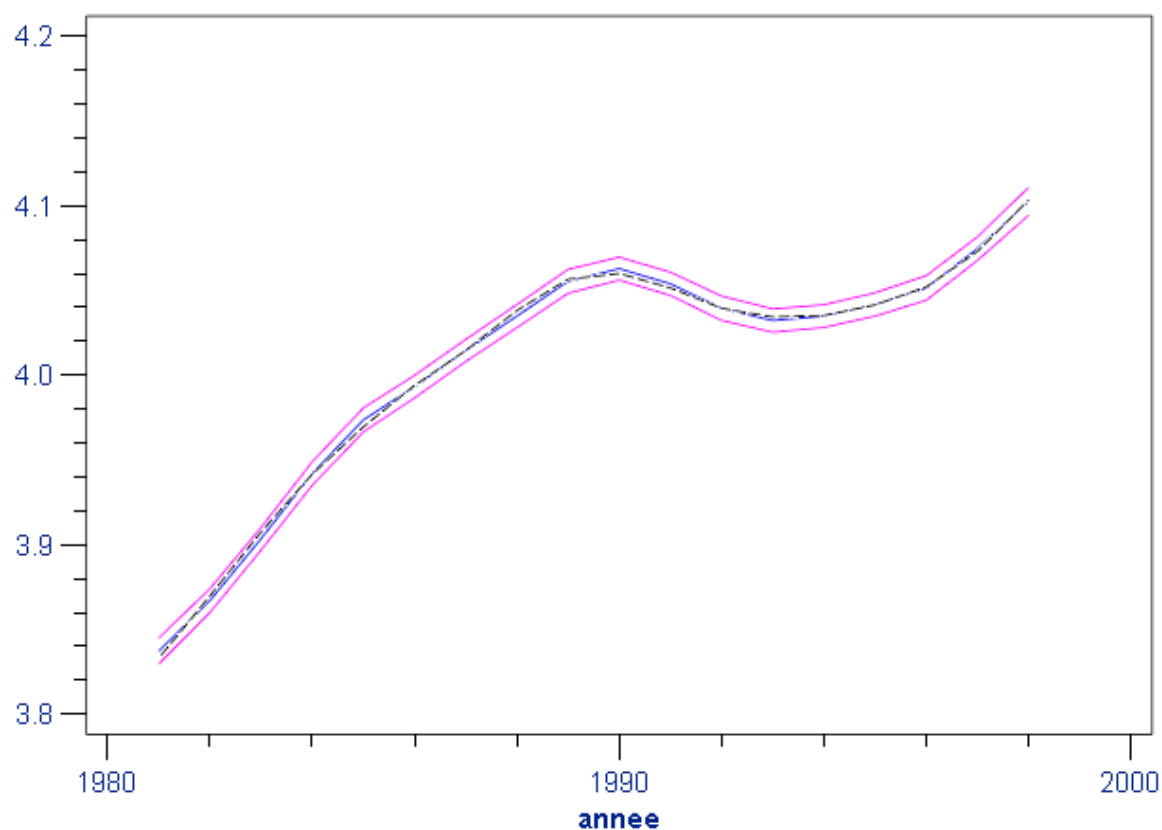
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		1,06E+00	7,16E-02	14,9	<0,0001
Ln (Trafic air+fer de l'année précédente)	$\ln(\text{Ta}+\text{Tf})_{-1}$	6,88E-01	4,00E-02	17,2	<0,0001
Ln (PIB)	lnPIB	2,29E-01	3,88E-02	5,9	<0,0001
Ln (Prix moyen de l'air et du fer)	lnPaf	-6,15E-01	6,06E-02	-10,1	<0,0001
Ln (Indicateur de vitesse fer)	lnRf	7,25E-02	2,52E-02	2,9	0,0140
Indicateur de politique tarifaire	Polit	2,26E-02	3,69E-03	6,1	<0,0001

Elimination des paramètres autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,020	-0,07	0,95

PREDICTED



Formulation 30

$$\ln(\text{Ta}+\text{Tf}) = 1,93 + 0,64 \ln(\text{Ta}+\text{Tf})_{-1} + 0,19 \ln \text{Pib} - 0,69 \ln \text{Paf} + 0,098 \ln \text{Rf} + 0,028 \text{Polit} - 0,071 \text{Pr}$$

(2,0)
(9,7)
(3,2)
(6,8)
(2,6)
(3,9)
(0,9)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-149,11	-155,34	0,9991	2,03	-0,23	0,41	non

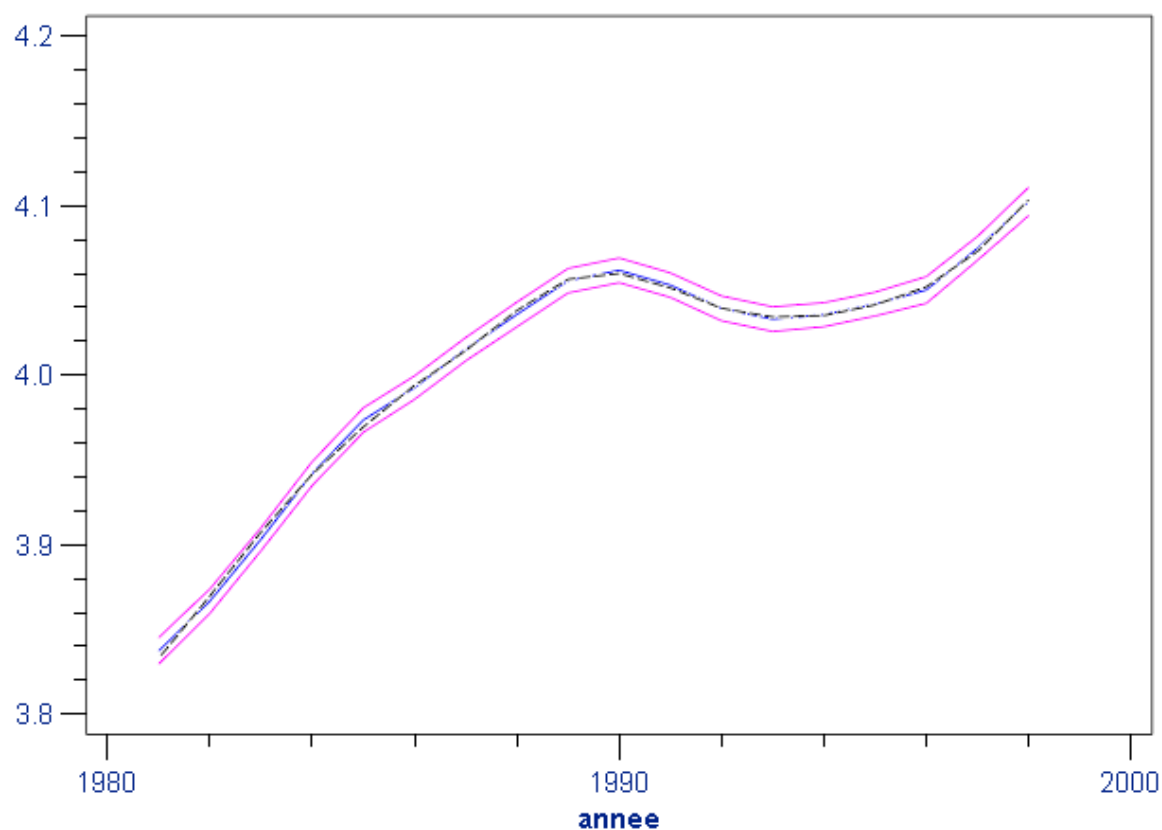
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		1,93E+00	9,47E-01	2,0	0,0659
ln (Trafic air+fer de l'année précédente)	ln(Ta+Tf) ₋₁	6,39E-01	6,62E-02	9,7	<0,0001
ln (PIB)	lnPIB	1,88E-01	5,91E-02	3,2	0,0087
ln (Prix moyen de l'air et du fer)	lnPaf	-6,90E-01	1,02E-01	-6,8	<0,0001
ln (Indicateur de vitesse fer)	lnRf	9,78E-02	3,74E-02	2,6	0,0241
Indicateur de politique tarifaire	Polit	2,84E-02	7,29E-03	3,9	0,0025
ln (Prix de l'autoroute)	lnPr	-7,06E-02	7,66E-02	-0,9	0,3765

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	0,134	0,43	0,68

PREDICTED



Formulation 31

$$\ln(Ta/Tf) = -3,58 + 0,00034 \text{ Pib} + 0,086 \text{ Pf} + 0,00062 \text{ Rf} - 0,019 \text{ Pa}$$

(8,2)
(3,3)
(2,1)
(0,5)
(3,0)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-75,56	-80,28	0,9930	0,63	6,42	0	oui

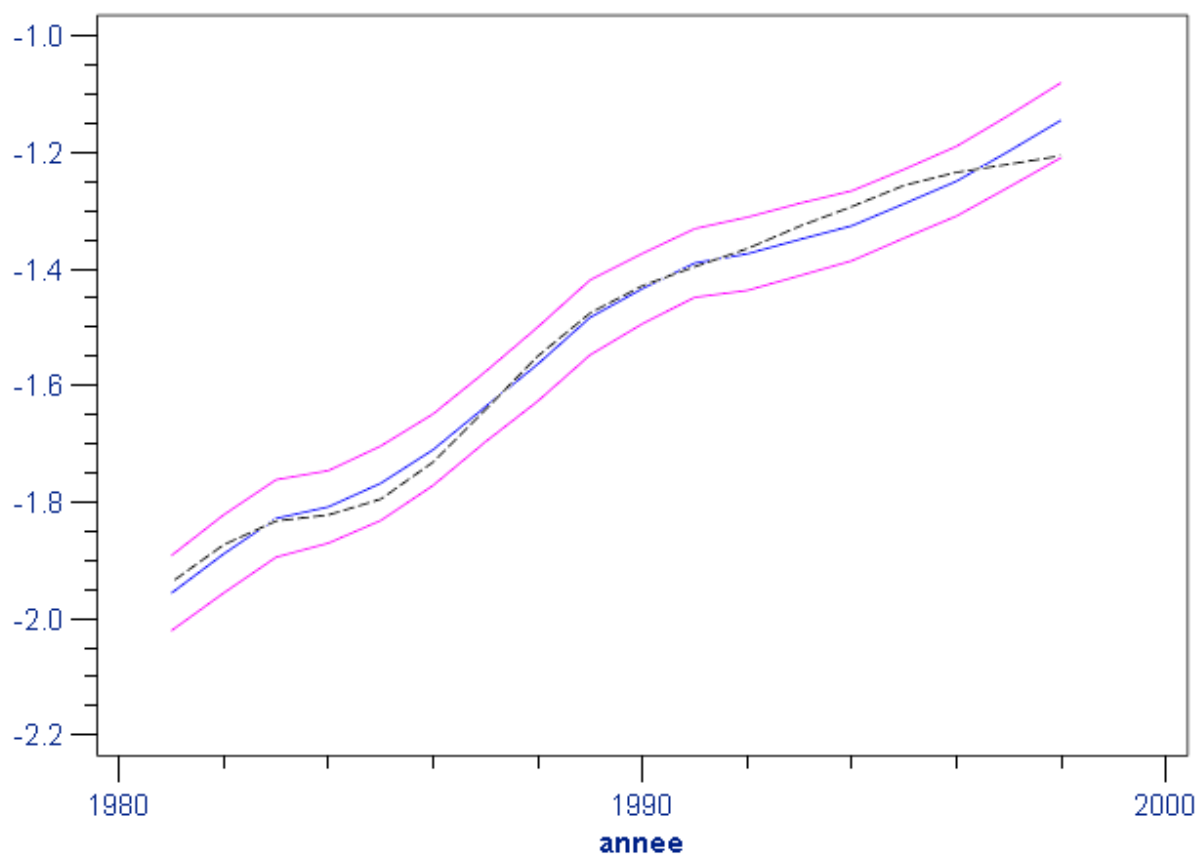
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-3,58E+00	4,38E-01	-8,2	<0,0001
PIB	PIB	3,41E-04	1,03E-04	3,3	0,0051
Indicateur d'accessibilité fer	Rf	6,15E-04	1,20E-03	0,5	0,6159
Prix de l'air	Pa	-1,91E-02	6,30E-03	-3,0	0,0091
Prix du fer	Pf	8,63E-02	4,11E-02	2,1	0,0541

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,485	-2,00	0,07

PREDICTED



Formulation 32

$$\ln(Ta/Tf) = -3,78 + 0,00034 \text{ Pib} + 0,13 \text{ Pf} - 0,0014 \text{ Rf} - 0,025 \text{ Pa} - 0,11 \text{ Polit}$$

(20,6) (8,0) (7,1) (2,4) (9,2) (8,2)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-107,32	-112,99	0,9990	1,50	1,74	0,05	non

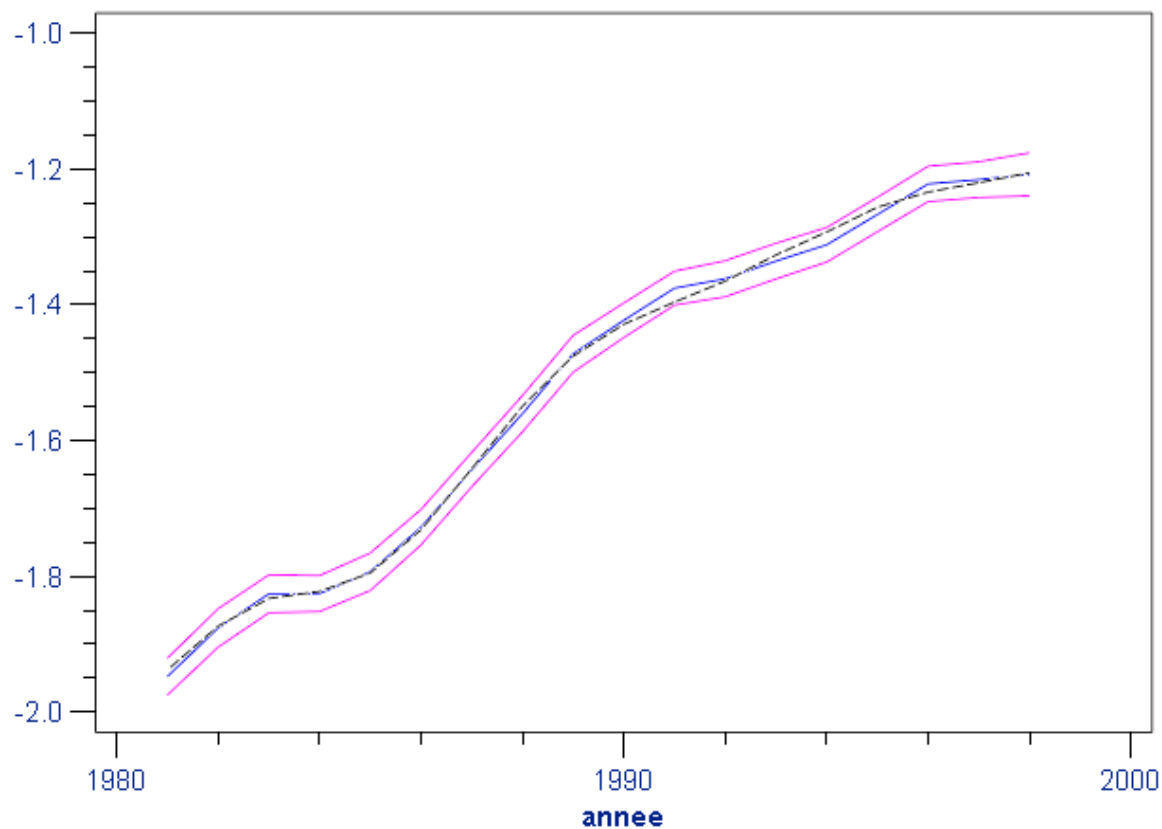
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-3,78E+00	1,84E-01	-20,6	<0,0001
PIB	PIB	3,43E-04	4,29E-05	8,0	<0,0001
Prix du fer	Pf	1,27E-01	1,78E-02	7,1	<0,0001
Indicateur d'accessibilité fer	Rf	-1,35E-03	5,54E-04	-2,4	0,0295
Prix de l'air	Pa	-2,48E-02	2,72E-03	-9,2	<0,0001
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-1,11E-01	1,35E-02	-8,2	<0,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,233	-0,83	0,42

PREDICTED



Formulation 33

$$\ln(Ta/Tf) = -1,96 + 0,000029 \text{ Pib} + 0,057 \text{ Pf} - 0,0026 \text{ Rf} - 0,017 \text{ Pa} - 0,046 \text{ Polit} - 0,0072 \text{ Pr} + 0,00036 \text{ Rr}$$

(4,0)
(0,3)
(2,4)
(5,2)
(5,7)
(2,2)
(3,7)
(3,7)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-117,98	-125,54	0,9995	2,02	-0,09	0,47	non

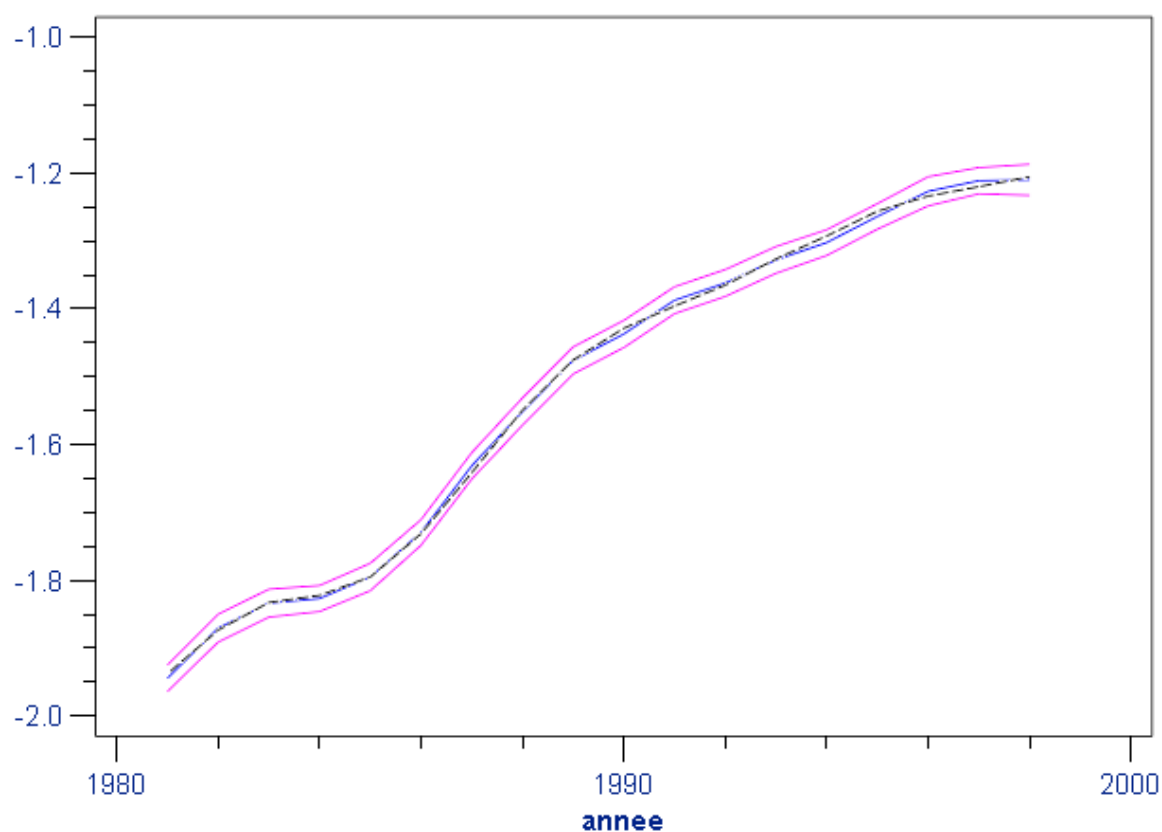
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,96E+00	4,95E-01	-4,0	0,0022
PIB	PIB	2,92E-05	8,99E-05	0,3	0,7518
Prix du fer	Pf	5,67E-02	2,38E-02	2,4	0,0362
Prix de l'air	Pa	-1,72E-02	3,01E-03	-5,7	0,0001
Indicateur d'accessibilité fer	Rf	-2,59E-03	5,06E-04	-5,1	0,0003
Prix de l'autoroute	Pr	-7,23E-03	1,95E-03	-3,7	0,0037
Indicateur d'investissement routier	Rr	3,55E-04	9,47E-05	3,7	0,0033
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-4,62E-02	2,13E-02	-2,2	0,0525

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	0,038	0,12	0,91

PREDICTED



Formulation 34

$$\ln(Ta/Tf) = -1,71 - 0,0028 Rf + 2,96 Pf/Pibhab - 0,894 Pa/Pibhab - 0,035 Pr + 0,00039 Rr$$

(11,2) (5,8) (3,8) (6,6) (11,4) (15,9)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-113,94	-119,61	0,9992	1,53	0,82	0,21	Non

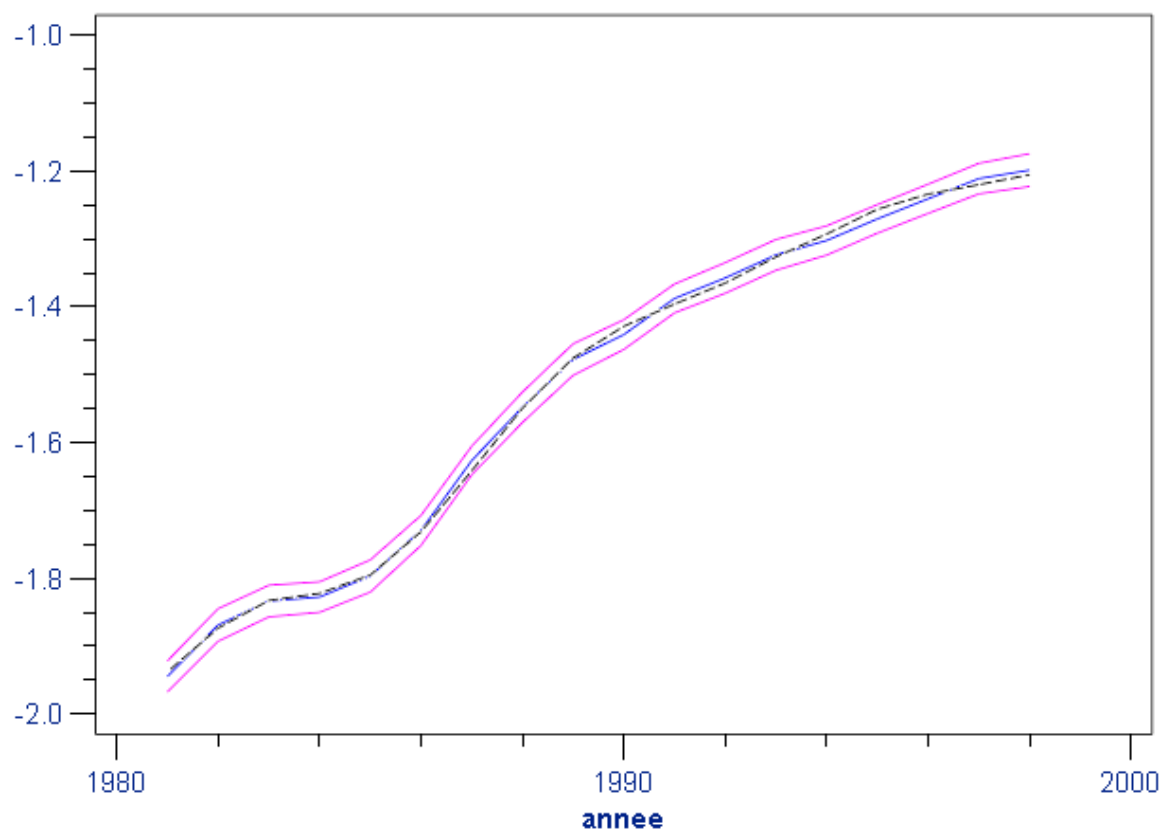
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,71E+00	1,52E-01	-11,2	<0,0001
Indicateur de vitesse fer	Rf	-2,83E-03	4,86E-04	-5,8	<0,0001
Prix du fer / PIB par habitant	Pf/Pibhab	2,96E+00	7,80E-01	3,8	0,0022
Prix de l'air / PIB par habitant	Pa/Pibhab	-8,94E-01	1,35E-01	-6,6	<0,0001
Prix de l'autoroute	Pr	-3,53E-02	3,10E-03	-11,4	<0,0001
Indicateur d'investissements autoroutiers	Rr	3,94E-04	2,49E-05	15,9	<0,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,214	-0,76	0,46

PREDICTED



Formulation 35

$$\ln(Ta/Tf) = -1,76 - 0,0032 Rf + 1,97 Pf/Pibhab - 0,78 Pa/Pibhab - 0,035 Polit - 0,029 Pr + 0,00046 Rr$$

(13,8) (7,5) (2,6) (6,6) (2,7) (8,3) (14,1)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-119,78	-126,39	0,9995	1,92	0,10	0,46	Non

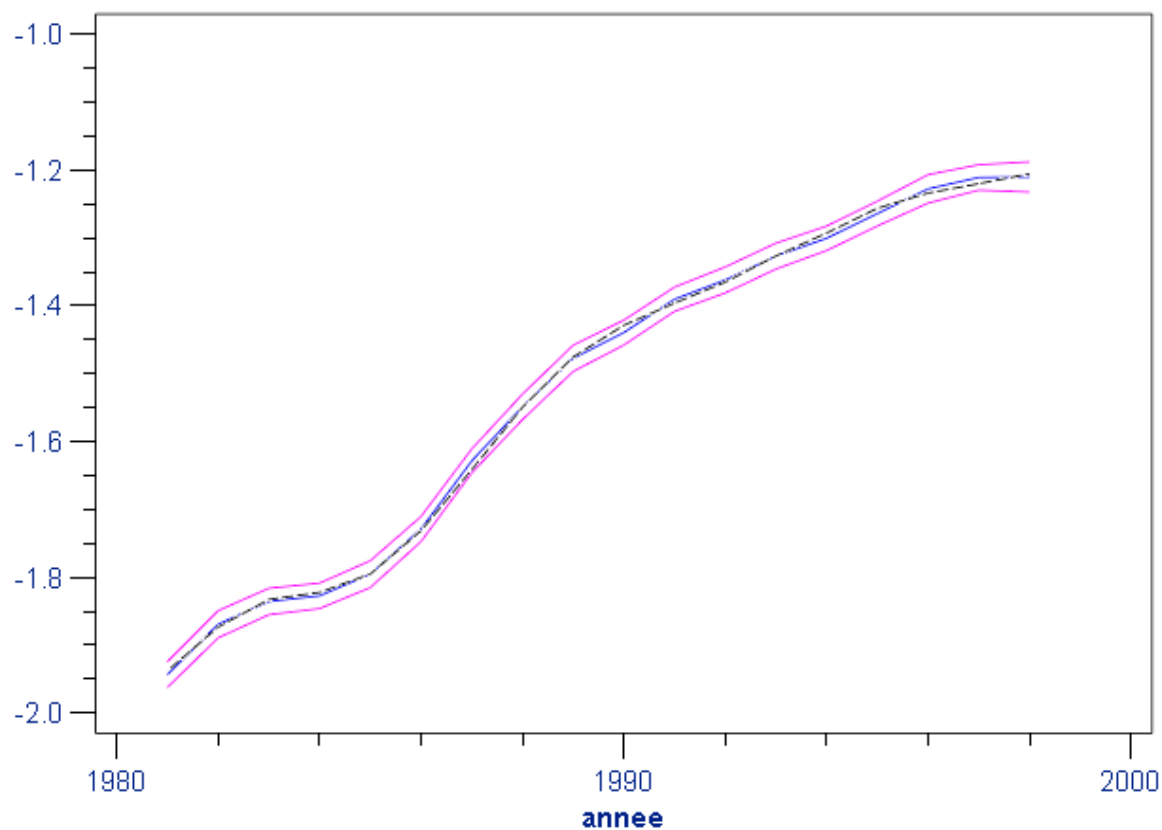
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,76E+00	1,28E-01	-13,8	<0,0001
Indicateur de vitesse fer	Rf	-3,22E-03	4,28E-04	-7,5	<0,0001
Prix du fer / PIB par habitant	Pf/Pibhab	1,97E+00	7,46E-01	2,6	0,0216
Prix de l'air / PIB par habitant	Pa/Pibhab	-7,83E-01	1,19E-01	-6,6	<0,0001
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-3,54E-02	1,33E-02	-2,7	0,0210
Prix de l'autoroute	Pr	-2,90E-02	3,49E-03	-8,3	<0,0001
Indicateur d'investissements	Rr	4,62E-04	3,27E-05	14,1	<0,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,019	-0,06	0,95

PREDICTED



Formulation 36

$$\ln(Ta/Tf) = -12,35 + 1,053 \ln Pib - 1,15 \ln Pa + 2,12 \ln Pf + 0,078 \ln Rf$$

(5,1) (3,2) (3,3) (2,8) (0,5)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-78,47	-83,20	0,9939	0,69	7,98	0	oui

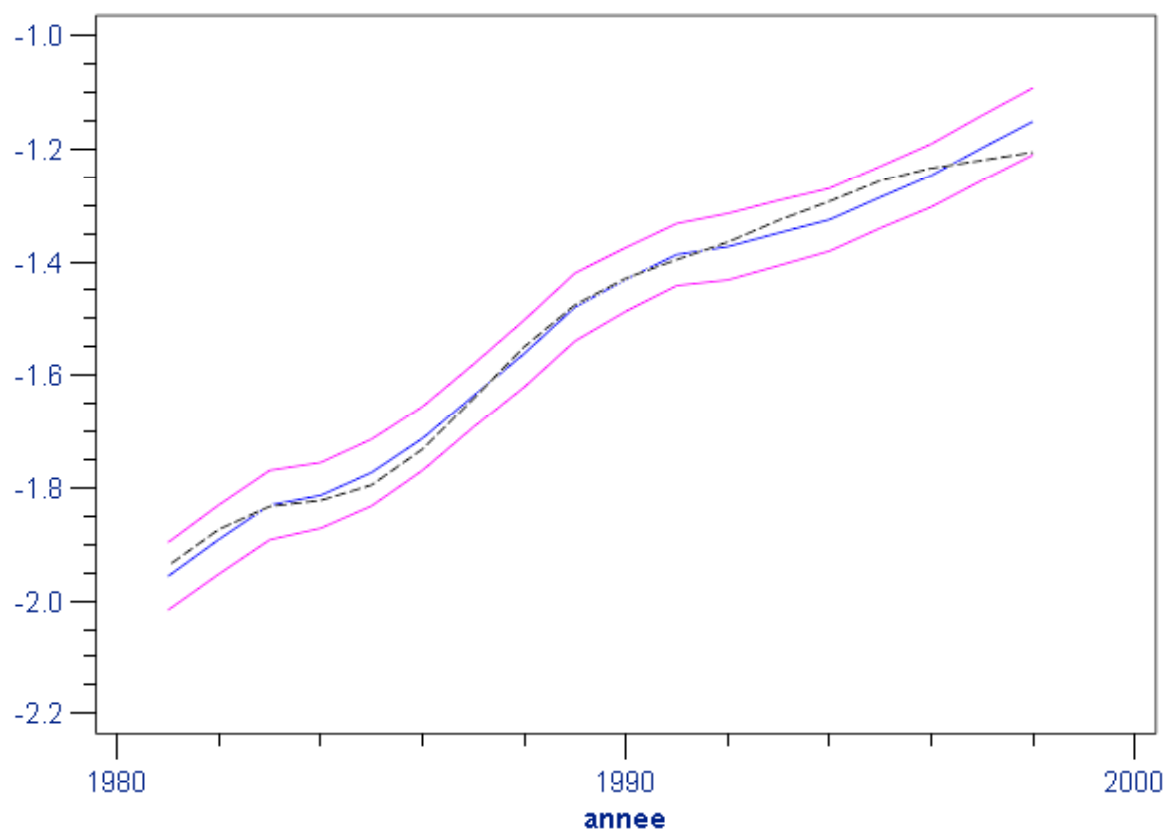
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,24E+01	2,40E+00	-5,1	0,0002
ln (PIB)	lnPIB	1,05E+00	3,34E-01	3,2	0,0070
ln (Prix de l'air)	lnPa	-1,15E+00	3,48E-01	-3,3	0,0051
ln (Prix du fer)	lnPf	2,12E+00	7,58E-01	2,8	0,0142
ln (Indicateur de vitesse fer)	lnRf	7,84E-02	1,60E-01	0,5	0,6316

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,459	-1,86	0,09

PREDICTED



Formulation 37

$$\ln(Ta/Tf) = -11,21 + 0,90 \ln Pib + 3,087 \ln Pf - 1,56 \ln Pa - 0,16 \ln Rf - 0,098 \text{ Polit}$$

(9,5)
(5,5)
(7,8)
(8,7)
(1,9)
(6,8)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-104,27	-109,94	0,9987	1,59	1,92	0,04	oui

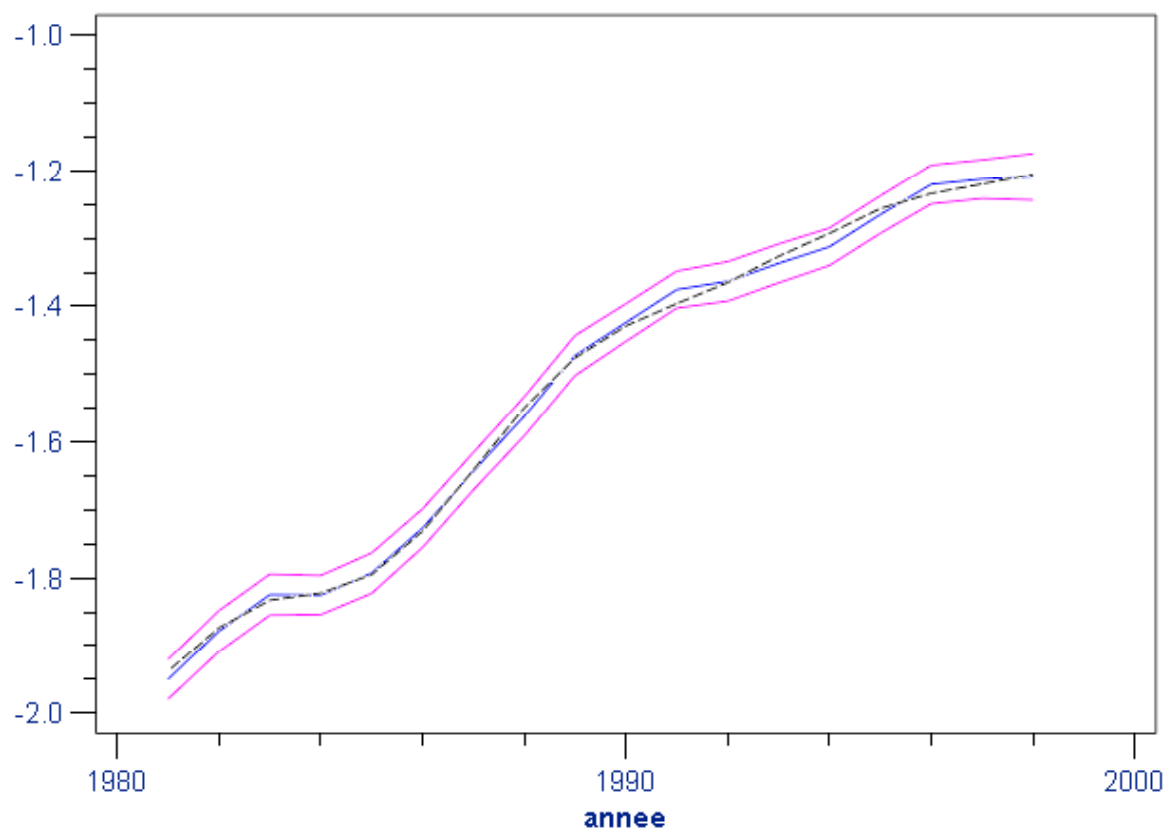
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,12E+01	1,18E+00	-9,5	<0,0001
ln (PIB)	lnPIB	8,98E-01	1,64E-01	5,5	0,0001
ln (Prix du fer)	lnPf	3,09E+00	3,95E-01	7,8	<0,0001
ln (Prix de l'air)	lnPa	-1,56E+00	1,80E-01	-8,7	<0,0001
ln (Indicateur de vitesse fer)	lnRf	-1,59E-01	8,54E-02	-1,9	0,0854
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-9,82E-02	1,45E-02	-6,8	<0,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,173	-0,61	0,55

PREDICTED



Formulation 38

$$\ln(Ta/Tf) = -11,70 + 0,94 \ln Pib + 3,12 \ln Pf - 1,45 \ln Pa - 0,25 \ln Rf - 0,096 \text{ Polit} + 0,022 \text{ Diff}$$

(8,9)
(5,5)
(7,8)
(6,6)
(1,90)
(6,5)
(0,90)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-102,57	-109,18	0,9987	1,44	1,39	0,10	non

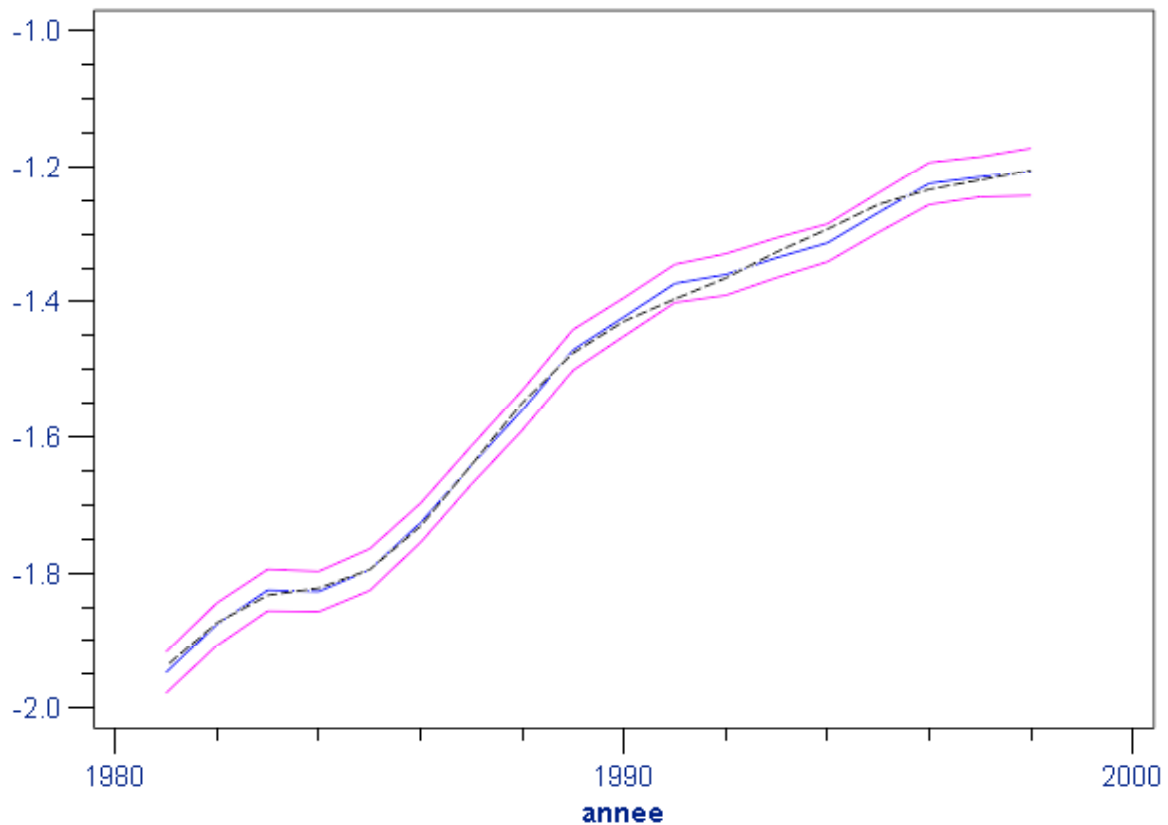
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,17E+01	1,31E+00	-8,9	<0,0001
ln (PIB)	lnPIB	9,43E-01	1,73E-01	5,5	0,0001
ln (Prix du fer)	lnPf	3,12E+00	4,00E-01	7,8	<0,0001
ln (Prix de l'air)	lnPa	-1,44E+00	2,19E-01	-6,6	<0,0001
ln (Indicateur de vitesse du ferroviaire)	lnRf	-2,47E-01	1,30E-01	-1,9	0,0819
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-9,58E-02	1,48E-02	-6,5	<0,0001
Diffusion de l'aérien	Diff	2,16E-02	2,40E-02	0,9	0,3855

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,266	-0,92	0,38

PREDICTED



Formulation 39

$$\ln(Ta/Tf) = -6,23 + 0,42 \ln Pib + 3,27 \ln Pf - 1,71 \ln Pa - 0,17 \ln Rf - 0,065 \text{ Polit} - 0,31 \ln Pr$$

(1,8) (1,2) (8,2) (8,6) (2,1) (2,5) (1,5)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-104,58	-111,19	0,9989	1,58	1,38	0,10	non

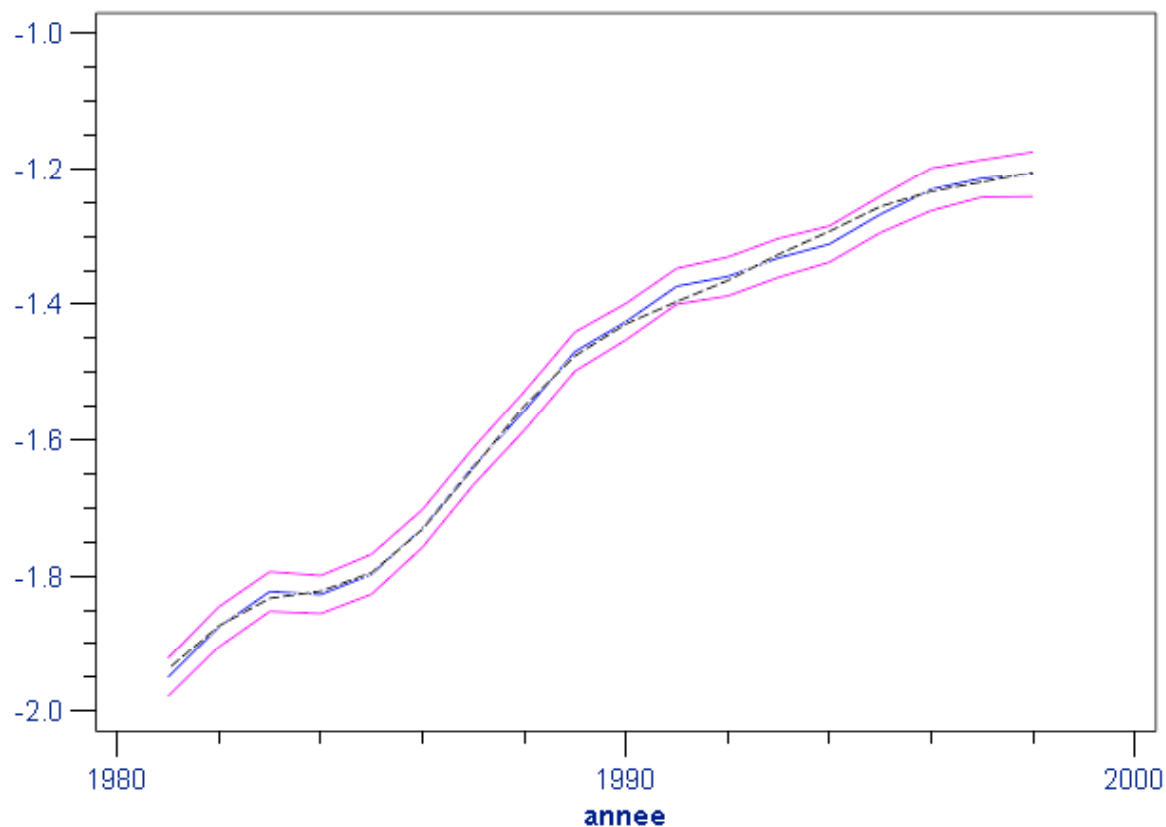
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-6,23E+00	3,51E+00	-1,8	0,1014
LnPIB	lnPIB	4,21E-01	3,55E-01	1,2	0,2583
ln (Prix de l'air)	lnPa	-1,71E+00	2,00E-01	-8,6	<0,0001
ln (Prix du fer)	lnPf	3,27E+00	3,97E-01	8,2	<0,0001
Indicateur de vitesse fer	lnRf	-1,68E-01	8,18E-02	-2,1	0,0628
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-6,49E-02	2,63E-02	-2,5	0,0295
ln (Prix de l'autoroute)	lnPr	-3,13E-01	2,09E-01	-1,5	0,1604

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,195	-0,66	0,52

PREDICTED



Formulation 40

$$\ln(Ta/Tf) = -7,1 + 0,021 \ln Pib + 0,90 \ln Pf - 0,90 \ln Pa - 0,45 \ln Rf - 0,009 \text{ Polit} - 0,71 \ln Pr + 1,34 \ln Rr$$

(2,3) (0,1) (1,5) (4,0) (5,3) (0,5) (4,2) (4,3)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-119,65	-127,21	0,9996	2,09	-0,34	0,37	non

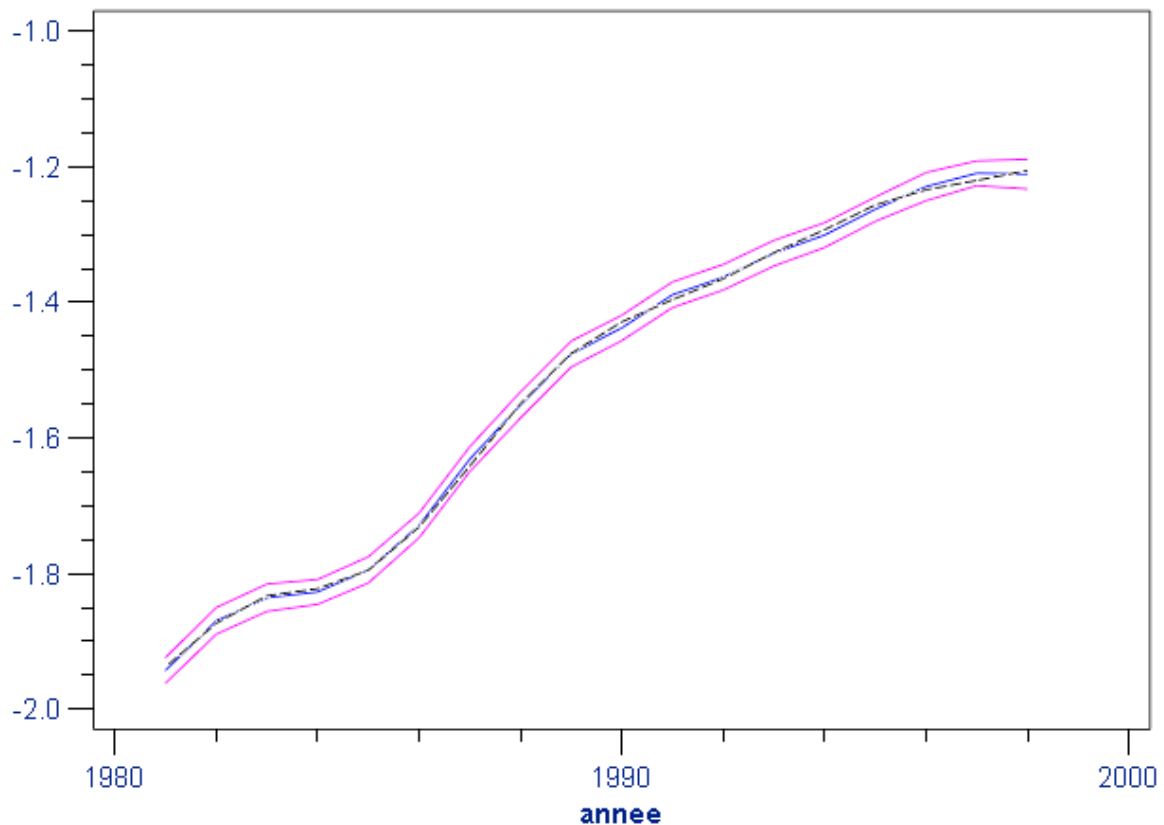
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-7,13E+00	2,26E+00	-2,3	0,0093
ln PIB	ln PIB	2,09E-02	2,52E-01	0,1	0,9353
ln (Prix de l'air)	ln Pa	-9,01E-01	2,26E-01	-4,0	0,0021
ln (Prix du fer)	ln Pf	8,96E-01	6,06E-01	1,5	0,1672
ln (Indicateur de vitesse fer)	ln Rf	-4,48E-01	8,42E-02	-5,3	0,0002
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-8,83E-03	1,90E-02	-0,5	0,6514
ln (Prix de l'autoroute)	ln Pr	-7,08E-01	1,69E-01	-4,2	0,0015
ln (Utilité du réseau des autoroutes concédées)	ln Rr	1,34E+00	3,14E-01	4,3	0,0013

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	0,079	0,25	0,81

PREDICTED



Formulation 41

$$\ln(Ta/Ttgv) = -11,77 + 0,000077 \text{ PIB} + 0,0235 \text{ Pa} + 0,58 \text{ Pf} - 0,018 \text{ Rtgv}$$

(3,4) (0,1) (0,4) (1,9) (4,8)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-9,37	-13,54	0,9132	0,93	2,95	0,01	oui

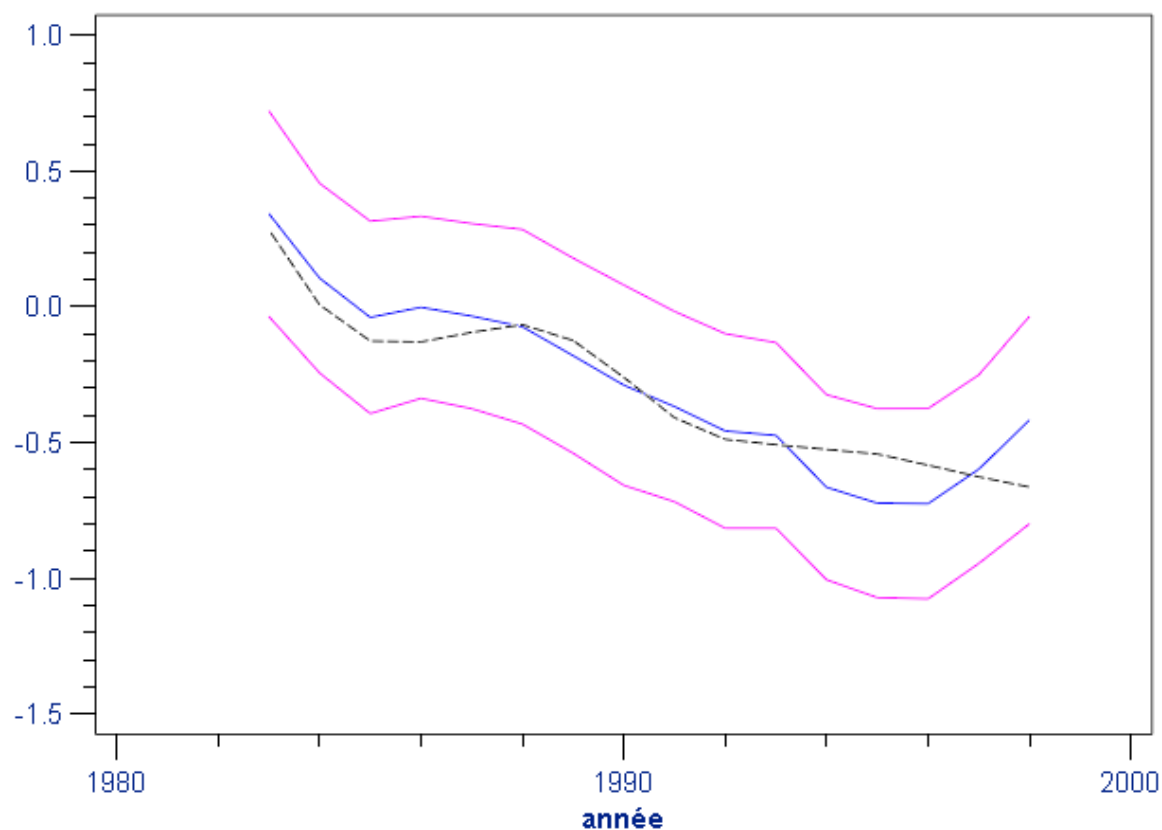
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,18E+01	3,43E+00	-3,4	0,0050
PIB	PIB	+7,70E-05	6,51E-04	0,1	0,9080
Prix de l'air	Pa	2,35E-02	6,25E-02	0,4	0,7134
Prix du fer	Pf	5,77E-01	2,97E-01	1,9	0,0757
Indicateur d'accessibilité TGV	Rtgv	-1,76E-02	3,64E-03	-4,8	0,0004

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,279	-0,96	0,36

PREDICTED



Formulation 42

$$\ln(Ta/Ttgv) = -19,7 + 0,00020 \text{ Pib} - 0,043 \text{ Pa} + 1,16 \text{ Pf} - 0,024 \text{ Rtg}v - 0,58 \text{ Polit}$$

(6,7) (0,5) (1,0) (4,9) (8,5) (4,2)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-22,60	-27,60	0,9663	1,77	0,25	0,4	non

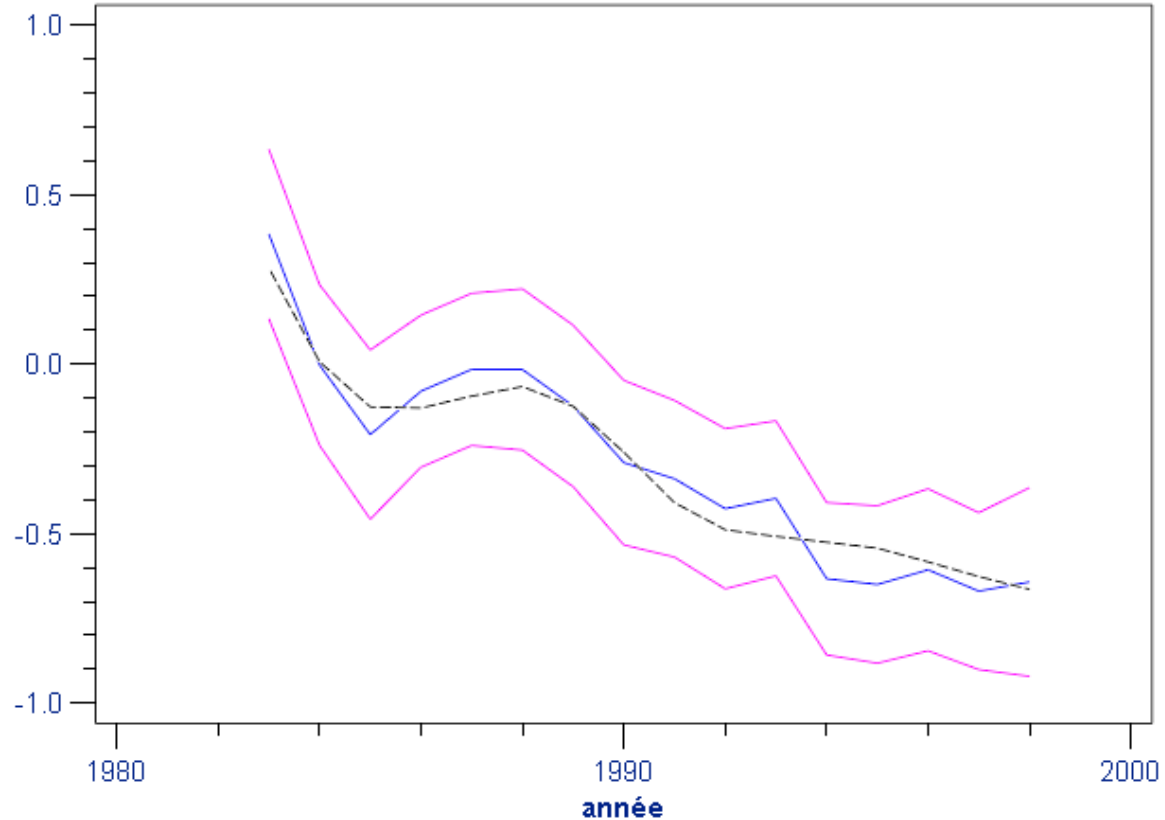
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-19.7061	2.9382	-6.71	<.0001
PIB	PIB	0,000201	0.000425	0,47	0.6448
Prix de l'air	Pa	-0.0431	0.0437	-0.99	0.3452
Prix du fer	Pf	1.1631	0.2392	4.86	0.0005
Indicateur d'accessibilité TGV	Rtg _v	-0.0243	0.002874	-8.47	<.0001
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-0.5841	0.1404	-4.16	0.0016

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,006	-0,02	0,99

PREDICTED



Formulation 43

$$\ln(Ta/Ttgv) = -19,6 - 0,026 Pa + 1,1 Pf - 0,025 RtgV - 0,58 Polit$$

(6,9) (1,1) (6,2) (9,6) (4,3)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-25,09	-29,26	0,9656	1,55	1,03	0,16	non

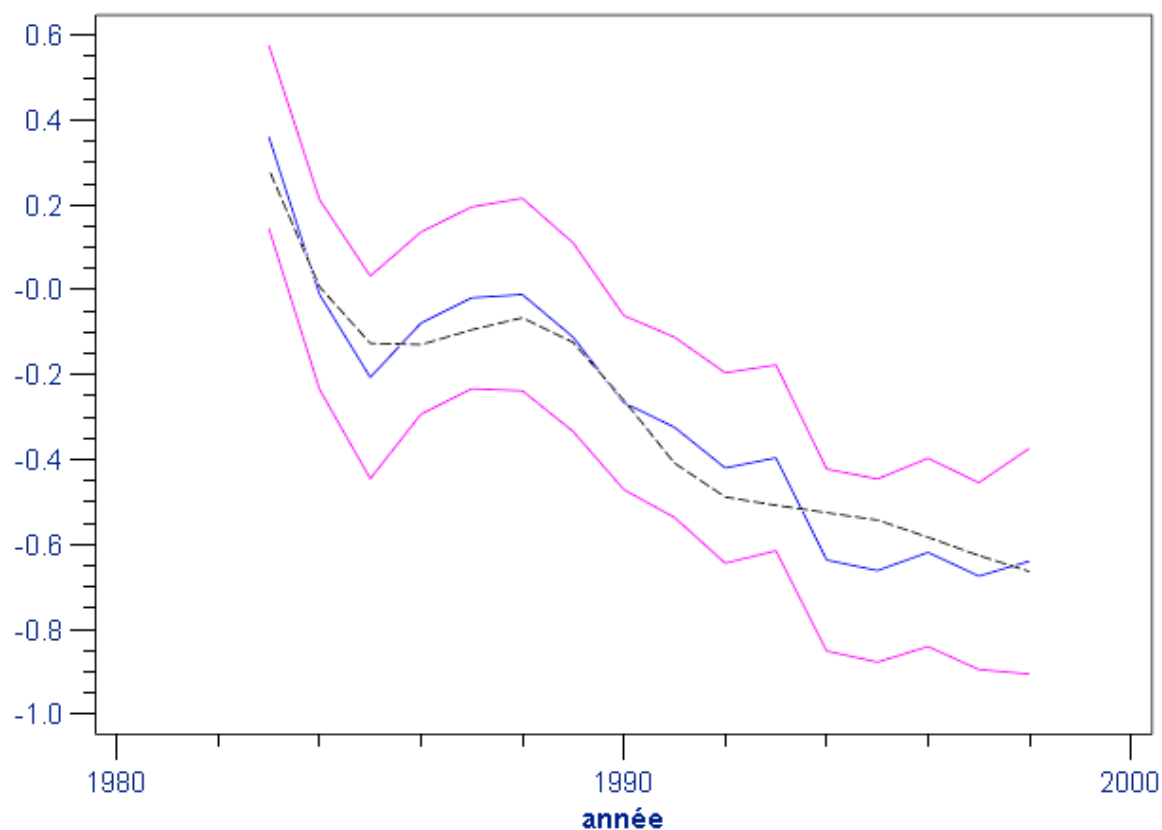
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,97E+01	2,84E+00	-6,9	<0,0001
Prix de l'air	Pa	-2,56E-02	2,27E-02	-1,1	0,2802
Prix du fer	Pf	1,09E+00	1,75E-01	6,2	<0,0001
Indicateur d'accessibilité TGV	RtgV	-2,48E-02	2,58E-03	-9,6	<0,0001
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-5,79E-01	1,36E-01	-4,3	0,0011

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,125	-0,42	0,68

PREDICTED



Formulation 44

$$\ln(Ta/Ttgv) = -18,4 + 0,96 Pf - 0,023 Rtgv - 0,49 Polit$$

(7,0) (7,3) (12,1) (4,4)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-26,21	-29,54	0,9619	1,35	1,72	0,06	non

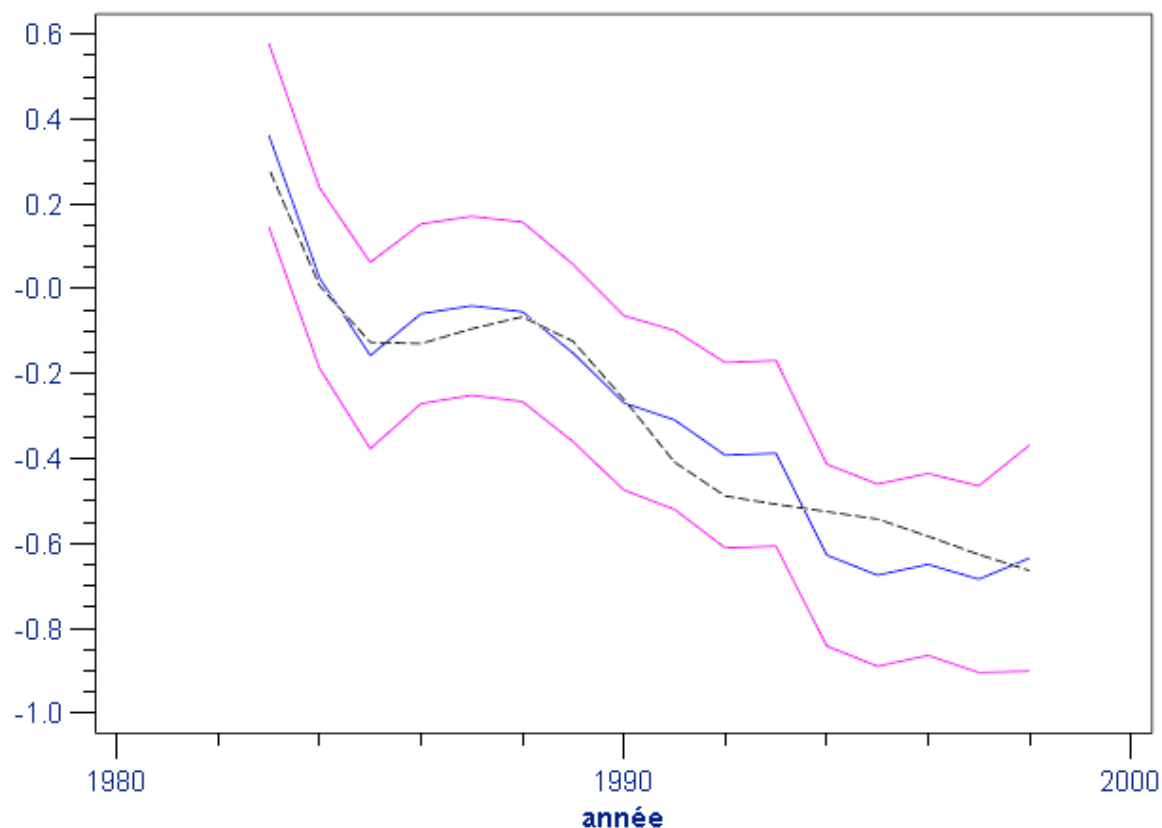
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,84E+01	2,62E+00	-7,0	<0,0001
Prix du fer	Pf	9,56E-01	1,31E-01	7,3	<0,0001
Indicateur d'accessibilité TGV	Rtg	-2,28E-02	1,88E-03	-12,1	<0,0001
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-4,92E-01	1,12E-01	-4,4	0,0007

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,216	-0,77	0,46

PREDICTED



Formulation 45

$$\ln(Ta/Tgv) = -11,965 + 0,6401 Pf - 0,0195 Rtgv$$

(3,62) (3,86) (7,47)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-13.61158	-16.11122	0.9056	0.8394	3.3356	0.0030	oui

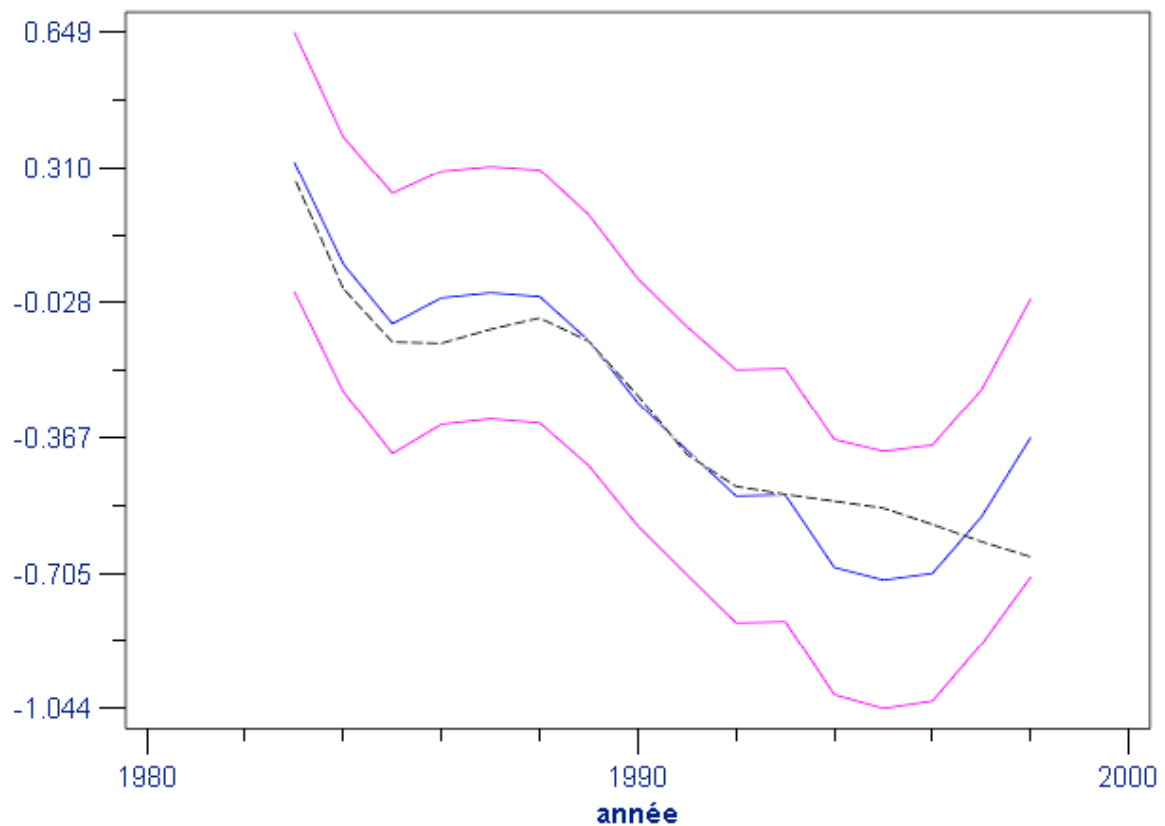
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-11.9650	3.3066	-3.62	0.0028
Prix du fer	Pf	0.6401	0.1657	3.86	0.0017
Utilité du réseau TGV	Rtg	-0.0195	0.002604	-7.47	<.0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0.284576	-1.07	0.3040

PREDICTED



Formulation 46

$$\ln(Ta/Ttgv) = 0,8052 - 0,0100 \text{ Rtg}v$$

(5,8) (7,87)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-4,11	-5,77	0,8049	0,624	5,78	0,0001	non

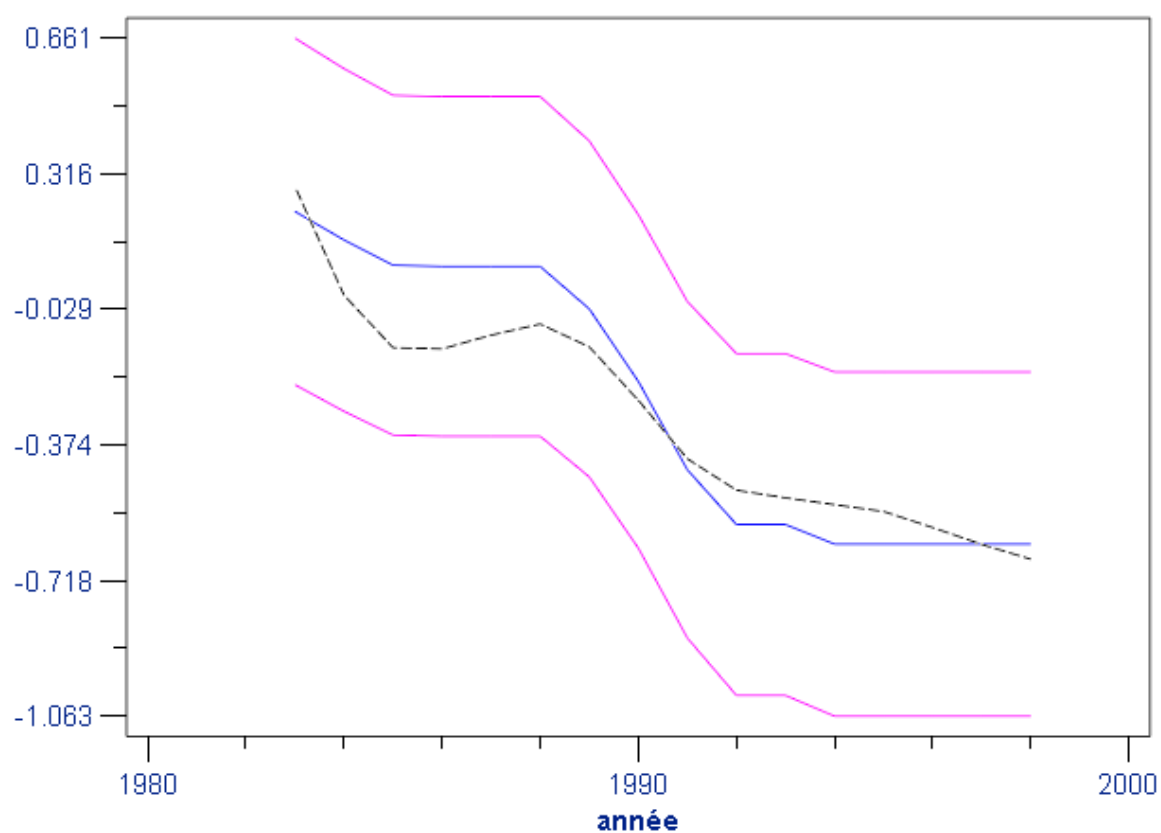
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		8,05E-01	1,39E-01	5,8	<,0001
Utilité du réseau TGV	Rtg _v	-1,00E-02	1,28E-03	-7,9	<,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,37	-1,50	0,16

PREDICTED



Formulation 47

$$\ln(Ta/Ttgv) = -24,6 + 1,52 \ln Pib + 2,70 \ln Pa + 2,51 \ln Pf - 1,39 \ln Rtgv$$

(2,99) (1,29) (1,54) (0,78) (9,50)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-27,82	-31,99	0,9707	0,7371	2,11	0,0306	non

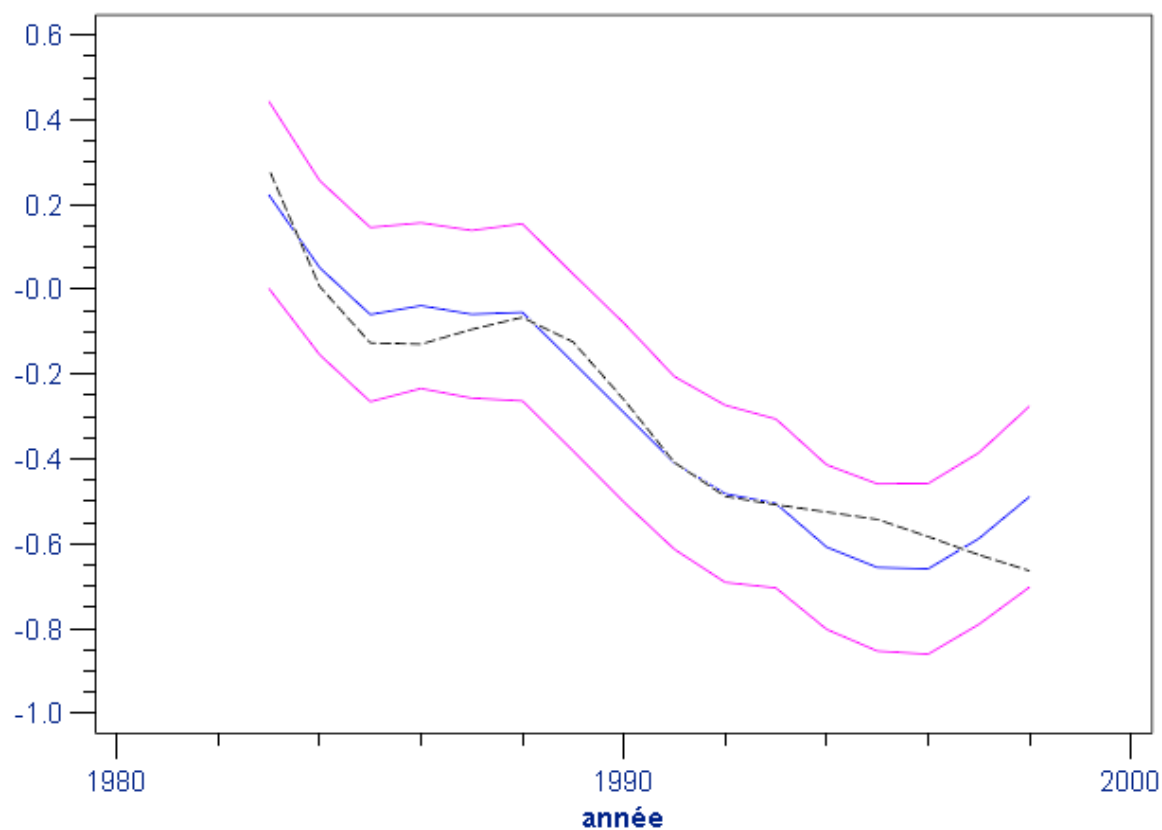
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-2,46E+01	8,23E+00	-3,0	<,0001
ln PIB	ln PIB	1,52E+00	1,18E+00	1,3	<,0001
ln (Prix de l'air)	ln Pa	2,69E+00	1,75E+00	1,5	<,0001
ln (Prix du fer)	ln Pf	2,51E+00	3,20E+00	0,8	
ln (Indicateur de vitesse écrêtée TGV)	ln Rtgv	-1,39E+00	1,47E-01	-9,5	

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,43	-1,57	0,14

PREDICTED



Formulation 48

$$\ln(Ta/Ttgv) = -27,1 + 0,85 \ln Pib - 0,32 \ln Pa + 8,4 \ln Pf - 1,55 \ln Rtg - 0,35 \text{ Polit}$$

(7,0) (1,5) (0,4) (4,8) (21,2) (6,6)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-52,13	-57,13	0,9941	1,58	0,66	0,26	non

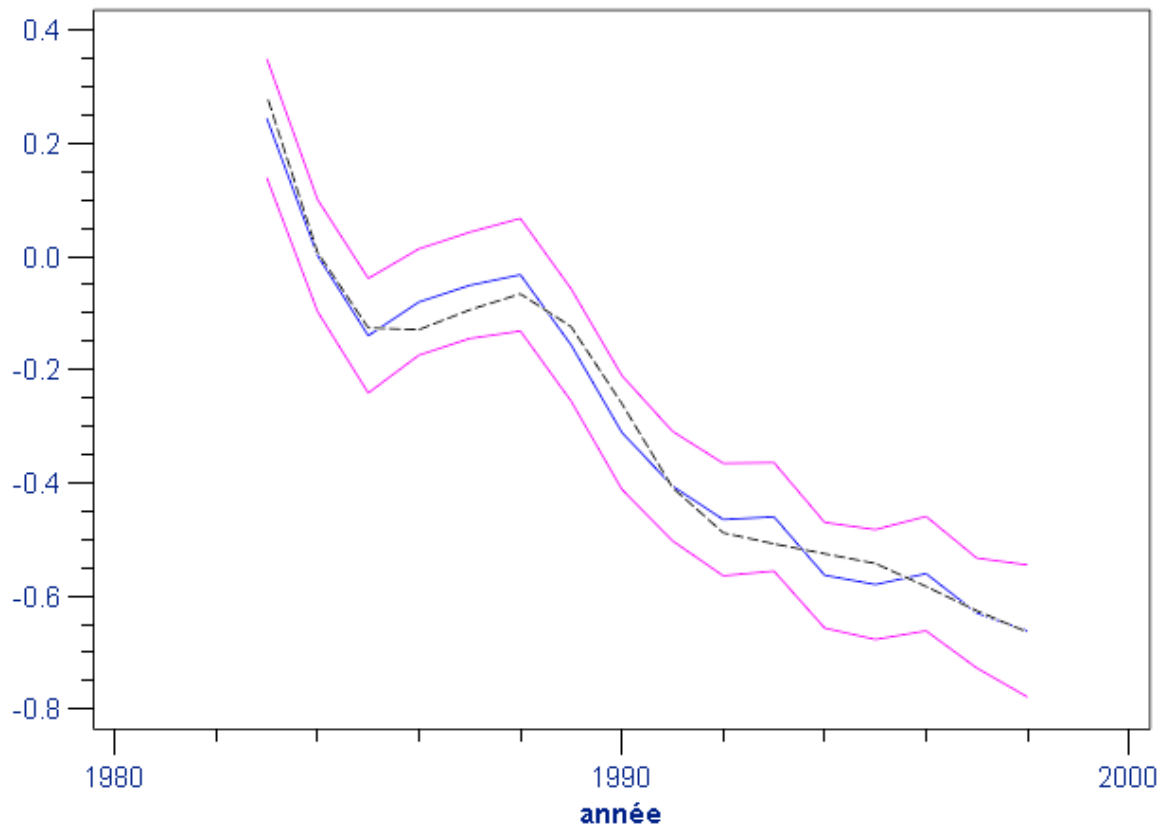
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-2,71E+01	3,89E+00	-7,0	<0,0001
ln (PIB)	ln PIB	8,53E-01	5,66E-01	1,5	0,1600
ln (Prix de l'air)	ln Pa	-3,24E-01	8,98E-01	-0,4	0,7252
ln (Prix du fer)	ln Pf	8,39E+00	1,75E+00	4,8	0,0006
ln (Indicateur d'accessibilité TGV)	ln Rtg	-1,55E+00	7,32E-02	-21,2	<0,0001
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-3,46E-01	5,26E-02	-6,6	<0,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,210	-0,68	0,51

PREDICTED



Formulation 49

$$\ln(Ta/Ttgv) = -15,83 + 0,76 \ln Pib + 6,01 \ln Pf - 1,28 \ln Rtgv$$

(3,36) (0,82) (3,5) (-10,57)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-28,46	-31,79	0,9666	0,6453	3,83	0,0014	non

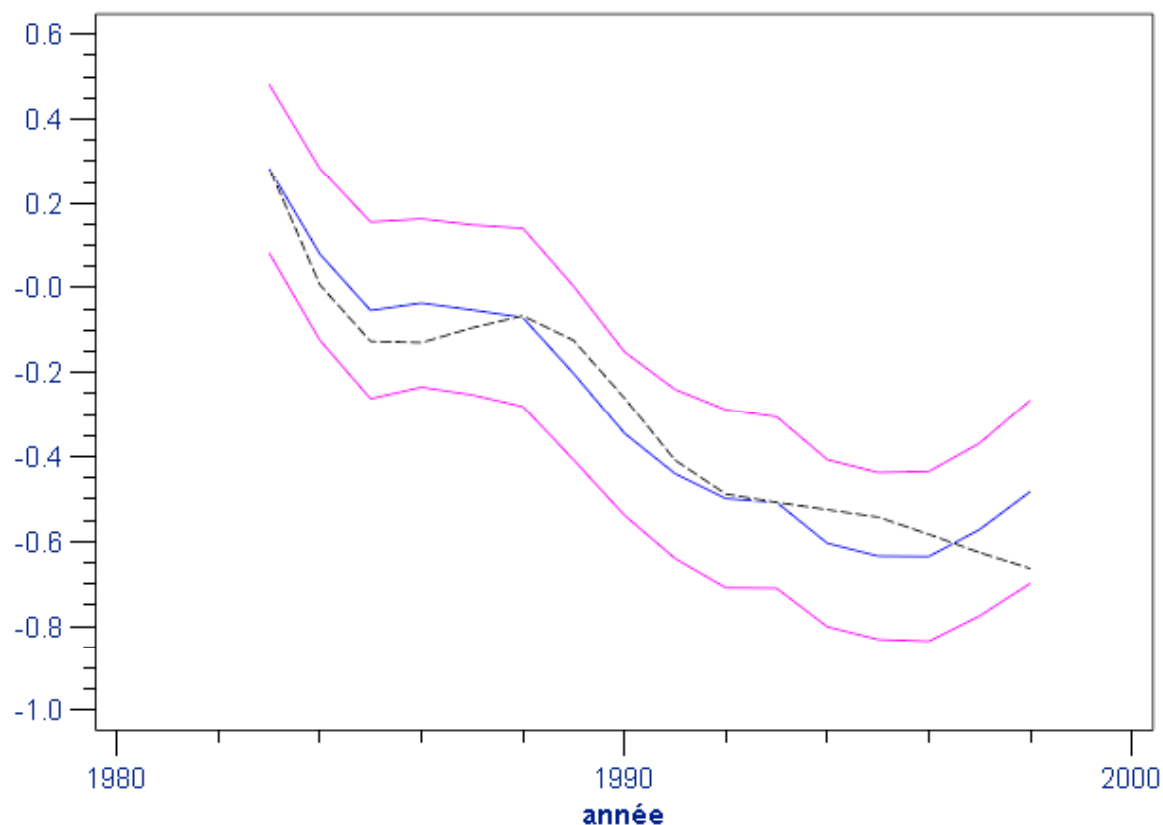
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,58E+01	4,71E+00	-3,4	0,0051
ln (PIB)	lnPib	7,62E-01	9,24E-01	0,8	0,4243
ln (Prix du fer)	lnPf	6,01E+00	1,74E+00	3,5	0,0043
ln (Indicateur de vitesse écartée ferroviaire)	lnRtgv	-1,28E+00	1,21E-01	-10,6	<,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,43	-1,57	0,14

PREDICTED



Formulation 50

$$\ln(Ta/Ttgv) = -22,43 - 0,82 \ln Pa + 10,53 \ln Pf - 1,49 \ln Rtgv - 0,36 \text{ Polit}$$

(9,0) (1,6) (9,7) (22,3) (6,6)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-51,77	-55,94	0,9928	1,4679	1,00	0,1711	oui

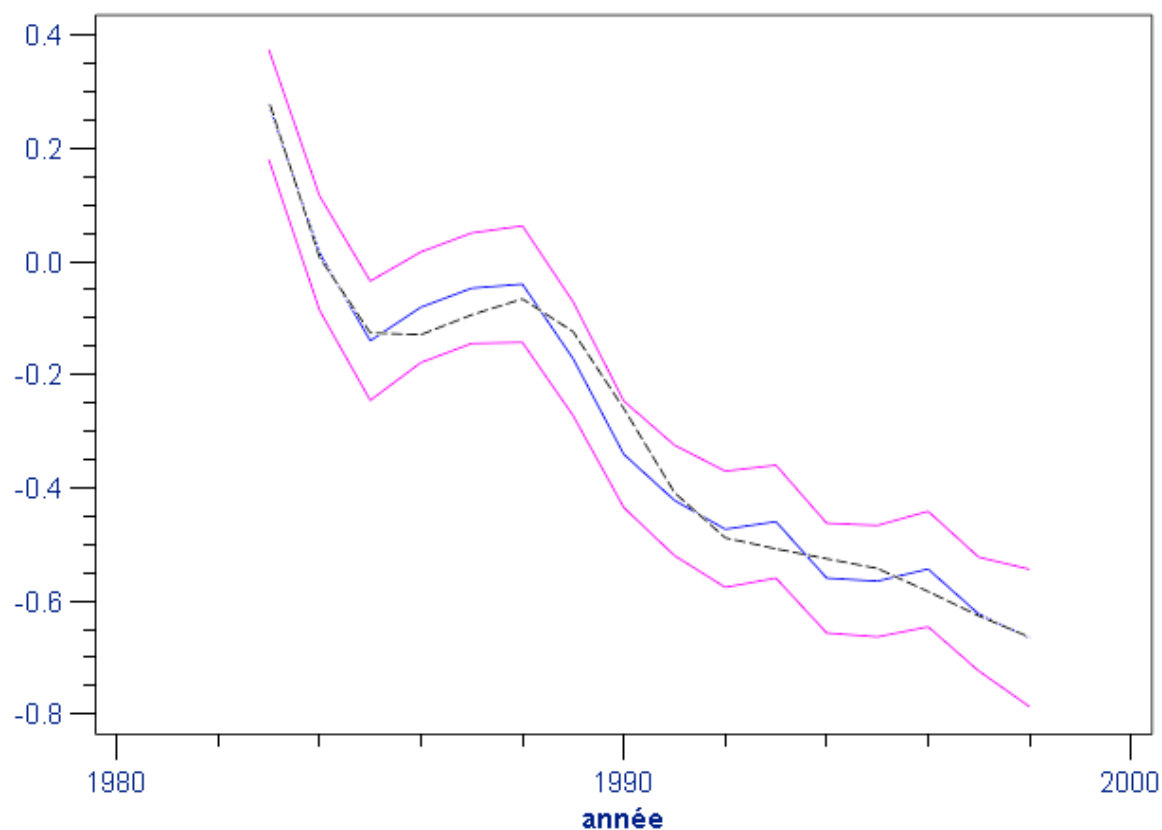
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-2,24E+01	2,48E+00	-9,0	<,0001
ln (Prix de l'air)	lnPa	-8,19E-01	5,06E-01	-1,6	0,1311
ln (Prix du fer)	lnPf	1,05E+01	1,08E+00	9,7	<,0001
ln (Indicateur de vitesse écrêtée ferroviaire)	lnRtgv	-1,49E+00	6,69E-02	-22,3	<,0001
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-3,60E-01	5,44E-02	-6,6	<,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,26	-0,90	0,39

PREDICTED



Formulation 51

$$\ln(Ta/Ttgv) = -26,1 + 0,68 \ln Pib + 8,9 \ln Pf - 1,55 \ln Rtgv - 0,35 Polit$$

(9,8) (2,3) (10,7) (22,1) (7,6)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-54,76	-58,93	0,9940	1,58	0,67	0,26	non

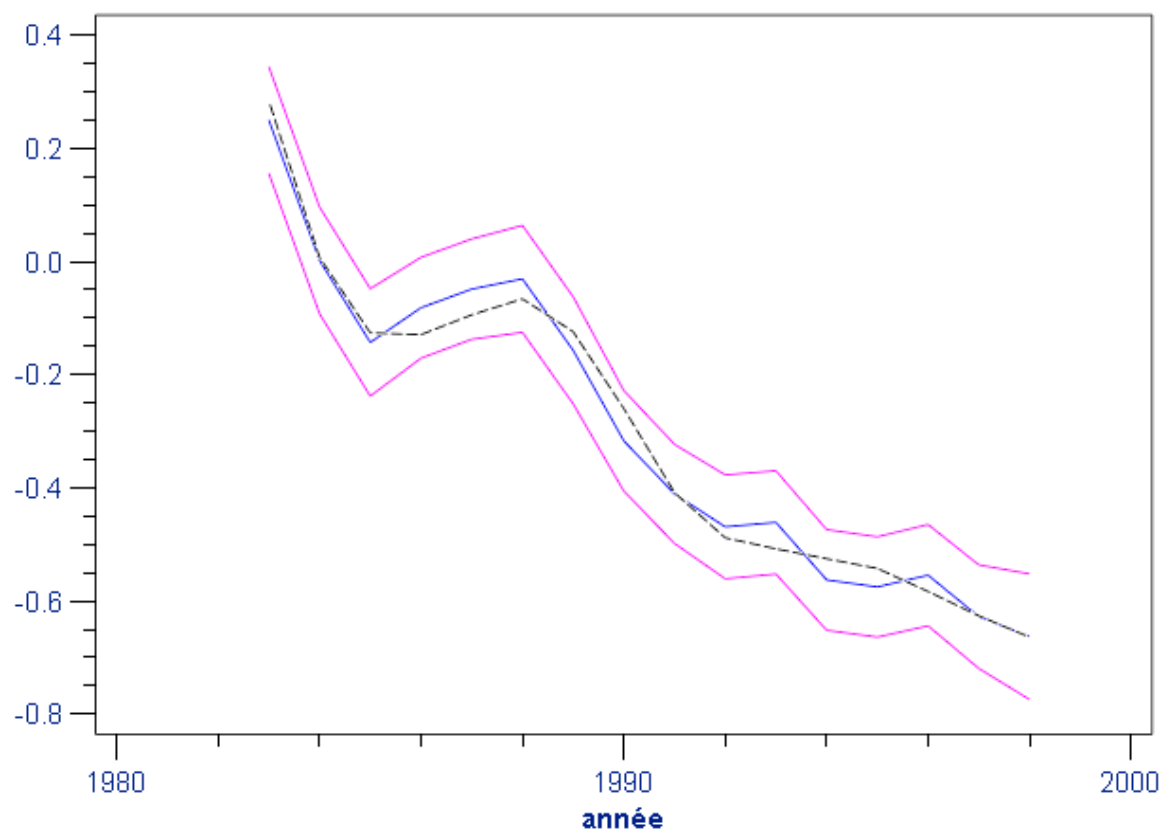
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-2,61E+01	2,67E+00	-9,8	<0,0001
ln (PIB)	lnPIB	6,81E-01	2,92E-01	2,3	0,0379
ln (Prix du fer)	lnPf	8,94E+00	8,33E-01	10,7	<0,0001
ln (Indicateur d'accessibilité TGV)	lnRtgv	-1,55E+00	7,00E-02	-22,1	<0,0001
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-3,54E-01	4,64E-02	-7,6	<0,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,207	-0,70	0,50

PREDICTED



Formulation 52

$$\ln(Ta/Ttgv) = -14,47 + 6,62 \ln Pf - 1,33 \ln Rtgv$$

(3,3) (4,3) (13,2)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-30,43	-32,93	0,9649	0,5662	4,52	0,0003	non

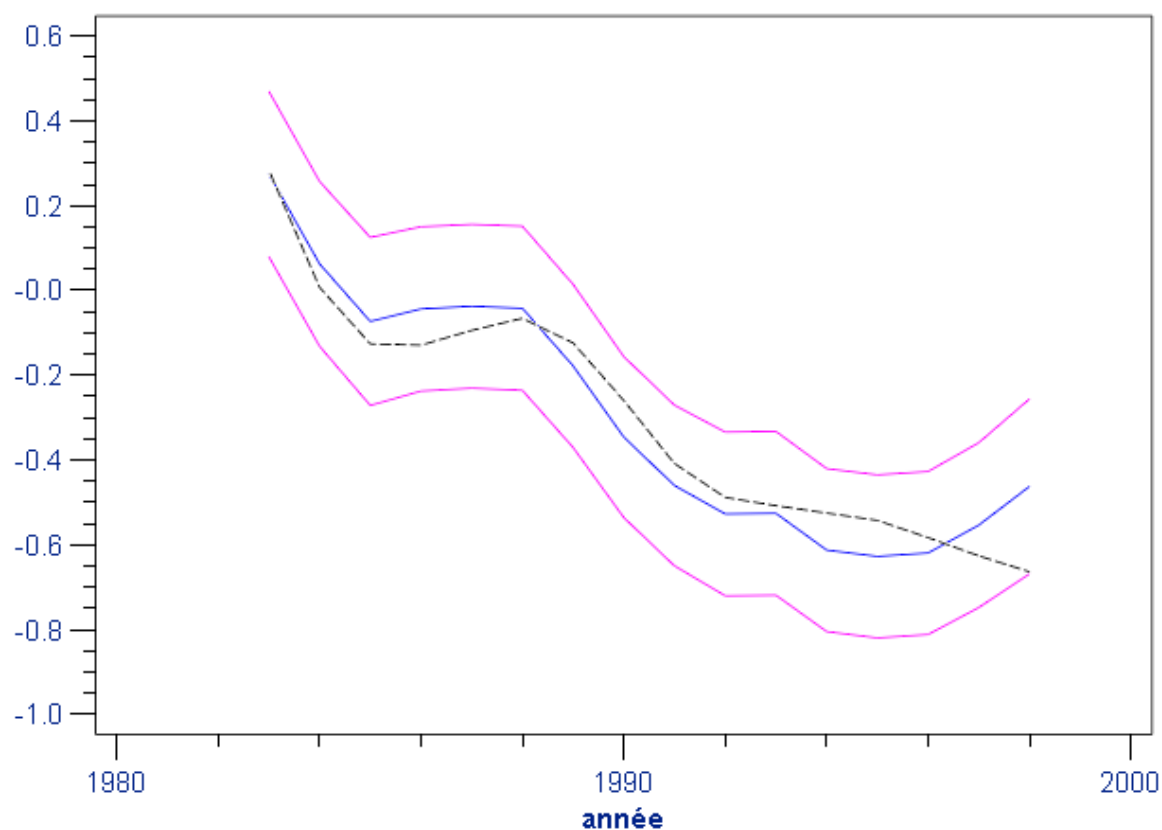
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-1,45E+01	4,36E+00	-3,3	0,0051
ln (Prix du fer)	lnPf	6,62E+00	1,55E+00	4,3	0,0008
ln (Indicateur de vitesse ferroviaire)	lnRtgv	-1,33E+00	1,01E-01	-13,2	<,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,48	-1,98	0,07

PREDICTED



Formulation 53

$$\ln(Ta/Ttgv) = -25,0 + 10,2 \ln Pf - 1,38 \ln Rtgv - 0,26 \text{ Polit}$$

(7,2) (8,3) (20,1) (4,0)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-42,49	-45,82	0,9854	0,996	2,03	0,0336	non

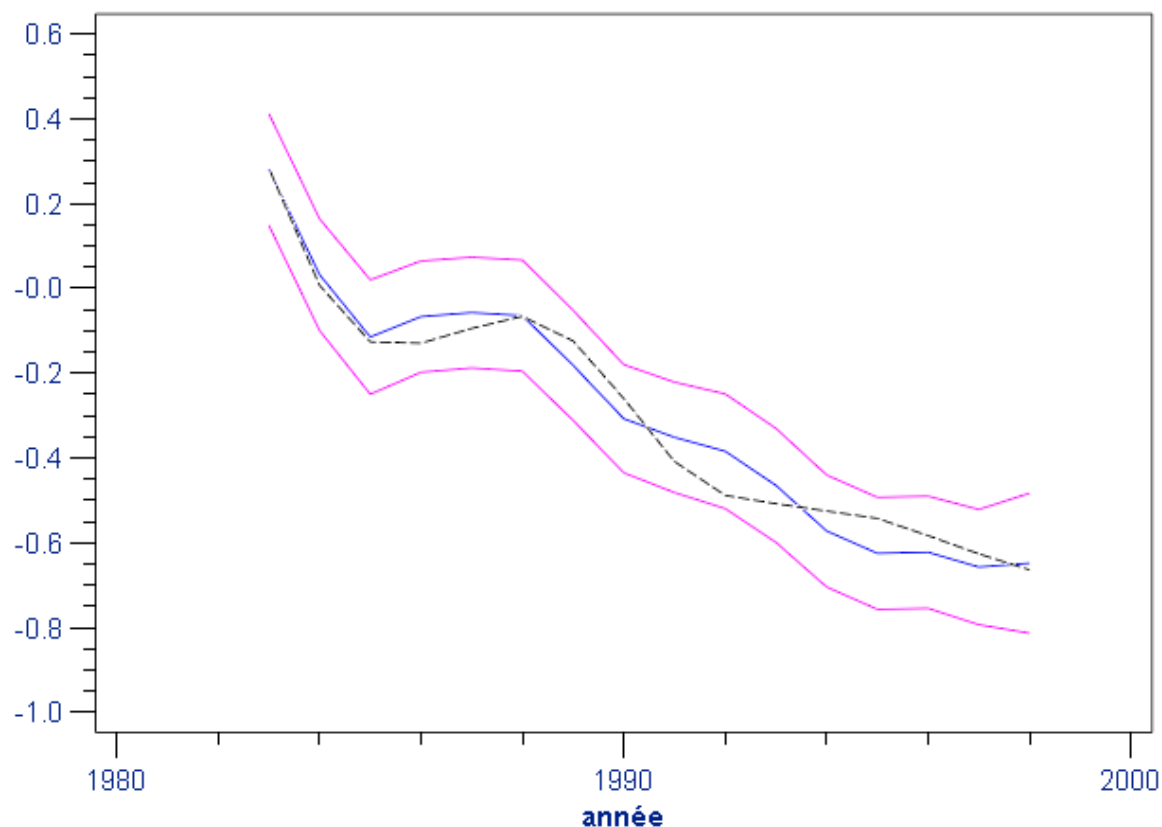
Coefficients

Variable	Abréviation	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-2,50E+01	3,50E+00	-7,2	<,0001
ln (Prix du fer)	lnPf	1,02E+01	1,23E+00	8,3	<,0001
ln (Indicateur de vitesse écartée ferroviaire)	lnRtgv	-1,38E+00	6,86E-02	-20,1	<,0001
Indicateur de politique tarifaire	Polit	-2,62E-01	6,51E-02	-4,0	0,0014

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,47	-1,84	0,09

PREDICTED



Formulation 54

$$\ln(Ta/Ttgv) = 4,1 - 0,95 \ln(Rtgv)$$

(12,3) (13,1)

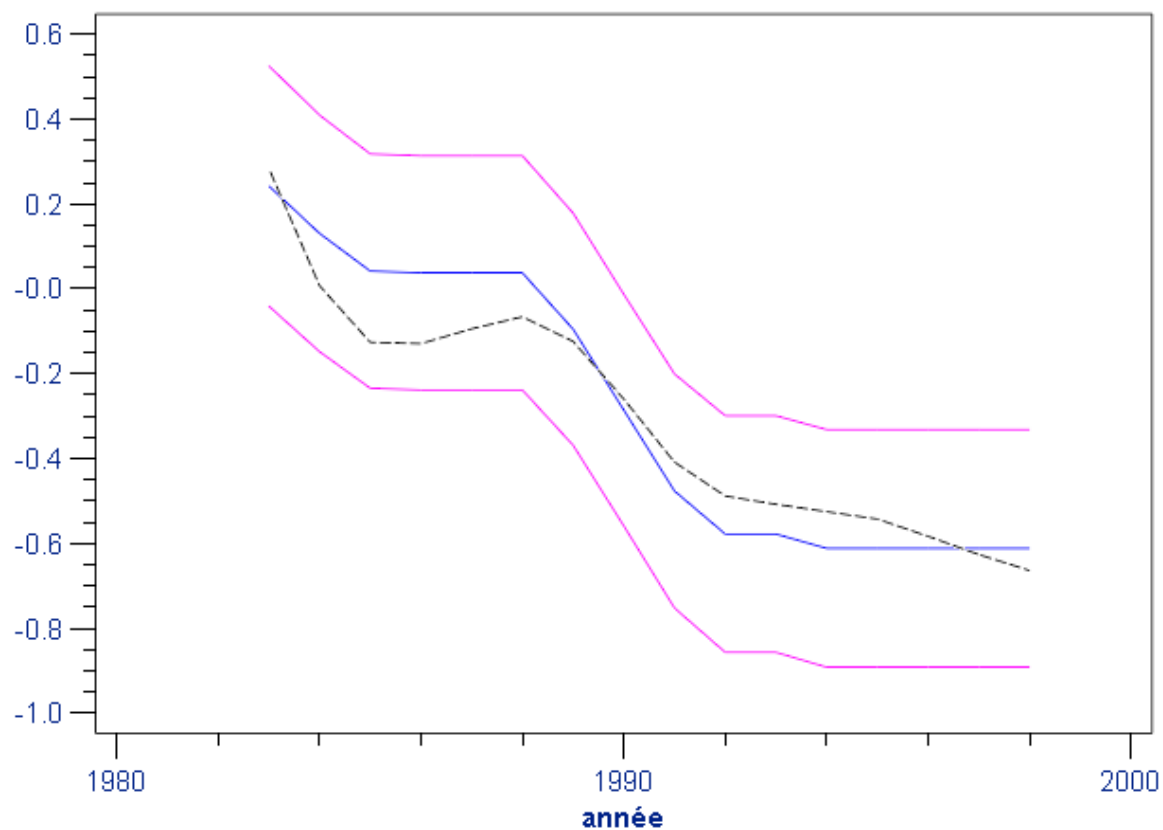
Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-19,09	-20,76	0,9192	0,52	4,31	0	oui

Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		4,12E+00	3,34E-01	12,3	<0,0001
ln (Indicateur d'accessibilité TGV) lnRtgv		-9,55E-01	7,31E-02	-13,1	<0,0001

PREDICTED



Formulation 55

$$\ln((Ta+Ttgv)/(Ta+Tf)) = -2,4 + 0,00028 \text{ Pib} - 0,088 \text{ Pa} + 0,22 \text{ Pf} + 0,011 \text{ Rtgv}$$

(1,7) (1,0) (3,3) (1,8) (7,0)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-38,89	-43,05	0,9940	0,84	1,94	0,04	oui

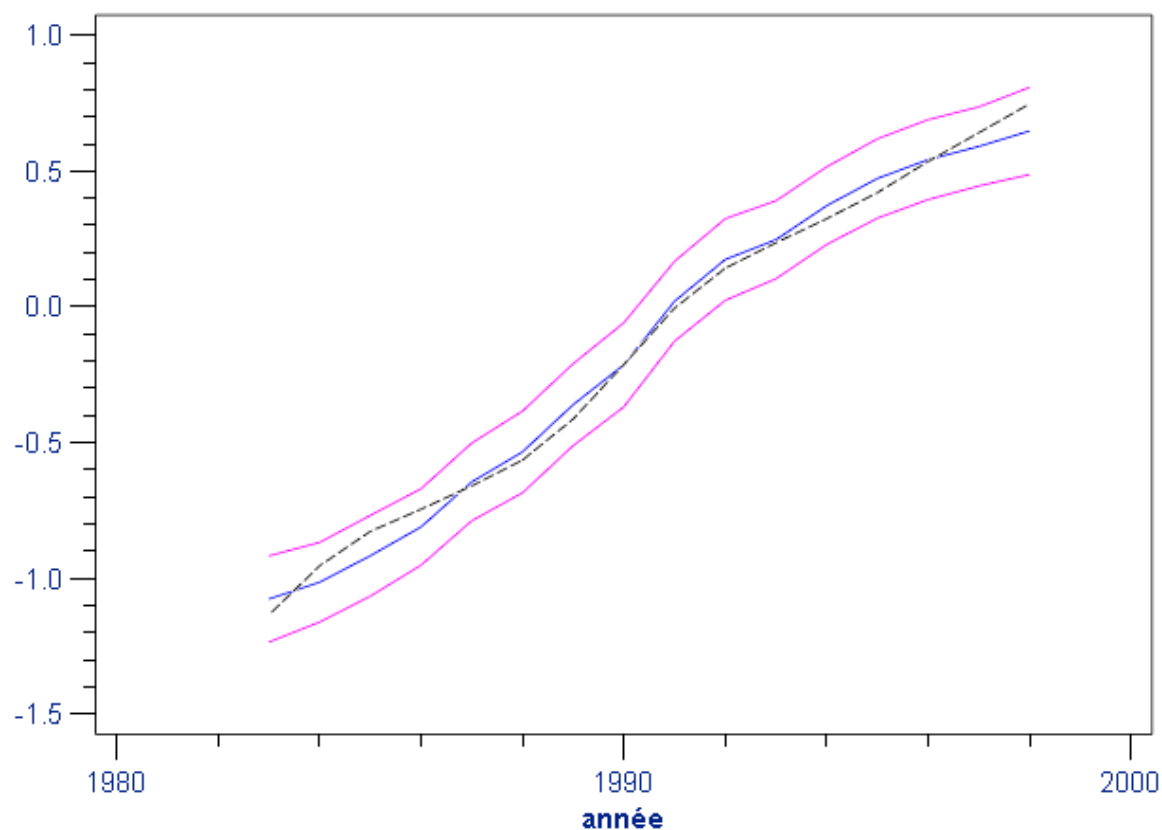
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		-2,44E+00	1,44E+00	-1,7	0,1166
PIB	PIB	2,76E-04	2,73E-04	1,0	0,3318
Prix de l'air	Pa	-8,76E-02	2,62E-02	-3,3	0,0059
Prix du fer	Pf	2,20E-01	1,25E-01	1,8	0,1028
Indicateur d'accessibilité TGV	Rtgv	1,08E-02	1,53E-03	7,0	<0,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	-0,456	-1,70	0,12

PREDICTED



Formulation 56

$$\ln((Ta+Ttgv)/(Ta+Tf)) = 0,82 + 0,00027 \text{ Pib} - 0,065 \text{ Pa} + 0,014 \text{ Rtg}v + 0,26 \text{ Polit}$$

(1,4) (2,8) (8,8) (17,6) (7,6)

Statistiques du modèle

SBC	AIC	R ²	DW	t de Durbin	Pr > t	Autocorrélation
-64,88	-69,05	0,9987	2,29	-0,53	0,3	non

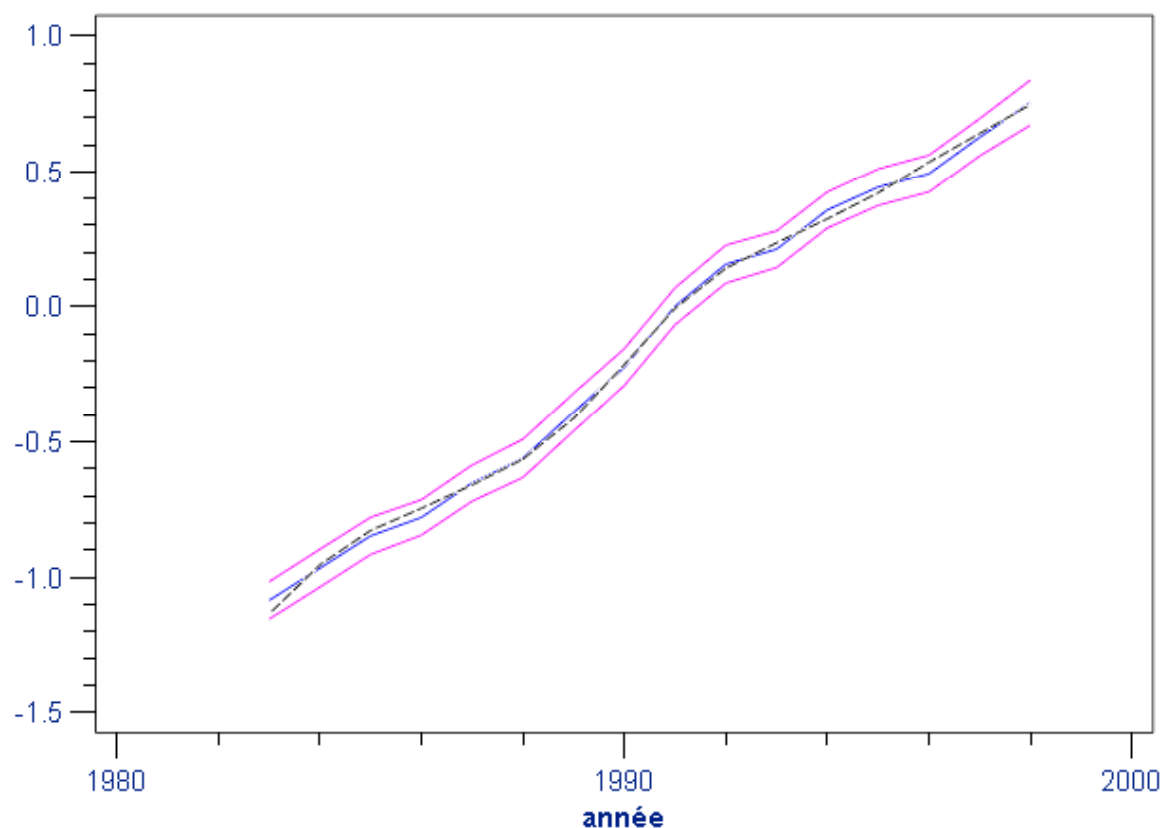
Coefficients

Variable	Abrévia-tion	Coefficient	Erreur type	t de Student	Probabilité Pr > t
Constante		8,17E-01	5,94E-01	1,4	0,1942
PIB	PIB	2,65E-04	9,64E-05	2,8	0,0175
Prix de l'air	Pa	-6,49E-02	7,42E-03	-8,8	<0,0001
Indicateur d'accessibilité TGV	Rtg _v	1,37E-02	7,76E-04	17,6	<0,0001
Indicateur de politique tarifaire	Polit	2,59E-01	3,41E-02	7,6	<0,0001

Elimination des termes autorégressifs

Retard	Coefficient	t de Student	Pr > t
1	0,154	0,52	0,61

PREDICTED



Annexe 3. Notations et abréviations

Notations

Ivlc	indice de croissance de la circulation sur le réseau des autoroutes concédées, VL seuls
Ic	indice de croissance de la circulation sur le réseau des autoroutes concédées, VL et PL confondus
Tvlc	volume de trafic sur les autoroutes concédées, VL seuls (milliards de véh.km)
Lc	longueur du réseau des autoroutes concédées (km)
Rr	utilité du réseau des autoroutes concédées
Er(l)	utilité du l ^{ième} kilomètre du réseau des autoroutes concédées
Pr	prix moyen du trajet sur autoroutes concédées (en F80 par véh.km)
Tf	volume de trafic ferroviaire hors Ile de France (milliards de voy.km)
Ttgv	volume de trafic TGV (milliards de voy.km)
Pf	produit moyen du fer (en F80 par voy.km)
Vf	vitesse moyenne du fer (en km/h)
Rf	vitesse écrêtée ferroviaire (en km/h)
Rtgv	vitesse écrêtée TGV (en km/h)
Ta	volume de trafic aérien intérieur métropole (milliards de voy.km)
Pa	produit moyen de l'air (en F80 par voy.km)
Paf	moyenne, pondérée par les trafics air et fer, des produits moyens de l'air et du fer (en F80 par voy.km)
PIB	Produit Intérieur Brut
CFT	Consommation Finale Totale
CFM	Consommation Finale des Ménages

Abréviations

VL	Véhicules Légers (voitures)
PL	Poids Lourds
OD	origine-destination
TGV	Trains à Grande Vitesse
TRN	Trains Rapides Nationaux
GL	trains Grandes Lignes (=TGV+TRN)
SRV	Services Régionaux de Voyageurs (pour les trains)
TER	Trains Express Régionaux
EIR	Express d'Intérêt Régional
ETC	Enquêtes Transports et Communications
vkm (ou voy.km)	voyageurs.kilomètres
véh.km	véhicules.kilomètres
PKT	passagers.kilomètres

SKO	sièges.kilomètres offerts
TMJA	Trafic Moyen Journalier Annuel (nombre de véhicules par jour)
LET	Laboratoire d'Economie des Transports
INRETS	Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité
SES	Service Economie et Statistiques (du Ministère de l'Equipeement, des Transports et du Logement)
SETRA	Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes
CERTU	Centre d'Etudes sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques
DGAC	Direction Générale de l'Aviation Civile
ADEME	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
RTT	Réduction du Temps de Travail
PCS	Professions et Catégories Sociales
TIPP	Taxe Intérieure sur les Produits Pétroliers

Table des matières

INTRODUCTION	7
CHAPITRE 1. APPROCHES DE LA LONGUE DISTANCE	13
I. DEFINIR LA LONGUE DISTANCE	13
1. LES MARCHES DE LA LONGUE DISTANCE	13
2. PLUSIEURS LOGIQUES D'APPROCHES	14
2.1. <i>Une définition à travers des critères appliqués aux déplacements</i>	14
2.2. <i>Une définition par les logiques de réseau</i>	16
3. UNE DEFINITION QUI DOIT ETRE OPERATIONNELLE	16
II. LE SYSTEME DE PRODUCTION DE DONNEES EN INTERURBAIN.....	17
1. LES DONNEES MODALES	18
1.1. <i>Les données aériennes</i>	18
1.2. <i>Les données ferroviaires</i>	21
1.3. <i>Les données routières</i>	30
1.4. <i>Bilan des données exploitables</i>	43
2. LES DONNEES D'ENQUETES MULTIMODALES	44
2.1. <i>Les enquêtes transports et communication</i>	44
2.2. <i>Les autres enquêtes</i>	47
3. BILAN SUR LES DONNEES	48
III. TRAFICS SUR RESEAU ET ENQUETES TRANSPORTS : MESURES DE L'EVOLUTION DES DEPLACEMENTS A LONGUE DISTANCE ET COMPARAISON	49
1. EVOLUTION DE LA LONGUE DISTANCE A TRAVERS LES TRAFICS SUR RESEAU	49
1.1. <i>Une augmentation rapide du trafic aérien</i>	49
1.2. <i>Des variations du trafic ferroviaire contrastées</i>	51
1.3. <i>Une augmentation rapide du trafic sur autoroutes concédées</i>	53
1.4. <i>Comparaison des évolutions des trafics route – air -fer</i>	56
2. EVOLUTION DE LA LONGUE DISTANCE A TRAVERS LES ENQUETES TRANSPORTS ET COMMUNICATION	58
2.1. <i>Précisions méthodologiques</i>	58
2.2. <i>Evolution de la mobilité globale</i>	58
2.3. <i>Evolution de la répartition modale entre 1981 et 1993</i>	60
3. DONNEES OPERATEURS ET ENQUETES TRANSPORTS : COMPARAISON DES RESULTATS	62
3.1. <i>Des définitions différentes</i>	62
3.2. <i>Comparaison pour l'aérien</i>	62
3.3. <i>Comparaison pour le ferroviaire</i>	66
3.4. <i>Comparaison pour le mode routier</i>	68
3.5. <i>Conclusion</i>	69
IV. CONCLUSION	70
CHAPITRE 2. LES DETERMINANTS DE LA LONGUE DISTANCE	73
I. ANALYSE BIBLIOGRAPHIQUE ET ANALYSE DES DONNEES : LES DETERMINANTS DE LA LONGUE DISTANCE	73

1. CADRE GENERAL DE L'ANALYSE	74
1.1. Les déterminants de la demande de transport à longue distance	74
1.2. Enquêtes et données de trafic : des moyens complémentaires pour appréhender les déterminants de la mobilité à longue distance	75
1.3. Démarche adoptée.....	76
2. NATURE DES DEPLACEMENTS A LONGUE DISTANCE.....	77
2.1. Précision méthodologique.....	77
2.2. Des déplacements peu fréquents	81
2.3. Une prédominance des déplacements à but personnel	81
2.4. La structure spatiale des déplacements	84
3. LES FACTEURS EXPLICATIFS DU NIVEAU DE MOBILITE	87
3.1. Revenus et conjoncture économique : des déterminants essentiels de la mobilité à longue distance.....	87
3.2. Les déterminants de la mobilité "personnelle" autres que le revenu.....	91
3.3. Les déterminants de la mobilité pour motif affaires professionnelles.	97
3.4. L'induction due à l'offre de transport	98
3.5. Conclusion.....	99
4. LES FACTEURS EXPLICATIFS DU CHOIX MODAL.....	100
4.1. Un effet d'offre très important	100
4.2. L'influence des caractéristiques du déplacement	107
4.3. L'influence des facteurs socio-économiques.....	111
4.4. Conclusion.....	113
5. CONCLUSION	113
II. EVOLUTION DES PRINCIPAUX DETERMINANTS ENTRE 1980 ET 2000	114
1. LE CONTEXTE SOCIO-ECONOMIQUE : DES FLUCTUATIONS DE LA CONJONCTURE.....	114
2. L'OFFRE DE TRANSPORT : PLUS VITE, MOINS CHER.....	115
2.1. L'offre aérienne : chute des prix et développement du yield management.....	115
2.2. L'offre ferroviaire : création du réseau TGV et évolution de la politique tarifaire vers le yield management	119
2.3. L'offre autoroutière : développement du réseau autoroutier et contre-choc pétrolier	124
2.4. Comparaison des évolutions de l'offre entre les différents modes.....	126
III. CONCLUSION	127
CHAPITRE 3. LES METHODES DE MODELISATION DE LA LONGUE DISTANCE	129
I. LES METHODES DE MODELISATION	129
1. LES MODELES AGREGES CALES SUR DONNEES OPERATEURS	130
1.1. Les modèles de demande directe calés sur séries chronologiques	130
1.2. Les modèles de génération / partage modal.....	142
2. LES MODELES CALES SUR DONNEES D'ENQUETES.....	155
2.1. Les modèles de génération	155
2.2. Les modèles de génération /distribution / partage modal.....	157
2.3. Bilan sur les modélisations sur données d'enquêtes	158
3. UN CAS ORIGINAL : MATISSE	158
3.1. Un constat : les problèmes de non cohérence des modèles de demande directe et de partage modal	159
3.2. Le modèle	159

4. BILAN SUR LES METHODES DE MODELISATION.....	165
II. LES MODELES APPLIQUES AU CONTEXTE FRANÇAIS	166
1. LES MODELES EXISTANT EN FRANCE	166
1.1. <i>Le modèle MATISSE.....</i>	166
1.2. <i>Les modèles de demande directe calés sur séries temporelles.....</i>	166
1.3. <i>Les modèles calés sur l'enquête transports et communication de 1993.....</i>	171
1.4. <i>Les modèles utilisés dans le cadre des grands projets d'infrastructures</i>	173
2. LES ELASTICITES OBTENUES	174
III. CONCLUSION	178
CHAPITRE 4. CONSTRUCTION D'UN MODELE DE SIMULATION A LONG TERME DES DEPLACEMENTS DE VOYAGEURS A LONGUE DISTANCE EN FRANCE	181
I. CADRE DE LA DEMARCHE	181
1. UN MODELE MACRO-ECONOMIQUE CALE SUR SERIES TEMPORELLES	181
1.1. <i>Définition du trafic modélisé.....</i>	182
1.2. <i>Variables explicatives</i>	182
1.3. <i>Les différentes formes de modélisation</i>	183
2. UN OBJECTIF D'OPERATIONNALITE	184
2.1. <i>Le nécessaire compromis entre pertinence, cohérence et mesurabilité.....</i>	184
2.2. <i>Analyse de l'opérationnalité avant et après calage</i>	186
3. OPERATIONNALITE DES MODELES ENVISAGES	193
3.1. <i>Choix de la forme des modèles et opérationnalité</i>	194
3.2. <i>Choix des variables explicatives et opérationnalité des modèles</i>	194
3.3. <i>Démarche</i>	196
II. CONSTRUCTION DES VARIABLES EXPLICATIVES	196
1. LES VARIABLES SOCIO-ECONOMIQUES.....	197
2. PRISE EN COMPTE DES COUTS DES DIFFERENTS MODES	199
2.1. <i>Les différents types de mesure de l'évolution des prix : avantages et limites</i>	199
2.2. <i>Le prix de l'aérien</i>	202
2.3. <i>Le prix du fer.....</i>	204
2.4. <i>Le coût de l'autoroute.....</i>	205
2.5. <i>Comparaison des trois prix : air-fer-autoroute</i>	208
3. INDICATEURS DE DEVELOPPEMENT DES RESEAUX	210
3.1. <i>Construction d'un indicateur d'utilité autoroutière.....</i>	210
3.2. <i>Construction d'un indicateur d'utilité du réseau ferroviaire.....</i>	213
4. BILAN DE L'OPERATIONNALITE DES VARIABLES EXPLICATIVES	218
4.1. <i>Variables retenues.....</i>	218
4.2. <i>Opérationnalité des indicateurs pris séparément</i>	219
4.3. <i>Corrélations entre variables et opérationnalité d'ensemble.....</i>	219
III. LES MODELES DE DEMANDE DIRECTE	220
1. MODELISATION DU TRAFIC AUTOROUTIER PAR UN MODELE DE DEMANDE DIRECTE	220
1.1. <i>Modélisation de l'évolution de l'indice de circulation des véhicules légers sur autoroutes concédées</i>	221
1.2. <i>Modélisation de l'évolution du volume total de trafic sur le réseau autoroutier....</i>	227
1.3. <i>Conclusion.....</i>	228

2. MODELISATION DU TRAFIC AERIEN PAR UN MODELE DE DEMANDE DIRECTE	228
2.1. Formulation avec comme variables explicatives le PIB, l'offre aérienne et l'offre ferroviaire.....	229
2.2. Modélisation en introduisant le facteur de rupture de pente	229
2.3. Introduction de la variable « Polit »	230
3. MODELISATION DU TRAFIC FERROVIAIRE PAR UN MODELE DE DEMANDE DIRECTE	231
3.1. Modélisation avec les variables croissance économique, offre ferroviaire, prix de l'air et de la route.....	231
3.2. Recalibrage avec les seules variables ferroviaires	232
3.3. Introduction de la variable Polit	232
4. CONCLUSION SUR LES MODELES DE DEMANDE DIRECTE	233
IV. LES MODELES DE PARTAGE MODAL	235
1. LES DIFFERENTES ARCHITECTURES ENVISAGEES	235
2. MODELE "MIXTE" ROUTE / FER / AIR	239
2.1. La route : modélisation par des modèles de demande directe.....	239
2.2. Modélisation du trafic air + fer par une formulation de demande directe.....	239
2.3. Le partage modal du modèle de génération / partage modal	242
2.4. Conclusion.....	248
3. MODELE "MIXTE" A 4 MODES.....	251
3.1. Rappel des équations de demande directe modélisant la route d'une part et les trafics fer + air d'autre part.....	251
3.2. Données de trafic et variables explicatives.....	252
3.3. Modélisation de la répartition air / TGV	253
3.4. Modélisation de la répartition transports rapides / trains rapides nationaux.....	255
3.5. Conclusion sur l'architecture à 4 modes	256
V. CONCLUSION.....	256
CONCLUSION GENERALE	261
BIBLIOGRAPHIE	265
ANNEXES.....	281
ANNEXE 1. CARTES DES RESEAUX FERROVIAIRE ET AUTOROUTIER	283
ANNEXE 2. LES FORMULATIONS TESTEES.....	287
ANNEXE 3. NOTATIONS ET ABREVIATIONS	351