HAL
open science

Analyse et modélisation spatiales à long terme du transport national de marchandises

Sandrine Durand

To cite this version:

Sandrine Durand. Analyse et modélisation spatiales à long terme du transport national de marchandises. Economies et finances. Université Lumière - Lyon II, 2001. Français. NNT : . tel-00589032

HAL Id: tel-00589032

https://theses.hal.science/tel-00589032

Submitted on 27 Apr 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

UNIVERSITE LUMIERE LYON 2
FACULTE DE SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION

ANALYSE ET MODELISATION SPATIALES A LONG TERME DU TRANSPORT NATIONAL DE MARCHANDISES

TOME 1

Thèse
pour le doctorat de Sciences Economiques, option Economie des transports
présentée et soutenue publiquement par

Sandrine DURAND

le 8 janvier 2001

Directeur de thèse : Professeur Alain BONNAFOUS

Membres du jury :

M. Michel BEUTHE (rapporteur), Professeur de Sciences Economiques aux Facultés Universitaires Catholiques de Mons

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

M. Félix DAMETTE, Géographe

Mme Thérèse SAINT-JULIEN, Professeur de Géographie à l'Université Paris I

M. Michel SAVY (rapporteur), Professeur de Sciences Economiques à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

UNIVERSITE LUMIERE LYON 2
FACULTE DE SCIENCES ECONOMIQUES ET DE GESTION

ANALYSE ET MODELISATION SPATIALES A LONG TERME DU TRANSPORT NATIONAL DE MARCHANDISES

TOME 1

Thèse

pour le doctorat de Sciences Economiques, option Economie des transports

présentée et soutenue publiquement par

Sandrine DURAND

le 8 janvier 2001

Directeur de thèse : Professeur Alain BONNAFOUS

Membres du jury :

M. Michel BEUTHE (rapporteur), Professeur de Sciences Economiques aux Facultés Universitaires Catholiques de Mons

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

M. Félix DAMETTE, Géographe

Mme Thérèse SAINT-JULIEN, Professeur de Géographie à l'Université Paris I

M. Michel SAVY (rapporteur), Professeur de Sciences Economiques à l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

Remerciements

Cette thèse a pu aboutir grâce au soutien et aux conseils de nombreuses personnes.

Je tiens à remercier en premier lieu le Professeur Alain BONNAFOUS, directeur de la thèse. Je lui suis reconnaissante de m'avoir confié ce travail de thèse et de m'avoir fait confiance. Ses conseils de méthode et son expérience scientifique m'ont beaucoup apporter pour l'élaboration de cette thèse et pour comprendre le domaine de la recherche.

Je remercie Christian CALZADA pour m'avoir fait participer et présenter mes travaux aux réunions du club d'échanges sur les transports de marchandises, ainsi que pour avoir consacré du temps à réfléchir sur certains problèmes économétriques rencontrés lors de la construction du modèle.

Ce travail a également bénéficié des conseils de Patrick SYLVESTRE-BARON sur quelques notions et méthodes économétriques essentielles. Je lui suis reconnaissante du temps qu'il m'a consacré.

Ce travail a bénéficié également des réflexions et des travaux menés dans des programmes de recherche en modélisation des transports réalisés au Laboratoire d'Economie des Transports. J'adresse ainsi des remerciements à l'équipe " Télescopage " et en particulier à Sophie MASSON et à Jean-Louis ROUTHIER grâce à qui j'ai enrichi mes connaissances en modélisation des transports. Je remercie aussi plusieurs promotions de D.E.A. en Economie des Transports qui ont travaillé avant moi sur les coefficients structurels.

J'associe très vivement à mes remerciements les membres du Laboratoire d'Economie des Transports pour le soutien amical mais aussi matériel.

Je souhaite remercier également les personnes qui ont généreusement lu tout ou partie de ma thèse. Elle a bénéficié de remarques et de conseils de la part d'Abdallah BENHEDDI et d'une lecture précise et complète de Cyril ARAUD qui m'a également grandement aidée dans la réalisation cartographique.

Mes remerciements les plus affectueux vont à tous mes amis et proches qui m'ont soutenue et encouragée tout au long de ce travail et à Cyril en particulier sans qui cette thèse n'aurait peut être pas été menée à son terme.

A la mémoire de mon père

Sommaire

Partie I. Le cadre méthodologique général

Chapitre I. Fondements théoriques, conceptuels et méthodologiques

Section I. Les enseignements des “ modèles ” théoriques et empiriques sur l’échange

Section II. La démarche méthodologique et de modélisation

Section III. La problématique centrale de la modélisation spatiale du fret dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional

Chapitre II. La donne

Section IV. La donne statistique du potentiel transportable

Section V. La structuration socio-économique de l’espace national

Section VI. La structuration de l’espace par l’offre de transport

Partie II. Les transports de marchandises et la structuration de l’espace

Chapitre III. Les transports de marchandises dans un découpage régional de l’espace

Section VII. Les deux échelles géographiques du transport national

Section VIII. Les contributions régionales au transport national de marchandises

Chapitre IV. Les échanges de marchandises révélateurs d’une structuration de l’espace et des interdépendances régionales

Section IX. La structure spatiale des flux interrégionaux de marchandises

Section X. La dynamique structurelle des interactions spatiales en transport de marchandises

Partie III. Le modèle QuinQuin Fret Multirégional

Chapitre V. La construction du modèle QuinQuin Fret Multirégional

Section XI. Les relations conjoncturelles et la génération du fret

Section XII. Les relations structurelles et la distribution spatiale du fret

Chapitre VI. Prévisions et simulations par le modèle QuinQuin Fret Multirégional

Section XIII. Des contextes économiques et d’aménagement du territoire contrastés à l’horizon 2015

Section XIV. Les simulations à long terme du fret

INTRODUCTION

Face à la croissance soutenue des transports et à leur place grandissante dans le développement économique, l'inquiétude s'est installée progressivement depuis les années 80 à propos des effets négatifs des transports. Ces effets se traduisent, au niveau local, par de l'insécurité, de la pollution locale, des agressions sonores ou des pertes de temps du fait de phénomènes de saturation des infrastructures, au niveau régional, par la propagation de pollutions à des espaces plus ou moins lointains sous forme de pluies acides, et au niveau global, par l'accentuation de l'effet de serre imputable aux émissions accrues de gaz carbonique.

L'accroissement des trafics concerne aussi bien les transports de personnes que de marchandises mais avec des degrés variables selon les modes de transport, en particulier entre les modes individuels et les modes collectifs. La hausse des trafics est également différenciée selon les espaces, et concerne plus particulièrement les déplacements périurbains de personnes et les échanges interurbains de marchandises.

Depuis la fin des années 70 et au cours des années 80, plusieurs facteurs économiques et géopolitiques ont concouru à l'explosion des trafics : le contre-choc pétrolier avec le desserrement de la contrainte pétrolière, la reprise économique avec la relance de la production de masse et de la consommation, l'entrée de l'Espagne et du Portugal dans la Communauté Economique Européenne, la déréglementation naissante du secteur des transports et, enfin, la globalisation de l'économie qui renforce la spécialisation des territoires, étend les aires de marché, élargit les champs de concurrence et durcit les contraintes sur le transport par l'exigence de souplesse et de réactivité dans un monde vivant dans l'immédiat et en " juste à temps ".

Le transport national de marchandises, mesuré en tonnes-kilomètres, s'est accru de 11%[1] entre 1975 et 1994 (soit une croissance annuelle moyenne de +0,55%) et le trafic de voyageurs, exprimé en voyageurs-kilomètres, a augmenté de 24,5% entre 1985 et 1993[2] (soit une variation annuelle moyenne de +2,8%). Ces évolutions globales, intégrant l'ensemble des modes de transport, masquent des croissances beaucoup plus vives selon les modes de transport. Ainsi, le transport routier de marchandises s'accroît de +37% en tonnes-kilomètres entre 1975 et 1993 et le transport routier de voyageurs connaît une hausse de +28% en voyageurs-kilomètres entre 1985 et 1993 (soit +3% en variation annuelle moyenne), mais également une explosion des kilomètres parcourus de +81% entre 1973 et 1993.

Ainsi, la croissance des transports depuis le début des années 80 relève davantage d'un allongement des distances parcourues que d'une augmentation des volumes chargés et utilise préférentiellement le mode routier. Ces deux caractéristiques rendent les transports de plus en plus consommateurs d'espace mais aussi de carburant et en font de plus grands générateurs de nuisances environnementales.

Du point de vue de l'occupation de l'espace par les transports, on observe une répartition déséquilibrée des flux à travers le territoire national, que ce soit pour les déplacements de personnes ou pour les transports de marchandises. Si l'on se restreint aux flux interrégionaux de marchandises, on s'aperçoit que les principaux échanges en tonnes transportées s'effectuent entre

[1] Données SITRAM, SES, DAEI.

[2] Statistiques citées par J.P. ORFEUIL (1995).

les grands pôles économiques et démographiques du pays et que la distribution spatiale du fret se concentre au sein des grandes agglomérations et sur de grands corridors de circulation, tels que l'axe Nord-Sud par la vallée du Rhône.

Bien que le transport de personnes représente la majorité des trafics, en nombre de kilomètres parcourus comme en véhicules en circulation, le transport de marchandises prend une place de plus en plus importante dans l'estimation globale des transports se réalisant sur l'espace national, aussi bien en termes d'occupation de l'espace qu'en consommation énergétique et en effets externes environnementaux.

La croissance du fret et les déséquilibres dans sa distribution spatiale amènent à s'interroger sur le devenir du système des transports de marchandises, et sur ses répercussions en termes d'aménagement du territoire et d'environnement, dans une vision de long terme et dans le cadre d'une évolution au " fil de l'eau ". La question centrale est alors de comprendre la formation et l'évolution à long terme des transports de marchandises du point de vue des volumes chargés mais aussi de la distribution spatiale des flux à travers le territoire français. Cette question peut être traitée dans une optique de modélisation, en formalisant la génération des volumes transportés et la distribution spatiale des flux entre les régions françaises, en fonction de variables économiques ou spatiales caractérisant le système de production et le système de localisation des activités.

Notre thèse s'inscrit dans cette approche, en développant une analyse et une modélisation spatiales du transport national de marchandises. L'objectif de ce travail est, d'une part, d'expliciter et de formaliser la dynamique du système des transports de marchandises apprécié à partir d'un découpage régional de l'espace national. D'autre part, l'objectif est de fournir des simulations des transports intra- et interrégionaux de marchandises à un horizon de long terme. Les simulations ainsi développées sont porteuses d'enseignements sur le devenir possible des transports de marchandises à travers le territoire et constituent des éléments d'aide à la prise de décision en planification des transports et en aménagement du territoire aux échelles nationale et régionale.

La question centrale de notre problématique se décline selon deux dimensions temporelles, en statique puis en dynamique à long terme :

- *Quels sont les facteurs explicatifs, les mécanismes ou les tendances lourdes à l'œuvre dans la formation et dans l'évolution à long terme des volumes de marchandises générés sur le territoire national, dans la répartition de ces volumes en émissions et réceptions régionales et dans la distribution spatiale des flux d'échange interrégionaux ?*

La démarche que nous avons choisie de suivre pour répondre à cette problématique relève des domaines de l'analyse spatiale et de l'économie des transports. Nous avons mobilisé les outils de l'analyse spatiale et régionale pour caractériser le système géographique et économique dans lequel se réalisent les transports de marchandises et pour comprendre la structure spatiale des transports de marchandises. Nous avons puisé dans l'économie des transports pour comprendre le fonctionnement du système de transport de marchandises, en particulier son évolution par rapport à la croissance économique, mais aussi pour élaborer des indicateurs d'accessibilité et de coûts de transport. Enfin, ces deux domaines ont été mobilisés pour décrire et analyser les modèles d'interaction spatiale et construire notre propre modèle spatial de simulation du fret.

Le choix d'un outil de modélisation et de simulation pour comprendre et décrire la structure et la dynamique du système des interactions spatiales que constituent les transports de marchandises intra et surtout interrégionaux a été considéré dans une dimension opérationnelle des politiques de transport et d'aménagement du territoire.

Le travail engagé ne s'inscrit pas dans le seul cadre de l'analyse spatiale, visant à développer une nouvelle explication des disparités spatiales. Il consiste à saisir les liens existants entre les transformations spatiales, les modifications socio-économiques ou productives du système économique national et les transports de marchandises, puis à les expliciter de façon formalisée au sein d'un modèle. Les travaux menés sur les caractéristiques et les transformations de l'espace, géographiques ou productives, ont été réalisés dans le but de mettre en exergue les effets éventuels de ces transformations sur le système des transports de marchandises.

Dans le champ des modèles économiques et géographiques en transport, nous avons choisi de développer un modèle agrégé empirique, selon une approche macroscopique comprenant un découpage en macro-zones (régions françaises), une analyse par série chronologique et des flux agrégés par catégories de produits et réalisés par les trois modes terrestres route, fer et fluvial. Le modèle se prête bien à la compréhension générale du fonctionnement du système de transport de marchandises et de ses principales interrelations avec les systèmes de production et de localisation. Il permet aussi de fournir des simulations globales à long terme en fonction d'hypothèses contrastées de croissance économique et d'aménagement du territoire. Il ne fournit pas en revanche de description fine des mécanismes du fonctionnement du système de transport des marchandises, tels que l'organisation des chaînes logistiques ou les choix d'itinéraires.

Le modèle QuinQuin Fret Multirégional s'inscrit dans le champ des modèles opérationnels de prévision ou de simulation des transports développés relativement récemment en France (modèles du Ministère de l'Equipement). La modélisation des transports de marchandises a fait l'objet de recherches et d'applications depuis beaucoup moins longtemps que les transports de personnes et ne connaît que très récemment de réelles diversifications. Celles-ci portent sur le développement des modèles appliqués intersectoriels gravitaires tels que le modèle FIIRM développé au S.E.S. (Calzada, 1998), entropiques avec des contraintes input-output tels que le modèle FRET élaboré au Canada (Gaudry et alii, 1988), logistiques tels que le modèle SMILE mis au point aux Pays-Bas (Tavasszy et alii, 1998) ou de réseaux tels que le modèle de réseau virtuel et son interface technique NODUS (Jourquin, 1996).

La construction d'un modèle spatial de simulation a été guidée par trois enjeux qui constituent des sous questionnements de la problématique générale :

- *Les échanges de marchandises sont-ils révélateurs d'une structuration du territoire et d'interdépendances régionales ?*

Cette question se rapproche des réflexions menées par Michel Savy (1992) pour qui "*la circulation des produits est un révélateur puissant des spécialisations et des interdépendances qui organisent le territoire*". L'accent est mis sur la structure régionale des transports intra- et interrégionaux, sur les systèmes régionaux d'échange selon les classes sectorielles de produits ainsi que sur la structure spatiale des échanges interrégionaux de marchandises.

- La " spatialisation " permet-elle de dégager des caractéristiques et des sensibilités différentes du fret à l'activité économique selon l'échelle géographique de transport ?

Par rapport à une modélisation a-spatiale du transport de marchandises, menée à l'échelle nationale, une approche spatialisée a pour enjeu de mettre en évidence les spécificités liées à l'échelle géographique des transports, intrarégionale et interrégionale, ainsi que les spécificités éventuelles propres aux grands axes de circulation. Des acquis méthodologiques de la modélisation du fret, tels que les élasticités variables à la croissance économique, sont mobilisés pour caractériser les différentes échelles de trafic et mieux comprendre *in fine* l'évolution de long terme du fret national à partir de ces différentes composantes géographiques.

- Comment expliquer et modéliser la distribution spatiale des échanges de marchandises à partir d'indicateurs d'intensité structurelle des échanges ?

A partir du calcul d'indicateurs mettant en rapport la distribution observée des échanges et une distribution théorique, une méthode novatrice de la modélisation des interactions spatiales est développée. Cette méthode, intitulée méthode des coefficients structurels, est axée sur l'explication des différentiels de niveau et d'évolution entre les distributions observées et théoriques.

Les différentes étapes nécessaires pour traiter les questionnements précédents et élaborer un modèle spatial de simulation opérationnel se répartissent en trois parties subdivisées chacune en deux chapitres.

La première partie présente le cadre méthodologique général dans lequel s'inscrivent l'analyse et la modélisation spatiales des transports de marchandises. Les fondements théoriques, conceptuels et méthodologiques sont développés dans le chapitre I. Le cadre théorique et conceptuel se rapporte aux modèles économiques de l'échange et à la difficile intégration de l'espace dans l'analyse et la modélisation économique des échanges commerciaux. L'articulation générale " Production-Espace-Transport ", sur laquelle repose l'analyse globale du fonctionnement du système de transport de marchandises en lien avec le système de production et le système des localisations, est ensuite présentée. Afin de situer le modèle QuinQuin Fret Multirégional dans les familles de modèles empiriques existantes en transport de marchandises, les modèles d'interaction spatiale ainsi que les modèles intersectoriels de type input-output sont brièvement présentés.

La démarche méthodologique d'analyse et de modélisation est exposée à partir de ses deux caractéristiques centrales. La première est la conception systémique de l'objet d'étude, les transports de marchandises spatialisés. L'espace national est considéré comme un système économique fermé, constitué par les structures socio-économiques de ses composantes régionales et par les flux de marchandises qui forment la dynamique du système. Dans une telle optique, les échanges interrégionaux de marchandises sont la matérialisation physique des interactions spatiales réalisées entre les composantes régionales du système.

La seconde caractéristique concerne la méthode globale d'analyse et de modélisation utilisée, la méthode des coefficients structurels. Cette méthode présente des apports méthodologiques dans la modélisation spatiale des transports et une approche novatrice de la structure d'ensemble d'un modèle spatial agrégé de transport. Son apport principal est de distinguer dans les tonnages

transportés, une dimension conjoncturelle liée à l'activité économique, et une dimension structurelle liée à la structuration spatiale et socio-économique du territoire imputable à la division spatiale des activités, aux spécialisations sectorielles ou aux infrastructures de transport.

Le premier chapitre s'achève sur la présentation de la problématique globale de cette thèse et sur la problématique méthodologique propre à la construction d'un modèle économique ainsi que sur l'architecture générale du modèle, intitulé QuinQuin Fret Multirégional.

Dans le chapitre II, nous abordons le cadre statistique, en soulignant dans un premier temps les faiblesses des statistiques économiques disponibles à l'échelle régionale et la difficulté de disposer de séries chronologiques homogènes et suffisamment longues pour développer un modèle de simulation du fret. Le cadre statistique comprend plus largement une présentation des variables socio-économiques et spatiales régionales, interrégionales ou nationales susceptibles d'intervenir dans le modèle comme variable de sensibilité ou variable de commande. Un panorama de la structure socio-économique du territoire est ainsi dressé à partir d'indicateurs nationaux donnant une évaluation de l'activité économique ou productive du système. Les facteurs socio-économiques régionaux sont exploités pour fournir une mesure des disparités régionales et mettre en évidence le caractère hétérogène de l'espace national. Enfin, les indicateurs de distance et de contiguïté interrégionale présentent une image de la structuration du territoire par les infrastructures de transport en termes de séparation spatiale, de proximité spatiale, de temps, de coût de transport ou d'accessibilité.

La seconde partie se rapporte à l'analyse descriptive des transports intra- et interrégionaux de marchandises et des contributions régionales (chapitre III) puis de la structure spatiale des échanges interrégionaux exprimée par les coefficients structurels (chapitre IV).

Dans le chapitre III, la présentation conjointe des caractéristiques et des évolutions de long terme du fret intrarégional d'un côté et du fret interrégional de l'autre, met en évidence les divergences fondamentales entre les deux échelles de transport dans leur structure sectorielle, dans leur mesure en tonnes ou en tonnes-kilomètres et dans leur évolution à long terme. L'estimation des contributions relatives régionales au fret généré révèle des disparités spatiales certaines qui méritent d'être confrontées aux disparités régionales socio-économiques.

Dans le chapitre IV, l'analyse descriptive de la structure spatiale des échanges interrégionaux et de son évolution à long terme est révélatrice d'une certaine structuration de l'espace et d'une pérennité de celle-ci dans le temps. Les coefficients structurels sont mobilisés lors de cette analyse spatiale. Ils expriment la structure spatiale des échanges, autrement dit la dimension structurelle du fret par opposition à la dimension conjoncturelle relative aux volumes chargés. L'analyse de la structure spatiale des échanges repose fortement sur la distinction entre liaisons structurelles d'échange privilégiées et désavantagées.

La troisième et dernière partie est consacrée à la description du modèle et aux simulations de long terme effectuées à partir de plusieurs scénarios contrastés. Le chapitre V porte sur la construction du modèle de simulation en explicitant les relations causales de génération et de distribution spatiale et le module de passage des tonnes chargées aux tonnes-kilomètres parcourues. Les relations causales du modèle sont décrites ainsi que la démarche méthodologique et économétrique d'élaboration de ces relations. Les tentatives sans succès ne disposant pas d'une

qualité statistique suffisante sont également mentionnées en raison du rôle qu'elles ont joué dans les choix méthodologiques effectués. L'étape de construction du modèle met ainsi en relief les difficultés auxquelles nous nous sommes heurtés, les impasses auxquelles nous sommes arrivés et les choix méthodologiques stratégiques qui ont été pris pour bâtir un modèle spatial de simulation à l'aide de la méthode des coefficients structurels et en ayant recours à la régression linéaire.

Enfin, le chapitre VI présente les prévisions et les simulations développées avec le modèle QuinQuin Fret Multirégional. Les prévisions ont trait aux tendances lourdes d'évolution mises en évidence lors de la construction du modèle. Les simulations sont développées à partir d'un éventail de scénarios contrastés portant soit sur la sensibilité du fret à la conjoncture économique soit sur des contextes différenciés d'aménagement du territoire. Les scénarios développés se présentent comme des avenirs possibles d'évolution des flux spatialisés de transport de marchandises, liés soit à la conjoncture économique soit aux impacts de transformations de l'espace, mais ne prétendent pas donner une prévision certaine des transports de marchandises.

PARTIE I

LE CADRE METHODOLOGIQUE GENERAL

La construction d'un modèle spatial de simulation des transports de marchandises à long terme repose sur un cadre méthodologique général qui est conditionné par la problématique posée et qui à son tour a des conséquences sur les analyses effectuées et les résultats et enseignements obtenus. La présentation du cadre méthodologique général fait l'objet de la partie I et comprend deux phases.

La première phase (chapitre I) se rapporte aux fondements théoriques, conceptuels et méthodologiques qui sous-tendent l'analyse et la modélisation spatiales du transport national de marchandises. Des connaissances théoriques et conceptuelles dans différents domaines de recherche, principalement en économie spatiale et en économie des transports, sont nécessaires pour orienter et déterminer la démarche méthodologique d'analyse et de modélisation qui répondra le mieux à la problématique posée. La présentation de ces différentes connaissances théoriques et conceptuelles fait l'objet de la section I. Les choix méthodologiques et de modélisation effectués par la suite, ainsi que la problématique centrale de la recherche et la problématique interne à la construction d'un modèle de transport font l'objet des sections II et III.

La seconde phase (chapitre II) s'attache à présenter le système global, dans lequel se déroulent les transports de marchandises, à savoir l'espace national découpé géographiquement en régions. Cette présentation est effectuée à travers l'ensemble des données statistiques disponibles caractérisant soit la demande de transport (variable à expliquer du modèle de transport), en section IV, soit les structures socio-économiques et spatiales caractérisant l'espace national et les composantes régionales dans lesquelles et entre lesquelles se réalisent les interactions spatiales de transport de marchandises (variables explicatives du modèle), en sections V et VI. Cette phase descriptive de la variable transport et des facteurs socio-économiques et spatiaux constitue la donne du modèle QuinQuin Fret Multirégional.

Chapitre I

Fondements théoriques, conceptuels et méthodologiques

Le premier élément de connaissance incontournable pour orienter la construction d'un modèle spatial en transport est la définition et la (les) mesure(s) de l'espace que l'on va considérer. Ce choix s'appuie sur les différentes formes de prise en compte de l'espace dans l'analyse économique mais surtout dans les modèles théoriques et empiriques de l'échange (section I). La section I est également consacrée à l'approche théorique de l'analyse du fonctionnement du système des transports de marchandises. L'approche retenue est globale dans le sens où elle tient compte des interrelations du système de transport avec le contexte dans lequel il s'inscrit qui comprend un système de production et un système de localisation des activités économiques. Le fonctionnement d'ensemble du système de transport est donc considéré par ses interrelations avec les deux autres systèmes et est schématisé par une articulation triangulaire " Production – Espace – Transport ". Le cadre conceptuel porte enfin sur une présentation des principes théoriques et mathématiques de modélisation spatiale du fret et des diverses applications empiriques effectuées, que ce soit des modèles d'interaction spatiale de type macroscopique agrégé visant à fournir des prévisions de trafics spatialisés à long terme ou des modèles explicatifs intersectoriels visant à comprendre le fonctionnement du système de transport sur la base d'interrelations entre un module économique et un module de transport.

La démarche méthodologique est ensuite explicitée en section II. Elle porte dans un premier temps sur la conception générale de l'analyse et de la modélisation spatiales des transports de marchandises considérés comme des interactions spatiales entre les composantes régionales du système et comme la dynamique de ce système. Elle s'attache dans un second temps à présenter la méthode d'analyse et de modélisation, la méthode des coefficients structurels, ainsi que ses apports et spécificités dans le cadre de la modélisation spatiale agrégée des transports de marchandises. Une présentation des outils économétriques et statistiques utilisés est également réalisée. L'explicitation précise de la problématique centrale de la recherche et de la problématique interne au modèle vient ensuite conclure ce premier chapitre.

Section I.

Les enseignements des “ modèles ” économiques théoriques et empiriques sur l’échange

L’approche de la modélisation spatiale du fret que nous développons dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional prend racine dans les concepts de trois domaines de recherche : l’économie spatiale, l’économie industrielle et l’économie des transports. Cette approche cherche à s’écarter de la construction d’un modèle théorique et abstrait des flux d’échange de marchandises. Elle s’insère davantage dans une démarche empirique d’analyse et de modélisation spatiale du fret en exploitant les données statistiques disponibles dans le domaine des transports mais aussi dans le domaine économique dans le but de rendre compte autant que possible des relations qui existent entre les systèmes de production, de localisation et de transport de marchandises. Cette volonté de rattacher la démarche de modélisation des transports de marchandises à des réflexions et travaux plus théoriques en économie spatiale, industrielle et des transports conduit à s’interroger sur les déterminants fondamentaux des échanges de marchandises. Nous allons donc exposer le schéma conceptuel à la base du modèle sous la forme d’une dialectique triangulaire, l’articulation “ Production-Espace-Transport ”. L’élément central dans cette articulation apparaît très nettement. L’espace est l’élément de liaison incontournable entre, d’un côté, la structure sectorielle et fonctionnelle de la production et, de l’autre côté, la répartition dans l’espace des transports de marchandises permettant l’approvisionnement ou l’écoulement vers une consommation intermédiaire ou finale des biens produits.

La présentation du cadre conceptuel et théorique porte dans un premier temps sur la difficulté à intégrer l’espace dans l’analyse économique et sur les choix méthodologiques et les concepts utilisés dans les différentes grandes écoles de pensée pour prendre en compte ce facteur. La nécessité de considérer le système de transport au sein d’une articulation triangulaire impliquant les systèmes de production et de localisation est dans un second temps développée. Cette présentation théorique permet de mieux comprendre les choix méthodologiques effectués pour construire des modèles empiriques d’interaction spatiale traitant des transports de marchandises et en particulier ceux qui ont prévalu à l’élaboration du modèle QuinQuin Fret Multirégional.

I-1. L’approche théorique des modèles “ spatiaux ” de l’échange

I-1-1. La prise en compte du facteur “ espace ”

A. La difficile intégration de l’espace dans l’analyse économique

Dans la pensée économique classique, l’espace est presque totalement évacué des considérations économiques relatives à la division du travail, à la recherche de l’équilibre économique et au jeu de la concurrence. L’espace est seulement considéré de façon implicite et simplifiée. Dans la théorie du commerce international de Ricardo, l’espace est assimilé à un

ensemble de facteurs de production à la source de spécialisations expliquant les avantages comparatifs. Ricardo croit à une mobilité parfaite des produits sur les marchés nationaux et internationaux même s'il ne croit pas à une mobilité parfaite des facteurs de production sur le marché international (Lajugie et al., 1985, p.11). Dans l'école Néoclassique, l'espace est également mis de côté dans les questions relatives aux équilibres de marché, aux fonctions de production et de consommation et aux échanges de biens en particulier dans le cadre du marché unique et homogène de Walras fonctionnant en concurrence pure et parfaite. Tout se passe dans un marché fictif sans dimension géographique et donc sans contrainte de déplacement, de concurrence, de spécialisation et donc de coûts de transport ou de coûts de transaction.

L'intégration de l'espace dans la pensée économique a été faite très progressivement et assez tardivement comme le soulignent Derycke (1994) et Ponsard (1988) qui se sont intéressés de plus près à cette question. La seule exception, mais trop vite mise de côté par les théories classiques et néoclassiques ultérieures, concerne les mercantilistes (Lajugie et al., 1985, pp. 18-19). Richard Cantillon est reconnu comme le précurseur de l'économie spatiale. Cantillon ébauche une théorie de la localisation en étudiant les différentes zones de peuplement existant, bourgs ruraux, villes moyennes, métropoles régionales et capitale nationale et leurs zones d'attraction. L'organisation spatiale des populations et des activités s'explique selon lui par le souci d'économiser les transports. Ceux-ci conduisent en effet à des variations locales de prix. Les échanges économiques reposent alors sur l'inégalité des prix et des revenus dans l'espace. A la suite de Cantillon, un certain nombre de modèles fondateurs de l'analyse spatiale peuvent être distingués (Lajugie et al., pp. 20-58). Le modèle de Von Thünen, qui pose les fondements de la théorie de la localisation agricole, présente une organisation de l'espace et des localisations des cultures agricoles en cercles concentriques autour des aires de marché. L'élément déterminant de la localisation est la maximisation de la rente foncière qui dépend elle-même de la distance entre les lieux de production et le marché situé au centre où sont écoulées les denrées agricoles. Le modèle de localisation des activités industrielles de Weber s'intéresse à la localisation optimale d'une firme dans un espace constitué de trois points fixes, deux lieux d'extraction et un lieu de vente. Dans ce modèle, trois facteurs sont prépondérants pour expliquer la localisation des industries : un point optimum de transport, la distorsion du travail et le jeu d'une force agglomérative ou désagglomérative. Les modèles de Hotelling et de Palander cherchent à expliquer les stratégies de localisation de deux vendeurs ou producteurs dans des situations de duopole puis d'oligopole. Palander considère que le problème de la localisation est lié à la théorie des prix. Ses travaux conduisent à une généralisation de la méthode des isolignes à laquelle il ajoute d'abord les isochrones, lieux de points pour lesquels la durée du transport est la même, puis les isodapanes qui déterminent des lieux géométriques de points pour lesquels la somme totale des frais de transport est la même pour les matières premières et pour les produits finis. Enfin, des travaux sur l'analyse urbaine conduisent à considérer l'espace davantage comme des zones d'attraction que comme des distances. Les travaux empiriques de Reilly, tendent à établir " *une loi de gravitation du commerce de détail* " (Reilly, 1929, cité par Lajugie et al., 1985) par analogie avec la loi de gravitation universelle de Newton. Cette loi est formulée de la façon suivante : deux villes attirent les acheteurs en raison directe de leur population et en raison inverse du carré de leur distance au lieu considéré. L'étude des aires d'influence des villes a conduit par la suite à analyser la structure spatiale de ces villes, leur agencement et les relations existant entre ces zones. La théorie des

places centrales de Christaller s'intéresse à cette question à travers une analyse de la hiérarchie des réseaux urbains fondée sur les fonctions tertiaires de chaque ville au sein de son hinterland. A chaque niveau hiérarchique supérieur, les fonctions sont plus importantes et ont une aire d'influence plus grande (fonctions courantes pour les places secondaires et fonctions plus rares pour les places centrales). Enfin, les travaux de Lösch généralisent ceux de Christaller dans une théorie de la localisation des activités industrielles et agricoles et des aires de marché qui débouche sur une organisation des régions selon un système de réseaux hexagonaux.

L'économie spatiale s'est plus fortement développée depuis les années 50 sous l'impulsion de quelques auteurs comme Isard (1951, cité par Lajugie et al., 1985) dont l'ambition a été d'établir une théorie spatiale de portée générale en intégrant les éléments de base des théories de la localisation dans des analyses de la production, des échanges et des prix. Plus récemment encore, le champ de la géographie économique s'est développé, notamment avec les travaux de Krugman, en intégrant des modèles et techniques issus du champ théorique de l'économie industrielle pour tenter de comprendre et d'expliquer les localisations des facteurs de production (Krugman, 1991) et plus généralement des activités économiques.

Ces travaux soulignent la difficile intégration de l'espace dans l'analyse économique en lien direct avec le caractère économiquement non neutre de l'espace. Cette difficile intégration est bien résumée par Ponsard (1988), pour qui l'introduction de l'espace "*n'apporte pas que des raffinements de détail, elle change tout*". La prise en compte de l'espace dans l'analyse économique ne revient donc pas à considérer simplement un élément descriptif mais bien un concept opérationnel. Pour reprendre les propos de Moran (1966, cité par Lajugie et al., 1985), l'espace est "*le milieu de déploiement d'une action*" et de ce fait est constitué de structures et de caractéristiques économiques et sociales particulières qui peuvent être modifiées par une politique d'aménagement du territoire, d'occupation du sol ou de mise en valeur des actifs et des ressources spécifiques.

Cette évolution de la conception et de la prise en compte de l'espace nous amène à souligner les principales définitions et mesures de l'espace dans les divers champs scientifiques -économique, géographique ou encore mathématique- puis plus précisément dans les modèles d'interactions spatiales.

B. Des conceptions et des mesures de l'espace très diverses

Les différentes conceptions et, par conséquent, mesures de l'espace sont directement liées à la représentation de l'espace qui est avancée dans la problématique du chercheur, et cette représentation est, comme l'espace lui-même, non neutre. Elle est une création de l'espace par le chercheur et se caractérise principalement, selon les domaines scientifiques de réflexion et d'application, par un degré plus ou moins élevé d'abstraction.

B-1. D'une expression abstraite d'un espace absolu …

Dans sa conception la plus abstraite, l'espace est souvent réduit à un point ou un nombre fini de points, à une ligne ou un nombre fini de lignes. Dans les théories économiques d'inspiration classique et néoclassique, la représentation de l'espace est très peu abordée et quand elle l'est, c'est avec un degré d'abstraction relativement élevé. Ainsi, l'espace est concentrique dans l'approche de Von Thünen et à structure hexagonale dans celle de Christaller ou de Lösch.

La formulation de l'espace abstrait est souvent d'ordre physique ou mathématique. Dans les modèles d'interaction spatiale de type gravitaire, l'analogie à la physique a été développée en considérant l'espace comme un champ de forces où les lieux attirent en fonction directe de leur masse et en fonction inverse de leur distance. L'expression de l'espace passe alors souvent par une mesure mathématique avec le calcul de distances mathématiques. Cette abstraction constitue une simplification de l'expression de l'espace " réel " mais s'avère nécessaire dans le cadre d'analyse spatiale nécessitant une formalisation des variables et ne pouvant recourir à l'observation et à la mesure sur le terrain. Ainsi, différentes représentations analytiques de la distance existent (Huriot, Perreur, 1990) et permettent d'approcher les distances " réelles ". La représentation analytique de la distance la plus souvent utilisée en économie spatiale est la distance euclidienne ou métrique, c'est-à-dire la longueur du segment de droite joignant deux points. D'autres distances analytiques plus complexes ont été développées, telle que la distance de Muller qui constitue une généralisation des p-distances et qui est utilisée pour représenter des distances-réseau et des distances-temps objectives perçues (Huriot, Perreur, 1994). D'autres distances analytiques non-euclidiennes sont aussi définies, comme la distance-itinéraire, la distance-réseau. Enfin, des distances cognitives introduisent une déformation des attributs de l'espace en fonction de la perception de chaque individu (Huriot, Perreur, 1990).

B-2. … à une expression plus concrète d'un espace relatif et évolutif

Dans l'approche de l'espace concret, l'espace que l'on cherche à décrire, représenter et utiliser pour une analyse économique, géographique ou sociale, est un espace fonctionnel qui s'écarte d'un espace indifférencié par l'irrégularité des distributions, l'hétérogénéité des lieux et l'anisotropie des liaisons spatiales.

En géographie physique, la représentation de l'espace présente un degré d'abstraction très bas. L'espace est décrit le plus fidèlement possible à l'aide d'un ou d'une série de caractères pour exprimer un espace concret. Des relevés sur le terrain constituent l'exemple de base.

En géographie humaine et en économie spatiale et des transports, la représentation d'un espace concret est recherchée et utilisée quand des mesures de l'espace à l'aide de l'observation ou d'enquêtes sont possibles. Il s'agit de l'approche de *l'espace relatif* ou *espace produit* (Pumain, Saint-Julien, 1997). Dans cette approche, l'espace est considéré comme un ensemble de relations avec des propriétés géographiques, économiques ou sociales variables dans le temps et dans l'espace. Et ces propriétés sont elles-mêmes définies par les interactions entre les unités spatiales constitutives de l'espace. Cet espace possède une structure qui s'exprime par des polarisations et une hiérarchisation entre les localisations. C'est un système produit par une construction dynamique, un ensemble de processus de différenciation et d'intégration, dont l'action forme des

entités repérables à différentes échelles et qui se transforment dans le temps (Pumain, Saint-Julien, 1997). En effet, les espaces économiques abstraits de Perroux (1950)[1] renvoient à une dimension concrète de l'espace : l'espace homogène met l'accent sur la ressemblance des lieux, l'espace polarisé sur les flux dont les dissymétries engendrent des phénomènes de dépendance et l'espace plan en tant qu'unité d'action intégrant une dimension plus institutionnelle.

L'approche de l'espace relatif ou espace concret, " *l'espace relatif est par nature inséparable de son contenu concret* " (Huriot, Perreur, 1994), s'est enrichie par l'étude des espaces *fonctionnels* puis par le passage d'un espace *objectif* à un espace *subjectif.*

Les espaces fonctionnels présentent une hétérogénéité et une anisotropie par la prise en compte d'attributs caractérisant les lieux et les relations. Dans cette catégorie, on trouve les expressions de distance-temps et de distance-coût utilisées en économie des transports. Ces distances introduisent une déformation de l'espace par rapport à la distance kilométrique en raison de leur signification plus sociale. Enfin, le passage d'un espace *objectif* ou anégocentré (Bailly, 1994a) à un espace *subjectif* intègre la connaissance imparfaite et déformée que l'individu a de l'espace. En effet, l'espace objectif reste une entité extérieure à l'individu tout en étant une description concrète et précise des lieux et des relations entre ces lieux. L'espace subjectif est enrichi par des attributs perceptifs permettant de valoriser la distance-temps ou la distance-coût, par exemple par l'estimation d'une valeur du temps. Cette approche fournit une représentation interne de l'espace défini comme l'espace *mental* ou *cognitif* (Bailly, 1994a). Les espaces cognitifs intègrent des représentations individuelles en plus des attributs objectifs de l'espace.

L'approche de l'espace relatif et concret s'oriente aussi vers une analyse précise des lieux et des relations spatiales et économiques par le biais de recherches sur les territoires et la territorialité, sur le concept de proximité ou encore sur les nouveaux concepts d'organisation spatiale de la production tels que les systèmes localisés de production, les milieux innovateurs ou les districts industriels. Ces travaux sont généralement d'ordre micro-économique et tendent à combiner des approches d'économie spatiale et d'économie industrielle[2].

Le concept de " territoire " contient une dimension sociale ou institutionnelle beaucoup plus marquée que le terme d'espace. Le territoire fait appel à des espaces d'intervention et peut être caractérisé par une localisation, un processus social tel que la gestion ou l'aménagement d'un territoire, l'expression de contraintes historiques, de mémoire des sociétés, d'héritage ou encore un processus d'appropriation par un groupe avec un sens juridique très marqué. La définition de Le Berre (1992) met en évidence la majorité de ces attributs : " *Le territoire peut être défini comme la portion de la surface terrestre, appropriée par un groupe social pour assurer sa reproduction et la satisfaction de ses besoins vitaux* ". La territorialité se définit à l'aide des trois référentiels fondamentaux pour Bailly et Moles (Bailly, 1994b) : l'identité (" Ici est différent d'Ailleurs "), l'appropriation (relation homme-espace) et l'enracinement (expression du mode de connaissance ou d'inclusion dans un espace donné). Des économistes en analyse spatiale et régionale intègrent le concept de territoire dans leur problématique, en particulier dans le cas d'analyse économique

[1] cité par HURIOT et al., 1994 et par LAJUGIE et al., 1985.

[2] Pour une approche générale de cette question sur les relations entre économie industrielle et économie spatiale, nous renvoyons à l'ouvrage collectif dirigé par Alain Rallet et André Torre : RALLET, TORRE (1995).

de milieux industriels très spécifiques. Les travaux de Crevoisier (1995) entrent dans cette catégorie en combinant les définitions d'espace physique et de territoire social dans un " paradigme de l'espace-territoire " qui s'oppose au paradigme de l'espace mathématique ou " espace R^2 ". L'espace-territoire est alors défini comme " *l'articulation entre la proximité physique de différents éléments et les interrelations socio-économiques entre ces éléments* " (Crevoisier, 1995).

C. La prise en compte de l'espace dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional

L'élaboration d'un modèle spatial de simulation de flux de marchandises nécessite une représentation de l'espace dans laquelle se réalisent les flux de transport de marchandises. La représentation de l'espace que nous avons considérée cherche à intégrer à la fois la dimension géographique de l'espace et la dimension économique et sociale du territoire tout en restant à un niveau macroscopique de description et d'analyse. Cette contrainte joue directement sur le nombre d'attributs caractérisant l'espace. Notre approche relève donc davantage d'une analyse descriptive de l'espace national des points de vue géographique, économique et social à l'aide d'indicateurs statistiques observés plutôt que d'une expression analytique construite de l'espace. Nous n'établirons donc pas une analyse plus profonde des dimensions institutionnelles, historiques et sociales qui s'inscrirait dans une conception de territorialité de l'espace concret.

En raison des contraintes propres au cadre méthodologique dans lequel le modèle spatial de simulation du fret est développé (analyse macroscopique, modélisation appliquée)[3] et en fonction des diverses représentations de l'espace plus ou moins concrètes qu'il est possible d'établir, nous avons intégré l'espace par un découpage géographique reposant sur les régions administratives françaises et par des mesures de distance et de proximité interrégionales. Le découpage géographique de l'espace national de circulation des transports de marchandises permet de procéder à une analyse et à une modélisation de la distribution spatiale du fret en considérant celui-ci comme la manifestation physique d'interactions spatiales entre des composantes régionales d'un système économique national. Le système de référence des interactions spatiales est donc l'espace géo-économique national. L'analyse et la modélisation spatiale des flux de marchandises au sein de l'espace national sont menées sous l'hypothèse " toutes choses égales par ailleurs " au sujet des relations d'échange de marchandises avec l'extérieur de l'espace national. L'analyse est donc développée au sein d'un système géographique et économique supposé fermé, puisqu'on ne considère pas le commerce extérieur ni le transit international de marchandises. Chaque composante régionale est assimilée à une zone d'émission et d'attraction des flux de marchandises.

Le découpage régional du territoire national peut conduire à des interrogations sur la pertinence de ce découpage et sur le problème de la légitimité économique et géographique de l'entité régionale (Beguin, 1994 ; Rallet, 1988 ; Claval, 1983). En effet, ce découpage est purement administratif et n'est pas fondé sur des liens sociaux, culturels ou économiques forts. L'échelon départemental est généralement considéré comme plus adapté pour rendre compte d'un espace concret, construit sur des proximités géographiques, démographiques, culturelles ou sociales.

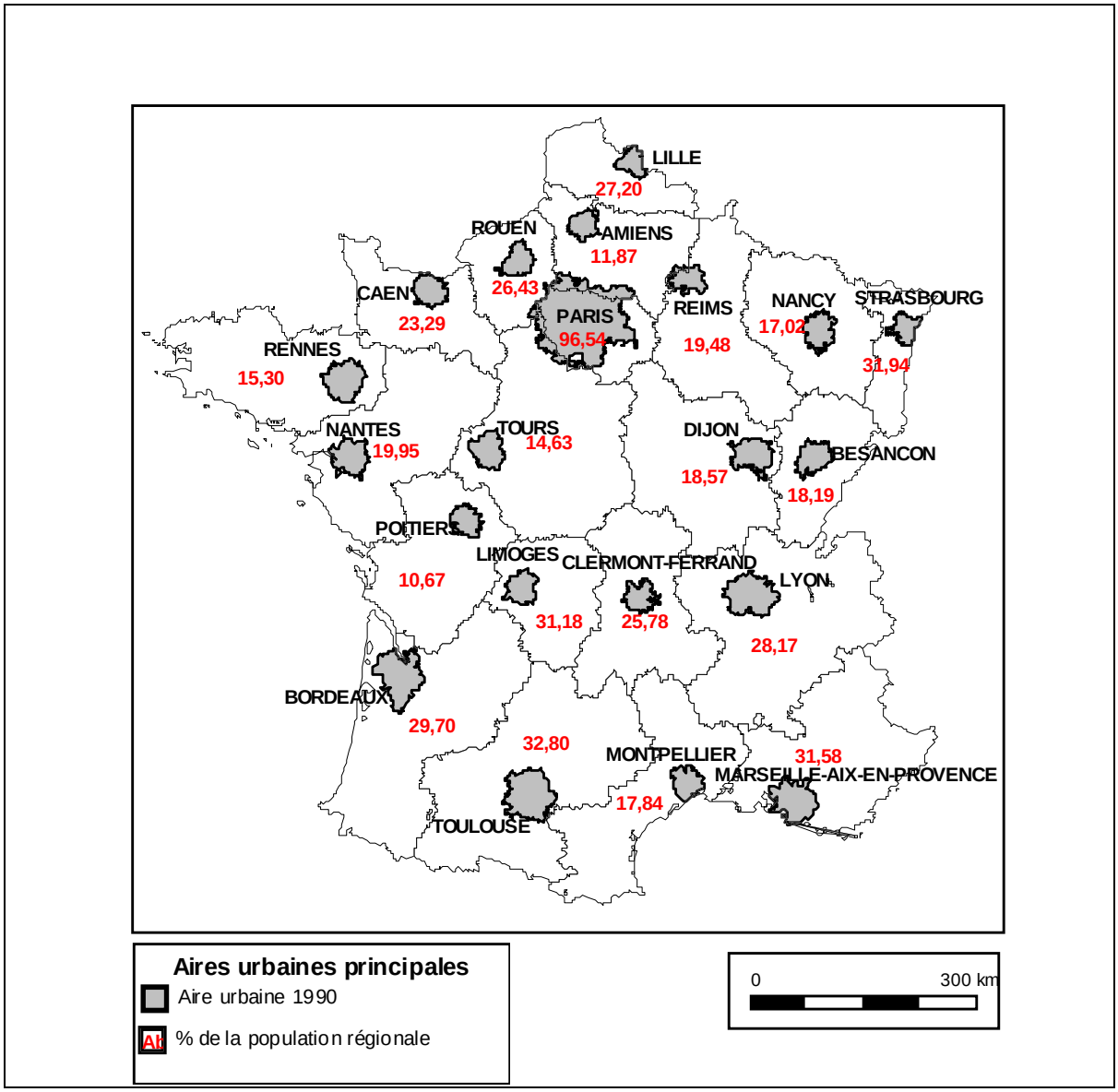
[3] Le cadre méthodologique est développé en section II.

Toutefois, ce niveau s'avère trop fin pour garantir une fiabilité statistique aux données de transport utilisées dans l'analyse économique spatiale et la modélisation spatiale des transports de marchandises. L'échelle régionale est plus synthétique tout en permettant de dégager des tendances fortes de structuration de l'espace économique et géographique national. Le découpage régional administratif a été retenu essentiellement pour des raisons de mesurabilité du modèle du fait que la majorité des statistiques socio-économiques et de transport présentent une homogénéité et une fiabilité statistique à ce niveau de découpage et pas au niveau départemental.

L'espace considéré se veut fonctionnel par la prise en compte d'un espace relatif hétérogène doté d'attributs socio-économiques et spatiaux, variables dans l'espace et dans le temps. Les attributs socio-économiques sont exprimés par les statistiques économiques régionales relatives à l'activité économique d'ensemble, aux différentes branches industrielles et agricoles de production, aux ressources en emploi, aux spécialisations sectorielles ou aux phénomènes de localisation/concentration de certaines activités. Ces attributs peuvent qualifier aussi les relations entre les régions par l'estimation de proximités organisationnelles liées à la division spatiale des activités en fonction des spécificités plus marquées dans certaines régions. La dimension sociale est intégrée par la population régionale, la répartition entre population urbaine et rurale et par les revenus disponibles bruts des ménages. Les attributs spatiaux font référence à la séparation spatiale entre les lieux de production et de consommation et plus généralement entre les *villes centroïdes régionales* et à la proximité spatiale entre les régions, mesurée par des indicateurs de contiguïté plus ou moins complexes cherchant à exprimer une contiguïté généralisée à l'aide de pondération. Les facteurs socio-économiques ont des effets d'émission et d'attraction sur les flux de marchandises échangés et les attributs spatiaux relatifs aux liaisons d'échange qualifient les relations entre les unités régionales (infrastructures autoroutières, ferroviaires, …).

L'espace peut être représenté sous la forme d'un graphe comportant des nœuds et des arcs d'échange. Les nœuds du graphe sont constitués par les villes principales de chaque région et appelés centroïdes de région. Les villes centroïdes sont en grande majorité les préfectures régionales car les aires urbaines de ces villes constituent les lieux des plus fortes concentrations démographiques et économiques des régions et de ce fait les principaux lieux générateurs de fret. Une exception toutefois concerne la région Champagne-Ardenne pour laquelle la ville centroïde est Reims et non Chalon-en-Champagne, du fait d'une plus forte concentration démographique et d'activités à Reims.

Figure I-1. Part de la principale aire urbaine dans la population régionale (1990)



source : données INSEE ; conception de l'auteur : SIG GéoConcept

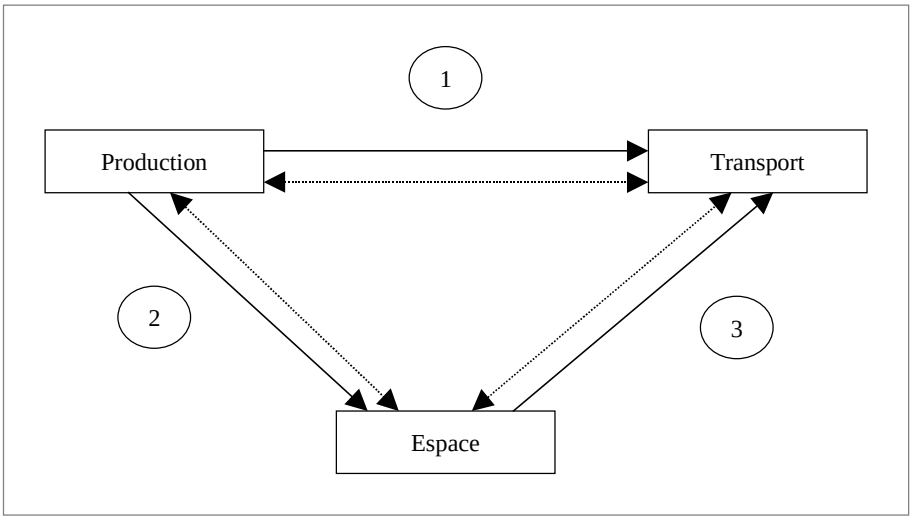
Les arcs permettant de relier les nœuds du graphe ne sont pas matérialisés par les réseaux routiers et ferroviaires mais restent des arcs fictifs entre villes centroïdes, chaque liaison origine-destination comportant au maximum deux arcs (un dans chaque sens). Les arcs sont définis seulement par la distance moyenne annuelle couverte par les marchandises transportées sur chaque liaison origine-destination. Cette distance moyenne globale regroupe des distances routières, ferroviaires et fluviales.

I-1-2. La nécessaire prise en compte de l'articulation " Production-Espace-Transport "

L'analyse et la modélisation des mécanismes d'échange de biens entre différentes unités spatiales d'un espace économique et géographique " réel " requiert la prise en compte de l'ensemble des interrelations entre le système de production, le système des localisations et le

système de transport. L'articulation générale entre les trois systèmes est composée de trois relations " bipolaires " et réciproques qui font chacune l'objet de recherches spécifiques que ce soit en analyse spatiale, en économie des transports ou en économie industrielle.

Schéma I-1. Les trois relations de l'articulation " Production-Espace-Transport "



Les interrelations entre les trois entités Production, Espace et Transport, qui expriment de façon synthétique respectivement les systèmes de production, de localisation et de transport, sont en effet bien connues en économie spatiale et en économie des transports.

1. La relation " Production-Transport " examine d'une part la manière dont le système productif détermine et transforme les flux de transport de marchandises et d'autre part la contribution des transports au développement économique de certaines entités spatiales et plus généralement à la croissance économique d'ensemble. La relation " Production vers Transport ", autrement dit les effets de la croissance économique sur les transports de marchandises, fait l'objet d'analyses économétriques entre les niveaux ou variations de l'activité économique et du transport de marchandises exprimé soit en tonnes chargés soit en tonnes-kilomètres transportées. La relation " Transport vers Production " s'intéresse à la contribution des transports comme facteur de croissance économique. Le type d'effet le plus couramment exploré, du point de vue théorique comme empirique, est celui d'une nouvelle infrastructure sur l'activité économique de la zone traversée. Cet effet se définit comme un effet de développement ou d'enrichissement de la région traversée, un effet ayant une dimension aménagement du territoire. Il diffère de l'effet de liaison qui ne concerne que les extrémités, des villes principalement, mises en relation par une infrastructure, et qui se limite à des modifications de structure urbaine. Ces différents effets sont regroupés sous le terme d'effets structurants des infrastructures (Plassard, 1977 ; 1990). Seuls, les effets de développement ont été étudiés par François Plassard, dans le but de mettre en évidence les effets structurants des autoroutes pouvant contribuer au choix entre plusieurs variantes d'un tracé, concernant des régions différentes (Plassard, 1977). Ces effets s'insèrent aussi plus largement, dans l'étude des externalités positives des infrastructures sur la croissance économique, les transports étant apparentés à un bien public. Ces externalités constituent l'objet d'étude des théories de la croissance endogène qui s'intéressent aux effets des externalités positives des

facteurs et des dépenses publiques sur la croissance économique globale ou régionale (Charlot, 1999).

2. La relation “ Production-Espace ” analyse à la fois les impacts en termes d’organisation spatiale des activités des différents modes de consommation et de production et la contribution des avantages de certaines formes de localisation sur l’évolution de la structure économique par le jeu d’externalités positives, de rendements croissants et d’accentuation des spécialisations. Le premier sens de la relation, “ Production vers Espace ”, fait référence aux impacts sur la structure spatiale des systèmes productifs au cours de leur évolution technique et structurelle depuis le système centralisé agricole, aux systèmes éclatés spatialement du taylorisme puis du fordisme et au système polarisé du post-fordisme. Le second sens de la relation, “ Espace vers Production ”, s’intéresse aux effets retours des formes spatiales de localisation sur la croissance économique grâce au développement d’économies d’agglomération cumulatives sources de dynamiques industrielles et économiques.

3. La relation “ Espace-Transport ” s’intéresse aux interrelations entre la division spatiale des activités et les flux de transport avec, d’un côté, les effets de la transformation des formes d’organisation spatiale sur la géographie des flux et, de l’autre côté, les effets structurants des transports sur le développement régional (Plassard, 1977 ; 1990) et plus largement les effets des transports sur l’émergence d’externalités économiques positives et de rendements croissants jouant sur les choix de localisation des entreprises (Jayet, Puig et Thisse, 1996). La relation “ Espace vers Transport ” renvoie aux impacts des structures spatiales de localisation sur la géographie des transports, autrement dit aux effets soit d’une forte polarisation des activités soit au contraire, d’un éclatement spatial de la production, d’un accroissement de la division spatiale des activités ou encore d’une organisation logistique fondée sur la prestation de services multiples. La seconde relation, “ Transport vers Espace ” examine les effets des politiques d’aménagement du territoire axées sur le développement d’infrastructures de transport comme facteur d’accroissement de l’accessibilité régionale et de l’équité territoriale (Jayet, Puig et Thisse, 1996).

Les relations entre ces trois systèmes interviennent directement ou indirectement sur la formation et l’évolution des flux de marchandises qui se réalisent à travers l’espace national. Dans le cadre du modèle QuinQuin Fret Multirégional seules les relations “ Production vers Transport ” et “ Espace vers Transport ” sont analysées et formalisées. La relation “ Production vers Espace ” n’est pas modélisée car elle relève d’un modèle de localisation des activités économiques et non d’un modèle de transport. La modélisation de cette relation n’est donc pas intégrée dans le modèle spatial de transport QuinQuin Fret Multirégional, mais est exposée du point de vue analytique afin de comprendre les interrelations entre la dynamique industrielle et la dynamique des localisations, qui ont indirectement des répercussions sur la géographie des transports de marchandises.

A. La relation “ Production-Transport ”

La relation “ Production-Transport ” porte sur l’interface entre les quantités produites de biens et les quantités transportées de biens. Cette interface fait directement l’objet des modèles économiques théoriques sur l’échange et des modèles empiriques de génération des volumes transportés.

L'évolution de cette relation est fonction de la structure sectorielle des biens produits qui joue directement sur les tonnages transportés. Cette relation fait donc référence aux transformations qui ont marqué les modes de production et les modes de consommation ou, plus globalement, aux évolutions structurelles de l'économie française. Depuis la fin de l'après-guerre et de la période reconstruction, la structure économique nationale a connu deux fortes transformations économiques ayant des répercussions directes sur le transport de marchandises. La première tient à l'évolution respective des trois grands secteurs économiques : agriculture, industrie et tertiaire. En effet, aux vues des Comptes de la Nation (INSEE, 1996a), depuis 1970, le tertiaire connaît une croissance forte et continue en valeur ajoutée, de +113% en 25 ans (en francs constants 1980), alors que l'agriculture et l'industrie présentent une évolution bien plus faible, respectivement +37% et +59%. La structure sectorielle de l'économie nationale évolue donc au profit du tertiaire qui représente 56% de la valeur ajoutée brute totale en 1995 (en francs constants 1980) contre 47% en 1970, alors que l'agriculture et l'industrie voient leur part relative diminuer respectivement de 5% à 4% en 1995 et de 41% à 36%. Cette mutation conduit à une dématérialisation relative de l'économie qui repose de plus en plus sur la production de services au détriment de la production de biens matériels. La seconde transformation concerne le seul secteur industriel, qui connaît des mutations importantes dans ses structures internes. L'évolution des procédés de fabrication, des modes de production et des modes de consommation favorisent le recours à des matières premières nouvelles plus légères et malléables issues de transformations chimiques et de moins en moins à des matières premières brutes. La conjonction de ces différents phénomènes conduit au déclin des industries lourdes génératrices de matières premières pondéreuses, issues directement de ressources naturelles et sources de flux de transport massifs en termes de tonnages chargés, au profit de nouvelles matières premières issues de l'industrie chimique telles que les matières plastiques. Le déclin des industries lourdes et la tendance à l'allégement des poids unitaires des produits modifient fortement la structure sectorielle du fret et jouent également sur l'évolution de la part du transport dans le coût global des produits (Bernadet, 1992 ; Bernadet, Colin et al., 1994). Le rapport au transport s'est donc radicalement modifié. Les produits plus légers et moins volumineux vont dans le sens d'une réduction de la demande de transport exprimée en volume physique et leur plus grande valeur ajoutée incorporée, imputable aux nouveaux constituants et à la multiplication des fonctionnalités des nouveaux produits tels que les produits technologiques, réduit le poids du transport dans leur coût global.

Dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional, cette relation fait l'objet du module de génération des volumes transportés globalement au sein de l'espace national mais aussi en émission et en réception régionales. Cette relation est assimilée à la dimension conjoncturelle du fret qui est imputable à la croissance économique nationale.

B. La relation " Production-Espace "

La relation " Production-Espace " renvoie aux interactions entre les modes de production et l'organisation spatiale du système productif ou, plus globalement, entre les dynamiques industrielles et les dynamiques territoriales. Ces interactions, ou plus précisément les relations entre la proximité géographique et la dynamique économique et industrielle, ont fait l'objet de trois grands courants d'analyse en économie spatiale au cours des années 50, 60 et 70 : les modèles

reposant sur le concept d'économies d'agglomération, les modèles de demande et les théories de la polarisation (Rallet, 1995). Ces analyses ont été prolongées, approfondies ou ont donné lieu à de nouveaux éléments de réflexion au cours des années 80 et 90. Divers courants se sont développés, comme celui des milieux innovateurs (Maillat, 1995) et des districts industriels (Beccatini, 1992), les modèles de dynamique spatiale (Pumain, Sanders et Saint-Julien, 1989, cité par Rallet, 1995), des théories fondées sur les rendements croissants, telles que la théorie de la croissance endogène et le développement régional (Baumont, 1995) ou de la nouvelle économie géographique (Fujita, Thisse, 1997).

La nouvelle géographie économique intègre les éléments d'économie industrielle dans la compréhension des phénomènes de localisation. En particulier, avec le développement d'un modèle de localisation industrielle " the Core-periphery model " (Krugman, 1991a), Krugman s'intéresse à l'étude des localisations des facteurs de production. La problématique porte alors principalement sur le rôle des rendements croissants et des économies d'agglomération qui affectent plus fortement les choix de localisation que ne le fait le facteur de coût de transport. La question centrale est de savoir " *pourquoi et quand l'industrie se concentre-t-elle dans quelques régions, laissant les autres dans un état de sous-développement relatif ?"* (Krugman, 1991b, 1995).

D'autres courants de recherche d'analyse spatiale combinée à l'économie industrielle ou plus généralement aux mécanismes de fonctionnement des systèmes productifs, relevant du courant hétérodoxe d'analyse spatiale, explorent également cette relation. Il s'agit des travaux portant sur les choix de localisation des différents modes d'organisation de la production, autrement dit des processus de spatialisation voire de " *territorialisation des structures technico-productives par les dynamiques de proximité* " (Torre, 1993b). Ces travaux renvoient à l'étude de la division spatiale du travail et des activités (Aydalot, 1976) et des formes de concentration spatiale liée à des facteurs d'organisation de la production et de stratégie économique de développement telles que les économies d'agglomération (Catin, 1994a) ou les formes de proximité comme facteurs de réduction des incertitudes (Lung, 1995). Chaque mode de production est porteur d'une dynamique spatiale propre. En effet, le taylorisme et le fordisme ont engendré un étalement spatial des branches économiques (Lipietz, 1977) ou encore une segmentation géographique de la production du fait d'une standardisation des produits et d'une interchangeabilité des composants. La production de masse dans une économie de plus en plus diversifiée s'est donc accompagnée d'accroissement des économies d'échelle par le renforcement des spécialisations productives au niveau des établissements. Ces phénomènes de spécialisation accrue ont permis d'agrandir les aires de marché des établissements et ont engendré un éclatement géographique des appareils productifs. Cette tendance à l'accroissement de la division spatiale des activités s'est alors entretenue avec le mouvement d'internationalisation de l'économie. Le passage vers un autre mode de production, la période du post-fordisme (Lung, 1995), se caractérise davantage par une recomposition territoriale, un processus de reconcentration spatiale de la production (Lung, 1995), un retour dans des zones urbaines productives et à une tendance à la polarisation régionale[4].

[4] Sur la question du retour des économies régionales, cf. BENKO et LIPIETZ (1992).

Cette explication théorique peut être rapprochée de l'évolution des structures de consommation et de production observée à l'échelle nationale comme à l'échelle régionale, et de la mutation d'une économie axée sur l'agriculture vers l'industrie, qui favorise la division spatiale des activités, puis vers le tertiaire qui privilégie les phénomènes de polarisation dans les grandes métropoles. Le post-fordisme se caractérise par des formes plurielles de polarisation tout en conservant une division spatiale des activités dans certains réseaux d'organisation des entreprises. La polarisation est favorisée par deux grands phénomènes : la baisse des coûts de transport et le développement d'économies internes et d'économies externes de production. La baisse des coûts de transport a en effet conduit à un décloisonnement des marchés de produits. La concurrence se développe sur la différenciation des produits et non plus sur la différenciation spatiale (Jayet, Puig, Thisse, 1996). La proximité spatiale devient un élément positif de localisation par la possibilité d'accès à une clientèle plus nombreuse attirée par un choix plus important et diversifié de produits. On retrouve les phénomènes de déséquilibres spatiaux croissants, " forward linkages " et " backward linkages " de Hirschman et de Myrdal (Rallet, 1995), c'est-à-dire l'attraction des consommateurs pour les métropoles offrant une grande variété de produits et proposant également un marché du travail plus important et diversifié. La concentration spatiale est donc liée à la recherche d'économies d'échelle et de rendements croissants. L'accroissement des économies d'échelle est imputable aux économies internes liées à la division du travail et à la taille de la firme mais aussi à des économies externes à la firme, autrement dit des économies d'agglomération (Catin, 1994a) engendrées notamment par certains types de concentration spatiale des firmes. La recherche de ces économies externes participe alors au développement de nouvelles formes d'organisation spatiale. L'organisation spatiale de la production prend des formes diverses de polarisation : technopole, district industriel, système de production localisé, métropolisation, qui dépendent des éléments déterminants des stratégies de production et de concurrence des firmes.

En effet, selon l'échelle géographique à laquelle les entreprises entretiennent des relations nécessaires à leur activité (échelle locale, nationale, internationale), les facteurs déterminants de compétitivité, de stratégie et de localisation diffèrent et conduisent à une organisation spatiale des entreprises et des établissements également différente. Trois grands types d'organisation spatiale des entreprises sont distingués par Alain Sallez : les " districts industriels " (Beccatini, 1992) auxquels on peut adjoindre les autres systèmes localisés de production ; les " réseaux de complémentarité " axés sur la sous-traitance et le partenariat avec des entreprises spécialisées et les " réseaux de synergie " à l'échelle mondiale axés sur les facteurs d'innovation et leur diffusion (Sallez, 1992). Les différents systèmes localisés de production ont un champ géographique restreint en termes de localisation puisqu'ils se limitent à une ville ou une petite région. L'inscription spatiale est marquée par une forte concentration spatiale qui valorise le savoir-faire local et les liens entre les individus du district qui appartiennent à un même système de valeurs et de formation au métier. La concentration spatiale sous la forme de districts industriels est développée dans le but principal de minimiser l'incertitude qui se développe fortement avec une organisation plus flexible de la production et avec une articulation étroite entre la production et le marché caractérisée par un " guidage " par l'aval. La proximité spatiale se présente alors comme un facteur de réduction des incertitudes. Les réseaux de synergie conduisent également à des formes de concentration spatiale mais au sein d'une métropole ayant une vocation internationale affirmée. Ces réseaux reposent sur le jeu de proximités spatiales et de proximités

organisationnelles fortes. Dans ce cas, la localisation favorise une concentration urbaine dans “ *des métropoles tertiaires polycentriques* ” (Sallez, 1992) qui ont pour objectif de minimiser les coûts de transaction, et maximiser les effets externes positifs, en particulier générer un haut niveau de services (aéroport international, universités, conférences internationales, …). A l’opposé, les réseaux de complémentarité basés sur une forte concurrence économique déterminée par les prix cherchent à minimiser l’ensemble des coûts. Dans ce cadre, les coûts de transport ne comptent pas davantage que les autres coûts de production ou de transaction voire n’ont qu’un rôle secondaire. La répercussion sur les localisations est une division spatiale du travail élevée même si celle-ci peut reposer sur quelques pôles constituant les nœuds principaux du réseau (exemple des filières automobile et aérospatiale).

Les différentes filières économiques engendrent donc des organisations spatiales de la production très différenciées, et qui sont déterminées par la nature des spécialisations fondées soit sur le savoir-faire soit sur la compétitivité par les prix issue d’économies d’échelle. La relation “ Production-Espace ” est positionnée en amont des relations internes à un modèle spatialisé de transport de marchandises puisqu’elle porte sur les interactions entre le système productif et le système des localisations. Elle a toutefois des effets indirects sur la distribution spatiale des transports de marchandises, puisque celle-ci entretient des relations étroites avec les formes de localisation des activités.

C. La relation “ Espace-Transport ”

La relation “ Espace-Transport ” traite des liens existant entre la division spatiale des activités et la structure spatiale des transports de marchandises. Cette relation s’est principalement construite à travers les transformations des formes logistiques d’organisation des transports. Elle découle d’une accentuation de la concurrence intermodale fer/route et intramodale au transport routier d’une part et des progrès de productivité dans les transports d’autre part. Le coût de transport, qui constituait auparavant un des facteurs centraux des choix de localisation, a perdu de son importance et a ainsi renforcé le développement de la division spatiale des activités en raison d’une moins forte contrainte des coûts de séparation spatiale. La concurrence intrasectorielle au sein du mode routier, amplifiée par la déréglementation du secteur, a engendré avec les progrès de productivité des transports une diminution significative des prix et de ce fait des coûts de transport. La moindre part du coût du transport dans le coût global des produits face aux coûts de gestion et de production accrus par une plus forte valeur ajoutée intégrée aux produits a favorisé la division spatiale des activités et le développement d’organisations logistiques de transport en juste-à-temps ou en flux tendus (Savy et Veltz, 1989) intensives en déplacements.

Ces tendances d’organisation spatiale des activités et de la logistique transforment la géographie des flux de marchandises par l’augmentation des distances et par une moindre massification des envois. La tendance à l’éclatement spatial des activités est de plus fortement accrue par l’internationalisation de l’économie et la division spatiale des activités à l’échelle mondiale, avec des importations de matières premières pondéreuses presque exclusivement en provenance des pays en voie de développement. La nature des produits change également, comme nous l’avons souligné dans la relation “ Production-Transport ”, avec moins de matières premières incorporées et plus de valeur ajoutée. Cette évolution structurelle qui a des répercussions sur la

structure sectorielle de la demande et donc du fret pèse également sur l'organisation spatiale des flux. Le transport des marchandises à plus forte valeur ajoutée nécessite une moindre immobilisation de ces biens, car celle-ci s'avère alors beaucoup plus coûteuse qu'auparavant. La logique est alors celle d'une minimisation des coûts généralisés de transport (incluant le coût de stockage), *" la rapidité du transport devient un enjeu économique majeur, de même que la minimisation des stocks. A la logique de massification se substitue ainsi celle des flux tendus "* (Bonnafous, 1990).

L'évolution structurelle du système productif et l'évolution sectorielle du fret a favorisé le développement du transport express de petit colis, la messagerie. La croissance de ce type de transport a été propice à une nouvelle distribution spatiale du fret : la radialisation (Bonnafous, 1990). Ce type d'organisation spatiale des transports de marchandises ne suit plus la logique de ligne et de distance et de ce fait le coût de transport n'est plus seulement une fonction directe affine de la distance. Il fait également, et de plus en plus référence, à une prestation complète de services, à une qualité de service, à une fiabilité comprenant, outre le déplacement de la marchandise, la manutention, le stockage et parfois même le reconditionnement. La distance et donc le coût de transport stricto sensu ne correspondent plus qu'à un maillon d'une chaîne logistique complète. Les facteurs déterminants de cette logistique sont le remplissage critique des véhicules et l'efficacité nodale. Cette organisation a en effet des conséquences en termes de structuration de l'espace par l'établissement de nœuds, de points nodaux de transport qui constituent des facteurs attractifs de localisation. Cette organisation logistique de transport affecte à son tour la localisation des entreprises en favorisant les points nodaux, *" la structuration de l'espace en réseaux de transport tend à polariser les activités aux nœuds des réseaux au détriment des lieux intermédiaires "* (Jayet, Puig et Thisse, 1996). Au lieu d'un développement continu le long des axes de transport, on observe des implantations ponctuelles, observation confirmée par l'étude des impacts des autoroutes sur le développement régional (Plassard, 1977).

Les effets des différentes formes de localisation des activités économiques sur la distribution spatiale des transports de marchandises sont modélisés principalement à l'aide de modèles théoriques localisation-transport de type input-output. Les échanges de marchandises sont modélisés en fonction des différences de prix et de coûts de transport entre deux ou plusieurs régions. Le modèle multirégional MEPLAN (Simmonds et al., 1999 ; Quinet, 1998) établit une relation formalisée entre les structures économiques régionales et les flux spatialisés de transport. Ce modèle détermine les flux interrégionaux de marchandises en fonction d'un modèle économique régional faisant intervenir les structures de production et de consommation des régions et les différents degrés d'accessibilité régionale. Ce modèle permet également de rendre compte des interactions des transports sur la localisation des activités en réinjectant les coûts de transport modélisés dans le module économique.

Les réflexions relatives aux différentes relations de l'articulation " Production-Espace-Transport " sont formalisées, de façon plus pou moins complexe et détaillée, dans différents types de modèle, des modèles théoriques de localisation (modèle Core-periphery de Krugman), de l'échange (modèle néo-classique de Heckscher-Ohlin), ou des modèles empiriques de transport-localisation ou d'interaction spatiale. Notre approche relevant de cette dernière catégorie, nous présentons les grands traits caractéristiques de l'approche empirique de la modélisation spatiale du

transport de marchandises ainsi qu'un aperçu de quelques modèles intersectoriels appliqués, afin d'exposer les grandes méthodes utilisées pour expliciter et formaliser les deux relations " Production-Transport " et " Espace-Transport "dans un modèle appliqué de transport.

I-2. L'approche empirique de l'analyse des transports de marchandises

L'économie des transports étant une branche appliquée de l'économie, elle produit de nombreux travaux empiriques et analyses quantitatives nécessitant enquêtes, analyses de bases de données et construction de modèles descriptifs ou analytiques, de modèles de prévision ou de simulation des systèmes de transport de marchandises ou de personnes. La modélisation des trafics a davantage été développée en transport de personnes, et a connu des applications plus récentes au transport de marchandises. Toutefois, les premiers modèles empiriques relatifs au trafic entre deux zones spatiales se sont développés avec les modèles d'interaction spatiale de type gravitaire dès la fin du XIXème siècle avec les travaux de Carey en 1858 et de Ravenstein en 1885 et surtout au début du XXème siècle avec les recherches de Young en 1924, Reilly en 1929, Zipf en 1949 et Stewart en 1948[5]. Les modèles d'interaction spatiale se sont par la suite complexifiés et diversifiés avec les modèles de maximisation de l'entropie et l'introduction de contraintes aux marges (Wilson, 1970 ; Fotheringham, O'Kelly, 1989). D'autres modèles empiriques de transport ont également été développés à partir des relations existant entre le système de transport et le système économique pour les modèles input-output et à partir de l'organisation logistique du système de transport et des interrelations avec le système de localisation et des infrastructures pour les modèles de réseau.

I-2-1. La logique des modèles d'interaction spatiale

La logique des modèles d'interaction spatiale est d'étudier et expliquer ou prévoir les flux de transport, déplacements de personnes ou trafics de marchandises, qui s'établissent entre différentes entités spatiales au cours d'une période de temps. Les modèles de transport et d'interaction spatiale sont utilisés plus généralement d'après Batten et Boyce (1986) pour faciliter l'explication et la prévision des systèmes d'interactions humaines et économiques au sein d'un espace géographique.

A. L'historique des modèles d'interaction spatiale

Les modèles gravitaires fondés sur une analogie aux lois de la gravitation universelle de Newton constituent les précurseurs des modèles d'interaction spatiale. Ils font varier le volume d'interaction entre deux lieux en fonction directe de la masse des lieux émetteurs et récepteurs et en fonction inverse de la distance les séparant.

Les premières recherches empiriques menées constituent donc le courant analogique d'analyse des interactions socio-économiques dans l'espace. Carey définit une force d'attraction entre deux

[5] L'historique des modèles d'interaction spatiale a fait l'objet de nombreux écrits. Nous renvoyons notamment à ISARD (1972), BATTEN et BOYCE (1986) et PINI (1990).

zones, directement inspirée de la loi de gravitation universelle. La force d'attraction *Fij* entre deux zones *i* et *j* est directement proportionnelle à leur masses respectives M_i et M_j et inversement proportionnelle au carré de la distance, d_{ij}, entre les deux zones :

$$F_{ij} = k * \frac{M_i M_j}{(d_{ij})^2} \qquad \text{[I-1]}$$

Ravenstein présente une formulation partielle inspirée de la loi de Newton dans l'étude des migrations entre campagnes et villes industrielles anglaises. La formule est la suivante :

$$I_{ij} = P_i / d_{ij} \qquad \text{[I-2]}$$

avec I_{ij} : nombre de migrants entre *i* et *j*
P_i : population de la ville *i*.

En 1924, Young accroît l'impact de la distance sur les interactions spatiales en élevant celle-ci au carré. Dès 1929, Reilly confirmera l'hypothèse de Young en développant sa loi sur l'attraction commerciale des villes (Lajugie et al., 1985 ; Isard, 1972 ; Batten et Boyce, 1986).

Dans les années 40, Stewart et Zipf font intervenir les deux masses des lieux concernés par les échanges qui constituent les facteurs d'émission et d'attraction générant l'interaction et abandonnent l'élévation au carré de la distance. La formulation est de type gravitaire simple :

$$I_{ij} = k * \frac{M_i M_j}{d_{ij}} \qquad \text{[I-3]}$$

Stewart conçoit ensuite des poids différents pour les masses. La pondération permet de mieux les qualifier si un seul facteur ne suffit pas à les différencier. En plus des pondérations, des exposants sont appliqués aux masses, estimés comme nécessaires par Carothers en 1956 du fait de l'existence d'économies d'agglomération.

$$I_{ij} = GW_i(P_i)^{\alpha} W_j(P_j)^{\beta} / d_{ij}^{\ b} \qquad \text{[I-4]}$$

Ces transformations conduisent à affiner le pouvoir descriptif et explicatif du modèle gravitaire mais s'écartent des hypothèses de base de celui-ci d'après Isard (1972) et Pini (1990). Avec cette formalisation, toute possibilité de comparaison est interdite puisque les exposants et les pondérations varient en fonction de l'espace et des caractéristiques des villes étudiées (Isard, 1972). Isard souligne également la faiblesse de cette formalisation à savoir l'absence de fondements théoriques pour expliquer les valeurs et les fonctions attribuées aux exposants et aux pondérations. Toutefois, on peut souligner que le modèle gravitaire initial utilisé en économie spatiale n'a pas de réels fondements théoriques.

Deux types de modèles découlent de cette application de la loi de gravitation : les modèles gravitaires de flux et les modèles de potentiel. Les modèles gravitaires cherchent à estimer le volume d'interactions entre deux zones de l'espace, en fonction directement des masses et inversement de la distance. Les modèles de potentiel ont pour objectif de mesurer l'influence exercée par un ensemble de masses sur une unité spatiale donnée. Le potentiel se définit de la façon suivante :

$$V_i = k * \sum_j \frac{m_j}{d_{ij}} \qquad \text{[I-5]}$$

B. Les principes des modèles d'interaction spatiale

B-1. Définition des interactions spatiales

En sociologie, l'interaction est définie comme " *un groupe dans le temps et dans l'espace* " (Simmel, 1908, cité par Kaufmann, 1996). Comme le soulignent et l'expliquent Park et Burgess (1907, cités par Kaufmann, 1996), auteurs considérés comme les pionniers de l'application du concept d'interaction aux relations sociales (Kaufmann, 1996), " *la notion d'interaction n'est pas simple mais complexe. La notion d'interaction n'implique pas seulement l'idée pure et simple de collision et de rebondissement, mais quelque chose de bien plus profond, à savoir la modification interne des agents de la collision* ".

Cette définition sociologique peut être appliquée à l'économie spatiale. En effet, la naissance et la croissance des villes sont des conséquences de manifestations d'interactions humaines dans l'espace. Ces interactions humaines dans l'espace ont au fil du temps modifié les différents lieux, régions ou autres entités spatiales du système géographique et économique national dans leurs structures et leurs potentialités socio-économiques et géographiques. Ces transformations ont à leur tour affecté l'intensité et la nature des interactions spatiales.

Ainsi en analyse économique spatiale, les interactions spatiales sont souvent définies ou matérialisées par les échanges de marchandises. W. Isard considère les flux interrégionaux de marchandises comme un indicateur privilégié des interactions spatiales (Isard, 1972). Pour Pini (1990), les interactions spatiales sont liées aux phénomènes de complémentarités socio-économiques des différentes entités spatiales, d'*opportunités intervenantes* (Stouffer, 1940, cité par Isard, 1972 et Pini, 1990) qui peuvent freiner ou orienter géographiquement les interactions humaines, en particulier en transport de personnes, et de *transférabilité* (Ullman, 1956, cité par Pini, 1990) des marchandises qui participent à la formation de complémentarités régionales.

Ainsi, les interactions spatiales participent de l'hétérogénéité de l'espace marquée par des spécialisations sectorielles dans certaines régions ou par des concentrations spatiales d'activités en d'autres lieux, entretiennent cette hétérogénéité et peuvent dans certains cas l'accentuer. Les interactions spatiales sont en quelque sorte la résultante des relations entre les acteurs et les structures économiques de différents sous-espaces. Un certain consensus apparaît donc chez les auteurs ayant travaillé sur ce thème pour qualifier les interactions spatiales de relations humaines matérialisées par des échanges de biens, de personnes ou d'informations et d'éléments dynamiques du système géographique et économique global.

En économie, l'interaction spatiale se définit en puisant dans la conception géographique de l'interaction et dans les concepts physiques issus de la loi de la gravitation universelle et de la thermodynamique. En référence à la thermodynamique, l'espace économique en tant que système est apparenté à un système gazeux, les régions correspondent à des masses et les relations entre elles constituent les interactions spatiales. Les principes de Carnot-Clausius[6] traitant de l'entropie

[6] Ces deux principes tiennent au comportement des systèmes gazeux : le premier principe est que les systèmes fermés tendent à passer de l'ordre au désordre. Le second est que l'entropie d'un système fermé ne peut que s'accroître. Dans l'univers, l'entropie croît toujours. Donc l'entropie d'un système socio-

sont utilisés en économie spatiale du fait qu'ils permettent d'appréhender et d'expliquer l'état du *système*, son comportement et son évolution. L'application de ces principes permet de définir les *composantes* du système (les régions) et d'analyser la dynamique du système par les relations entre ces entités spatiales. Pour Vermot-Desroches (1994), l'interaction est un concept socio-économique qui exprime le lien, l'échange voire la causalité. De l'interaction naît donc l'échange, et celui-ci peut prendre diverses formes ou *modalités*, comme des flux de marchandises. La connaissance des modalités des interactions est importante car elle conditionne le choix de la méthode d'analyse : si la connaissance des modalités est satisfaisante, le recours aux modèles d'interaction spatiale de type gravitaire est généralement retenu. Dans le cas contraire, le recours à des méthodes plus complexes est nécessaire, comme les modèles de maximisation de l'entropie sous contraintes développés par Wilson (1970).

B-2. Formalisation et expression empirique des interactions spatiales

D'un point de vue empirique, " *l'interaction se définit plus précisément à partir des phénomènes qu'elle engendre directement* " (Vermot-Desroches, 1994) . Cette approche revient à rechercher les facteurs explicatifs ou *contraintes* de la distribution spatiale du fret intérieur. Différentes méthodes peuvent être utilisées dans le but de décrire et d'expliquer la configuration spatiale et parfois le degré d'organisation du système d'échanges.

Les modèles d'interaction spatiale s'attachent à expliquer et prévoir les déplacements de marchandises ou de personnes ou plus généralement à appréhender la configuration générale d'un système dans sa dimension spatiale, au cours du temps et sous différentes hypothèses de travail et d'évolution. Ces modèles présentent des formes diverses, des modèles centrés sur la notion d'entropie aux modèles gravitaires *purs* inspirés de la loi de la gravitation universelle.

B21. La logique des modèles d'entropie

Les modèles centrés sur la notion d'entropie sont abordés pour leur philosophie d'analyse des interactions spatiales et les développements théoriques qui en sont issus. La notion d'entropie a été introduite et fortement utilisée en modélisation économique spatiale par Wilson (1970) avec le développement d'un modèle de maximisation de l'entropie sous contraintes. L'entropie mesure le degré d'organisation du système formé par la matrice origine-destination des déplacements. Elle est utilisée quand les modalités des interactions sont mal connues ou dans le but de donner plus de consistance et de cohérence à la modélisation de type gravitaire (Flowerdew, 1991). Dans le cas de flux spatialisés de marchandises, l'entropie mesure l'état du système des interactions traduites par les échanges de fret, l'importance de contraintes spatiales affectant l'intensité des interactions et enfin les distorsions du fonctionnement réel du système par rapport à " *un état de référence défini par l'équirépartition des flux dont l'entropie maximale est la mesure* " (Pini, 1990).

L'entropie se calcule de la façon suivante pour des flux entre les zones *i* et *j* :

$$E = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} p_{ij} * \log p_{ij} \quad \text{[I-6]}$$

avec pij : probabilité d'envois de *i* vers *j*

et pij = Tij / T avec T interactions entre *i* et *j*.

économique fermé tend à s'accroître et modifie la répartition spatiale des interactions par rapport à un état d'équirépartition des flux.

Quand l'entropie est minimale, cela signifie que les flux sont concentrés sur une seule liaison origine-destination et quand elle est maximale, les flux interzones sont alors équitablement répartis. L'analyse peut être décomposée en entropie intrarégionale, qui renseigne sur la contribution de chaque région dans le système d'interactions, notamment les effets de leurs différentes masses, et en entropie interrégionale qui renseigne sur les contraintes agissant directement sur les flux comme la distance géographique ou le temps de transport (Pini, 1990).

B22. La logique des modèles gravitaires

Le modèle gravitaire pur est une application économique croisée de la loi de gravitation universelle de I. Newton et des interactions spatiales en géographie. Si la formalisation est une analogie totale avec le modèle de Newton, en revanche les interprétations et procédés de construction s'en distinguent. Le modèle gravitaire dans sa forme la plus simple connaît une formalisation similaire à celle de la force d'attraction de deux corps célestes.

$$Tij = k * \frac{M_i * M_j}{d_{ij}^a} \qquad \text{[I-7]}$$

Tij : variable d'interaction,
k : facteur de proportionnalité,
Mi : facteur d'émission de la zone *i*,
Mj : facteur d'attraction de la zone *j*,
dij : distance physique ou socio-économique
a : constante traduisant l'intensité de l'impact de *dij*

Cette équation signifie que l'interaction *Tij* entre les zones *i* et *j* est proportionnelle au produit de leurs masses et inversement proportionnelle à la distance les séparant, plus ou moins fortement selon la valeur de l'exposant. Plus celle-ci est élevée et plus la séparation spatiale a un impact sur l'intensité des interactions. Cette formalisation expose les deux dimensions que comporte tout phénomène d'interaction spatiale : la dimension *potentiel* qui est traduite par les masses *Mi* et *Mj* et la dimension *flux* exprimée par le flux croisé *Tij* qui constitue la réalisation effective de l'interaction (Vermot-Desroches, 1994).

L'analogie est donc frappante puisque l'intensité commune de la force d'attraction de deux corps célestes se calcule de la manière suivante :

$$\mathbf{F} = G\frac{(M_1, M_2)}{D^2{}_{12}} \qquad \text{[I-8]}$$

avec G : constante de gravitation
D : distance physique entre les deux corps
M : masses des corps 1 et 2.

Cette équation formalise la loi de gravitation universelle de Newton qui postule que " *deux corps matériels s'attirent mutuellement avec une force inversement proportionnelle au carré de la distance qui les sépare et proportionnelle au produit de leurs masses respectives*" (I. Newton, cité par Paty, 1996).

Toutefois quelques divergences apparaissent assez rapidement entre la formalisation de la force d'attraction universelle et la modélisation gravitaire développée en économie. Tout d'abord dans la loi de la gravitation universelle l'idée de symétrie est centrale, il y a une attraction réciproque entre les deux corps. Or ceci est rarement le cas dans le champ de l'économie spatiale. La forme de la fonction de " distance " connaît aussi des transformations ainsi que la nature même de ce paramètre jouant le rôle de frein aux échanges. Celui-ci est représenté par une distance physique, un temps de transport, un temps généralisé, un coût généralisé de transport ou encore un indicateur d'opportunités intervenantes.

B23. Avantages et faiblesses des modèles gravitaires

L'avantage principal de cette méthode est sa grande flexibilité. Il est très facile d'intégrer dans le modèle gravitaire de nouvelles variables explicatives. Cette intégration est en revanche compliquée dans les modèles d'entropie (Flowerdew, 1991).

Les faiblesses de la méthode gravitaire souvent avancées sont de deux ordres : cette méthode n'est essentiellement descriptive et non explicative et elle souffre de l'absence de fondements théoriques économiques ou de bases mathématiques solides. Le courant pragmatique des modèles d'interactions spatiales tente d'y remédier avec l'intégration de la notion d'entropie ou des concepts de la théorie de l'utilité. Les principaux développements ont été apportés par Wilson (1970) avec le modèle de maximisation de l'entropie qui limite l'analogie avec les sciences physiques à une analogie formelle. Les modèles avec maximisation de l'entropie apportent ainsi des bases mathématiques plus solides aux modèles d'interaction spatiale pour donner une estimation des flux sur la base de la taille des zones et de la distance.

Pour Flowerdew (1991), l'approche gravitaire à partir de la formalisation de Stewart (cf.[I-4]) compte deux autres faiblesses importantes. Premièrement, les contraintes sur les origines ou les destinations, permettant une cohérence mathématique du modèle, ne sont généralement pas incorporées alors qu'elles le sont de façon systématique dans les modèles d'entropie. Deuxièmement, la méthode gravitaire est *instable* quand les matrices étudiées contiennent des valeurs nulles ou très faibles. Le recours aux logarithmes pour résoudre la régression multiple en est la cause.

C. Les prolongements théoriques dans la loi de distribution des déplacements

Les principes d'attraction socio-économique des lieux d'échange et de frein de la séparation spatiale ont donné lieu par la suite à une formalisation théorique économique avancée de la compréhension de la distribution spatiale des déplacements, appliquée initialement aux transports urbains de personnes mais qui peut être utilisée pour les déplacements interurbains.

La loi de distribution des déplacements développée par Poulit (1974) s'effectue proportionnellement au nombre de biens, services, attractions ou encore opportunités des zones réceptrices (noté *Dj*) et proportionnellement à une fonction très rapidement décroissante du coût généralisé de déplacement entre les zones *i* d'origine et *j* de destination.

L'enseignement central de cette loi est l'intervention de deux grands types de facteurs économiques explicatifs de nature différente dans la distribution spatiale des déplacements : des facteurs d'attraction et des facteurs de séparation. Les facteurs d'attraction situés dans les zones de destination confèrent au déplacement une utilité. Cet effet est conceptualisé par Poulit comme un indice de choix, qui forme l'aspect positif du déplacement (Poulit, 1974). Les facteurs de frein expriment la séparation spatiale entre les zones d'origine et de destination, mesurée par une " distance " soit géographique soit fonctionnelle (temps de déplacement) soit généralisée (coût de transport). Ce facteur exprime l'aspect négatif du déplacement en termes de distance, de temps ou de coûts dépensés pour se déplacer, liés aux difficultés de transport ou à l'inconfort.

La loi de distribution des déplacements de Poulit a permis de donner une interprétation économique au concept d'accessibilité. L'accessibilité d'un lieu ou entre deux lieux se définit

alors par un élément moteur représenté par l'intérêt attaché à la possibilité d'accéder (ou de faire accéder sa marchandise) au lieu de destination (marché de consommation, services, activités, …) et un élément résistant représenté par le temps, l'argent ou l'inconfort qu'il faut payer pour se déplacer (Koenig, 1974). Les indices d'accessibilité peuvent alors être construits comme le produit des opportunités au lieu de destination et d'une fonction décroissante du coût généralisé de transport.

I-2-2. Développements théoriques et applications empiriques des modèles de transport de marchandises

Le développement des modèles d'interaction spatiale a porté sur la modélisation de la configuration d'un système global dont la dynamique se manifeste par des flux d'échange en fonction d'informations sur les composantes spatiales du système et sur les contraintes agissant sur l'état du système et sur son évolution. Cette approche repose dans un premier temps sur la prise en compte de contraintes dans les possibilités d'échange (coût de transport par exemple) et surtout dans les capacités à l'origine et à la destination (capacités d'accueil des produits dans les sphères productives et consommatrices, nombre d'emplois à pourvoir dans le cas de déplacements domicile-travail pour le transport de personnes). Ces améliorations tendent à apporter un cadre théorique plus robuste aux modèles d'interaction spatiale avec l'intégration de la notion d'entropie. Le recours à la méthode de maximisation de l'entropie du système global d'échange comme critère d'allocation des flux d'échange dans un modèle de distribution spatiale permet de calculer les facteurs correctifs des contraintes aux marges du modèle. Enfin, les améliorations ont conduit à développer des modèles intégrés, les modèles de type input-output, prenant en compte d'une part le système d'interactions spatiales et d'autre part le système productif et le système des localisations qui définissent les contraintes spatiales et socio-économiques.

A. La prise en compte de contraintes dans les modèles gravitaires d'interaction spatiale et la maximisation de l'entropie

Un modèle gravitaire des flux interrégionaux de marchandises directement dérivé de l'analogie avec la loi de la gravitation de Newton a pour objectif la prévision des flux interrégionaux, notés *Tij*, en fonction de la masse de biens à échanger se trouvant à l'origine, noté *Ti.*, et de la masse de biens se trouvant à la destination, noté *T.j*, et de la masse globale des biens à échanger, notée *T..* . L'interaction newtonienne stricte est définie de la façon suivante (Wilson, 1970) :

$$Tij = K\frac{Ti.\times T.j}{(cij)^2} \qquad \text{[I-9]}$$

avec *K*, facteur de normalisation permettant de garantir l'égalité suivante :

$$\sum_i\sum_j Tij = T.. \qquad \text{[I-10]}$$

Autrement dit, *K* est défini de la façon suivante :

$$K = \frac{T..}{\sum_i\sum_j Ti.\times T.j/(cij)^2} \qquad \text{[I-11]}$$

La fonction de séparation spatiale peut être généralisée, et l'on obtient le modèle plus général suivant :

$$Tij = K \times Ti. \times T.j \times f(cij) \qquad \text{[I-12]}$$

Les développements de ce type de modèle portent sur le fait que les masses déterminant les interactions *Tij* peuvent être estimées à l'aide de modèles indépendants. Wilson met en évidence qu'il y a plusieurs possibilités : premièrement (cas 1), seule la masse totale, T.., est estimée indépendamment (notée $\hat{T}..$) mais pas les masses à l'origine et à la destination (Ti., T.j) ; deuxièmement (cas 2) seule la masse à l'origine, Ti., est estimée indépendamment, notée $\hat{T}i.$ (et permet de déterminer la masse globale T..) ; troisièmement (cas 3) seule la masse à la destination, T.j, est estimée indépendamment, notée $\hat{T}.j$ (et détermine la masse totale T..) ; et quatrièmement (cas 4) les deux masses à l'origine et à la destination sont estimées indépendamment et déterminent la masse totale en garantissant l'égalité des sommes :

$$\sum_i \hat{T}_{i.} = \sum_j \hat{T}_{.j} = T.. \qquad \text{[I-13]}$$

Ces différents cas doivent respecter les égalités des différents totaux obtenus, à savoir les égalités entre la somme des échanges estimés avec les masses à l'origine et à la destination initialement données (caractéristiques des composantes du système) et avec les masses à l'origine et à la destination estimées :

$$\sum_j \hat{T}ij = Ti. \;;\; \sum_i \hat{T}ij = T.j \;;\; \sum_j \hat{T}ij = \hat{T}i. \;;\; \sum_i \hat{T}ij = \hat{T}.j \qquad \text{[I-14]}$$

- Dans le cas 1, le modèle est non contraint et les marges du modèle sont définies par les sommes *Ti.* et *T.j* observées. La contrainte d'égalité n'a alors pas à être assurée. Le modèle est dit " *unconstrained model* ".

- Dans le cas 2, une contrainte à l'origine sur le total de la production dans la région *i* est posée et est formalisée de la façon suivante " $\sum_j \hat{T}ij = \hat{T}i.$ ". Le modèle est alors appelé " *production-constrained-model* ". La résolution du modèle est alors effectuée par la méthode de maximisation de l'entropie.

- Dans le cas 3, une contrainte à l'origine sur le total des débouchés dans la région *j* est posée et cette contrainte est formalisée par l'égalité suivante : " $\sum_i \hat{T}ij = \hat{T}.j$ ". Le modèle est alors appelé " *attraction-constrained-model* ". La résolution du modèle est alors également effectuée par la méthode de maximisation de l'entropie.

- Dans le cas 4, une contrainte à l'origine et à la destination est posée " $\sum_j \hat{T}ij = \hat{T}i.$ et $\sum_i \hat{T}ij = \hat{T}.j$ ". Le modèle est alors appelé " *production-attraction-constrained-model* ".

La résolution de ces modèles avec contraintes nécessite des techniques de maximisation de l'entropie et plus généralement de minimisation de l'information (IM method). La méthode de maximisation de l'entropie repose sur la description de l'état du système global d'interaction et de son évolution sous la forme d'un macro-état et de micro-états. Le macro-état décrit la répartition

globale des flux aux destinations. Les micro-états nomment clairement les flux qui vont d'une origine à une destination, autrement dit attribuent une origine à chaque destination.

La définition de l'entropie généralement utilisée est issue de l'optique informationnelle de l'entropie (Pini, 1990). Cette optique retenue par Pini dans son modèle géographique des échanges interrégionaux de marchandises en Suisse repose sur les hypothèses suivantes, exposées par l'auteur :

-*" L'entropie est une fonction d'état et mesure la complexité d'un système et l'information qu'il contient "*,

- *" Le système est défini par les flux de marchandises envoyés entre les différentes régions "*,

- *" chaque flux définit un micro-état "*,

- *" les micro-états sont équiprobables, ce qui signifie que les flux de marchandises peuvent se répartir entre les différentes régions de façon équiprobable "*,

- *" les macro-états ne sont pas équiprobables car ils peuvent être obtenus par différentes combinaisons de micro-états "*.

L'entropie est alors définie par l'équation suivante :

$$E = \sum_{i=1}^{n}\sum_{i=1}^{n} P_{ij} \times \log P_{ij} \qquad \text{[I-15]}$$

avec : *Pij* : probabilité d'envois de marchandises entre la région *i* et la région *j*,
n : nombre de régions

La fonction *E* est bornée entre les valeurs *0* et *log n*. L'entropie est minimale et égale à 0 quand les flux sont concentrés entre deux régions et est maximale et égale à *log n* quand les flux sont répartis de façon équiprobable entre les régions. Le recours à l'entropie permet de mesurer l'ordre ou le désordre au sein d'un système, les contraintes agissant sur celui-ci, et permet plus généralement d'estimer la distribution spatiale des flux, soit *Tij*. Cette méthode a été utilisée par Pini (1990) dans son modèle sur les transports interrégionaux de marchandises en Suisse.

Pour revenir aux différents cas de modèles gravitaires avec ou sans contraintes, la maximisation de [I-15] en fonction de la (des) contrainte(s) posée(s) permet de déterminer la fonction de la distribution spatiale respectant les contraintes aux marges[7].

Le modèle sans contrainte (cas 1) ou les modèles avec une seule contrainte (cas 2 et cas 3) sont considérés par Fotheringham et O'Kelly (1989) comme des modèles explicatifs au sens où ils donnent des informations sur le contexte spatial et socio-économique à la source des interactions spatiales. Dans le premier cas l'information porte à la fois sur les origines et destinations, et dans les deux autres cas, elle porte soit sur les capacités d'attraction des destinations (pour le modèle contraint à l'origine) soit sur les capacités d'émission aux origines (modèle contraint sur l'attraction). Le modèle avec double contrainte (cas 4) est au contraire considéré comme un modèle de prévision (" prediction ") car il considère les capacités d'émission et d'attraction

[7] Les différents résultats théoriques pour chaque type de modèles sans et avec contraintes sont présentés par Fotheringham et O'Kelly (1989) pp. 21-32

comme données sans fournir d'information sur les facteurs déterminant ces capacités d'émission et d'attraction.

B. Les modèles intersectoriels en transport de marchandises

Les modèles intersectoriels de transport de marchandises regroupent différents types de modèles qui ont comme point commun de posséder un module économique et un module de transport au sein d'un système multirégional d'échange. Ces modèles s'inscrivent dans la catégorie des modèles d'interaction Transport-Localisation plus particulièrement développés dans le cadre des transports urbains de personnes. Ces modèles ont été développés à partir de l'analyse input-output du système économique d'une entité spatiale, nation ou région. Le principe des modèles input-output pour une région repose sur la construction d'une table des comptes interindustriels du système économique comportant des sorties (outputs) des diverses branches économiques et des entrants (inputs) dans les mêmes branches économiques, qui sont dans le premier cas des productions ou des importations et dans le second cas des consommations intermédiaires, des exportations ou la demande finale intérieure. Ce type d'analyse est communément utilisé en Comptabilité Nationale. La particularité des modèles interrégionaux input-output d'échange est d'étendre cette analyse aux échanges entre plusieurs entités spatiales. Le module économique comprend donc une table input-output des biens vendus et achetés, c'est-à-dire échangés entre les diverses régions du système économique étudié. Les coefficients input-output au sein de la table d'échange renseignent sur les liens entre les secteurs économiques, surtout industriels, des différentes régions. Ce type de module économique multirégional reposant sur une analyse input-output a été initialement développé par Isard (1951, cité par Gaudry et al., 1988). A partir de ces travaux, le premier modèle intégrant des tables input-output multirégionales et un modèle gravitaire de transport a été développé par Léontief et Strout (1963, cité par Gaudry et al., 1988 et Wilson, 1970).

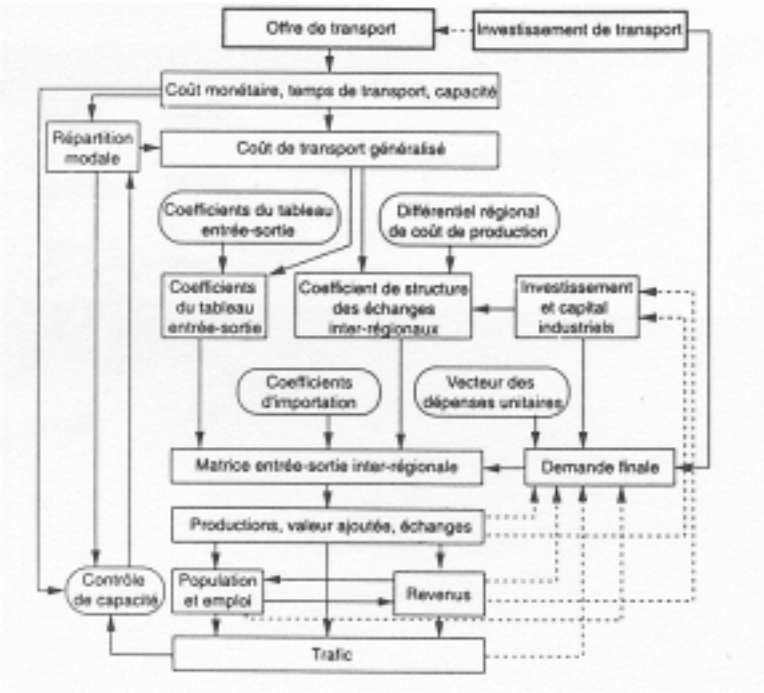
En général, dans un modèle input-output de transport, le module économique exprime les relations interindustrielles à travers des coefficients input-output spatiaux, des coefficients de production et des coefficients de consommation finale ou intermédiaire pour un bien particulier d'une branche économique donnée dans les régions d'origine et de destination. Les équations structurelles de base intègrent la production totale d'un bien k dans une région i d'origine, le flux du bien k entre deux régions i et j, et la part de la demande finale du bien k dans une région j de destination satisfaite par la production de la région i.

Ces modèles nécessitent cependant des bases de données importantes pour l'élaboration des coefficients input-output qui sont définis généralement comme le produit d'un coefficient technique et d'un coefficient commercial, eux-mêmes difficiles à estimer. Ainsi, l'estimation des coefficients commerciaux repose sur des hypothèses simplificatrices, notamment que la proportion des inputs en provenance des différentes régions est fixe ou que le comportement des producteurs et des consommateurs est invariant avec la provenance et/ou la destination des biens (Gaudry et al., 1988).

B-1. Le modèle d'Amano et Fujita

Le modèle d'Amano et Fujita (1970, cité par Quinet, 1998) offre une évaluation de deux modules : un module économique et un module de transport. Le module économique repose sur une table input-output d'échanges commerciaux. Le module de transport détermine une matrice de structure des échanges interrégionaux en fonction de coûts de transport généralisés liés à l'offre de transport. Ces deux modules sont étroitement imbriqués et interagissent l'un sur l'autre comme le montre le schéma ci-dessous présenté par Quinet (1998) et établi par les auteurs.

Schéma I-2. Structure du modèle d'Amano et Fujita



Source : Amano, Fujita (1970), cité par Quinet (1998)

B-2. Le modèle FRET

Le modèle de simulation des flux de marchandises au Canada, FRET (Forecasting Regional Economies and Transportation) est un modèle composé de deux modules principaux (Gaudry et al., 1988). Le premier module de génération-distribution est un modèle entropique de simulation des flux interrégionaux de marchandises sur la base de contraintes input-output régionales. Le second module est relatif au partage modal et à l'affectation sur réseau. Le modèle FRET est un modèle désagrégé du point de vue spatial (67 zones) et sectoriel (88 catégories de biens et services).

La caractéristique du modèle FRET est d'intégrer partiellement les relations interindustrielles interrégionales responsables des flux d'échange de marchandises. Pour tenir compte de ces relations interindustrielles, le modèle intègre une table input-output des échanges inspirée du modèle interrégional de Isard. Le modèle de génération-distribution est un modèle entropique général, du type de celui développé par Wilson en tant que généralisation du modèle de type gravitaire de Léontief-Strout. Le modèle est de la forme suivante :

$$MIN \sum_i \sum_j \sum_k x_{ij}^k \times \ln(x_{ij}^k / \tilde{z}_{ij}^k) \qquad \text{[I-16]}$$

selon les contraintes :

$$\underbrace{\sum_{j=1}^{R} x_{ij}^k}_{contrainte\ à\ l'origine} = \underbrace{\underbrace{\sum_{h \in I_1} \alpha_i^{kh}}_{demande\ intermédiaire} \underbrace{\sum_{j=1}^{R} x_{ij}^k}_{contrainte\ à\ la\ destination}} + \underbrace{\Psi_i^k}_{demande\ finale} \quad \forall\, k \in I_1 \,;\, i \in R \qquad \text{[I-17]}$$

$$x_{ij}^k \geq 0 \quad , \forall\, k \in I_1 \,;\, i, j \in R$$

avec :

R nombre de régions

K nombre de biens et services

I_1 ensemble des indices de biens commercialisables

I_2 ensemble des biens non commercialisables

x_{ij}^k flux d'un bien *k* entre les régions *i* et *j*,

α_i^{kh} besoins intérieurs totaux de bien *k* par unité de production du bien *h* dans la région *i*,

Ψ_i^k demande finale du bien *k* dans la région *i*,

$\tilde{z}_{ij}^k$ valeur a priori pour le flux x_{ij}^k

L'équation (I-18), qui est une mesure de distance entre deux distributions conduit à une solution qui tend vers les flux a priori $\tilde{z}_{ij}^k$. Ces flux sont indirectement obtenus par régression linéaire intégrant les variables explicatives de coût de transport interrégional, de distance interrégionale, de niveau de production de la région d'origine et de niveau de consommation de la région de destination.

La résolution du modèle est déterminée de la façon suivante :

$$\tilde{z}_{ij}^k = z_{ij}^k \times f(\beta^k, \delta^k) \qquad \text{[I-18]}$$

avec : z_{ij}^k flux commercialisables du bien *k* entre les régions *i* et *j* observés à l'année de base,

β^k ensemble des coefficients d'un modèle de régression pour le bien *k*, qui a la forme suivante avec les facteurs explicatifs énumérés précédemment :

$$\tilde{z}_{ij}^k = G(\delta^k, CTK_{ij}^k, P_i^k, A_j^k, D_{ij}) \qquad \text{[I-19]}$$

avec

δ^k ensemble des variations relatives aux variables socio-économiques inclues dans le modèle par rapport à l'année de base

CTK_{ij}^k coût de transport par km d'une unité de bien *k* à l'année de base

P_i^k production nette du bien *k* dans la région *i* à l'année de base

A_j^k consommation nette du bien *k* par la région *j* à l'année de base

D_{ij} distance entre les régions *i* et *j*

Ce modèle présente donc un nombre élevé de variables et nécessite un travail important de collecte de données, en particulier pour la construction des coefficients input-output spatiaux.

B-3. Le modèle MEPLAN

Le modèle MEPLAN, élaboré par Martial Echenique et Partners en 1984 (Simmonds et al., 1999), est un ensemble de plusieurs modèles pouvant être modulés selon la demande d'application. Dans le cadre d'applications de transport à l'échelle régionale, le macro-model MEPLAN comprend essentiellement trois grands sous-modèles : un module économique de localisation (" Land-Use module "), un module d'interface entre localisation et transport (" Interface module ") et un module de transport (" Transport module ").

Dans les applications multirégionales de transport, l'accent est mis sur la localisation des activités industrielles et sur les mouvements de marchandises entre les différents lieux de production et de consommation. Le module économique de localisation modélise les structures économiques de production et de consommation des régions ainsi que leurs transformations à l'aide d'indicateurs d'emploi et de population. Les relations entre les divers secteurs économiques reposent sur l'estimation de coefficients input-output, fixes pour certains et variables pour d'autres, qui déterminent la part de la demande satisfaite par les importations depuis d'autres régions. Ces échanges sont déterminés à l'aide des écarts de prix entre les biens produits dans les différentes régions et les coûts de transport. Les prix du transport et les prix fonciers sont déterminés par un système d'équilibre de l'offre et de la demande entre les " marchés " de transport et de localisation. Le module économique de localisation fournit donc le module de distribution spatiale des échanges. Le module d'interface effectue le passage entre les échanges commerciaux et les flux de transport de marchandises. Il transforme également les désutilités de transport en pertes pour les échanges commerciaux et pour l'accessibilité, qui seront utilisées dans le modèle de transport. Le module d'interface représente donc le module de génération. Le module de transport effectue la répartition modale et réalise l'affectation des flux. Il met en évidence les phénomènes de congestion et de surcapacités routières et ferroviaires et permet de calculer les coûts de transport qui seront ensuite réinjectés dans le module économique de localisation à la période suivante.

Un quatrième module d'évaluation, " Evaluation module ", peut être utilisé pour réaliser une analyse coût-bénéfice de l'application d'une politique par rapport à une situation de référence. Des indicateurs de la performance du système de transport sont estimés, tels que des vitesses moyennes, des nuisances environnementales ou des consommations d'énergie.

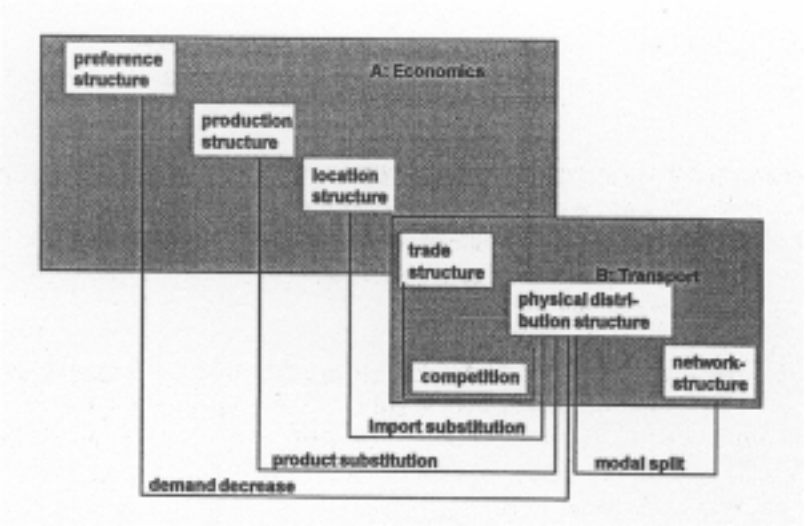
Ces différents modules sont appliqués par période et agissent les uns sur les autres par le biais de rétroactions du module de transport vers le module économique de localisation, avec un pas de 5 années pour chaque rétroaction. De façon générale, les interrelations entre le module économique de localisation et le module de transport sont essentielles dans la structure du modèle MEPLAN. Ainsi, les flux de marchandises constituent une " demande dérivée " des interactions entre les différentes activités (Simmonds et al., 1999) et le transport a une influence sur la localisation des activités dans le temps en fonction des coûts de transport et des degrés d'accessibilité estimés.

B-4. Le modèle SMILE

Le modèle SMILE (Strategic Model for Integrated Logistic Evaluations) est un modèle stratégique pour le transport de marchandises et la logistique aux Pays-Bas (Tavasszy et al.,1998). L'hypothèse à la base du modèle est l'existence d'interactions étroites entre le système économique et l'organisation spatiale des activités d'une part et le système de transport d'autre part. L'évolution de la demande en transport de marchandises est donc dépendante des modifications de la structure économique nationale et internationale. En vue de comprendre et d'estimer les flux de marchandises circulant à l'avenir sur les infrastructures du pays, le modèle SMILE distingue les transports en lien direct avec les structures de production et de consommation néerlandaises et les transports indépendants de ces structures, c'est-à-dire les flux de transit.

Le modèle SMILE comprend trois niveaux : le niveau économique intégrant les chaînes de production, le niveau logistique intégrant le stockage dans des chaînes de distribution et le niveau transport traitant de la modélisation des flux de marchandises dans des chaînes de transport multimodales.

Schéma I-3. Structure globale du modèle SMILE



Source : Tavasszy et alii (1998)

Le premier niveau comporte des tableaux " Make/Use " qui fournissent des fonctions de production, pour chaque catégorie de produits, obtenues à partir d'une analyse détaillée des facteurs de production et de l'activité de chaque secteur de produits. Après confrontation avec des fonctions de consommation, des chaînes de production sont modélisées pour chaque catégorie de produits puis agrégées en réseaux de production plus vastes. Le deuxième niveau consiste à passer des échanges commerciaux aux échanges en flux physiques de transport. Ce passage est effectué en tenant compte des problématiques d'entreposage et de stockage de chaque chaîne logistique. Enfin, le troisième niveau établit une relation entre les chaînes logistiques et les différents réseaux multimodaux de transport. L'itinéraire optimal est alors recherché pour chaque type de produit.

C. Application récente en France de la modélisation intersectorielle et des interactions spatiales : le modèle F.I.I.R.M.

Les modèles d'interaction spatiale traitant de la génération et de la distribution spatiale des flux de marchandises au sein d'un espace économique national ont fait l'objet d'applications empiriques relativement récentes en Europe et en particulier en France. Nous ne recherchons pas une présentation exhaustive des modèles opérationnels d'interaction spatiale développés en Europe. Nous préférons présenter une application récente dont la méthodologie d'analyse et de formalisation est par certains cotés relativement proche et par d'autres éloignée de la méthodologie développée dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional.

Le modèle de Flux Internationaux et Interrégionaux de Marchandises (F.I.I.R.M., Calzada, 1998) présente en commun avec le modèle QuinQuin Fret Multirégional le contexte d'étude, le découpage géographique, les données de transport (SITRAM), certaines données économiques (valeurs ajoutées brutes régionales, …), et une approche chronologique de la modélisation. Il diffère en revanche par l'ensemble des flux qu'il intègre (flux internationaux), et par les outils économétriques utilisés tels que les modèles de panels (modèle à erreurs composées), ou les modèles S.A.R. et S.T.A.R. en présence d'autocorrélation et/ou d'autorégression spatiale, même si les modèles des moindres carrés ordinaires sont également employés dans certains cas. L'analyse structurelle-résiduelle menée en phase d'analyse exploratoire des données diffère également puisqu'elle repose sur une analyse dynamique[8] introduisant explicitement l'effet géographique dans le modèle de décomposition en effets structurels et géographiques et non plus sur une analyse descriptive déterminant indirectement l'effet géographique par différence entre l'effet national global et l'effet structurel.

La construction du modèle F.I.I.R.M. repose sur un certain nombre de contraintes et de principes méthodologiques. L'exercice s'attache à mettre en relation les données de transport (exprimées en tonnage) désagrégées selon la classification N.S.T. et les données économiques nationales ou régionales détaillées en NAP 40. Il repose sur une analyse exploratoire des données (analyse dynamique structurelle-géographique visant à estimer l'impact de spécialisations sectorielles régionales) et sur une analyse spatiale quantitative (visant à détecter des effets d'autocorrélation spatiale et/ou d'autorégression spatiale.) Enfin, le recours à des données économiques nationales, désagrégées par secteur économique (modèle DIVA-secteurs), est privilégié à une utilisation des données régionales jugées moins fiables (modèle DIVA-Région)[9].

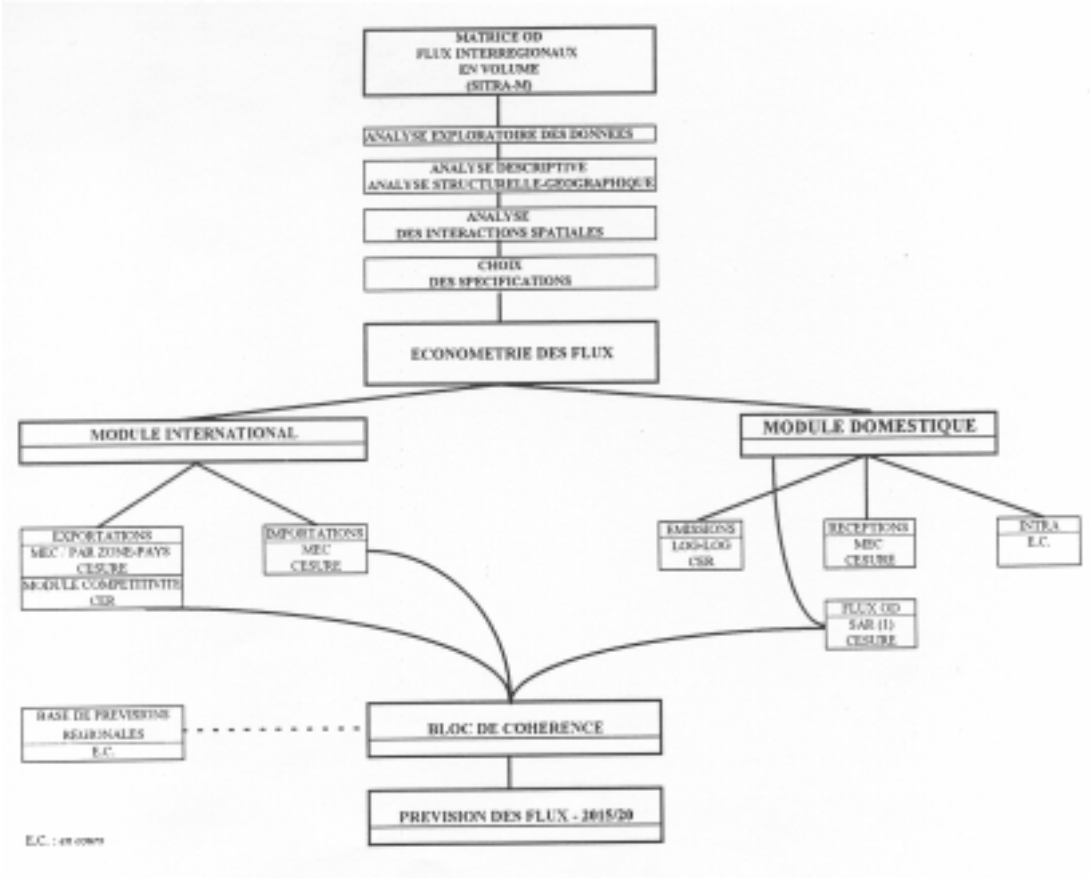
Le modèle F.I.I.R.M. se présente comme un instrument opérationnel de prévision des flux de transport de marchandises, exprimés en volumes physiques, en France à un horizon de long terme (2015/2020/2030). Le modèle est de type macroscopique désagrégé par produit et repose sur une analyse de séries chronologiques couvrant la période 1975-1995. Il comprend deux principaux modules : le module domestique (intra- et interrégional) et le module international. Le module domestique a fait l'objet de deux approches : une approche directe d'estimation de la matrice origine-destination des flux d'échange interrégionaux, et une approche indirecte d'estimation des

[8] Cette méthode est présentée dans (JAYET, 1993).

[9] Nous renvoyons sur ce point au travail de CALZADA et PENTEL (1999) relatif à l'analyse des données macro-économiques régionales.

marges de la matrice d'échange, à savoir les émissions et réceptions annuelles régionales. Seule l'approche directe est intégrée dans la version définitive du modèle. Le module international a fait l'objet d'une approche indirecte d'estimation des volumes d'exportation et d'importation internationales.

Schéma I-4. Démarche d'analyse et modules constitutifs du modèle FIIRM



Source : Calzada (1998)

Le module domestique (que l'on peut mettre en parallèle avec le module de fret interrégional du modèle QuinQuin Fret Multirégional) porte sur les échanges entre 21 régions françaises, échanges exprimés en tonnes et désagrégés en 5 grands secteurs économiques (agriculture, énergie, biens intermédiaires, biens d'équipement et biens de consommation). Ce module est réalisé à partir d'une approche directe (réalisée par le CESURE) qui consiste à appréhender la matrice des flux interrégionaux dans sa globalité, de façon " agrégée " et ceci pour chaque secteur d'activité. Dans cette optique, une émission interrégionale est déterminée à l'aide de trois facteurs : un indicateur de friction spatiale, les demandes de la région réceptrice et les possibilités d'émission de la région émettrice. L'indicateur de friction spatiale se présente comme une matrice de contiguïté donnant à la fois une expression des coûts généralisés de transport et des capacités d'échange entre les régions. La demande de la région réceptrice est exprimée d'une part par la population et le revenu disponible brut qui donnent une estimation de la consommation finale des produits, et d'autre part, par la production régionale (fonction de l'emploi sectoriel régional corrigé du progrès technique) et les investissements régionaux. Les possibilités d'émission de la région émettrice sont fonctions de l'emploi régional.

$$Flux\,O-D^{NST} = f\,(\underbrace{C_{ij}}_{\substack{contiguïté,\\ friction\\ spatiale}};\underbrace{POP_j;RDB_j}_{\substack{consommation\\ finale\\ région\ destination}};\underbrace{EMPLOI_j^{NAP};INV_j}_{\substack{consommation\\ intermédiaire\\ région\ destination}};\underbrace{EMPLOI_i}_{\substack{Possibilités\\ d'émission\\ région\ origine}}) \quad \text{[I-20]}$$

Cette structure est adaptée pour chacun des grands secteurs d'activité par une combinaison de l'ensemble ou seulement de certaines de ces variables explicatives, spécifiques pour certaines au secteur économique considéré (branches intervenant dans la consommation finale et la consommation intermédiaire de la région réceptrice pour le secteur considéré). Cette approche apporte un élément méthodologique important dans la modélisation des transports spatiaux de marchandises : l'interaction entre les produits émis par une région et reçus par les autres régions et réciproquement. On trouve ainsi dans le modèle F.I.I.R.M. la prise en compte de liens intersectoriels, estimés par les coefficients techniques du Tableau Entrées-Sorties national appliqué au niveau régional pour estimer le montant des biens *i* nécessaire au secteur *i'* pour produire une unité de bien *i'*. La spécification du module domestique est de type gravitaire de la forme du modèle de Léontief et Strout. Par son module d'interaction entre les produits, ce modèle s'inscrit donc également dans les modèles intersectoriels de transport.

Le module international se divise entre un modèle des exportations et un modèle des importations. Pour les exportations, deux versions ont été développées. La version I (réalisée par le CER) est plus simplifiée avec comme objectif de donner une estimation approximative des volumes sans considérer un nombre trop important de variables explicatives. La version II (réalisée par le CESURE) est plus complexe, elle cherche à expliquer la formation et l'évolution des volumes exportés par la construction de fonctions d'exportation régionale.

L'évolution des tonnages à l'exportation internationale des régions françaises entre 1976 et 1994 est modélisée par des modèles log-linéaires développés pour chacun des 4 secteurs d'activité (agriculture, industrie agro-alimentaire, produits énergétiques, produits manufacturés). Les régressions sont réalisées avec la méthode des moindres carrés ordinaires. La variable explicative généralement retenue est d'ordre international, il s'agit de l'indice des PIB des pays ou groupes de pays étrangers. La spécification diffère pour les produits énergétiques, elle est de type top-down, mettant en relation les tonnages exportés régionaux avec les exportations nationales des secteurs T04 (production de combustibles minéraux solides) et T05 (production de pétrole et de gaz naturel).

$$Volumes\ des\ exportations^{NST} = f\,(PIB\ étrangers) \quad \text{[I-21]}$$

La modélisation de l'évolution des tonnages à l'importation internationale est effectuée à l'aide de modèles à erreurs composées et porte sur des variables par tête et sur une décomposition sectorielle en 12 classes (chapitres ou sections NST). Le choix du type de modèle est expliqué par la volonté de prendre en compte les phénomènes propres à chaque région, conjoncturels ou structurels, ayant des répercussions sur les volumes importés annuellement. Ce type de modèle consiste à décomposer la perturbation ou erreur du modèle (ε_{it}) en trois parties : une composante temporelle (qui agrège les impacts des variables explicatives omises), une composante individuelle et une composante résiduelle :

$$\varepsilon_{it} = \lambda_t + \alpha_i + u_{it} \quad \text{[I-22]}$$

Cette méthode d'estimation utilise également une analyse de la variance en sous-variances " within " et " between " (Calzada, 1998) dans le but de mieux cerner la variabilité entre une variance inter-individuelle (inter ou between) et individuelle (intra ou within). Cette analyse de variance permet de choisir la spécification du modèle à erreurs composées, entre différences premières, taux de croissance, variable par tête, etc. (Calzada, 1998). L'analyse de variance est suivie d'un test de l'égalité des variances afin de détecter la présence éventuelle d'hétéroscédasticité dans les variances des variables expliquées comme explicatives, qui affecte aussi le choix de la spécification.

Les variables explicatives des importations sont des variables régionales exprimant la consommation finale des produits d'un côté et la consommation intermédiaire de l'autre. Le revenu disponible brut régional exprime la consommation finale et les productions dans les secteurs utilisateurs du type de produit en question (intra- et inter-branches déterminées à partir de l'analyse des coefficients techniques du Tableau des Entrées-Sorties national) représentent les consommations intermédiaires.

$$\textit{Volumes des importations}^{NST} = f\,(RDBR,\ \textit{production des secteurs utilisateurs}^{NAP,\ TES}) \quad \text{[I-23]}$$

Les résultats mettent en évidence pour chaque secteur de produits une spécificité dans les importations à l'international des régions françaises (la variance inter étant supérieure à la variance intra).

Le modèle F.I.I.R.M. met en évidence les difficultés d'élaboration d'un modèle agrégé de prévision (mais aussi de simulation) des transports spatialisés de marchandises en cherchant à intégrer les spécificités propres aux diverses entités spatiales (régions), en considérant des variables explicatives à une échelle spatiale infra-nationale (statistiques économiques régionales) et en ne disposant pas d'information sur les relations économiques intersectorielles interrégionales (à l'instar des relations au niveau national informées par le Tableau Entrées-Sorties des Comptes de la Nation).

Ce bref panorama de différents types de modèles en transport de marchandises a mis en évidence la structure très détaillée du point de vue économique mais aussi technique des modèles intersectoriels par rapport aux modèles de type gravitaire. L'approche macroscopique de simulation retenue pour développer le modèle QuinQuin Fret Multirégional s'écarte donc des modèles intersectoriels par les données très agrégées utilisées et par l'absence de module économique et plus précisément de relations intersectorielles interrégionales.

Cet exposé sur les modèles d'interaction spatiale et les modèles intersectoriels de transport a été développé dans le but de positionner le modèle QuinQuin Fret Multirégional par rapport à diverses familles de modèles du point de vue de la méthodologie, des données statistiques disponibles, ou plus généralement des contraintes déterminant la problématique interne du modèle de transport. Nous allons maintenant présenter la démarche méthodologique et de modélisation à la base de la construction du modèle QuinQuin Fret Multirégional.

Section II.

La démarche méthodologique et de modélisation

L'analyse et la modélisation des échanges de marchandises peuvent être développées selon une optique très différente en fonction du domaine de recherche ou d'étude (économie, géographie, ingénierie des trafics, ...) et selon le niveau de détail de l'analyse (macroscopique, microscopique, agrégée, désagrégée, …). Les multiples combinaisons des méthodes, des outils d'analyse et des champs de recherche aboutissent à des résultats et des enseignements forts différents tels que la prévision, la simulation ou l'explication du fonctionnement d'un système et de son évolution.

L'optique de la modélisation avec un double objectif d'explication des évolutions et de simulation à long terme des trafics spatialisés de marchandises a été retenue afin d'apporter une connaissance structurée de la répartition spatiale des flux de marchandises à travers des relations explicatives mais aussi temporelles faisant intervenir les facteurs socio-économiques et spatiaux dans la formation et dans l'évolution de ces flux.

II-1. Les deux caractéristiques centrales de la méthode d'analyse

II-1-1. Une conception systémique

Les choix méthodologiques qui ont été retenus pour construire le modèle spatial de simulation du fret s'inscrivent dans une conception systémique des interactions spatiales et de la structure spatiale et socio-économique du territoire national français. La conception systémique renvoie à l'idée de dynamique, à la fois des composantes d'un système géographique et économique et des interrelations au sein de ce système.

Dans cette conception, l'espace national est considéré comme un système économique et géographique construit par la somme de ses composantes régionales. Celles-ci appartiennent à un tout, à une nation économique et politique. Cette même appartenance implique une certaine homogénéité du point de vue des marchés économiques, du cadre institutionnel ou fiscal mais n'exclut pas pour autant une hétérogénéité socio-économique et spatiale du territoire qui se manifeste par une différenciation et une hiérarchisation de ses attributs socio-économiques et géographiques. Ces deux situations, différenciation et hiérarchisation, relèvent des phénomènes de polarisation, de concentration et de division spatiale des activités d'une part et de spécialisations, sectorielles ou fonctionnelles, d'autre part. La logique de polarisation-concentration ressort à l'échelle régionale, avec des régions économiquement dominantes (Ile de France) et des régions " périphériques ", pour reprendre les termes de Lung (1995), qui accusent un certain retard de développement. Les régions dominées économiquement peuvent l'être du point de vue économique comme institutionnel, avec une répartition spatiale différenciée et déséquilibrée des fonctions de fabrication, d'assemblage, de décision ou de recherche et développement. La logique de spécialisation ressort avec les particularités économiques des différentes régions liées à la présence de ressources spécifiques (matières premières naturelles) comme d'actifs spécifiques ou de savoir-faire. Le renforcement des spécialisations dans une optique d'accroissement des rendements

d'échelle favorise à la fois la division spatiale des activités et le développement de pôles spécialisés, les deux phénomènes concourant à la multiplication des échanges de marchandises.

Ces deux facteurs, les formes spatiales de localisation et les spécialisations, sont les facettes territoriales de la croissance économique, et à la fois expriment les répercussions spatiales de la croissance économique d'un système et participent à la croissance par le biais d'une dynamique de l'échange. Les échanges commerciaux et les flux de marchandises, qui constituent leur expression physique, se développent au sein de l'espace en tant qu'interactions spatiales entre les composantes régionales du système économique d'ensemble. Les flux interrégionaux de marchandises sont ainsi considérés comme la matérialisation des interactions spatiales entre les sous-espaces régionaux du système. L'objet d'étude est donc le fret national éclaté selon un découpage régional. L'hypothèse sous-jacente à ces choix méthodologiques -et plus généralement à la conception systémique du cadre d'analyse- est que les relations commerciales extérieures du système n'interviennent pas dans la genèse de la structure, de la nature et de l'intensité des interactions spatiales exclusives à l'espace national. Ainsi, dans cette optique, les échanges extérieurs ne peuvent seulement que renforcer les interactions spatiales intérieures existantes. La dynamique d'un système économique national est donc déterminée par les interactions spatiales entre ses composantes socio-économiques et spatiales. Nous retrouvons pleinement la conception des interactions spatiales avancée par Vermot-Desroches (1994) : " *l'interaction spatiale s'identifie le plus souvent à une notion de dynamique économique qui spécifie et caractérise l'interdépendance entre les régions* ", ainsi que celle de Pini (1990), qui définit : " *l'ensemble des régions comme un système dont la dynamique fonctionnelle se manifeste par l'existence de flux interrégionaux de marchandises* ".

La démarche de modélisation engagée répond à la volonté de comprendre la configuration générale du système national d'interactions spatiales ainsi que son développement, dans sa dimension spatiale comme dans sa dimension temporelle, à l'instar de la logique poursuivie dans les modèles de maximisation de l'entropie. L'analyse et la modélisation des interactions spatiales sont ainsi menées dans un premier temps par une investigation en coupe instantanée. Il s'agit dans cette phase statique d'expliquer la distribution spatiale du fret à un moment donné en fonction des facteurs spatiaux et socio-économiques relatifs aux composantes régionales et aux liaisons d'échange entre ces régions (cf. XII-1 en section XII). La dimension temporelle des interactions spatiales est abordée ensuite par la recherche d'une corrélation (cf. XII-2 en section XII) entre les variations annuelles de l'intensité structurelle des échanges de marchandises et les variations annuelles des facteurs susceptibles de les affecter tels que la distance de transport, le temps et le coût de transport ou les capacités régionales à l'émission et à l'attraction (activité productive, spécialisations sectorielles, bassin de consommation, population, niveau de revenu, ...).

En raison de cette conception systémique, la démarche de modélisation des échanges interrégionaux de marchandises s'inscrit tout à fait dans la logique des modèles d'interaction spatiale qui cherchent à expliquer ou décrire, puis à projeter ou simuler, la configuration spatiale globale d'un système d'échange en établissant une relation formalisée entre la dimension " potentiel " du système (les capacités socio-économiques des composantes régionales, les

caractéristiques des liaisons spatiales d'échange) et de la dimension " flux " exprimée par les échanges de marchandises[1].

La démarche concrète d'analyse puis de modélisation spatiale des flux de marchandises se déroule en deux grandes phases : la phase de génération et la phase de distribution spatiale, avec une distinction en deux temps de la première phase. La première étape de la phase de génération porte sur les volumes globaux de marchandises. Cette étape fait l'objet d'une phase descriptive du transport national de marchandises, exprimé en tonnes et en tonnes-kilomètres et distingué, du point de vue spatial, entre une part interrégionale et une part intrarégionale, du point de vue sectoriel, selon les grandes catégories de marchandises (chapitres et sections de la nomenclature statistique des transports[2]) et du point de vue modal selon les trois modes terrestres, route, fer et fluvial (cf. section VII). Cette première étape fait ensuite l'objet d'une formalisation dans un modèle de génération des tonnages globalement chargés soit à l'échelle interrégionale soit à l'échelle intrarégionale (cf. section XI). La seconde étape de la phase de génération s'intéresse à la participation des différentes composantes régionales dans la formation et dans l'évolution des transports de marchandises en interrégional comme en intrarégional (cf. section VIII). Cette seconde étape repose sur l'expression de parts régionales dans le fret interrégional et le fret intrarégional et sur la formalisation de leur tendance d'évolution à long terme (cf. XI-4 en section XI). La phase de distribution spatiale porte sur la description du niveau, de la nature et de l'évolution des interactions spatiales entre les composantes régionales exprimées par les tonnages de marchandises échangés annuellement (cf. section IX et X). Cette phase fait l'objet d'une modélisation par la recherche en coupe instantanée de corrélations entre les facteurs structurels socio-économiques et spatiaux, caractérisant les composantes régionales et les liaisons d'infrastructures interrégionales, et l'intensité structurelle des interactions spatiales (cf. XII-1 en section XII) puis d'une simulation par la formalisation de la tendance d'évolution de la structure spatiale des échanges de marchandises (cf. XII-2 en section XII).

Ces deux grandes phases d'analyse et de modélisation ont recours à des méthodes et des outils de modélisation spécifiques et s'inscrivent dans une méthode globale de modélisation spatiale : la méthode des coefficients structurels.

II-1-2. Une modélisation spatiale synchronique impulsée par la méthode des coefficients structurels

La méthode d'analyse et de modélisation des interactions spatiales, matérialisées par les tonnages interrégionaux de marchandises, est la méthode des coefficients structurels. Cette méthode se caractérise par son approche novatrice d'analyse et de modélisation des flux de transport de marchandises. Son principal apport repose sur la distinction dans le fret échangé d'une partie conjoncturelle et d'une partie structurelle. Cette approche offre un nouveau schéma théorique d'analyse et de modélisation spatiale du transport de marchandises. Ce schéma se

[1] La description de la logique des interactions spatiales à partir d'une dimension " potentiel " et d'une dimension " flux " a été avancée par Vermot-Desroches (1994).

[2] Nomenclature Statistique des Transports (NST) : Classification des marchandises dans les bases de données européennes (EUROSTAT, CEMT) et dans la base de données nationales SITRAM élaborée par le Service Economique et Statistique du Ministère de l'Equipement et des Transports (OEST, 1996).

démarque de l'architecture classique des modèles séquentiels de transport et en particulier du modèle à quatre étapes : génération, distribution spatiale, partage modal et affectation (Balavoine, 1981). L'estimation des interactions spatiales est réalisée selon une approche synchronique de la génération des volumes de marchandises chargés et de la distribution spatiale des échanges de marchandises. Cette approche consiste à déterminer les deux composantes du fret que sont la part conjoncturelle et la part structurelle. Ces deux composantes sont exprimées formellement dans l'équation suivante :

$$\hat{T}_{ij} = \underbrace{T_{i.} * T_{.j} / T_{..}}_{part\ conjoncturelle} * \underbrace{CS_{ij}}_{part\ structurelle} \qquad \text{[II-1]}$$

(phase de génération) *(phase de distribution spatiale)*

La part conjoncturelle représente la partie du transport de marchandises qui relève de la production industrielle ou plus généralement de la croissance économique. Cette part est exprimée en tonnes chargées. La détermination de la part conjoncturelle est donnée par l'estimation des volumes totaux émis et reçus annuellement par les composantes régionales et du volume total interrégional annuellement chargé. Cette composante du fret est modélisée dans la phase de génération, qui consiste à estime le tonnage global généré en. Ce tonnage global généré en interrégional se répartit ensuite entre des tonnages émis et des tonnages reçus annuellement par les différentes composantes régionales qui constituent les zones d'émission et d'attraction du fret.

La part structurelle du fret correspond à la partie du transport de marchandises relevant de la structuration de l'espace par les activités économiques et les infrastructures de transport qui orientent la géographie des flux en favorisant certaines liaisons d'échanges et en freinant les contacts sur d'autres liaisons. Cette dimension structurelle est exprimée en coefficients structurels. Elle fournit l'intensité structurelle des échanges de marchandises ou encore la structure spatiale de ces échanges. Cette composante du fret fait l'objet de la phase de distribution spatiale.

Ainsi, l'imbrication traditionnelle "module de génération puis module de distribution spatiale" n'est pas appliquée dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional puisque la distribution spatiale est expliquée indépendamment de la génération à l'aide de facteurs structurels influant sur l'intensité structurelle -ou structure spatiale- des échanges exprimée par les coefficients structurels.

A. La méthode de modélisation de la dimension conjoncturelle du fret (génération)

La phase de génération du fret consiste à estimer les tonnages globalement transportés c'est-à-dire les tonnages générés par les composantes régionales, qui se répartissent entre les flux émis (exportés[3]) et les flux reçus (importés) annuellement. La phase de génération est appliquée au fret interrégional et au fret intrarégional.

La phase de génération est réalisée en ayant recours à la méthode de régression et à l'analyse des séries chronologiques. La génération établit une liaison temporelle entre les variations annuelles des tonnages générés et d'un indicateur économique. La régression appliquée se

[3] Comme le cadre spatial se limite à l'espace national (les échanges internationaux ne sont pas pris en compte), nous parlerons indifféremment d'émission ou d'exportation et de réception ou d'importation pour désigner les flux générés à l'échange par les régions au sein de l'espace national.

caractérise par la prise en compte d'élasticités variables. L'estimation d'élasticités variables est permise par l'ajustement d'une fonction linéaire affine. Le recours à des élasticités variables s'explique par la volonté de rendre compte au mieux de la réalité des variations annuelles du volume de marchandises transporté et en particulier de tenir compte d'une liaison " variable ", non proportionnelle entre les fluctuations des tonnages et celles de la croissance économique. Les raisons du choix d'élasticités variables plutôt que constantes seront plus amplement développées lors de la phase de modélisation (cf. section XI). Nous allons toutefois préciser dès maintenant ces deux concepts d'élasticité variable/constante.

La génération du tonnage, noté *T*, en fonction d'un indicateur de croissance économique, noté *I*, consiste à estimer une fonction de la forme T = f(I) dont la spécification détermine la nature de l'élasticité entre le tonnage et la croissance économique.

La dérivée de cette fonction est la limite du rapport des taux d'accroissement des deux variables impliquées quand les variations de la variable explicative deviennent infiniment petites et tendent vers zéro.

$$f'(T) = \frac{\partial T}{\partial I} = \lim_{\Delta I \to 0} \frac{\Delta T}{\Delta I} \qquad \text{[II-2]}$$

L'élasticité est une notion proche de la dérivée d'une fonction puisque c'est également une expression de la variation limite d'une variable en fonction de la variation d'une autre variable.

Pour la fonction Y=f(X), l'élasticité ponctuelle est donnée, par définition, par la limite, ou dérivée, du rapport des taux de variation des deux variables mises en relation, soit le rapport :

$$e_{\frac{Y}{X}} = \lim_{\Delta X \to 0} \frac{\Delta Y / Y}{\Delta X / X} \Leftrightarrow \frac{\partial Y / Y}{\partial X / X} = \frac{\partial Y}{\partial X} * \frac{X}{Y} \qquad \text{[II-3]}$$

L'élasticité obtenue par un ajustement avec une fonction affine est variable en fonction de la variable explicative. La démonstration se fait en remplaçant dans l'expression [II-3] la variable à expliquer, *Y*, par l'équation de l'ajustement " $Y=aX+b$ " et sa dérivée :

$$e_{\frac{Y}{X}} = \frac{\partial Y}{\partial X} * \frac{X}{Y} \Rightarrow e_{Y/X} = a * \frac{X}{a * X + b} \qquad \text{[II-4]}$$

L'élasticité est donc variable dans le cas d'un ajustement avec une fonction affine. Elle est variable en fonction du taux de variation de la variable explicative *X*.

Dans le cas d'un ajustement avec une fonction double-logarithmique c'est-à-dire linéaire avec les logarithmes (fonction exponentielle et fonction puissance), l'élasticité est constante. Elle est égale au coefficient directeur de la droite de régression.

La démonstration d'une élasticité constante avec des fonctions exponentielle ou puissance est donnée dans les expressions suivantes :

$$Y = b_0 * X^a \Rightarrow e_{\frac{Y}{X}} = \frac{\partial Y}{\partial X} * \frac{X}{Y} \Leftrightarrow e_{\frac{Y}{X}} = b_0 * a * X^{a-1} * \frac{X}{Y} \Leftrightarrow e_{\frac{Y}{X}} = \frac{b_0 * a * X^a}{b_0 * X^a} \Leftrightarrow e_{\frac{Y}{X}} = a \qquad \text{[II-5]}$$

$$Y = b_0 * e^{aX} \Rightarrow e_{\frac{Y}{X}} = \frac{\partial Y}{\partial X} * \frac{X}{Y} \Leftrightarrow e_{\frac{Y}{X}} = b_0 * a * e^{aX} * \frac{X}{Y} \Leftrightarrow e_{\frac{Y}{X}} = \frac{b_0 * a * e^{aX}}{b_0 * e^{aX}} \Leftrightarrow e_{\frac{Y}{X}} = a \qquad \text{[II-6]}$$

Graphiquement, il est possible de repérer la nature de l'élasticité reliant les deux variables étudiées, et par conséquent le type de spécification à utiliser pour obtenir un meilleur ajustement[4]. La fonction double-logarithmique se caractérise par l'absence d'ordonnée à l'origine et passe donc par l'origine d'un repère orthonormé (XY). Graphiquement, un ajustement linéaire passant par l'origine traduit l'existence d'une élasticité constante entre les deux variables mises en relation alors qu'une droite ne passant pas par l'origine exprime une élasticité variable.

B. La méthode de modélisation de la part structurelle du fret (distribution spatiale)

La phase de distribution spatiale consiste à répartir le fret généré par chaque zone d'émission ou d'attraction de flux entre les différentes zones de destination. D'un point de vue schématique, il s'agit de remplir les cellules intérieures d'une matrice croisée origine-destination (cf. tableau II-1). La phase préalable de génération a consisté, en relation avec une variable économique, à estimer les marges de la matrice ou sommes des flux émis et reçus par les différentes régions et le tonnage total interrégional.

Nous considérons une matrice 21x 21 régions car la région Corse est regroupée avec la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur. Ce regroupement s'explique par des raisons d'orientation géographique, les flux à destination de la Corse traversant systématiquement la région PACA (pour le mode routier, dominant), et pour des raisons statistiques, les données économiques relatives à la Corse étant parfois regroupées avec celles de PACA.

Tableau II-1. Matrice origine/destination des flux spatialisés d'échange

Origine / Destination	région ***1***		région ***j***		région ***21***	exportations totales
région ***1***	-				$T_{1,21}$	
		-				
région ***i***			Ti,j			Ti.
				-		
région ***21***	$T_{21,1}$				-	
importations totales			T.j			T..

Tij : flux interrégional allant de la région *i* vers la région *j*.
Ti. : exportations ou émissions de la région *i* vers l'ensemble des autres régions françaises.
T.j : importations ou réceptions de la région *j* depuis l'ensemble des autres régions.
T.. : ensemble des flux interrégionaux.

Les contraintes d'égalité suivantes sont à respecter lors de l'estimation des flux croisés :

$$T_{..} = \sum_i \sum_j T_{ij} \qquad T_{i.} = \sum_j T_{ij} \qquad T_{.j} = \sum_i T_{ij} \qquad \text{[II-7]}$$

[4] La définition et l'expression des formes fonctionnelles les plus couramment utilisées et du type d'élasticité qui leur est associé sont développées et expliquées dans les ouvrages de JOHNSTON (1988), pp. 73-88 et de GRIFFITHS, HILL, JUDGE (1997), pp. 119-123.

B-1. Définition et fonction des coefficients structurels

L'observation des matrices origine-destination des flux interrégionaux de marchandises au cours des 20 années antérieures fait apparaître un déséquilibre des tonnages échangés. Les flux ne sont pas équilibrés sur l'ensemble de territoire national. Une répartition parfaitement équilibrée reste donc une hypothèse théorique. Cette hypothèse signifie que la distribution spatiale des flux à partir d'une région d'émission serait équitable vers toutes les régions de destination. Une telle répartition peut être calculée en fonction des capacités à exporter et à importer des différentes régions. Cette répartition est donc une estimation statistique sous une hypothèse d'indépendance des marges de la matrice O-D et est calculée par l'espérance mathématique de la part du fret échangé *Tij* dans le fret total *T..* . Le trafic ainsi calculé, défini comme le trafic “ théorique ” par opposition au trafic “ observé ” ou “ réel ” est le produit des marges rapporté au tonnage total.

L'espérance mathématique de la part du fret *Tij* dans le trafic total *T..* s'écrit de la façon suivante :

$$E\left(\frac{T_{ij}^{*}}{T_{..}}\right) = \frac{T_{i.}}{T_{..}} \times \frac{T_{.j}}{T_{..}} \qquad \text{[II-8]}$$

Le trafic théorique s'écrit alors : $$T_{ij}^{*} = \frac{T_{i.} \times T_{.j}}{T_{..}} \qquad \text{[II-9]}$$

Ce flux théorique est considéré comme *potentiellement réalisable* entre les deux régions *i* et *j* dans une situation *d'indépendance* des émissions et des réceptions. Cette situation d'indépendance peut être interprétée comme une situation dans laquelle les contraintes géographiques ou socio-économiques influant généralement sur les échanges ne sont pas considérées. L'effet de frein de la distance ou du coût de transport ainsi que l'effet d'attraction relatif notamment aux poids économiques ou aux spécialisations sectorielles des régions n'interviennent pas. Le flux théorique donne une estimation du niveau des échanges qui pourrait potentiellement se réaliser sans l'action de facteurs spatiaux ou socio-économiques.

La distribution spatiale du fret observée et la distribution potentielle "théorique" peuvent être comparées dans l'optique d'analyse des déséquilibres spatiaux des relations d'échange. Cette comparaison fait apparaître, d'une part, des liaisons d'échanges *privilégiées* dans la situation observée par rapport à la situation théorique et, d'autre part, des liaisons *désavantagées*. Cette analyse comparative est synthétisée par le coefficient structurel, qui se définit comme le rapport entre les tonnages réalisés dans la situation observée et ceux potentiellement réalisables dans la situation théorique.

$$CS_{ij} = \frac{T_{ij}}{T_{ij}^{*}} \Leftrightarrow CS_{ij} = \frac{T_{ij}}{\frac{T_{i.} \times T_{.j}}{T_{..}}} \qquad \text{[II-10]}$$

La signification du coefficient structurel est très simple. Quand celui-ci est supérieur à l’unité, les tonnages échangés dans la situation observée sont supérieurs à ceux potentiellement réalisables dans la situation d’indépendance théorique. Les échanges observés sont alors qualifiés de

privilégiés ou *préférentiels*. A l'inverse, si le coefficient est inférieur à l'unité, les échanges dans la situation observée sont dits désavantagés ou freinés.

La distribution spatiale du fret interrégional est donc expliquée et modélisée par l'évaluation d'un sous-modèle de coefficients structurels sur les liaisons interrégionales d'échange. Les outils de modélisation sont équivalents à ceux utilisés dans la phase de génération à savoir la régression et l'analyse des séries chronologiques. La démarche concrète de modélisation consiste à expliquer d'une part le niveau et d'autre part l'évolution des coefficients structurels par des facteurs structurels spatiaux et socio-économiques qui se présentent comme l'expression des effets de la non uniformité de l'espace et plus précisément de sa différenciation et sa hiérarchisation socio-économiques et spatiale. En statique, l'intérêt d'une modélisation de la distribution spatiale par la méthode des coefficients structurels est de déterminer les raisons pour lesquelles certaines liaisons d'échange sont privilégiées voire fortement privilégiées ou, au contraire, sont désavantagées ou encore, mais plus rarement, sont équilibrées par rapport à la situation d'indépendance théorique. En dynamique, l'intérêt consiste à déterminer les évolutions socio-économiques ou spatiales, ou les effets temporels d'inertie, qui conduisent à maintenir certaines liaisons soit privilégiées soit désavantagées à long terme ou au contraire, cas relativement rare, à faire basculer certaines liaisons d'une situation privilégiée à une situation désavantagée ou inversement.

B-2. Apports méthodologiques de la méthode des coefficients structurels

Le premier apport méthodologique important est la démarche théorique d'explication et de modélisation des volumes de marchandises échangés, qui établit une distinction dans les tonnages transportés entre une part relevant de la production industrielle de biens et une autre part issue de la structuration spatiale du territoire par les activités économiques et les réseaux d'infrastructures. Cette distinction se démarque très nettement des méthodes de modélisation reposant sur les modèles gravitaires de distribution spatiale, qui modélisent en une seule étape les tonnages échangés.

La seconde particularité importante de cette méthode est d'estimer la distribution spatiale du fret à l'aide d'un indice ayant des fondements statistiques et ne faisant pas intervenir dans sa formalisation des facteurs économiques ou spatiaux susceptibles d'influer sur cette distribution c'est-à-dire d'être *a priori* les facteurs explicatifs. Ainsi, premièrement, la méthode des coefficients structurels a des fondements statistiques relatifs au calcul d'effectifs dans une situation d'indépendance théorique. L'avantage direct est de pouvoir comparer les coefficients puisque ceux-ci sont construits sur les mêmes bases et sont sans unité. Deuxièmement, le mode de construction du coefficient structurel ne fait intervenir que des données de transport appartenant aux *variables expliquées* du modèle. Ce point est un apport méthodologique central pour deux raisons. D'une part, il ne conditionne le calcul du coefficient structurel qu'à une seule catégorie de données, ce qui diminue les contraintes relatives à la constitution de bases de données empiriques et d'autre part, l'impact des facteurs explicatifs sur la distribution spatiale est déterminé de manière isolée. La détermination du niveau des coefficients structurels est réalisée par la recherche du meilleur ajustement entre le (les) facteur(s) explicatif(s) et les coefficients structurels à l'aide de régressions. Cette démarche d'introduction des facteurs explicatifs exogènes par le recours à la régression permet de quantifier plus nettement la part explicative de chaque variable exogène.

Le troisième apport méthodologique réside dans la robustesse des coefficients structurels en terme d'évolution lorsqu'ils sont calculés sur les flux réalisés dans un système d'interactions spatiales *fermé* et *homogène* tel que le territoire national français. Le terme *fermé* fait référence à un espace circonscrit pour lequel il est possible de construire une matrice d'échanges complète. Le terme *homogène* fait référence à la nature des données empiriques. Cette caractéristique est plus facile à obtenir au sein d'un Etat tel que le territoire français où les transports de marchandises interurbains sont mesurés suivant une même méthode et font l'objet d'un suivi annuel. Le recours à la méthode des coefficients structurels ne se poserait pas d'emblée dans les mêmes termes pour une modélisation des flux européens. Le principal problème serait alors de constituer une base homogène et complète de données de trafics. Cette robustesse des coefficients structurels en évolution s'avère un atout méthodologique et prévisionnel pour mettre en exergue les tendances longues d'évolution et, si nécessaire, recourir à des méthodes de prévision des séries chronologiques.

Enfin, cette méthode est fortement flexible du point de vue de l'analyse statistique. L'introduction de variables explicatives nouvelles ne pose pas de problème spécifique de formalisation. Les outils économétriques utilisés pour expliquer et modéliser la distribution spatiale du fret sont facilement abordables, relevant de la régression simple ou multiple. L'apport explicatif supplémentaire d'une nouvelle variable est mesuré par la variation de variance résiduelle. La méthode équivaut à tester si la diminution de variance résiduelle apportée par l'introduction d'une nouvelle variable explicative est significative. Ce test est similaire à celui effectué avec la déviance dans la régression de Poisson, rapport de probabilité utilisé pour évaluer la qualité apportée à l'ajustement (Flowerdew, 1991).

II-2. Les méthodes statistiques et les outils de modélisation

L'élaboration du modèle spatial de transport de marchandises s'inscrit dans le cadre de l'économétrie traditionnelle en ayant recours à la méthode statistique de la régression. Ce choix s'explique principalement par l'adaptation de cette méthode à notre problématique (cf. section III) et aux méthodes d'analyse et de modélisation retenues et précédemment exposées. Il s'explique également par les avantages intrinsèques à la méthode de régression très couramment utilisée, sur et avec laquelle de nombreux travaux ont été réalisés permettant de bien comprendre la logique et les hypothèses de cette méthode et d'en tirer une bonne compréhension des relations établies entre les variables étudiées. Enfin, cette méthode apporte les moyens de préciser le risque d'erreur de prévision du modèle à travers des tests statistiques d'hypothèses sur les paramètres et sur les résidus de la régression.

II-2-1. La régression

Nous présentons la méthode de régression dans le cas général, à savoir avec une seule variable explicative. Nous renvoyons les lecteurs aux ouvrages spécialisés sur la régression pour les questions se référant aux extensions et notamment à la régression multiple (Tomassone *et alii*, 1992 ; Johnston, 1988 ; Wonnacott, 1991 ; Griffiths *et alii*, 1997).

A. Description du modèle linéaire théorique

La méthode de régression est utilisée pour construire un modèle empirique compatible avec les hypothèses du modèle linéaire général “ théorique ”. Concrètement, il s’agit au minimum de formaliser une relation entre deux variables, cas du modèle linéaire général à deux variables, ou entre plusieurs variables, cas du modèle linéaire généralisé ou multiple. Les variables correspondent au minimum à une variable exogène ou explicative et à une variable endogène ou expliquée. La relation doit permettre d’expliquer la variable endogène à l’aide de la variable exogène, ou l’évolution de la première à partir de l’évolution de la seconde. Cette relation est appelée aussi équation structurelle du modèle. Les équations structurelles sont spécifiées en regard avec les différentes spécifications existantes dans le cadre théorique des modèles linéaires. Ensuite ces équations sont confrontées aux données empiriques pour estimer un modèle appliqué ou empirique constituant “ *une simplification de la réalité par laquelle on cherche à saisir les traits fondamentaux du système étudié* ” (Johnston, 1988). Les résultats de la confrontation entre modèle théorique et données empiriques se déclinent en différents indices et statistiques, valeurs des paramètres ou tests, qui permettent de juger de l’intensité et de la nature de la relation entre les variables combinées et de la qualité statistique de cette relation. Les différents tests statistiques permettent de se faire une idée de la qualité du modèle, de la fiabilité statistique des variables exogènes considérées et de la spécification du modèle.

Le modèle linéaire général que nous cherchons à estimer à l’aide de données empiriques peut prendre plusieurs spécifications linéaires dans le cas d’une relation simple, telles que les trois spécifications suivantes auxquelles nous aurons recours lors de la construction du modèle :

$$Y = \alpha + \beta X \qquad \text{[II-11]}$$

$$Y = \alpha X^{\beta} \qquad \text{[II-12]}$$

$$Y = \alpha\, e^{\beta X} \qquad \text{[II-13]}$$

avec : Y : variable endogène ou expliquée,
X : variable exogène ou explicative,
α , β : paramètres théoriques de l’équation

α représentant le coefficient de régression, la pente (dans le cas d’une droite d’ajustement) ou l’élasticité (dans le cas des spécifications puissance [II-12], exponentielle [II-13]) et β constante et ordonnée à l’origine dans le cas d’une spécification affine [II-11].

Ces équations sont linéaires en X et Y dans le premier cas [II-11], en log Y et log X dans le second cas après transformation par les logarithmes et en log Y et X dans le troisième cas [II-13]. En effet, après transformation par les logarithmes on peut écrire [II-12] par :

$$\log Y = \log \alpha + \beta \log X \qquad \text{[II-14]}$$

et on peut écrire (II-13) sous la forme suivante :

$$\log Y = \log \alpha + \beta X \qquad \text{[II-15]}$$

L’estimation du modèle empirique consiste à appliquer les modèles linéaires théoriques présentés ci-dessus à une population (ou à un échantillon statistique) identifiée par des données empiriques. Dans le cas de notre modèle, il s’agira de statistiques de transport, de données socio-économiques régionales et de données géographiques.

Le choix de la forme explicite de la fonction, [II-11], [II-12] ou [II-13], est effectué à l'aide des représentations graphiques sur un plan cartésien des données brutes ou d'une transformation de celles-ci. L'application du modèle avec les données empiriques donne les estimations numériques des paramètres α et β. Comme la relation linéaire postulée n'est généralement pas rigoureusement vraie, la relation doit être sensiblement modifiée et intégrer une variable aléatoire notée *u* qui est un terme d'erreur. La relation s'écrit alors dans la forme générale du modèle linéaire :

$$Y = \alpha + \beta X + u \qquad \text{[II-16]}$$

Le modèle linéaire tel qu'il est défini en [II-16] repose sur un certain nombre d'hypothèses qui doivent être respectées au mieux lors de l'application du modèle. Le respect des principales hypothèses est jugé par le calcul de divers tests statistiques que nous présenterons à la suite des hypothèses.

B. Les hypothèses du modèle linéaire

B-1. Les hypothèses structurelles

Hypothèse 1 : Le recours au modèle linéaire nécessite de disposer de plus d'observations que de paramètres à estimer, soit n>k+1.

Hypothèse 2 : Les variables exogènes sont bornées, c'est-à-dire que la matrice des variables exogènes tend vers une limite quand le nombre d'observations tend vers l'infini.

Hypothèse 3 : Les variables exogènes ne doivent pas être colinéaires.

Hypothèse 4 : Les variables exogènes sont supposées non aléatoires et sont observées sans erreurs.

B-2. Les hypothèses stochastiques

Dans le modèle linéaire théorique, le terme d'erreur est une variable aléatoire qui suit une loi de probabilité déterminée en fonction de trois hypothèses principales. Le terme d'erreur mesure la différence entre les valeurs observées et les valeurs qui auraient du être estimées si le modèle était rigoureusement exact. Les termes d'erreur peuvent prendre des valeurs aussi bien positives que négatives ce qui conduit à poser comme première hypothèse que les termes d'erreur *u* ont une espérance mathématique nulle. La seconde hypothèse centrale est que la loi de probabilité des erreurs *u* suit une loi normale. Enfin, la troisième hypothèse pose que les différentes valeurs des erreurs *u* représentent des variables aléatoires indépendantes les unes des autres. Ces trois hypothèses conduisent à considérer que les erreurs d'ajustement sont distribuées de façon normale et indépendante. Cette hypothèse est formalisée de la façon suivante :

$$u \approx NID(0, \sigma_u^2)$$

Le premier terme traduit la nullité de l'espérance mathématique et de la covariance des erreurs et le second terme fait référence à la constance de la variance.

Les hypothèses stochastiques peuvent être énumérées de la façon suivante :

Hypothèse 5 : Les erreurs suivent une loi normale et sont de moyenne nulle.

Hypothèse 6 : Les erreurs ont la même variance (homoscédasticité)

Hypothèse 7 : Les erreurs ont une covariance nulle, il y a absence d'autocorrélation entre les termes d'erreur, ce qui permet d'assurer l'indépendance en probabilité.

Hypothèse 8 : La loi de probabilité des erreurs est indépendante des variables exogènes.

Le rôle des hypothèses est de simplifier la méthode d'estimation et les formulations des équations structurelles du modèle.

C. L'estimation par la méthode des moindres carrés ordinaires et les tests statistiques

L'estimation des paramètres α et β du modèle $Y = \alpha X + \beta$ se fait en appliquant la méthode des moindres carrés ordinaires, dans le cas du modèle linéaire simple, qui consiste à minimiser la somme des carrés des termes d'erreur et qui s'écrit :

$$S(\alpha, \beta) = \sum u^2 = \sum (Y - \beta - \alpha X)^2 \qquad \text{[II-17]}$$

Les valeurs des paramètres qui minimisent cette somme, notées *a* et *b* sont obtenues à partir des équations suivantes, dans le cas du modèle $Y=aX+b$:

$$a = \frac{\sum (Y - \overline{Y})(X - \overline{X})}{\sum (X - \overline{X})^2} \qquad \text{[II-18]}$$

$$b = \overline{Y} - a\overline{X} \qquad \text{[II-19]}$$

avec : $\overline{X}$: moyenne des valeurs de *X* et $\overline{Y}$: moyenne des valeurs de *Y*

La qualité de l'ajustement est jugée à l'aide d'un certain nombre d'indices et de tests statistiques. Les deux premiers tests statistiques réalisés après l'établissement d'une relation linéaire sont le test *F* de Fisher, directement lié à l'analyse de variance, et le test *t* de Student.

C-1. Tests de la qualité statistique de l'ajustement : analyse de la variance, test F et test t

Les tests statistiques d'hypothèses sont réalisés pour contrôler et garantir une fiabilité statistique au modèle estimé et plus précisément à la (aux) relation(s) explicative(s) déterminée(s) par la régression. Les tests d'hypothèses permettent d'admettre si la relation économétrique établie ou la variable explicative choisie est *acceptable statistiquement* ou *ne peut être rejetée*, selon si elle est située ou non dans un *intervalle de confiance* ou si elle est supérieure ou non à une *valeur critique*.

Des intervalles de confiance sont employés pour tenir compte de l'existence de risques d'erreur mais aussi pour réduire à un certain seuil ces risques d'erreur. Ainsi un intervalle de confiance à 95% ou un seuil d'erreur à 5% est généralement employé. Ce seuil d'erreur délimite une région dans la loi de distribution de la statistique utilisée pour le test (*F* de Fisher ou *t* de Student), la queue de distribution, à l'aide d'une valeur critique minimale à ne pas dépasser pour que l'estimation des paramètres soit *acceptable ou significative statistiquement*. A cette valeur critique de la variable de test correspond une probabilité critique maximale. Celle-ci correspond au fait qu'il est plus rare et plus difficile de se trouver dans la queue de distribution que dans le reste de la distribution. Le test *F* ou *t* consiste à comparer la valeur estimée de *F* ou de *t* par l'ajustement

réalisé à la valeur critique issue de la loi de distribution de la variable de test, et leurs probabilités associées. Le test est positif si la valeur estimée est supérieure à la valeur critique et si la probabilité de la valeur estimée est inférieure à la probabilité critique.

L'hypothèse la plus couramment testée pour juger de la qualité statistique de la relation économétrique établie est l'hypothèse nulle. Le test de l'hypothèse nulle consiste à évaluer dans quelle mesure, c'est-à-dire à quel seuil d'erreur, les valeurs estimées des paramètres sont significativement différentes ou au contraire proches (en conflit) de zéro. Si la valeur du paramètre est significativement différente de zéro, c'est-à-dire bien supérieure à la valeur critique de la loi de distribution de la statistique de test, alors l'hypothèse nulle est rejetée et la valeur du coefficient de régression, *a*, est conservée et jugée statistiquement fiable. Si la valeur du paramètre n'est pas significativement différente de zéro, c'est-à-dire inférieure à la valeur critique ou très faiblement supérieure, alors l'hypothèse nulle peut être acceptée et la valeur du paramètre peut ne pas être conservée, une autre estimation économétrique doit alors être réalisée.

Le test de l'hypothèse nulle vérifie donc le fait que la valeur du coefficient de régression *a* est significativement différente de zéro, c'est-à-dire que la valeur zéro n'est pas contenue dans l'intervalle de confiance et que l'on a bien une indépendance entre les variables *X* et *Y*. Plus généralement, les tests statistiques d'hypothèse cherchent à garantir le fait que la relation économétrique établie et la valeur du coefficient de régression ne relèvent pas du hasard et que leur obtention repose sur une faible probabilité d'apparition.

Deux tests d'hypothèses sont couramment réalisés : le test général *F* de Fisher et le test *t* de Student qui porte sur la valeur du coefficient de régression.

- **Analyse de la variance et test F**

L'analyse de la variance correspond à une décomposition de la variance des observations *Y* (ou plus précisément de la somme des carrés des écarts) autour de la droite d'ajustement en deux termes : une partie expliquée par la droite d'ajustement et une partie non expliquée, résiduelle. L'analyse de variance décompose l'écart total d'une prévision, calculé par la différence entre la valeur observée et la moyenne des valeurs observées $(Y-\overline{Y})$, un écart expliqué par la régression $(\hat{Y}-\overline{Y})$ entre les valeurs estimées et la moyenne des observations, et un écart résiduel $(Y-\hat{Y})$ entre les valeurs observées et les valeurs estimées.

$$\underbrace{(Y-\overline{Y})}_{\text{écart total}} = \underbrace{(\hat{Y}-\overline{Y})}_{\text{écart expliqué}} + \underbrace{(Y-\hat{Y})}_{\text{écart résiduel}} \qquad \text{[II-20]}$$

Cette égalité se retrouve avec la somme des carrés des écarts :

$$\underbrace{\sum(Y-\overline{Y})^2}_{SCT} = \underbrace{\sum(\hat{Y}-\overline{Y})^2}_{SCE} + \underbrace{\sum(Y-\hat{Y})^2}_{SCR} \qquad \text{[II-21a]}$$

ou en fonction de [II-18] :

$$\underbrace{\sum(Y-\overline{Y})^2}_{SCT} = \underbrace{a^2\sum(X-\overline{X})^2}_{SCE} + \underbrace{\sum(Y-\hat{Y})^2}_{SCR} \qquad \text{[II-21b]}$$

Elle se retrouve bien évidemment dans la moyenne des carrés des écarts, ou variance. La variance prend en compte le nombre de degrés de liberté (n-p-1), qui varie avec le nombre d'observations (*n*) et le nombre de régresseurs (*p*). La variance expliquée exprime le pouvoir explicatif du régresseur *X*. L'expression suivante fait référence au cas général d'un modèle linéaire à une variable explicative (*p=1*) :

$$\underbrace{\frac{\sum (Y-\bar{Y})^2}{n-1}}_{\text{variance totale}} = \underbrace{\frac{a^2 \sum (X-\bar{X})^2}{1}}_{\text{variance expliquée}} + \underbrace{\frac{\sum (Y-\hat{Y})^2}{n-2}}_{\text{variance résiduelle}} \qquad \text{[II-22]}$$

Dans le cas d'une prévision ou d'une simulation par la régression, nécessitant une garantie de la qualité statistique de l'ajustement, l'analyse de variance permet de tester l'importance du rapport entre variance expliquée et variance résiduelle par rapport à l'hypothèse nulle qui s'interprète dans ce cas comme une absence de relation linéaire entre les variables *X* et *Y*. Il s'agit du test F qui compare la valeur du rapport variance expliquée sur variance résiduelle (rapport F estimé) et la valeur de la statistique *F* de Fisher-Snédecor dans la table de probabilité relative à sa loi de distribution.

Le rapport *F* se définit comme le rapport entre la variance expliquée et la variance résiduelle :

$$F = \frac{SCE/1}{SCR/(n-2)} = \frac{a^2 \sum (X-\bar{X})^2}{S^2} \qquad \text{[II-23]}$$

avec $S^2 = \left(\sum (Y-\hat{Y})^2 \Big/ n-2 \right)$

Pour tester l'hypothèse nulle, il est alors nécessaire de se rapporter à la table de la statistique *F* pour déterminer la probabilité critique en fonction des degrés de liberté. Si la valeur estimée de F est supérieure à la valeur critique du *F*, issue de la table de la loi de distribution de la statistique *F*, au seuil d'erreur fixé et que la probabilité d'obtenir cette valeur du rapport de F est relativement faible (inférieure à 1%), alors le test est concluant et garantit l'existence d'une relation linéaire entre X et Y ne relevant pas du hasard.

Le test s'écrit de la façon suivante :

- rejeter H0 : a=0, avec 5% de risque si :
- $F = \dfrac{SCE/1}{SCR/(n-2)} > F_{0,95}(1, n-2)$ [II-24]

Dans le cas du modèle linéaire simple, le test *F* est équivalent au test *t*, puisqu'il n'y a qu'une variable explicative[5]. Le test *t*, utilisé pour tester la signification statistique de la valeur du coefficient de régression *a*, est davantage déterminant dans le cas d'une régression multiple.

[5] Cf. démonstrations de la relation entre les ratios *F* et *t* dans JOHNSTON (1988), pp. 46-50 et annexe A-7.

- **Test *t* de Student**

La statistique t se calcule à l'aide du coefficient de régression *a*, pente de la droite de régression, et de son écart type ou erreur standard, notée *SE*, attachée à son estimation. La statistique est le rapport de ces deux termes :

$$t = \frac{b}{SE} \qquad \text{[II-25]}$$

avec $SE = \dfrac{S}{\sqrt{\sum (X - \overline{X})^2}}$ et $S^2 = \dfrac{\sum (Y - \hat{Y})^2}{n-2}$

La logique du test avec la statistique *t* est équivalente à celle développée avec le test *F*, reposant toujours sur le test de l'hypothèse nulle. Dans le cas présent, l'hypothèse nulle porte sur la valeur du coefficient de régression *a*. Le rapport *t* estimé à partir de la régression réalisée est donc confronté à la valeur critique de la statistique *t* issue de la loi de distribution de Student. Si la valeur observée du *t* est supérieure à la valeur critique et que la probabilité de l'obtenir est faible, alors le coefficient de régression est statistiquement fiable et significatif pour expliquer la variable observée *Y* ou les évolutions de cette variable.

Conjointement aux tests statistiques, il est utile de posséder une mesure synthétique de la qualité de l'ajustement obtenu. Une telle valeur a pour objectif d'exprimer le pouvoir explicatif de l'ajustement et autorise des comparaisons entre plusieurs ajustements.

C-2. Une mesure synthétique de la qualité de l'ajustement : le coefficient de détermination

L'indice le plus couramment employé pour donner une valeur à la qualité d'un ajustement linéaire est le coefficient de corrélation qui est défini comme un indicateur de la " proximité " entre les points du nuage et la droite de régression. Sa formulation est par définition :

$$r = \frac{\operatorname{cov}(X,Y)}{\sqrt{\operatorname{var}(X)}\sqrt{\operatorname{var}(Y)}} \qquad \text{[II-26a]}$$

$$r = \frac{\sum \left(X - \overline{X}\right)\left(Y - \overline{Y}\right)}{n\sqrt{\dfrac{\sum (X - \overline{X})^2}{n}}\sqrt{\dfrac{\sum (Y - \overline{Y})^2}{n}}} = \frac{\sum xy}{nS_x S_y} \qquad \text{[II-26b]}$$

avec n : nombre d'observations ; $x = X - \overline{X}$ et $y = Y - \overline{Y}$ et S_x , S_y : écart type de X , de Y

Le coefficient de corrélation varie entre -1 et +1. Sa valeur dépend du signe de la droite de régression, autrement dit du signe de la covariance.

En élevant au carré l'expression [II-26a], on obtient le coefficient de détermination, noté R^2, qui mesure la part de la somme des carrés des écarts de *Y* à la moyenne expliquée par la régression. Cet indicateur représente la proportion de la variabilité de Y expliquée par X, c'est-à-dire le rapport de la variance expliquée et de la variance totale :

$$R^2 = \frac{\sum\left(\hat{Y} - \bar{Y}\right)^2}{\sum\left(Y - \bar{Y}\right)^2} \qquad \text{[II-27a]}$$

$$R^2 = \frac{SCE}{SCT} = 1 - \frac{SCR}{SCT} \qquad \text{[II-27b]}$$

$$R^2 = \frac{(\sum xy)^2}{(\sum x)^2 (\sum y)^2} \qquad \text{[II-27c]}$$

Quand R^2 est voisin ou égal à 1, l'ajustement linéaire est bon, c'est-à-dire que l'écart résiduel (SCR) est bien plus faible que l'écart expliqué (SCE) et donc aussi que l'écart total entre les valeurs observées et la moyenne des valeurs observées (SCT). On peut donc souligner que l'ajustement linéaire fournit des estimations de meilleure qualité qu'un simple ajustement par la moyenne des observations. Dans le cas opposé où R^2 est voisin de 0, alors l'écart résiduel est proche de l'écart total (et supérieur à l'écart expliqué) et l'estimation par la régression n'apporte pas de meilleurs résultats que la valeur moyenne. Dans ce dernier cas, l'estimation à l'aide de la moyenne est alors préférée car elle évite d'une part des calculs plus complexes et d'autre part des estimations de qualité statistique non garantie par les tests statistiques usuels d'hypothèse (tests F et t). La régression est alors considérée comme de mauvaise qualité statistique et ne permet pas d'expliquer les valeurs de Y ou de développer des prévisions de Y.

Dans le cas de la régression multiple, la qualité de l'ajustement est donnée par un coefficient de détermination ajusté, $\hat{R}^2$, qui tient compte du nombre de variables explicatives :

$$\hat{R}^2 = R^2 - \frac{p-1}{N-p}(1 - R^2) \qquad \text{[II-28]}$$

avec p : nombre de variables explicatives et N : nombre d'observations

Le coefficient de détermination ajusté est nécessaire pour comparer la qualité de différents ajustements ne comportant pas le même nombre de variables explicatives.

La qualité de l'ajustement établi repose également sur d'autres tests et analyses. L'analyse des résidus a pour objectif de détecter certaines défaillances importantes du modèle, en particulier une mauvaise spécification ou l'existence de phénomènes d'autocorrélation.

C-3. L'analyse des résidus

L'analyse des résidus est une étape essentielle dans l'analyse de régression car elle permet de repérer d'une part si la spécification retenue est adaptée à la configuration du nuage de points et, d'autre part, si les résultats économétriques et les tests statistiques ne sont pas faussés, biaisés par l'existence d'autocorrélation entre les termes de la variable observée dans le cas de séries chronologiques. L'une des hypothèses de base du modèle linéaire est que les résidus ont une même variance et sont indépendants. De ce fait, leur distribution ne doit pas présenter de forme particulière.

L'analyse des résidus repose essentiellement sur l'observation de leur distribution dans un repère cartésien en fonction de trois facteurs principalement : les valeurs du régresseur *X*, les valeurs ajustées $\hat{Y}$, les valeurs des résidus précédents. Une distribution " normale " des résidus n'a pas de forme particulière, correspondant ainsi à une variance constante, et n'apporte donc pas d'information sur le modèle. Dans ce cas, les résidus correspondent à du " bruit pur ", ou " bruit blanc ", et sont considérés comme une erreur pure. En revanche, une forme particulière des résidus, soit en forme d'arc, soit avec une dispersion croissante soit encore avec des valeurs successivement positives ou négatives, dénote une spécification incorrecte et dans le dernier cas, l'existence d'autocorrélation. Cela signifie que le modèle établi n'a pas extrait toute l'information nécessaire avec les variables explicatives et la spécification retenues pour expliquer Y. Les erreurs ne sont pas seulement du bruit blanc, elles apportent une information supplémentaire qu'il est nécessaire de prendre en compte pour améliorer le pouvoir explicatif et la fiabilité statistique du modèle.

D'autres tests et analyses plus spécifiques peuvent également être menés à partir du moment où les précédents tests se sont avérés concluants : le repérage d'effets de colinéarité et d'hétéroscédasticité.

C-4. Le test de colinéarité des variables exogènes

La présence de colinéarité est repérée dans le cas des régressions multiples, entre les variables explicatives impliquées dans le modèle. Le modèle établi peut être entaché d'un effet de colinéarité[6] entre deux facteurs explicatifs ou de multicolinéarité entre plusieurs facteurs. La présence de colinéarité signifie que la covariance entre deux variables est très élevée, et donc qu'elles ne sont pas linéairement indépendantes. Le modèle ne respecte donc pas l'hypothèse structurelle du modèle linéaire selon laquelle les variables ne doivent pas être collinéaires c'est-à-dire être linéairement indépendantes.

La colinéarité se traduit par l'existence d'une relation linéaire affine entre deux variables X_2 et X_3 explicatives (Johnston, 1988), du type :

$$X_3 = c_1 + c_2 * X_2 \qquad \text{[II-29]}$$

Cette relation entre les variables explicatives interdit donc de donner une estimation du pouvoir explicatif propre à chacune d'entre elles. Le modèle initial de type

$$Y = \beta_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + u \qquad \text{[II-30]}$$

s'écrit du fait de colinéarité de la façon suivante :

$$Y = (\beta_1 + \beta_3 c_1) + (\beta_2 + \beta_3 c_2) X_2 + u \qquad \text{[II-31]}$$

D'après Johnston, il est possible d'estimer c_1 et c_2 ainsi que les deux coefficients de la régression (les deux parenthèses) mais il n'est pas possible d'estimer les trois paramètres β.

[6] Cf. JOHNSTON (1988), tome 1, p. 201.

Autrement dit, les coefficients de régression de ces variables explicatives ne peuvent être obtenus de façon indépendante, isolée (sans intégration des deux facteurs).

La présence de colinéarité peut donc affecter les tests de significativité (test *t* de Student) des deux variables explicatives du modèle. Toutefois, d'après Griffiths *et alii* (1997), une colinéarité non totale (inférieure à 0,95) n'affecte pas toujours les tests de signification statistique et ne remet pas en cause le modèle établi. L'existence de colinéarité n'altère pas non plus le modèle construit et les prévisions, si elle demeure identique en prévision à ce qu'elle était dans l'observation. Ce point renvoie au fait que des variables peuvent être logiquement corrélées du point de vue économique. C'est le cas par exemple d'inputs en travail et en capital dans des fonctions de production. Cependant, l'existence de colinéarité à un effet certain et important, celui de ne pas pouvoir distinguer très clairement le pouvoir explicatif individuel des variables présentant une colinéarité. Mais ce point ne pose pas de problème quand ces variables interviennent simultanément sur l'objet étudié ou sur son évolution.

C-5. La présence d'hétéroscédasticité

Il y a hétéroscédasticité pure lorsque les erreurs du modèle ont des variances non homogènes mais non corrélées (absence de multicolinéarité). L'hétéroscédasticité se rencontre surtout dans les données en coupe instantanée ou avec des données groupées, soit en groupes d'individus soit en zones spatiales, qui dans un cas comme dans l'autre peuvent présenter des caractéristiques très différentes (revenu moyen, taille économique ou géographique, ...).

L'étude complète de la qualité d'un modèle porte sur la détection puis la transformation le cas échéant de l'hétéroscédasticité trouvée. Celle-ci peut provenir soit des variables expliquées soit des variables explicatives.

Dans le cas d'un modèle linéaire :

$Y_t = \alpha + \beta\ X_t + u_t$ avec t= 1, ..., n (périodes de temps)

les erreurs u_t peuvent être hétéroscédastiques si les données sont des moyennes de groupes différents ou de zones spatiales différentes.

Il existe plusieurs tests de détection de l'hétéroscédasticité. Certains tests ne permettent d'en repérer que certaines formes et d'autres une large gamme de situations. Le test de l'égalité des variances (cf. Johnston, 1988) repère l'hétéroscédasticité provenant de données répétées et lorsque les erreurs suivent une loi normale, $u_t \approx N(0, \sigma_t^2\ I_{ni})$. Le test de Goldfeld-Quandt, application simple et valable pour des échantillons finis, s'utilise quand on pense qu'une variable explicative *X* est à la base de l'hétéroscédasticité. Le test de Breush-Pagan est un test très général permettant de repérer un grand nombre de cas d'hétéroscédasticité. C'est un test très simple qui repose sur les résidus des moindres carrés ordinaires (Johnston, 1988).

Nous ne développons pas davantage cette partie en raison du fait que nous ne rencontrons pas d'effets d'hétéroscédasticité dans le modèle.

La seconde méthode statistique utilisée dans le cadre de la construction du modèle est l'analyse des séries chronologiques.

II-2-2. L'analyse des séries chronologiques

La prévision par l'analyse chronologique consiste à comprendre la constitution d'une chronique. De façon générique, une série chronologique est définie comme " *une succession d'observations d'une même grandeur dans le temps* " (Vaté, 1993). La chronique est généralement considérée comme homogène, c'est-à-dire que les observations ont été relevées suivant une même méthode, sont exprimées suivant la même unité et traitées pour exprimer les mouvements réels (ex : déflation des intensités - prix).

Toutefois, des perturbations peuvent gêner la compréhension globale de la chronique. Ces perturbations sont des fluctuations temporelles accidentelles jugées comme des valeurs aberrantes. Seules des techniques empiriques et intuitives permettent d'identifier ses valeurs et de les traiter de façon à réduire ou supprimer leur impact sur la forme de la série chronologique et par conséquent sur les prévisions. Deux principaux procédés permettent de repérer puis de traiter ces valeurs (Vaté, 1993) :

- *Une connaissance des circonstances particulières qui en sont la cause (intempéries, accident, grève, ...) ou un jugement statistique reposant sur la rareté d'obtention de telles valeurs.*

- *Une élimination de ces valeurs soit en les supprimant de la série chronologique brute, sans traiter cette absence d'information comme une valeur nulle, soit en les remplaçant par une valeur " plausible " compte tenu des valeurs voisines, à l'aide de méthodes de lissage.*

En dehors d'éventuelles valeurs accidentelles, une série chronologique peut être stationnaire ou non stationnaire. Dans le premier cas, cela signifie que les caractéristiques statistiques de la chronique sont indépendantes du temps. Dans le second cas, elles ne le sont pas, il convient alors de tester l'hypothèse d'indépendance (équivalente à l'hypothèse nulle dans le cas des ajustements linéaires) afin de démontrer l'existence ou non de liaisons temporelles dans la chronique (tendance, autocorrélation, ...). Trois principales hypothèses alternatives existent face à celle d'indépendance : l'existence d'une tendance (trend), d'une autocorrélation des observations, d'une ou plusieurs périodicités (variations saisonnières, cycles). La connaissance d'une chronique passe donc par la décomposition de la série en ces différentes composantes. Dans le cadre d'une prévision, la démarche consiste à identifier chaque composante, à en estimer l'importance relative puis à réaliser la prévision à l'aide des observations passées et de la (des) composante(s) selon leur importance. Plusieurs méthodes de décomposition et de prévision d'une chronique sont employées : la régression multiple, le rapport à la moyenne mobile et le lissage exponentiel.

A. La décomposition et la prévision par régression multiple

Des trois composantes, la tendance est généralement l'élément le plus important. Sa forme varie (linéaire, exponentielle, ...) mais reste assez facile à identifier et à formaliser à l'aide des techniques traditionnelles d'ajustement.

La composante saisonnière est présente plus particulièrement pour des séries à périodicité courte (hebdomadaire, mensuelle, trimestrielle). Cette composante est traitée avec les outils classiques d'ajustement (régression linéaire) en exprimant les observations de la composante saisonnière par une variable muette.

Enfin, l'autocorrélation des résidus est courante dans le cas des séries chronologiques. La présence d'autocorrélation sérielle signifie que les résidus d'une période sont fortement dépendants des résidus des périodes précédentes (de la période précédente pour une autocorrélation d'ordre 1) et plus globalement les termes de la série, les valeurs de la variable expliquée *Y*, présentent une autocorrélation dans le temps.

Son repérage se fait à l'aide de tests statistiques classiques (test des groupes, test de Durbin-Watson) et son traitement fait intervenir les résidus à chaque période en les liant par un modèle autorégressif simple de forme linéaire :

$$e_t = \rho e_{t-1} + v_t \qquad \text{[II-32]}$$

avec ρ, degré de corrélation des termes de la série.

Le paramètre ρ , inférieur à 1, est estimé par une valeur approchée, *r*, calculée à l'aide de la méthode des moindres carrés ordinaires appliquée aux résidus estimés, $\hat{e}_t$, ceux-ci étant calculés comme la différence entre la valeur ajustée de l'observation $\hat{Y}_t$ et la valeur effectivement observée, Y_t , soit :

$$\hat{e}_t = Y_t - \hat{Y}_t \qquad \text{[II-33]}$$

Le test utilisé pour repérer les effets d'autocorrélation sérielle est le calcul de la statistique de Durbin-Watson (cf. Wonnacott, 1991).

Dans un premier temps, et dans la majorité des cas, on cherche à tester l'autocorrélation d'ordre 1 définie par l'équation suivante, qui fait dépendre le résidu de la période *t* du résidu de la période *t-1* :

$$\hat{e}_t = r * \hat{e}_{t-1} \qquad \text{[II-34]}$$

L'estimation du degré de corrélation est donnée par le coefficient *r*. Celui-ci s'avère également être le coefficient de corrélation entre les résidus décalés $\hat{e}_t$ et $\hat{e}_{t-1}$.

La formule du coefficient d'autocorrélation sur les résidus, qui sont des variables centrées (moyenne nulle), est la suivante :

$$r = \frac{\sum_{t=2}^{n} \hat{e}_{t-1}\hat{e}_t}{\sum_{t=2}^{n} \hat{e}_{t-1}} \qquad \text{[II-35]}$$

Du fait d'un décalage temporel, le calcul débute à partir de la période t=2.

Le test d'autocorrélation de Durbin-Watson a pour objectif de montrer si *r* est significativement différent de 0 et de ce fait si l'autocorrélation entre les termes est significative du point de vue statistique. Deux types d'autocorrélation sérielle existent. L'autocorrélation est positive quand les valeurs des résidus estimés ont tendance à se renforcer (des valeurs négatives sont davantage suivies par d'autres valeurs négatives que positives par exemple). L'autocorrélation négative présente une succession de signes opposés pour les résidus (alternance de valeurs positives et négatives).

La statistique de Durbin-Watson est utilisée pour tester l'hypothèse nulle selon laquelle le coefficient de corrélation, ρ, est égal à 0 et qu'il y a alors absence d'autocorrélation.

Test : H_0 : ρ =0, contre H_1 : ρ > 0 au seuil de 5% (α = 0,05, probabilité de la queue de distribution).

$$DW \equiv \frac{\sum_{t=2}^{n}(\hat{e}_t - \hat{e}_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^{n}\hat{e}_t^2} \qquad \text{[II-36]}$$

Si les résidus sont corrélés, les résidus de la période *t* auront tendance à avoir des valeurs proches de celles des résidus de la période précédente *t-1*. Dans ce cas, la statistique DW aura donc une valeur faible. De faibles valeurs de DW définissent une région pour laquelle on admet que les termes de la série chronologiques sont corrélés. Dans ce cas, l'hypothèse nulle est rejetée. Les régions d'autocorrélation sont définies à l'aide de valeurs critiques de la statistique DW. Ces valeurs sont repérées dans la table de probabilité des valeurs critiques du test d'autocorrélation, qui repose sur la taille de l'échantillon et le nombre de régresseurs.

Si la valeur DW observée est inférieure à la valeur critique inférieure (D_L), l'hypothèse nulle H_0 est rejetée. Si elle est supérieure à la valeur critique supérieure (D_U) , alors l'hypothèse nulle H_0 ne peut être rejetée, il y a autocorrélation. Enfin, si la valeur DW se trouve entre D_L et D_U, le test ne permet pas de conclure, le résultat est incertain. Pour tester une autocorrélation négative, la méthode est similaire en considérant la queue de distribution située à droite et les deux valeurs critiques suivantes : 4- D_U et 4- D_L.

ρ>0	doute	autocorrélation	autocorrélation	doute	*ρ<0*

0 D_L D_U 0 4-D_U 4-D_L 4

En résumé, la décomposition des trois composantes d'une série chronologique se fait en trois temps : détermination du trend par ajustement linéaire simple à l'aide de la méthode des moindres carrés, estimation de la composante saisonnière exprimée par des variables muettes à l'aide d'une régression multiple et expression de l'autocorrélation des résidus par un modèle autorégressif des résidus d'ordre *k*. Selon cette méthode, la prévision repose sur une estimation du trend, de la composante saisonnière et de l'autocorrélation des termes à l'aide d'un modèle de régression linéaire multiple.

B. Le rapport à la moyenne mobile

Dans cette méthode, la série chronologique est composée de 4 éléments : tendance, mouvement saisonnier, mouvement cyclique et aléa. Le mouvement cyclique et l'aléa sont deux parties du résidu. La méthode consiste à séparer les composantes en deux catégories : tendance et mouvement cyclique, déterminés par la moyenne mobile, et mouvement saisonnier et aléa, déterminés par le rapport à la moyenne mobile. Les tests statistiques de tendance, d'autocorrélation et de périodicité accompagnent l'analyse. De nombreux tests existent : le test des différences positives, des rangs de

Spearman pour l'effet tendance, les tests des groupes, des points de retournement pour l'effet d'autocorrélation et le test Fisher sur le périodogramme de Schuster pour la périodicité[7]. Toutefois, d'autres éléments peuvent être utilisés comme le test de Durbin-Watson pour l'autocorrélation et l'observation de la chronique qui apporte aussi beaucoup d'informations sur les principales composantes.

La première phase consiste à filtrer la série avec un lissage par moyenne mobile. La série obtenue ne comprend plus que deux composantes : le trend et un mouvement cyclique (vagues). Le trend est alors isolé par l'estimation d'une droite d'ajustement avec la méthode des moindres carrés ordinaires. Les deux autres composants, mouvement saisonnier et aléa, peuvent être obtenus par la différence ou par le rapport entre la série observée et la moyenne mobile. La seconde option est généralement adoptée. Ce rapport identifie la composante saisonnière par la superposition des tranches périodiques en faisant ressortir les mouvements saisonniers. S'il n'y a pas de mouvement saisonnier, l'aléa est obtenu directement.

C. Le lissage exponentiel

Cette méthode repose globalement sur l'utilisation de modèles autorégressifs qui définissent une observation comme une combinaison linéaire multiple de ses valeurs passées. La particularité du modèle est d'avoir des coefficients de régression pondérés de façon décroissante et exponentielle. Ainsi, le principe est de faire intervenir d'autant plus les valeurs les plus proches dans le temps de la valeur observée et d'autant moins les valeurs les plus éloignées.

Finalement, le modèle se réduit à une forme simple où les observations au temps *t* sont fonction d'une moyenne pondérée des observations de l'année précédente et de leurs estimations :

$$\hat{Y}_t = (1-\lambda) * Y_t + \lambda \hat{Y}_{t-1} \qquad \text{[II-37]}$$

avec λ estimé par les moindres carrés.

Les composantes sont estimées en utilisant principalement le lissage exponentiel, puis sont additionnées pour obtenir une estimation de la série chronologique globale. Cette prévision est dite de Holt-Winters. La méthode Box-Jenkins de prévision est un dérivé du lissage exponentiel. L'ajustement est moins contraint mais il considère en revanche l'ensemble des paramètres d'un long modèle autorégressif non contraint.[8]

[7] Ces tests sont explicités et empiriquement appliqués dans VATE (1993).

[8] Cf. VATE (1993), KENNEDY (1992), GRIFFITHS et alii (1997).

Section III.

La problématique centrale de la modélisation spatiale du fret dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional

La conception et la mise en œuvre d'une politique globale des transports, dépassant l'approche sectorielle traditionnelle par l'intégration des différents segments de demande de transport, (voyageurs et marchandises en interurbain et en urbain) nécessitent une connaissance approfondie des relations structurelles à l'œuvre dans la formation et l'évolution des différents trafics mais aussi entre le système de transport et les systèmes de production et de localisation des activités. Le rôle non négligeable du transport de marchandises dans le fonctionnement de l'activité économique nationale, en tant qu'élément-clé du développement des aires de marché et d'une couverture spatiale des territoires plus grande et économiquement plus efficace (distribution par des réseaux de plates-formes logistiques de groupage-dégroupage, organisation en hub-and-spoke, logistique des flux tendus ou en juste-à-temps, …) a fait l'objet d'une prise de conscience récente de plus en plus marquée. Les effets externes négatifs du transport de marchandises sur l'environnement naturel mais aussi sur le cadre de vie, en milieu urbain comme en milieu rural, avec notamment les effets de coupure occasionnés par les axes autoroutiers ou la hausse du degré de gravité lors d'accidents impliquant un poids lourd, constituent une autre catégorie de raisons qui génère un intérêt croissant à l'égard du transport de marchandises et de son évolution.

Les interrelations entre le système productif, le système d'organisation spatiale des localisations et le système des transports, exposées en section I, complexifient les prises de décision dans le cadre de la planification à long terme des infrastructures de transport dédiées en partie ou exclusivement au transport de marchandises. Les caractéristiques fondamentales du secteur du transport de marchandises et de son évolution sont moins bien connues par les autorités publiques que celles relatives au transport de personnes. Face aux besoins de compréhension et de prévision de la circulation des marchandises à travers le territoire, l'optique de la modélisation spatiale appliquée des transports de marchandises se présente comme une démarche intéressante au moins à deux points de vue. Le premier est que la construction d'un modèle spatial opérationnel de simulation du fret constitue un outil pouvant être utilisé par différents acteurs économiques ou politiques en tant qu'outil d'aide à la décision en politique des transports par la fourniture de simulations de trafic selon divers scénarios contrastés. Le second est que l'optique de la modélisation appliquée distingue deux types de variables affectant le transport de marchandises : celles sur lesquelles il est possible d'avoir une action à moyen et long terme, comme la réglementation des transports, et celles sur lesquelles il est difficile d'agir, comme la croissance économique, mais dont l'impact est incontournable sur l'évolution des transports et de ce fait avec lesquelles il est indispensable d'envisager les évolutions à venir.

Ainsi, l'élaboration mais aussi l'évaluation économique de projets d'infrastructures, ou des schémas de services en transport à une échelle plus globale, ont nécessairement besoin de prévisions de trafic à moyen ou long terme du fait principalement que l'estimation quantitative du trafic demeure un élément fondamental dans les décisions d'exploitation comme d'investissement.

Si l'estimation de la demande de transport est nécessaire pour mener à bien une politique de transport, la compréhension des outils de modélisation à la base des modèles de prévision ou de simulation utilisés est aussi importante afin de bien interpréter et utiliser les résultats de simulation dans la prise de décision.

Dans un tel contexte, l'optique de la modélisation a été retenue dans le but de comprendre, expliciter et formaliser les mécanismes de formation et d'évolution des transports de marchandises et surtout la répartition spatiale de ces trafics à travers le territoire français. La construction du modèle consiste à représenter une part de la réalité (Bonnafous, 1989) à partir d'un corps d'hypothèses fondé sur l'observation et l'analyse descriptive des relations à l'œuvre dans le domaine des flux spatialisés de marchandises et grâce à des outils de modélisation appropriés à la problématique.

Le modèle développé repose sur des choix d'hypothèses de construction et des choix méthodologiques qui, à l'instar de chaque modèle, en font un outil spécifique qui comporte ses propres atouts et limites. Ce point relatif à la spécificité de chaque modèle de transport souligné par Bart Jourquin est essentiel car il met en avant la multiplicité des approches de modélisation des transports de marchandises en lien direct avec la complexité d'une telle modélisation mais aussi en relation avec les objectifs assignés à l'outil, soit d'explication d'un problème spécifique, soit de simulation de tendances globales, etc. Bart Jourquin montre bien cette complexité à travers un état de l'art des modèles de transport de marchandises (Jourquin, 1996).

Le modèle QuinQuin Fret Multirégional est un modèle d'une part, agrégé et macroscopique traitant de quantités moyennes de transport et non de flux individualisés sur un réseau précis, et d'autre part " spatialisé " c'est-à-dire distinguant des origines et des destinations aux flux de marchandises. Le caractère spatialisé du modèle fait qu'il tient compte d'un espace d'action hétérogène composé de différents lieux ayant des caractéristiques socio-économiques et spatiales propres. Enfin, c'est un modèle de simulation du fait que les sorties finales du modèle sont fonctions de liaisons de causalité formalisées permettant de mettre en jeu des hypothèses contrastées sur les variables de sensibilité ou de commande. Le modèle comprend toutefois des éléments de prévision dans le sens où certaines variables intermédiaires sont liées à des prolongements de tendances isolées par une analyse de séries chronologiques.

Le modèle QuinQuin Fret Multirégional permet sous différentes hypothèses de croissance économique et d'aménagement du territoire d'envisager des évolutions possibles des volumes intrarégionaux et interrégionaux de marchandises et de la distribution spatiale de ces volumes entre les différentes régions françaises à un horizon de long terme.

III-1. La problématique du modèle QuinQuin Fret Multirégional

L'élaboration d'un modèle de simulation des transports s'effectue dans le cadre précis fondé sur trois éléments fondamentaux : l'objet d'étude, l'objectif d'un modèle de simulation et la problématique générale de la recherche. La construction d'un modèle spatial du transport de marchandises porte logiquement sur des flux, des volumes ou des trafics, qui se répartissent à travers un espace géographique et économique défini. L'objet d'étude, " *la part de la réalité que le*

modèle s'efforce de représenter " (Bonnafous, 1989), sur lequel et avec lequel le modèle QuinQuin Fret Multirégional est élaboré, est le transport national de marchandises " spatialisé ".

Cette " spatialisation " est effectuée à l'aide d'un découpage régional de l'espace national, autrement dit l'objet d'étude se divise entre les flux interrégionaux et les flux intrarégionaux de marchandises réalisés avec les différents modes de transport terrestres, pour l'ensemble des catégories de marchandises, et exprimés en tonnes transportées et en tonnes-kilomètres parcourues.

L'objectif central du modèle est de fournir des simulations à long terme des transports de marchandises à l'intérieur et entre les différentes régions françaises sous des hypothèses contrastées de croissance économique et d'aménagement du territoire, tout en apportant une meilleure compréhension de l'objet étudié par la formalisation des mécanismes fondamentaux de sa formation et de son évolution.

La problématique générale de ce travail de recherche peut s'exprimer par la question suivante : quels sont les facteurs explicatifs, les mécanismes ou les tendances lourdes à l'œuvre dans la formation et dans l'évolution à long terme des volumes de marchandises transportés sur le territoire national, dans la répartition géographique de ces volumes en différents lieux du territoire, et dans la distribution spatiale des flux d'échange entre lieux d'origine et de destination ?

Cette question se décline selon deux dimensions temporelles. Elle se pose en statique dans un premier temps, avec la recherche des facteurs déterminants des différentiels de volumes de fret générés par les différentes régions au cours d'une année donnée d'une part, et de la structure spatiale des échanges interrégionaux d'autre part. Elle s'inscrit ensuite dans un second temps en dynamique, c'est-à-dire dans une optique de long terme, pour expliciter et formaliser les variations temporelles du fret mais aussi l'évolution de la structure spatiale des échanges.

Cette problématique générale de nature économique intègre également une dimension méthodologique propre à la construction d'un modèle de simulation en économie des transports. La dimension méthodologique de la problématique s'intéresse à l'opérationnalité du modèle qui est déterminée selon Alain Bonnafous (1989) par trois conditions contradictoires : la cohérence, la pertinence et la mesurabilité.

La condition de cohérence du modèle se scinde entre une cohérence interne et une cohérence par rapport à l'objectif du modèle. La cohérence interne renvoie au respect des règles de logique mathématique dans le cas d'un modèle quantitatif. La cohérence d'objectif fait référence à la construction mathématique du modèle qui doit intégrer un nombre d'équations et de facteurs explicatifs suffisants pour rendre compte des mécanismes permettant d'atteindre les objectifs du modèle. La condition de pertinence du modèle concerne la conformité ou l'adéquation du modèle à l'objet étudié par un travail de précision de la qualité de l'approximation réalisée à l'aide d'une représentation formalisée que constitue le modèle. Enfin, pour mesurer la qualité de l'approximation, autrement dit évaluer la pertinence du modèle, le recours à des données statistiques se présente comme la solution la plus courante. Cette condition est celle de la mesurabilité. Elle consiste à fournir une estimation chiffrée des variables et des paramètres décrivant les relations structurelles entre les facteurs explicatifs et l'objet étudié.

L'opérationnalité du modèle repose sur le respect de ces trois conditions autant que possible, c'est-à-dire en faisant face aux difficultés dues aux contradictions existant entre les trois conditions. L'une des difficultés dans le cadre d'un modèle appliqué de transport apparaît notamment entre la cohérence et la mesurabilité du modèle, autrement dit entre la structure théorique du modèle et l'estimation numérique des paramètres des équations à l'aide de données statistiques. Le problème tient souvent à la rareté d'informations disponibles et statistiquement fiables. Les solutions proposées par Alain Bonnafous face à ces contradictions consistent, soit à réduire l'objet ou l'objectif du modèle, soit à procéder à des innovations méthodologiques en transformant, en enrichissant ou en mettant au point de nouvelles méthodes et outils statistiques d'analyse et de modélisation.

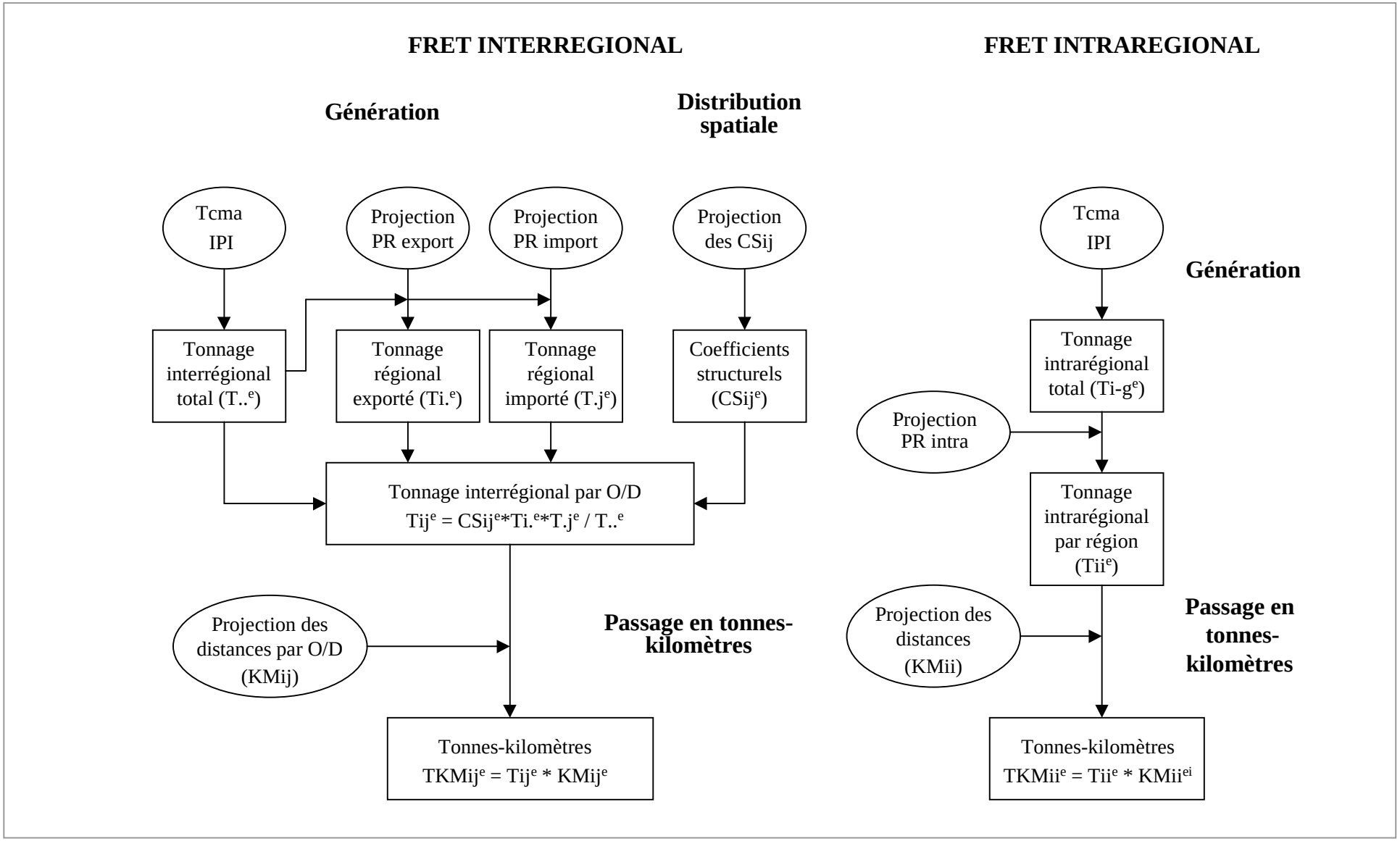
Les choix méthodologiques exposés précédemment et les équations structurelles du modèle décrites dans la partie modélisation (cf. chapitre V) tiennent compte de ces différentes conditions et de leur contradiction, en particulier de celle opposant cohérence et mesurabilité.

III-2. L'architecture générale du modèle

Le modèle QuinQuin Fret Multirégional présente une architecture double, c'est-à-dire est composé de deux sous-modèles distincts relatifs chacun à une échelle géographique de transport : l'échelle interrégionale et l'échelle intrarégionale (cf. schéma III-1). Chaque sous-modèle offre une architecture particulière faisant intervenir les mêmes méthodes, dans le cas de la génération des volumes transportés et de la répartition entre les régions émettrices et réceptrices. Le modèle de fret interrégional se distingue par un module de distribution spatiale et par le recours à la méthode des coefficients structurels.

La description plus approfondie du modèle QuinQuin Fret Multirégional sera développée ultérieurement dans la partie modélisation. Auparavant nous exposons la donne statistique à partir de laquelle les relations structurelles du modèle ont pu être calibrées et la mesurabilité du modèle réalisée.

Schéma III-1. Architecture du modèle QuinQuin Fret Multirégional



Conclusion

Chapitre I

Les travaux théoriques et empiriques existant sur l'échange et sur la modélisation des transports de marchandises mettent en évidence la difficulté d'intégrer l'espace dans l'analyse économique ainsi que dans les relations formalisées constitutives d'un modèle. La difficulté est donc présente aussi dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional. L'espace est considéré comme le système d'ensemble des interactions spatiales, celles-ci étant matérialisées par les flux de transport de marchandises. L'espace national est structuré géographiquement par un découpage régional. Ce découpage a été retenu pour des questions de disponibilité et de fiabilité statistiques des données de transport et des données économiques.

La conception théorique des mécanismes d'échange de biens repose sur une articulation triangulaire entre le système de production, le système des localisations et le système de transport. Deux relations constituent les fondements du modèle, la relation " Production-Transport " et la relation " Espace-Transport ". La première fait référence aux impacts de l'activité productive sur les volumes de marchandises transportés et la seconde s'intéresse aux conséquences de la structuration de l'espace par les activités économiques et les infrastructures sur la distribution spatiale du fret.

Face à la problématique de détermination des facteurs explicatifs de l'évolution à long terme des volumes de marchandises transportés et de leur distribution spatiale, la méthode d'analyse et de modélisation choisie est la méthode des coefficients structurels. Cette méthode propose une démarche novatrice qui consiste à séparer dans le fret chargé deux dimensions. La première dite " conjoncturelle " renvoie à la génération du fret et à la relation " Production-Transport ". La seconde dite " structurelle " fait référence à la distribution spatiale du fret et à la relation " Espace-Transport ", et a recours à l'estimation d'un sous-module de coefficients structurels exprimant la structure spatiale des flux par comparaison à une situation théorique de distribution spatiale du fret interrégional fondée sur une hypothèse d'indépendance économique et géographique des zones d'échange.

Chapitre II

La donne

La présentation de la donne du modèle QuinQuin Fret Multirégional est déclinée en trois sections. La section IV est consacrée aux diverses modalités de la base de données des statistiques de transport utilisées, la base de données SITRAM. Ce système d'information statistique a l'avantage de fournir des séries chronologiques longues et homogènes. Celles-ci autorisent alors la construction d'un modèle de simulation à partir de l'analyse de séries chronologiques et de corrélations entre les variations annuelles de deux ou plusieurs variables. Ce système est également riche d'informations sur les caractéristiques des transports de marchandises du point de vue de la nature de la marchandise, du mode de transport, des distances en charge parcourues ou des origines et destinations des flux.

La section V présente un panorama de la structure socio-économique de l'espace national à travers ces différentes composantes régionales et à l'aide d'indicateurs statistiques agrégés nationaux ou régionaux. Différents indices et mesures sont exploités, tels que des indices de disparité spatiale et de spécialisation et des indicateurs socio-économiques régionaux (valeur ajoutée brute régionale, population, etc.).

La section VI se rapporte aux variables exprimant la structuration spatiale de l'espace national. Ces variables se divisent entre des indicateurs de distance-longueur interrégionale et de proximité spatiale.

Section IV.

La donne statistique du potentiel transportable

Le transport de marchandises qui constitue l'objet d'étude de cette recherche et dont les estimations chiffrées sont utilisées pour les analyses descriptives et pour la mesurabilité du modèle est exprimé selon deux unités : le tonnage transporté et le tonnage-kilométrique réalisé. Ce potentiel de transport estimé à l'aide de statistiques disponibles regroupe l'ensemble des transports nationaux réalisés sur le territoire français (métropole + Corse) selon les trois modes de transport terrestres : fer, route et fluvial. Le transport national est défini comme le transport dont l'origine et la destination sont situées sur le territoire français.

L'estimation statistique des transports de marchandises considérés dans la thèse et dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional est précisée dans cette section ainsi que les limites d'analyse de l'organisation fonctionnelle et spatiale du transport de marchandises national tel qu'il est défini.

IV-1. L'estimation statistique du transport national de marchandises

Le transport national de marchandises, distingué spatialement entre le transport interrégional et le transport intrarégional, est estimé statistiquement à l'aide de données de la banque de données S.I.TRA.M : Système d'Information sur les TRAnsports de Marchandises (OEST, 1994, 1995a). Cette base de données a été mise en place au début des années 70 et est gérée par l'Observatoire Economique et Statistique des Transports (O.E.S.T.) depuis 1985, devenu en 1996 le Service Economique et Statistique (S.E.S.), service qui dépend du Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et du Tourisme (M.E.L.T.T.).

IV-1-1. Description générale de la base de données S.I.TRA.M.

La banque de données S.I.TRA.M. effectue une centralisation et une harmonisation des statistiques de transport relatives à chaque mode de transport et établies par des organismes différents. Les statistiques du transport ferroviaire sont fournies par la Société Nationale des Chemins de Fer (S.N.C.F.), celles du transport fluvial par l'Office National de la Navigation (O.N.F.) jusqu'en 1991 et Voies Navigables de France (V.N.F.) depuis, et celles du transport routier sont issues d'une enquête, l'enquête Transport Routier de Marchandises (T.R.M.) réalisée initialement par l'I.N.S.E.E. puis par l'O.E.S.T. (S.E.S.). Les données S.I.TRA.M. concernent d'une part le transport national[1], mesuré en tonnes transportées et en tonnes-kilomètres réalisées selon les trois modes terrestres et d'autre part le transport international, également mesuré en tonnes et en valeur, et effectué par les trois modes terrestres de transport ainsi que par les voies maritime et aérienne et par oléoduc. Les fichiers S.I.TRA.M. relatifs au transport national sont

[1] Le trafic national désigne les transports dont l'origine et la destination sont situées en France. Par opposition, le transport intérieur concerne la partie du transport s'effectuant sur le territoire métropolitain même si l'origine et/ou la destination sont extérieures.

issus des fichiers TRM, SNCF et VNF et dénommés fichiers “ Transports ” par opposition aux fichiers “ Douanes ” traitant du trafic international estimé à l’aide d’informations fournies par les services des douanes.

La centralisation et l’harmonisation d’informations relatives à différents modes de transport en une seule base de données présente l’avantage fondamental de disposer de séries homogènes de transport, de séries chronologiques sur une période relativement longue, depuis 1971 pour les données globales du trafic national et depuis 1975 pour les données spatialisées selon un découpage régional ou départemental. L’harmonisation des séries porte notamment sur la classification des marchandises par catégorie de produits. La classification appliquée est la Nomenclature Statistique des Transports (N.S.T.), nomenclature de l’Union Européenne mise en place en 1970 et utilisée notamment dans les directives européennes qui fixent le mode d’élaboration des statistiques communes aux pays de l’Union. La Nomenclature N.S.T. repère la nature des marchandises selon différents niveaux de postes. Le premier niveau, le plus général, porte sur 9 chapitres, le second niveau sur 19 sections, le troisième sur 52 groupes et enfin le plus fin sur 177 positions (cf. annexe IV-1). Ainsi le S.E.S. effectue notamment une transposition des Secteurs d’Appartenance et Groupes d’Appartenance (S.A.GR.A.) qui codifient les marchandises en transport ferroviaire.

Les données statistiques de transport de la base S.I.TRA.M. sont détaillées selon diverses modalités. Globalement, c’est-à-dire en considérant les trafics effectués tous modes de transport confondus, les variables disponibles dans les fichiers transports portent sur la marchandise (nature selon les postes N.S.T., tonnage par catégorie de produit), sur les origines et destinations en France (régions ou départements de chargement et de déchargement de la marchandise[2]), et sur les distances (distances en charge, tonnes-kilomètres parcourues par catégorie de produit). La tonne est le poids brut de la marchandise transportée, à savoir le poids total des marchandises et des emballages. La tonne-kilomètre correspond au déplacement d’une tonne de marchandises sur un kilomètre. Les tonnes-kilomètres sont donc calculées par le produit des tonnes transportées et des kilomètres en charge parcourus par catégorie de produit. Au sein des fichiers relatifs à chaque mode de transport, les informations sont plus nombreuses et plus approfondies.

[2] Les codes et intitulés des régions françaises considérées dans la base de données S.I.TRA.M. sont présentés en annexe IV-2. Les régions sont au nombre de 21 du fait que la région Corse est regroupée avec la région Provence-Alpes-Côte-d’Azur.

IV-1-2. L'estimation du potentiel transport pour chaque mode de transport

Pour le trafic national et de surcroît les trafics interrégionaux et intrarégionaux, les données statistiques sont issues de trois sources mono-modales de transport : l'enquête T.R.M. pour le transport routier, les statistiques SNCF et les statistiques VNF.

A. L'enquête T.R.M.

L'enquête T.R.M. mise en œuvre et exploitée par les services du S.E.S. est appelée aussi enquête sur l'utilisation des véhicules de transport routier de marchandises (OEST, 1992 ; 1995b) du fait que la méthode d'enquête suit le véhicule et non la marchandise.

A-1. Le champ de l'enquête

Cette enquête consiste en un sondage aléatoire stratifié sur un échantillon de véhicules routiers porteurs (camions, remorques et semi-remorques) immatriculés en France, de moins de 15 ans d'âge et d'au moins 3 tonnes de charge utile.

Les véhicules non immatriculés dans les séries normales (véhicules militaires, …), les tracteurs, les véhicules utilitaires à usages spéciaux (des travaux publics, d'incendie, …), les véhicules des forains ou encore les véhicules circulant exclusivement à l'intérieur des chantiers ne sont pas pris en compte dans l'enquête. Les véhicules hors service, c'est-à-dire détruits, hors d'usage, introuvables ou en déclaration d'achat par un professionnel de l'automobile sont également exclus. Les trafics réalisés par les convois exceptionnels sont comptabilisés ainsi que les trafics " rail-route " et " mer-route " pour leur seule partie route. Le trafic international est pris en compte dans l'enquête T.R.M. et est inséré pour certaines parties dans le transport national. En effet, les pré- et post-acheminements routiers relatifs au transport " rail-route " ou " mer-route " sont comptabilisés dans le transport national.

La restriction sur l'âge du véhicule tient au fait que le fichier central des immatriculations surestime le parc des véhicules de plus de 15 ans d'âge. Ainsi, l'O.E.S.T. estimait en 1994 que les véhicules, de plus de 10 ans d'âge et de plus d'une tonne de charge utile, détruits ou hors d'usage, représentaient 50% des camions, 32% des remorques et 28% des semi-remorques (O.E.S.T., 1995d).

Les véhicules de moins de 3 tonnes de charge utile sont exclus de l'enquête T.R.M. depuis 1975 et font l'objet depuis 1982 d'une enquête spécifique (D.S.T., 1983 ; O.E.S.T., 1986, 1995c).

A-2. La méthode d'échantillonnage et la prise en compte des modifications de l'enquête

L'échantillon des véhicules enquêtés annuellement est issu du Fichier Central des Automobiles. L'enquête porte sur l'utilisation du véhicule au cours d'une semaine de référence. L'enquête est permanente afin de tenir compte des variations saisonnières. Les semaines de référence s'étendent donc sur toute l'année.

La taille de l'échantillon (O.E.S.T., 1995b) s'accroît au fil des années. Elle représentait 1/9ème de la population des véhicules concernés par le champ de l'enquête en 1991 (67 000 véhicules/573 000). En 1994, l'échantillon représente 1/5ème de la population totale avec 101 000 véhicules enquêtés sur un total de 536 000. Le taux de sondage est globalement passé de 2°/∘∘ en 1991 à 4°/∘∘ en 1994 (le taux de sondage repose sur la proportion de véhicules enquêtés et la proportion de semaine d'enquête soit pour l'année 1994, 1/5*1/52 = 4°/∘∘[3]). Le sondage repose sur une division en strate du parc de véhicules pour limiter les erreurs d'échantillonnage (classes de charge utile croisées avec les types de carrosserie distingués par période de mise en circulation (O.E.S.T., 1995b, p.120).

L'erreur d'échantillonnage est établie pour 1991 à +/- 3% sur les tonnes transportées et +/- 2% sur les tonnes-kilomètres. Une meilleure qualité des résultats a pu être obtenue grâce à un accroissement de la taille de l'échantillon au fil des années.

La prise en compte des non-réponses en vigueur depuis 1983 est effectuée grâce à un redressement par interpolation linéaire des résultats, à partir des comportements estimés des non-répondants. Jusqu'en 1982, les véhicules ayant fait l'objet de non-réponses étaient considérés comme hors service.

Diverses modifications ont été apportées à l'enquête T.R.M. depuis sa mise en œuvre initiale. Nous en avons soulignées quelques unes précédemment telles que la mise à l'écart des véhicules de plus de 15 ans d'âge et de moins de 3 tonnes de charge utile en 1975 ou la prise en compte des non-réponses depuis 1983. Nous soulignons également l'intégration du transport pour compte propre en 1973 et une modification de la définition du régime juridique du transport en 1989. En effet, depuis cette date, les entreprises dont l'activité principale n'est pas le transport et qui effectuent un transport pour compte d'autrui sont classées en compte d'autrui alors qu'elles étaient comptabilisées en compte propre auparavant. Enfin, les trafics " rail-route " et " mer-route " sont repérés et peuvent être isolés dans les statistiques à partir de 1991.

Face à ces différentes modifications sur la période globale, les séries chronologiques des statistiques de transport de la base S.I.TRA.M. sont rétropolées afin de fournir une série homogène sur l'ensemble de la période et statistiquement fiable pour être utilisée dans un cadre de modélisation et de prévision. Les séries rétropolées sont fournies sous format informatique par les services du S.E.S. exploitant la base de données S.I.TRA.M..

D'autres modifications plus récentes ont encore été apportées à l'enquête T.R.M. et changent profondément le champ de l'enquête depuis 1996. Deux modifications importantes sont intervenues en 1996 (D.A.E.I. - S.E.S., 1998). La première porte sur l'unité statistique à partir de laquelle se fait l'enquête. Jusqu'en 1995, il s'agissait des véhicules porteurs (camions, remorques et semi-remorques), à partir de 1996, se sont les véhicules à moteur qui sont considérés (camions et tracteurs routiers) pour des raisons de conformité aux directives européennes. La seconde modification tient à la méthodologie de redressement des non-réponses.

Ces modifications ont des conséquences très importantes, la principale du point de vue de l'analyse chronologique du transport de marchandises est la rupture occasionnée dans les séries par

[3] Dans la strate la moins sondée, le taux est de 1°/∘∘ et dans la strate la plus sondée de 6°/∘∘.

rapport aux années précédentes. Ces modifications ont eu pour conséquence sur les estimations un relèvement de 16% des tonnes transportées et de 20% des tonnes-kilomètres (part importante issue de la nouvelle méthode d'intégration des non-réponses). Les séries chronologiques ont fait l'objet de rétropolation seulement entre 1990 et 1995.

Toutefois, ces dernières modifications n'interviennent pas dans le cadre de notre travail, car la période temporelle que nous avons prise en compte se termine en 1994. Cette année se présentait comme la dernière année disponible dans la base de données quand nous avons débuté la thèse et surtout la construction du modèle.

A-3. Les variables disponibles dans l'enquête TRM

L'enquête TRM fournit un nombre important de variables caractérisant le transport routier de marchandises. Concernant la marchandise, le tonnage est bien entendu renseigné, la nature de la marchandise, repérée par les postes N.S.T., ainsi que le nombre de trajets, la catégorie de parcours et le conditionnement. La distribution spatiale du transport est renseignée par les origines et les destinations (lieux de chargement et de déchargement, en région ou en département) en France pour le transport national et à l'étranger, par groupe de pays, pour le transport international. Au sujet des distances de transport, les variables portent sur les tonnes-kilomètres, la distance en charge d'un trajet simple ou la distance totale et à vide du véhicule. D'autres variables sont également fournies sur le type de véhicules ou sur le régime juridique (cf. annexe IV-3).

B. Les statistiques du transport ferroviaire

Les transports ferroviaires de marchandises enregistrés dans la base S.I.TRA.M. sont les transports réalisés par wagon complet en compte d'autrui par la S.N.C.F. et par Novatrans ou la Compagnie Nouvelle des Conteneurs (C.N.C.) pour le transport combiné. Les wagons complets peuvent concerner les trains complets, les wagons isolés mais aussi le transport combiné. Les trafics de wagons vides, le transport d'armes, le matériel militaire sont exclus de ces statistiques ainsi que le trafic de messagerie réalisé par le Service National des Messageries (SER.NA.M.), le transport de La Poste, les bagages ordinaires, le transport de la Presse et les colis express.

Ces statistiques issues de la comptabilité de la S.N.C.F. permettent depuis 1993 de disposer d'un fichier exhaustif du trafic ferroviaire. Avant 1993, seuls les transports lourds (trains entiers) étaient recueillis de façon exhaustive, le transport léger faisant alors l'objet d'un sondage avec un taux de 1/10ème en moyenne, variable selon la marchandise.

Les variables disponibles dans le fichier S.N.C.F. de la base S.I.TRA.M. sont pour les principales similaires à celles du fichier TRM (tonnes, tonnes-kilomètres, postes N.S.T. de marchandises, …). L'ensemble des variables disponibles est présenté en annexe IV-3.

C. Les statistiques du transport fluvial

Les statistiques fournies par Voies navigables de France et auparavant par l'Office National de la Navigation fournissent un fichier exhaustif. Les statistiques concernent le trafic pour compte d'autrui et pour compte propre réalisé sous pavillon étranger et français. Le trafic à réglementation internationale sur le Rhin et sur la Moselle est pris en compte. Ces statistiques sont constituées à

partir des déclarations de chargement obligatoirement remplies par les transporteurs, publics et privés, lors d'un passage sur le réseau fluvial français.

Les variables disponibles sont similaires pour les plus importantes à celles des fichiers TRM et SNCF à savoir, tonnes, tonnes-kilomètres, et nature de la marchandise. Pour les autres variables, nous renvoyons le lecteur à l'annexe IV-3.

IV-2. Les limites de l'estimation statistique du fret par les données de la base S.I.TRA.M.

La première conséquence de l'estimation du transport de marchandises à l'aide des données S.I.TRA.M. telles qu'elles viennent d'être définies est que la chaîne de transport globale est ignorée. En effet, ces statistiques ne permettent pas un suivi complet du mouvement d'une marchandise entre son lieu de production et son lieu de destination finale ni une connaissance fine des ruptures de chargement mono-modales ou intermodales que la marchandise peut subir sur le territoire national.

Ainsi, les statistiques S.I.TRA.M. apportent une connaissance sur une masse de " déplacements " de marchandises mais pas sur un " parcours " ou une " chaîne de transport ". La complexité des chaînes de transport intégrant un ou plusieurs passages par des plates-formes logistiques ne peut être appréciée avec ces données statistiques. Un tel travail relève en revanche d'études et enquêtes spécifiques aux chaînes de transport et à l'organisation logistique des transports de marchandises. Les enquêtes chargeurs, développées par l'I.N.R.E.T.S., ont pour objet la connaissance des chaînes de transport par un suivi complet des envois de marchandises à partir d'un échantillon représentatif d'établissements industriels et de commerces de gros (S.E.S., 1998).

La faiblesse de cette approche tient aussi à la génération de doubles-comptes dans l'estimation du tonnage total du transport national de marchandises tous modes confondus. L'addition des trafics réalisés avec différents modes sur le territoire national conduit à compter plusieurs fois certaines marchandises. En effet, une rupture de charge intermodale conduit à comptabiliser un acheminement dans chaque mode. Cette surestimation en tonnage n'est pas répercutée en tonne-kilomètre du fait que les quantités sont alors pondérées par les distances de transport.

Une autre limite des données S.I.TRA.M. tient à la prise en compte des lieux de chargement et de déchargement sur le territoire mais pas des lieux d'origine initiale et de destination finale des produits. Cette déconnexion entre lieux de chargement/déchargement et lieux d'origine/destination pose problème dans le cadre d'une analyse spatiale de l'organisation du transport de marchandises. Ainsi, pour les flux interrégionaux de marchandises, l'établissement d'une relation entre le volume de transport généré par une région et les capacités productives de la région est complexifié du fait qu'une partie du fret (qui ne peut être identifiée facilement) provient d'une rupture de charge dans la région lors d'un passage par une plate-forme logistique. Un autre problème équivalent se présente avec la prise en compte d'une partie du trafic international dans les données de transport routier à travers les pré- et post-acheminements routiers des transports maritimes. Cette part peut devenir plus conséquente dans certaines régions portuaires telles que Haute-Normandie ou PACA. De ce fait le transport national routier est surévalué en particulier par rapport au trafic international et au trafic ferroviaire.

Ce trafic n'a toutefois pas été écarté du potentiel de transport avec lequel nous avons construit le modèle QuinQuin Fret Multirégional. Il n'est pas aisé en effet d'isoler les pré- et post-acheminements maritimes effectués par la route dans l'ensemble des transports routiers générés globalement à l'échelle nationale et encore moins dans le trafic local, émis ou reçu d'une région. Les différentes statistiques existantes ne permettent pas de faire le lien entre d'un côté les marchandises débarquées ou embarquées dans un port maritime et pré ou post-acheminées par la route et de l'autre côté les trafics routiers nationaux ou régionaux. En effet, d'un côté, les statistiques du commerce extérieur ne distinguent les modes terrestres des acheminements routiers que depuis 1986, et cette séparation n'est pas disponible en tonnes-kilomètres. D'un autre côté, les statistiques de l'enquête TRM ne permettent pas d'isoler au niveau régional les pré- et post-acheminements maritimes effectués par la route et par voie fluviale.

Section V.

La structuration socio-économique de l'espace national

Le contexte économique et géographique du modèle QuinQuin Fret Multirégional est constitué par le système économique national découpé en composantes régionales. La dynamique de ce système se manifeste par des interactions spatiales entre les composantes régionales, matérialisées par les transports interrégionaux de marchandises. Pour comprendre et simuler les volumes de marchandises générés et échangés annuellement par les différentes régions françaises à travers l'espace national, une analyse descriptive des structures socio-économiques régionales est nécessaire pour qualifier et quantifier les capacités d'émission et d'attraction des régions. Dans cette perspective, un panorama socio-économique des régions est dressé à partir des principales données statistiques existantes et à l'aide d'indices et de coefficients synthétiques utilisés en économie régionale.

L'analyse des structures socio-économiques régionales a aussi comme intérêt de mettre en évidence une structuration socio-économique de l'espace national qui exprime une différenciation et une hiérarchisation spatiales de l'espace national. Cette structuration socio-économique sera par la suite confrontée à la répartition régionale des transports intra- et interrégionaux ainsi qu'à la distribution spatiale du fret interrégional dans le but d'évaluer si les interactions spatiales de marchandises sont révélatrices de la structuration socio-économique de l'espace national autant que *" la circulation des produits est un révélateur puissant des spécialisations et des interdépendances qui organisent le territoire "* pour Michel Savy (1992).

V-1. Les indicateurs socio-économiques nationaux et régionaux : sources statistiques et qualité des données

V-1-1. Les indicateurs nationaux

Les principaux indicateurs économiques nationaux sont d'un coté les agrégats de la Comptabilité Nationale tels que le Produit Intérieur Brut (P.I.B.) et les Valeurs Ajoutées Brutes (V.A.B.) issus des comptes de production des branches économiques et d'un autre côté l'Indice de Production Industriel calculé par l'I.N.S.E.E..

L'ensemble des opérations sur les biens et les services réalisées annuellement dans l'espace économique national est regroupé dans le tableau entrées-sorties de la Comptabilité Nationale, qui réalise la synthèse entre les équilibres ressources et emplois des différents produits et les comptes de production des branches.

Les agrégats P.I.B. et V.A.B. sont calculés selon les équations suivantes :

VAB = production - consommation intermédiaire [V-1]

P.I.B. = somme des valeurs ajoutées brutes des branches [V-2]
+ TVA grevant les produits
+ droits de douane
- subventions à l'importation

Le P.I.B. constitue la somme des ressources qui équilibrent les emplois finals en biens et en services, déduction faite des importations. En séparant les branches marchandes et non marchandes, on peut extraire le P.I.B. (ou la V.A.B.) marchand(e) et le P.I.B. (ou la V.A.B.) non marchand(e).

Les variations du P.I.B. et des V.A.B. peuvent être évaluées soit en prix courants, autrement dit les volumes sont mesurés à partir des prix de l'année précédente, soit en prix constants, les volumes sont alors mesurés à partir des prix d'une année de base fixe. Ces valorisations différentes conduisent à des évolutions distinctes en raison de la déformation des prix relatifs. Ainsi, les variations "en volume" ou en "prix constants" permettent de s'affranchir des variations de prix et fournissent un indicateur synthétique de la seule variation de l'activité économique par rapport à une année de base (I.N.S.E.E., 1998). Le P.I.B. et la V.A.B. mesurés en prix constants sont disponibles en série chronologique longue, de 1970 à 1997. A l'échelle nationale, les statistiques économiques sont annuellement établies suivant une méthodologie unique permettant de disposer de séries longues et homogènes. Les indicateurs économiques de la Comptabilité Nationale ne fournissent toutefois que des estimations monétarisées (que ce soit en prix constants ou courants) de l'activité économique ou industrielle.

L'indice de Production Industrielle (I.P.I.) calculé par l'I.N.S.E.E. est un indicateur très différent qui donne une estimation du volume quantitatif de la production industrielle (Saglio A., INSEE, 1991). Cet indice est une pondération des quantités produites mesurées en unités physiques par les valeurs ajoutées réalisées au cours d'une année de base dans les différentes branches industrielles. L'I.P.I. est calculé à partir d'enquêtes mensuelles ou trimestrielles de la production industrielle des entreprises de plus de 10 salariés.

L'I.P.I. est disponible sur une série chronologique longue et homogène de 1970 à 1997. Plusieurs séries chronologiques ont été établies avec des années de base différentes au fil du temps. Des améliorations ont été apportées par l'I.N.S.E.E. et les séries ont été harmonisées et unifiées sur l'année de base 1985 (INSEE, 1987). La série retenue est celle de l'I.P.I. hors B.T.P., ce qui évite d'intégrer la production au sein même du secteur B.T.P mais considère toutefois la production des matériaux de construction.

V-1-2. Les statistiques socio-économiques régionales disponibles en série chronologique

Au cours des décennies 70, 80 et 90, la statistique régionale en général a connu des bouleversements méthodologiques dans l'obtention des données (sources, méthodes d'enquête) ou dans la forme de restitution des données (nomenclature d'activités) qui ont engendré une certaine hétérogénéité des données. Les conséquences se retrouvent à travers des séries chronologiques homogènes essentiellement sur de courte durée. Quelques indicateurs ont toutefois fait l'objet d'un suivi plus régulier ou de corrections des séries chronologiques longues à l'aide de méthodes de rétropolation.

A. Valeur Ajoutée Brute et Produit Intérieur Brut

Les statistiques de Valeurs Ajoutées Brutes et de Produits Intérieurs Bruts régionaux sont publiés régulièrement par l'I.N.S.E.E. dans les "*statistiques et indicateurs des régions françaises*" (I.N.S.E.E., 1995a). La V.A.B. régionale est constituée par les postes suivants : excédent brut d'exploitation, frais de personnel, impôts, taxes et versements assimilés après déduction des subventions d'exploitation. Le problème central est que l'information directe sur les opérations de production des établissements à l'échelle régionale n'est pas disponible et est approchée par la masse salariale disponible par établissement (Calzada, Pentel, 1999). Cependant, cette répartition au prorata des masses salariales a aussi des limites, que soulignent Calzada et Pentel. La part des salaires varie d'une activité à l'autre et ne s'avère donc pas un indicateur d'éclatement toujours pertinent, car il privilégie les activités de production à fort besoin de main d'œuvre par rapport aux processus recourant plus au capital technique et ayant une plus forte productivité technique. Les informations statistiques pour constituer les séries de valeurs ajoutées sont issues des enquêtes annuelles d'entreprises (E.A.E.) et des Déclarations Administratives de Données Sociales (DADS).

La série chronologique des Valeurs Ajoutées Brutes par branche économique (NAP 40) est disponible et homogène sur la période 1982-1992. La série n'est pas complète entre 1975 et 1982 ni sur le plan sectoriel ni sur le plan régional : les V.A.B. du secteur tertiaire et du secteur agricole ne sont pas disponibles et les V.A.B. des différentes branches économiques ne sont pas renseignées pour les régions PACA et Corse. Enfin, la série n'est pas disponible pour les années postérieures à 1992.

Il est également important de souligner que les valeurs ajoutées brutes du secteur agriculture prises en compte sont issues des statistiques des comptes départementaux du Ministère de l'agriculture (AGRESTE, 1995). Les informations restent toutefois incomplètes, même si elles sont homogènes pour toutes les régions, car les postes sylviculture et pêche ne sont pas renseignés.

Les indicateurs de Produit Intérieur Brut régional (P.I.B.R.) ou de Valeur Ajoutée Brute (V.A.B.R.) relèvent plus d'une régionalisation des indicateurs nationaux à partir des comptes régionaux de branches réalisés annuellement par l'I.N.S.E.E. (INSEE, 1996b) que d'une estimation directe de la richesse économique régionale. Ils demeurent toutefois les principales statistiques disponibles à l'échelle régionale, de surcroît en série chronologique longue, et restituent assez bien selon certains auteurs la réalité de l'activité économique des régions :"*Le produit intérieur brut est la donnée globale la plus représentative des performances économiques. Les conditions de son*

évaluation régionale en font un indicateur privilégié pour comparer dans l'espace les niveaux relatifs de développement" (Hannoun, Sicherman, 1983).

B. Emploi

Les indicateurs d'emploi constituent aussi des statistiques disponibles en série longue de 1974 à 1992 mais les séries n'ont pas été construites initialement selon une même méthode et ne sont pas homogènes sur l'ensemble de la période, nécessitant de ce fait plusieurs exercices de redressement et de rétropolation (Tomasini, INSEE, 1993). Les statistiques de l'emploi proviennent tout d'abord du Recensement Général de la Population (RGP) pour la population active ayant un emploi. Entre les recensements, l'actualisation par l'I.N.S.E.E. est effectuée au moyen d'indices d'évolution déterminés par différentes sources annuelles d'informations complémentaires (UNEDIC, ASSEDIC). "*Chaque année, les établissements affiliés au régime d'assurance-chômage doivent adresser aux ASSEDIC un état destiné à effectuer la régularisation annuelle des sommes versées [...] cette affiliation est obligatoire pour tout établissement du secteur privé industriel et commercial* " (Tomasini, 1993). Le champ d'application ne couvre donc pas le secteur public administratif (Etat, collectivités territoriales, SNCF, ...), ou les services domestiques. De plus, les informations ne sont pas exhaustives pour les activités agricoles rattachées seulement depuis 1977 et les actifs non salariés non recensés. Les autres sources utilisées sont les données directement fournies par certains ministères et entreprises publiques (SNCF, RATP, EDF-GDF, ...), l'enquête annuelle sur les collectivités territoriales, le fichier des paies des agents de l'Etat et, pour quelques régions, les statistiques des cotisants URSSAF. L'emploi non salarié est estimé à partir des statistiques de la Mutualité Sociale Agricole et des statistiques de diverses caisses d'assurance maladie/vieillesse/maternité (ACOSS, CANAM, CANCAVA).

La base de données chronologique de l'emploi sectoriel régional réalisée par Maria Tomasini et que nous utilisons dans nos analyses a été établie à partir de révisions des séries d'emplois après chaque recensement. La série est donc calée sur le recensement de 1990. Elle ne concerne toutefois que l'emploi salarié car l'emploi non salarié n'est pas diffusé avec une décomposition sectorielle de niveau NAP 40 mais uniquement ventilé selon les grands secteurs d'activité.

C. Revenu Disponible Brut et population

Les statistiques sur le Revenu Disponible Brut (R.D.B.) des ménages à l'échelle régionale sont composées des postes salaires nets, excédent brut d'exploitation des entrepreneurs agricoles et non agricoles, prestations sociales, impôts et autres ressources tels que les indemnités d'assurance dommages, les intérêts reçus, etc. Le R.D.B. est un agrégat qui mesure le revenu que les ménages affectent à la consommation ou à l'épargne (INSEE, 1995a). Les statistiques de revenu des ménages sont diffusées régulièrement par l'I.N.S.E.E. dans les publications SIRF. Toutefois ces publications ne donnent pas de séries longues et homogènes. Une série chronologique courte, 1982-1990 est disponible dans les comptes régionaux des ménages (Vinceneau, INSEE, 1993).

Les statistiques de population régionale sont issues du Recensement Général de la Population. Les estimations annuelles sont calculées par interpolation entre deux recensements (Lincot, Lutinier, INSEE, 1998). Les estimations entre deux recensements s'appuient sur des observations annuelles de certains indicateurs (évolution du marché du travail, statistiques fiscales sur le logement, constructions neuves et, abonnés à EDF) puis sont réévaluées lors du nouveau

recensement La série chronologique longue établie par Lincot et Lutinier et que nous utilisons dans nos travaux couvre la période 1975-1994.

V-1-3. Les indices d'analyse spatiale

La mesure des disparités, des spécificités et des spécialisations régionales a recours à des indices absolus, relatifs ou synthétiques. Le choix des indices pertinents est fonction de la mesure que l'on désire obtenir et du rôle de cette mesure dans la problématique. Au vu des travaux développés sur le sujet en analyse spatiale, nous limiterons notre approche de la question aux indices de disparité et de spécificité dans le but de mesurer de façon synthétique les particularités et différences socio-économiques des régions françaises pouvant affecter les volumes de fret générés et échangés entre elles. Sur le choix et la définition des indices d'analyse spatiale, nous nous référons principalement à la synthèse réalisée par Valeyre (1984) sur les indices synthétiques d'inégalités régionales, à la thèse de Santi (1995) sur les inégalités spatiales et les formes de solidarité ainsi qu'aux ouvrages plus généraux d'analyse spatiale et régionale (Lajugie et *al*., 1985 ; Polese, 1994 ; Isard, 1972 ; Aydalot, 1985).

Deux types d'indices nous intéressent : les indices de dissemblance, d'inégalité ou plus généralement de disparité interrégionale et les indices de spécificité, de spécialisation et de localisation. Les premiers s'attachent à isoler les principales différences entre les régions en combinant des fréquences régionales et des spécificités régionales, les seconds portent sur la mise en évidence des particularités propres à chaque région. Dans les deux cas, ces indices contribuent à définir les structures socio-économiques régionales relativement à l'espace de référence national et aux autres régions et à estimer les interdépendances économiques pouvant exister entre les régions en fonction de leurs capacités productives et spécialisations sectorielles respectives.

A. Les indices de spécificité et de spécialisation régionale

Deux grands types d'indices traitant des particularités économiques spatiales existent : les indices de spécificité et les coefficients de spécialisation et de localisation. Les indices de spécificité donnent des estimations par classe sectorielle. Les coefficients de spécialisation et de localisation donnent une mesure générale par région en distinguant les causes des particularités régionales : soit la région est spécialisée dans une branche d'activité soit l'activité est concentrée dans la région.

A-1. L'indice de spécificité

L'indice de spécificité, ou de quotient de localisation[1], a pour objet de donner une estimation globale de la localisation spatiale des activités productives sur le territoire national par rapport à une situation théorique d'équirépartition. Cet indice mesure l'importance d'une activité (VAB, emploi, …) dans une région par rapport à l'importance de cette activité dans l'espace de référence.

[1] W. ISARD (1972), t.1, pp.57-59 ; R. GENDARME (1976), pp. 60-63, LAJUGIE, et *al.* (1985) pp. 689-692.

$$Is_j^k = \frac{A_j^k \Big/ \sum_k A_j^k}{\sum_j A_j^k \Big/ \sum_{k,j} A_j^k} \qquad \text{[V-3a]}$$

A : activité mesurée en emploi, en valeur ajoutée brute, ...
k : branches de l'activité,
j : régions

Trois situations se dégagent :

- *Is* = 1 , l'activité *k* a un poids équivalent dans la région *j* et dans l'espace de référence. Dans ce cas, il y a équirépartition de l'activité sur le territoire,
- *Is* > 1, l'activité *k* a un poids plus important dans la région que dans l'espace de référence, elle est donc plus concentrée dans la région *j*,
- *Is* < 1, l'activité *k* a un poids plus faible dans la région que dans l'espace de référence, elle est donc peu concentrée dans la région *j*.

Cet indice a été souvent utilisé en analyse régionale pour définir les structures économiques et industrielles et identifier les secteurs économiques porteurs de la croissance économique et du développement régional, notamment dans la théorie de la base économique développée par North en 1955 (Polese, 1994).

Son point fort est d'apporter une estimation synthétique et comparable entre différentes régions du fait qu'elle intègre le poids régional de tous les secteurs économiques en un indice unique. Son point faible est la consistance informationnelle de cette mesure. Isard (1972) insiste sur ce point faible, *“ le fait qu'une région possède plus ou moins que sa juste part d'une activité ne nous apprend pas grand chose en soi ”*. Pour Isard, l’interprétation des résultats du quotient de localisation est limitée et ne peut conduire à des conclusions de politique économique privilégiant la production dans les activités à fort quotient et abandonnant celles à faible quotient. L'information apportée par le quotient de localisation nécessite un approfondissement avec d'autres indices, si l'on veut connaître plus précisément les particularités ou spécialisations d'une région. Vaté (1983) note aussi les limites de l'indice de spécificité mais souligne son grand apport : *"l'existence d'une telle mesure est notamment nécessaire pour établir des comparaisons interrégionales ou entre diverses modalités d'un caractère*". L’indice de spécificité, noté *Is,* permet d'ordonner des variables en majorité nominales, comme les régions ou les branches économiques. L'utilité de cet indice dans le cadre de notre problématique est de cet ordre, il a pour rôle de fournir des niveaux de spécificité régionale comparables entre eux. L'objectif final est de confronter et si possible formaliser une relation de causalité entre les niveaux de spécificité des régions et le niveau de leurs échanges interrégionaux de marchandises. La question sous-jacente est de savoir si les régions avec de fortes spécificités sectorielles présentent une distribution spatiale particulière de leur trafic interrégional de marchandises. Enfin, cet indice présente la même formalisation que le coefficient structurel, en se rapportant toutefois à un même espace et à une activité particulière.

$$Is_j^k = \frac{A_{kj}}{\dfrac{A_{k.} * A_{.j}}{A_{..}}} \qquad \text{[V-3b]}$$

Cette expression correspond au rapport de deux productions sectorielles spatiales, l'une dans une situation observée (numérateur) et l'autre dans une situation théorique (dénominateur) calculée par le produit du niveau de l'activité *k* dans l'espace national et de la place économique de la région *j* rapporté à l'économie nationale.

Il nous est apparu intéressant, dans une optique de prospective en aménagement du territoire et de simulation des flux de marchandises, de distinguer les causes premières des spécificités régionales entre la spécialisation des régions et la concentration des activités. Selon la politique envisagée pour orienter à long terme la répartition spatiale des localisations d'activités, pouvant à son tour avoir une certaine influence sur la distribution spatiale des transports de marchandises, les moyens d'action peuvent être en effet fort différents (aide à la décentralisation et à l'implantation en zone rurale, aide au maintien des savoir-faire locaux et spécialisations locales, ...).

A-2. Les coefficients de spécialisation et de localisation

Les coefficients de spécialisation et de localisation distinguent dans les particularités économiques d'une région ce qui relève de la structure productive régionale et ce qui découle de la structure spatiale des branches économiques. Autrement dit, ils distinguent le degré de concentration spatiale des branches d'activité et le degré de spécialisation sectorielle d'une région. Ces coefficients sont issus des travaux de P. S. Sargent (Gendarme, 1976). Des formalisations différentes sont proposées notamment par Isard[2]. Le coefficient de localisation est établi pour une branche ou une activité donnée et pour l'ensemble des régions de l'espace de référence alors que le coefficient de spécialisation est établi pour une région donnée et l'ensemble des activités du système productif. Le fondement de ces coefficients est un écart entre la part régionale d'une activité ou la part sectorielle d'une région et la part de cette activité ou de cette région dans le système national de référence.

Le coefficient de spécialisation, noté $C_j^{spécia}$ mesure l'écart entre la part de l'activité *k* dans la région *j* et la part de l'activité *k* dans l'espace national de référence. Le coefficient de localisation, noté C_k^{loca} s'intéresse à l'écart entre la part de la région *j* dans l'activité *k* au niveau national et la part de la région *j* dans l'activité globale nationale. Ces coefficients sont bornés entre 0 et 1 ou 0 et 100 avec un calcul en base 100.

$$C_k^{loca} = \frac{1}{2}\sum_j \left| \frac{VAB_{kj}}{\sum_j VAB_{kj}} - \frac{\sum_k VAB_{kj}}{\sum_k \sum_j VAB_{kj}} \right| \quad \text{[V-4a]}$$

$$C_j^{specia} = \frac{1}{2}\sum_k \left| \frac{VAB_{kj}}{\sum_k VAB_{kj}} - \frac{\sum_j VAB_{kj}}{\sum_k \sum_j VAB_{kj}} \right| \quad \text{[V-4b]}$$

source : R.Gendarme, 1976[3].

[2] Deux formalisations mathématiques existent : celle issue de P.S. SARGENT exposée par R. GENDARME (1976), que nous utiliserons, et celle présentée par W. ISARD (1972), reprise par LAJUGIE et *al.* (1985).

[3] La multiplication par ½ tient à la prise en compte de valeurs absolues lors de la somme des coefficients internes à la matrice croisée régions-branches. La division de moitié permet de ne tenir compte que d'une partie puisque les sommes positives et les sommes négatives entre les rapports régionaux et rapports nationaux sont égales. Sinon, il ne faudrait sommer que les différences positives ou négatives.

Quand C_k^{loca} = 0, la répartition spatiale de l'activité *k* est identique à la répartition de l'ensemble des activités, et quand $C_j^{spécia}$ = 0 la région *j* n'est pas plus spécialisée dans une activité que dans une autre.

Quand C_k^{loca} = 1, la répartition spatiale de l'activité *k* est fortement déséquilibrée et plus concentrée dans certains lieux du territoire, et quand $C_j^{spécia}$ = 1, la région *j* est plus fortement spécialisée dans certaines activités que dans d'autres.

B. Les indices de disparité interrégionale

Les disparités interrégionales trouvent pleinement leur place dans une démarche de modélisation des interactions spatiales en raison de leur rôle actif dans les échanges de biens. Dans la théorie du commerce international, dans la théorie de la base économique et dans des travaux empiriques plus récents, les disparités économiques régionales et plus spécifiquement les spécialisations sont considérées comme étant à la base des échanges (Aydalot, 1985 ; Isard, 1972 ; Polese, 1994 ; Catin, 1994c).

Les mesures des disparités socio-économiques régionales sont effectuées dans le but de les comparer avec des mesures équivalentes pour la génération régionale des transports de marchandises et d'estimer une relation de causalité empirique entre l'évolution des disparités socio-économiques et celle des disparités de fret généré. Cette confrontation constituera un des moyens d'évaluer les impacts de transformations spatiales sur les transports de marchandises.

En référence notamment aux travaux de Santi (1995) et de Gouvernal et Hanappe (1979), nous avons retenu deux indices synthétiques de disparité, le coefficient de variation et l'indice de Theil.

B-1. Le coefficient de variation

L'expression mathématique du coefficient de variation intègre une mesure de spécificité et une pondération régionale. La mesure des spécificités régionales est donnée par l'indice de spécificité [V-3a], qui se présente donc comme le rapport entre les parts régionales d'une modalité de la population de référence et les fréquences régionales qui correspondent à la part de chaque région dans la population de référence. Le coefficient de variation se définit à partir d'une distance ou semi-distance mathématique pondérée entre les fréquences régionales observées de la modalité étudiée et celles d'une population de référence. Plus le coefficient de variation est élevé plus les disparités entre espaces sont importantes.

$$C = \left[\sum_{r=1} fi^2 (Si - 1)^2 \right]^{1/2} \qquad \text{[V-5.]}$$

avec S_i : indice de spécificité
f_i : fréquence régionale

B-2. L'indice de Theil

L'indice de Theil est une mesure d'entropie permettant de distinguer l'inégalité interne aux séries et d'estimer la structure spatiale du système productif national entre une situation d'équirépartition et une situation de concentration extrême des capacités économiques. Cet indice est construit à partir du calcul de spécificités et de fréquences régionales. La valeur du coefficient de Theil s'accroît avec les disparités.

$$T = \sum_{r=1} fi * Si * \log Si \qquad \text{[V-6.]}$$

Ces deux indices sont utilisés pour donner une mesure synthétique du niveau des disparités régionales. Ces disparités sont toutefois relatives à des indicateurs précis. Un grand nombre d'indicateurs potentiels peuvent décrire les structures socio-économiques, comme le souligne notamment Aydalot (1985) en listant quelques indicateurs économiques et de bien-être.

Notre sélection des indicateurs a donc été faite en fonction de la problématique d'analyse et de simulation des flux spatialisés de marchandises. Ainsi, les indicateurs socio-économiques et les indices de spécificité, de spécialisation et de disparité retenus ont comme qualité de décrire les structures socio-économiques sous trois aspects : démographique, économique et social.

V-2. Les facteurs socio-économiques d'émission et d'attraction

Les facteurs d'émission et d'attraction expriment respectivement les capacités productives aux lieux d'origine et les débouchés aux lieux de destination, de consommation ou de production, et constituent les éléments moteurs du déplacement d'une marchandise. Ces facteurs sont formalisés par des indicateurs statistiques régionaux exprimant les activités génératrices ou consommatrices de marchandises. Deux grandes catégories d'indicateurs sont distinguées : ceux de la sphère de production et ceux de la sphère de consommation.

Les indicateurs de la sphère de production traduisent la richesse économique des régions et les possibilités de débouchés productifs pour les biens intermédiaires produits dans d'autres régions. Les indicateurs statistiques disponibles sont la valeur ajoutée brute totale, marchande, ou encore industrielle et agricole, l'emploi salarié total, industriel ou dans la branche transport. Ce dernier indicateur a été retenu comme expression de la présence de lieux de traitement des marchandises, plates-formes logistiques de massification, groupage-dégroupage ou de distribution, qui constituent des zones importantes de chargement et de déchargement de marchandises. Les indicateurs de la sphère de consommation donnent une estimation du bassin de consommation et donc des débouchés de consommation pour les biens finis produits dans les autres régions. Les indicateurs statistiques retenus sont la population et le revenu disponible brut.

La description des structures socio-économiques régionales consiste dans un premier temps en un panorama général à une date donnée des composantes régionales selon les principaux indicateurs statistiques disponibles, afin de mettre en évidence les disparités interrégionales. Dans un second temps, la description porte sur l'évolution de ces différents facteurs socio-économiques pour mettre en évidence des dynamiques régionales différentes et, éventuellement une certaine transformation spatiale du système national au cours des 20 années d'observation.

V-2-1. Les disparités démographiques régionales

La démographie est une des principales disparités régionales. La répartition territoriale de la population montre très nettement combien l'espace national n'est pas homogène et présente des lieux de concentrations. Le déséquilibre démographique se fait en faveur de la région Ile de France qui concentre en 1990 près de 19% de la population sur 2,2% du territoire, et dans une moindre

mesure en faveur de la région Rhône-Alpes qui compte 10% de la population sur 8% du territoire. A l'opposé, les deux régions les moins peuplées, Limousin et Franche-Comté (hors Corse), représentent à elles deux 3,2 % de la population sur 6% de la superficie nationale. Si on ajoute aux deux premières régions démographiques les deux régions suivantes, Nord Pas de Calais et PACA, alors les quatre régions les plus peuplées englobent près de 43% de la population sur 18% du territoire.

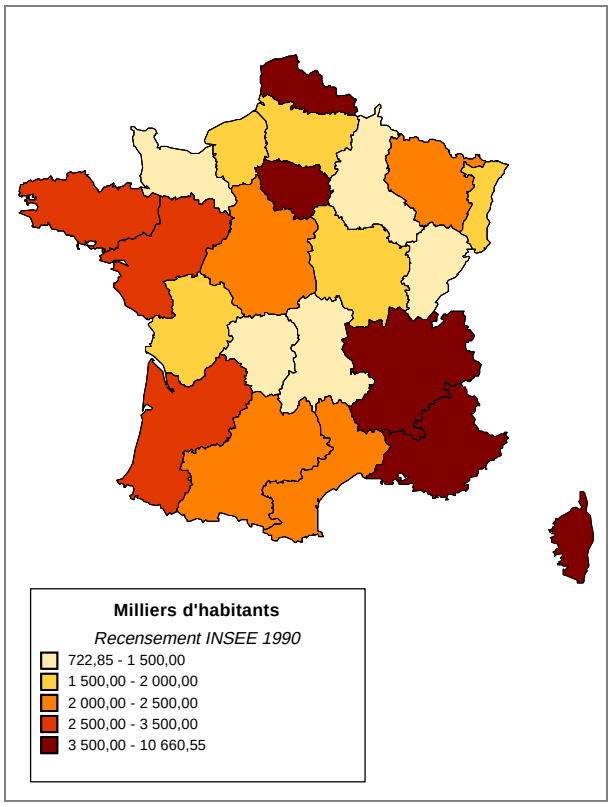
Tableau V-1. Répartition interrégionale de la population au RGP 1990

	population en milliers	en %	superficie en %		population en milliers	en %	superficie en %
Nord Pas de Calais	3965,1	7,0	2,3	**Midi-Pyrénées**	2430,7	4,3	8,3
Picardie	1810,7	3,2	3,6	**Champagne-Ardenne**	1347,8	2,4	4,7
Ile de France	10660,6	18,8	2,2	**Lorraine**	2305,7	4,1	4,3
Centre	2371	4,2	7,2	**Alsace**	1624,4	2,9	1,5
Haute-Normandie	1737,2	3,1	2,3	**Franche-Comté**	1097,3	1,9	3,0
Basse-Normandie	1391,3	2,5	3,2	**Bourgogne**	1609,7	2,8	5,8
Bretagne	2795,6	4,9	5,0	**Auvergne**	1321,2	2,3	4,8
Pays de la Loire	3059,1	5,4	5,9	**Rhône-Alpes**	5350,7	9,5	8,0
Poitou-Charentes	1595,1	2,8	4,7	**Languedoc-Roussillon**	2115	3,7	5,0
Limousin	722,9	1,3	3,1	**PACA**	4257,9	7,5	5,8
Aquitaine	2795,8	4,9	7,6	**Corse**	250,4	0,4	1,6

source : SIRF, INSEE 1995a

La structure interrégionale de la population fait principalement ressortir l'axe Nord-Sud Lille-Paris-Lyon-Marseille et dans une moindre mesure la façade atlantique.

Figure V-1. La structure spatiale de la population en 1990



sources : Conception de l'auteur - SIG GéoConcept, statistiques INSEE.

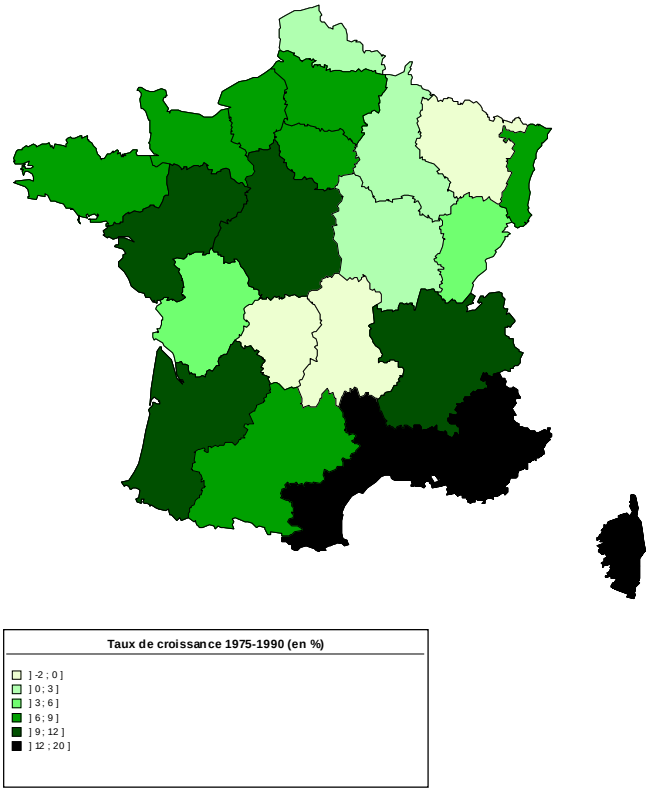
En évolution sur les vingt dernières années, la population augmente dans la majorité des régions, principalement dans les régions du Sud-Est, telles que Rhône-Alpes, Languedoc-Roussillon et PACA qui présentent les plus forts taux de croissance sur la période. Des exceptions concernent toutefois les régions Nord-Pas-de-Calais et Champagne-Ardenne dont la population stagne ainsi que les régions Limousin, Auvergne et Lorraine où elle diminue. Ces évolutions traduisent une légère aggravation des disparités démographiques interrégionales. Les indices synthétiques d'inégalités spatiales, coefficient de variation et indice de Theil, mettent en évidence deux sous-périodes dans cette évolution générale. Entre 1975 et 1982, les inégalités territoriales démographiques connaissent une contraction et entre 1982 et 1994 elles accusent une reprise relativement importante pour dépasser en 1994 leur niveau de 1975.

Tableau V-2. Evolution synthétique de l'inégalité territoriale de la population

	1975	1982	1990	1994
Coefficient de Variation (C)	19,23	19,0	19,26	19,41
Indice de Theil (T)	34,92	34,31	35,0	35,4

En termes de structure spatiale, l'évolution des inégalités territoriales de la population se fait au bénéfice des régions du Sud-Est, principalement Languedoc-Roussillon, PACA et Rhône-Alpes, et au détriment des anciennes régions industrielles comme Lorraine ou des régions rurales et agricoles comme Limousin et Auvergne.

Figure V-2. L'évolution de population régionale entre 1975 et 1990



sources : Conception de l'auteur - SIG GéoConcept, statistiques INSEE.

V-2-2. Les disparités régionales de création de richesse

Les caractéristiques ou différences régionales peuvent être observées à travers la dimension économique de la création de richesse mesurée par le P.I.B. régional ou la V.A.B. régionale.

A. Les disparités territoriales en valeur ajoutée brute

Les disparités spatiales de la richesse nationale sont beaucoup plus prononcées que celles de la population, avec une place prépondérante de la région Ile de France qui représente près de 30 % de la valeur ajoutée brute nationale en 1992.

Tableau V-3. Répartition régionale de la richesse économique en V.A.B. (1992)

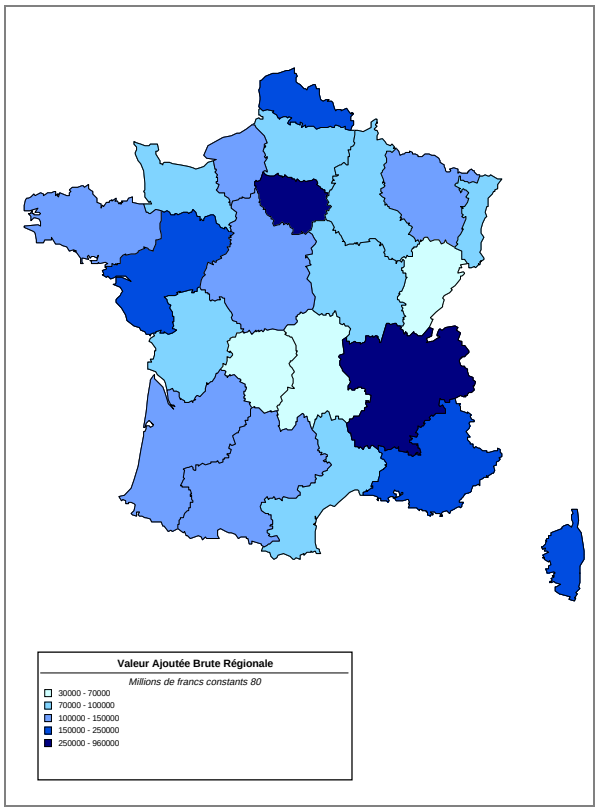
millions de frs constants 80	*VAB.*	*%*		*VAB*	*%*
Nord Pas de Calais	187864	5,6%	**Midi-Pyrénées**	120919	3,6%
Picardie	89444	2,7%	**Champagne-Ardenne**	72314	2,2%
Ile de France	958402	28,8%	**Lorraine**	112684	3,4%
Centre	127736	3,8%	**Alsace**	97239	2,9%
Haute-Normandie	104485	3,1%	**Franche-Comté**	56806	1,7%
Basse-Normandie	71911	2,2%	**Bourgogne**	81453	2,4%
Bretagne	132677	4,0%	**Auvergne**	61864	1,9%
Pays de la Loire	154239	4,6%	**Rhône-Alpes**	313996	9,4%
Poitou-Charentes	73729	2,2%	**Languedoc-Roussillon**	96573	2,9%
Limousin	32578	1,0%	**PACA-Corse**	238237	7,2%
Aquitaine	143092	4,3%	**France**	3328243	

source : SIRF, INSEE

L'importance des inégalités économiques ressort face aux inégalités démographiques avec des coefficients de variation de 28,6 pour les valeurs ajoutées contre 19,4 pour la population et des indices de Theil de 60,9 contre 35,4.

La représentation spatiale des V.A.B. régionales met en évidence les disparités entre les régions mais ne fait pas ressortir de structure spatiale particulière.

Figure V-3. Les disparités régionales de création de richesse (V.A.B. 92).



sources : Conception de l'auteur - SIG GéoConcept, statistiques INSEE.

L'analyse de l'évolution à long terme des valeurs ajoutées brutes régionales s'avère délicate pour des raisons de disponibilité statistique des données et d'homogénéité des séries chronologiques. Ces problèmes statistiques concernent la période antérieure à 1982[4]. Ces contraintes statistiques réduisent donc la série chronologique homogène des valeurs ajoutées brutes régionales à la période 1982-1992. Une estimation des V.A.B. régionales en 1975 non harmonisée est toutefois présentée, mais les comparaisons et calculs de taux de croissance doivent tenir compte du caractère hétérogène des données.

Sur la période 1982-1992, on observe des variations globales assez contrastées entre les grandes régions, principalement Rhône-Alpes (+3,6%), qui accroissent leur richesse économique avec un taux moyen annuel supérieur à la moyenne nationale (+2,1%) et les régions rurales ou en reconversion économique, telles que Limousin ou Lorraine, qui n'augmentent leur valeur ajoutée brute totale que de 1,1% en moyenne annuelle.

Sur la période antérieure, 1975-1982, les variations se révèlent plus soutenues pour la majorité des régions, y compris pour certaines régions rurales, en particulier la région Limousin qui connaît un taux de croissance moyen annuel de 3,7% sur la période. Ces derniers résultats sont toutefois à considérer avec précaution pour les raisons d'hétérogénéité statistique mentionnées précédemment.

[4] Les études régionales de l'I.N.S.E.E. avant 1982 n'ont pas été réalisées de façon systématique et n'ont pas fait l'objet d'une harmonisation en vue d'établir une série chronologique homogène sur longue période.

Tableau V-4. Evolution des valeurs ajoutées brutes régionales

millions frs csts 80	1975		1982		1992		TCG75-82	TCG82-92	TCG75-92
Nord Pas de Calais	146156	6,6%	164531	6,1%	187864	5,6%	12,6%	14,2%	28,5%
Picardie	66044	3,0%	77084	2,8%	89444	2,7%	16,7%	16,0%	35,4%
Ile de France	605805	27,3%	758635	28,0%	958402	28,8%	25,2%	26,3%	58,2%
Centre	81625	3,7%	104760	3,9%	127736	3,8%	28,3%	21,9%	56,5%
Haute-Normandie	73371	3,3%	89574	3,3%	104485	3,1%	22,1%	16,6%	42,4%
Basse-Normandie	44943	2,0%	55059	2,0%	71911	2,2%	22,5%	30,6%	60,0%
Bretagne	87208	3,9%	110670	4,1%	132677	4,0%	26,9%	19,9%	52,1%
Pays de la Loire	99898	4,5%	127944	4,7%	154239	4,6%	28,1%	20,6%	54,4%
Poitou-Charentes	52239	2,4%	63190	2,3%	73729	2,2%	21,0%	16,7%	41,1%
Limousin	22636	1,0%	29127	1,1%	32578	1,0%	28,7%	11,8%	43,9%
Aquitaine	95926	4,3%	126320	4,7%	143092	4,3%	31,7%	13,3%	49,2%
Midi-Pyrénées	73319	3,3%	96608	3,6%	120919	3,6%	31,8%	25,2%	64,9%
Champagne-A.	57600	2,6%	65664	2,4%	72314	2,2%	14,0%	10,1%	25,5%
Lorraine	92886	4,2%	100714	3,7%	112684	3,4%	8,4%	11,9%	21,3%
Alsace	64175	2,9%	78476	2,9%	97239	2,9%	22,3%	23,9%	51,5%
Franche-Comté	42384	1,9%	46600	1,7%	56806	1,7%	9,9%	21,9%	34,0%
Bourgogne	56767	2,6%	69641	2,6%	81453	2,4%	22,7%	17,0%	43,5%
Auvergne	44027	2,0%	53876	2,0%	61864	1,9%	22,4%	14,8%	40,5%
Rhône-Alpes	202480	9,1%	219761	8,1%	313996	9,4%	8,5%	42,9%	55,1%
Languedoc-R.	57682	2,6%	77269	2,8%	96573	2,9%	34,0%	25,0%	67,4%
PACA-Corse*	154451	7,0%	198059	7,3%	238237	7,2%	28,2%	20,3%	54,2%

*pour l'année 1975, les statistiques sont issues d'une source différente et ne sont donc pas harmonisées avec celles des années suivantes. L'estimation pour la région Corse, fortement sous-estimée, réduit la part des régions PACA-Corse face aux estimations des années suivantes.

Source : INSEE, comptes régionaux

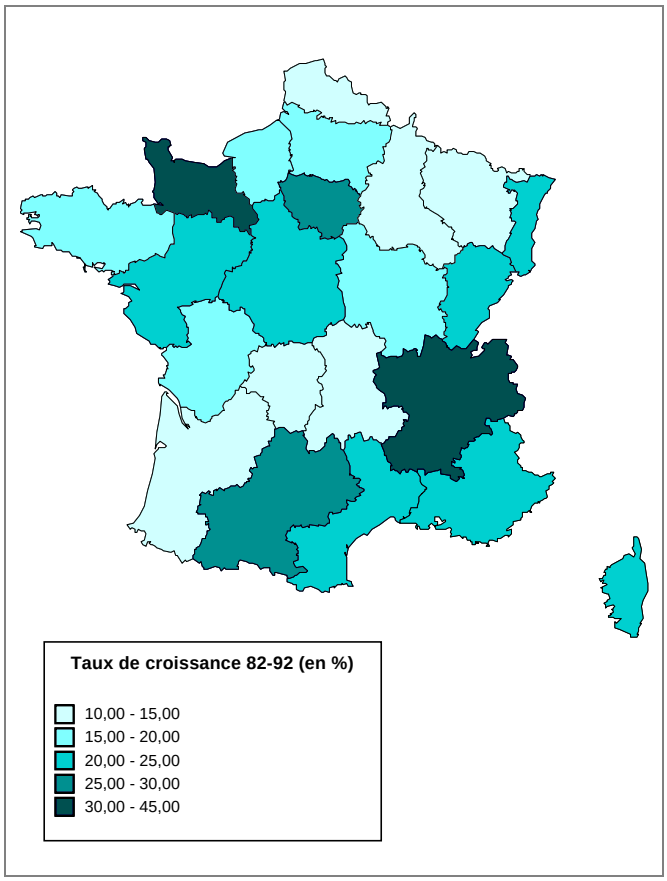
Ces variations régionales contrastées conduisent à un accroissement des disparités régionales de la richesse économique sur l'ensemble de la période d'observation. Les indices synthétiques d'inégalités interrégionales calculés affichent une tendance à l'accentuation des disparités sur l'ensemble de la période, qui s'est particulièrement manifestée depuis le milieu des années 80.

Tableau V-5. Evolution synthétique des disparités de valeurs ajoutées brutes régionales

francs constants 80	1975	1982	1985	1990	1992
Coef. de variation C	27,28	27,70	27,73	28,42	28,57
indice de Theil	56,84	57,42	57,66	59,50	60,03

En termes de structure spatiale, l'évolution des valeurs ajoutées brutes est peu bénéfique aux régions du nord-est à l'exception de l'Alsace et aux régions rurales, Limousin et Auvergne. En revanche, la croissance économique est plus soutenue dans les régions de l'est et du sud-est et dans les régions d'une grande partie ouest du bassin parisien.

Figure V-4. Croissance des valeurs ajoutées brutes régionales 82-92



sources : Conception de l'auteur - SIG Géoconcept, statistiques INSEE.

B. Les disparités sectorielles à partir de la V.A.B. agricole et industrielle

La répartition territoriale de la valeur ajoutée brute des branches agricoles et industrielles est sensiblement équivalente à la répartition de la valeur ajoutée brute totale. On remarque toutefois de légères différences. En particulier, on constate que la région PACA est particulièrement développée dans le secteur tertiaire et de ce fait sa part relative dans la valeur ajoutée brute agricole et industrielle est bien inférieure à sa part dans la valeur ajoutée brute totale. La situation opposée se produit pour la région Pays de Loire qui présente une part importante dans la valeur ajoutée brute agricole et industrielle, la situant pour l'année 1992 en quatrième position derrière les régions Ile de France, Rhône-Alpes et Nord-Pas-de-Calais en termes de richesse économique du secteur agricole et industriel.

Tableau V-6. Répartition régionale de la V.A.B. agricole et industrielle et évolution

Millions de F cst 80	1975	1982	%	1992	%	TCG 75-92	TCG 82-92
Nord Pas de Calais	54829	58932	6,8%	54026	5,8%	-1,5%	-8,3%
Picardie	27142	32023	3,7%	30759	3,3%	13,3%	-3,9%
Ile de France	176668	201480	23,1%	224488	24,2%	27,1%	11,4%
Centre	31041	38481	4,4%	41844	4,5%	34,8%	8,7%
Haute-Normandie	30173	33833	3,9%	40171	4,3%	33,1%	18,7%
Basse-Normandie	16068	17776	2,0%	23606	2,5%	46,9%	32,8%
Bretagne	28661	32234	3,7%	35068	3,8%	22,4%	8,8%
Pays de la Loire	40220	47243	5,4%	46854	5,1%	16,5%	-0,8%
Poitou-Charentes	17926	19965	2,3%	21165	2,3%	18,1%	6,0%
Limousin	7959	8992	1,0%	8601	0,9%	8,1%	-4,3%
Aquitaine	34917	46157	5,3%	38550	4,2%	10,4%	-16,5%
Midi-Pyrénées	24716	29163	3,3%	30982	3,3%	25,3%	6,2%
Champagne-A.	23370	27873	3,2%	26582	2,9%	13,7%	-4,6%
Lorraine	31901	33471	3,8%	34767	3,8%	9,0%	3,9%
Alsace	23869	28895	3,3%	33453	3,6%	40,2%	15,8%
Franche-Comté	18564	18514	2,1%	22319	2,4%	20,2%	20,6%
Bourgogne	22287	25829	3,0%	25642	2,8%	15,1%	-0,7%
Auvergne	17397	18060	2,1%	19146	2,1%	10,1%	6,0%
Rhône-Alpes	77080	93687	10,7%	103252	11,1%	34,0%	10,2%
Languedoc-R.	18848	19404	2,2%	19924	2,1%	5,7%	2,7%
PACA	n.r.	40061	4,6%	45840	4,9%	-	14,4%
France	723637	872075	100%	927040	100%	28,1%	6,3%

Sur la période 1975-1992[5], les valeurs ajoutées brutes agricoles et industrielles régionales connaissent des évolutions beaucoup plus différenciées que celles relatives à la valeur ajoutée brute totale. Les deux grandes régions économiques, Ile de France et Rhône-Alpes, accroissent assez fortement leur VAB agricole et industrielle, mais les plus fortes hausses relèvent surtout des régions de la façade atlantique et de la région Alsace. A l'opposé, les régions en reconversion économique, en particulier Nord-Pas-de-Calais, voient leur VAB agricole et industrielle se réduire.

Tableau V-7. Evolution synthétique des disparités de VAB agricoles et industrielles régionales

francs constants 80	1975*	1982	1985	1990	1992
Coef. de variation C	*24,66*	23,54	23,56	24,54	24,61
indice de Theil	*56,92*	46,79	47,10	49,42	49,71

* sans PACA

Les disparités régionales de valeur ajoutée brute agricole et industrielle connaissent sur la période d'observation une tendance à la hausse, à l'image des disparités sur la valeur ajoutée brute totale, tendance également plus importante à la fin des années 80 et au début des années 1990.

[5] Pour les valeurs ajoutées relatives aux branches agricoles et industrielles, les séries chronologiques sont homogènes sur l'ensemble de la période d'observation.

V-2-3. Les disparités régionales d'emploi

Le facteur emploi renseigne sur l'activité économique de la région mais aussi sur la division spatiale du travail. Les disparités régionales d'emploi peuvent donc également être exploitées pour expliquer les différences de volumes de fret générés ou échangés. La prise en compte de cette variable permet en outre de s'affranchir d'une déconnexion valeur-volume entre d'un côté une production exprimée en valeur monétaire et de l'autre des transports mesurés en tonnes[6].

A. La répartition spatiale de l'emploi salarié total

La répartition régionale de l'emploi est marquée par le poids de l'Ile de France qui concentre 24% de l'emploi salarié national. Les régions Rhône-Alpes, PACA et Nord Pas de Calais, avec des parts comprises entre 6 et 10%, se détachent également des autres régions.

Tableau V-8. Répartition territoriale de l'emploi salarié total en 1992

En effectif	1992	% (1992)		1992	% (1992)
Nord Pas de Calais	1158939	6,0%	**Midi-Pyrénées**	757136	4,0%
Picardie	554781	2,9%	**Champagne-Ardenne**	442475	2,3%
Ile de France	4653619	24,3%	**Lorraine**	720072	3,8%
Centre	789409	4,1%	**Alsace**	592238	3,1%
Haute-Normandie	582868	3,0%	**Franche-Comté**	358234	1,9%
Basse-Normandie	448120	2,3%	**Bourgogne**	512405	2,7%
Bretagne	833054	4,3%	**Auvergne**	393116	2,1%
Pays de la Loire	986165	5,1%	**Rhône-Alpes**	1869669	9,8%
Poitou-Charentes	464176	2,4%	**Languedoc-Roussillon**	588030	3,1%
Limousin	220320	1,1%	**PACA**	1295154	6,8%
Aquitaine	873079	4,6%	**Corse**	70229	0,4%

source : marché du travail, séries longues, INSEE (n°62-63) et Tomasini (1994)

Les disparités régionales économiques exprimées par un indicateur d'emploi apparaissent sensiblement moins importantes que celles en valeur ajoutée. Les indices synthétiques de disparités interrégionales sont en effet plus faibles : le coefficient de variation pour l'emploi en 1992 est de 24,2 et l'indice de Theil de 47,47.

L'évolution de la répartition de l'emploi au cours des vingt dernières années diffère en revanche nettement de celle de la valeur ajoutée brute. L'évolution de l'emploi n'a pas été particulièrement favorable aux principales régions économiques, en particulier à la région Nord Pas de Calais où l'emploi salarié a diminué de 2% entre 1975 et 1992 et en Ile de France, où l'accroissement est resté inférieur à la moyenne nationale. En revanche, l'évolution a été plus favorable aux deux autres grandes régions économiques, Rhône-Alpes et PACA mais surtout aux régions Languedoc-Roussillon (+28%), Midi-Pyrénées (+25%) et Bretagne (+20%). Globalement, les inégalités interrégionales sur l'emploi ont eu tendance à se réduire entre 1975 et 1992 comme le montrent les valeurs des indices de dissemblance.

[6] Ce problème méthodologique sera plus amplement abordé dans la phase de modélisation (section XI).

Tableau V-9. Evolution de l'emploi salarié entre 1975 et 1992 et des indices de disparité spatiale

taux de croissance global			
Nord Pas de Calais	-2,0%	Midi-Pyrénées	25,1%
Picardie	3,5%	Champagne-Ardenne	-0,5%
Ile de France	8,1%	Lorraine	-5,3%
Centre	13,4%	Alsace	16,9%
Haute-Normandie	5,1%	Franche-Comté	1,7%
Basse-Normandie	15,8%	Bourgogne	5,7%
Bretagne	20,2%	Auvergne	4,6%
Pays de la Loire	19,1%	Rhône-Alpes	14,6%
Poitou-Charentes	11,1%	Languedoc-Roussillon	28,7%
Limousin	8,1%	PACA	17,9%
Aquitaine	19,2%	Corse	21,7%

indices de dissemblance								
	1975	1978	1980	1982	1985	1988	1990	1992
coef. Variation (C)	24,99	24,69	24,44	24,42	24,52	24,48	24,53	24,20
indice de Theil (T)	50,11	49,14	48,39	48,28	48,51	48,25	48,37	47,47

B. Les disparités relatives à l'emploi industriel et agricole

La répartition territoriale de l'emploi industriel fournit une première approche des concentrations et spécificités sectorielles régionales. L'emploi industriel est réparti de façon déséquilibrée entre les régions mais sensiblement équivalente à l'emploi total. Ainsi, les régions Ile de France et Rhône-Alpes présentent les parts relatives les plus élevées.

En revanche, en considérant la part de l'emploi industriel dans l'emploi total régional, la hiérarchie des régions diffère. Les grandes régions économiques ne sont pas les régions qui présentent les plus fortes proportions d'emploi industriel et agricole, ce sont davantage les régions de l'Est (Franche-Comté, Alsace) et du Nord (Picardie, Champagne-Ardenne).

Tableau V-10. Emploi agricole et industriel, fréquences et parts dans l'emploi total régional

1992	Emploi agri. +indus	Part nationale	Part dans emploi total régional		Emploi agri. +indus	Part nationale	Part dans emploi total régional
Nord P. de C.	297719	6,7%	25,7%	**Champagne-A.**	134522	3,0%	30,4%
Picardie	178870	4,0%	32,2%	**Lorraine**	198464	4,5%	27,6%
Ile de France	808395	18,1%	17,4%	**Alsace**	178829	4,0%	30,2%
Centre	221606	5,0%	28,1%	**Franche-Comté**	128332	2,9%	35,8%
Hte-Normandie	165354	3,7%	28,4%	**Bourgogne**	141003	3,2%	27,5%
Bse-Normandie	119469	2,7%	26,7%	**Auvergne**	106383	2,4%	27,1%
Bretagne	196756	4,4%	23,6%	**Rhône-Alpes**	506756	11,4%	27,1%
Pays de Loire	284662	6,4%	28,9%	**Languedoc-R.**	87351	2,0%	14,9%
Poitou-Charentes	115233	2,6%	24,8%	**PACA**	184539	4,1%	14,2%
Limousin	51922	1,2%	23,6%	**Corse**	6506	0,1%	9,3%
Aquitaine	187317	4,2%	21,5%	**France**	4457304	100%	23,3%
Midi-Pyrénées	157316	3,5%	20,8%				

L'évolution de l'emploi industriel suit à long terme une tendance de réduction des inégalités régionales, à l'exception de 1992 qui marque une certaine accentuation . Les disparités territoriales

sur l'emploi agricole et industriel apparaissent toutefois moins importantes que celles sur l'emploi total et connaissent une réduction plus marquée.

Tableau V-11. Evolution de l'inégalité territoriale de l'emploi industriel et agricole

	1975	1980	1985	1990	1992
coefficient de variation C	22,13	21,37	21,07	20,18	20,32
indice de Theil	44,32	41,76	40,76	37,72	42,56

Globalement, la répartition régionale des capacités économiques connaît une réduction des disparités avec les indicateurs d'emploi et une tendance à l'aggravation avec les indicateurs de valeur ajoutée brute. Cette opposition suggère l'existence de différentiels de productivité et une évolution des disparités régionales de productivité qui va en s'aggravant.

C. Les disparités interrégionales de productivité

L'indicateur d'emploi néglige dans les capacités de production ce qui relève du capital et plus encore du progrès technique. La productivité est une variable importante dans certaines branches économiques, notamment dans l'agriculture où les innovations technologiques se sont fortement développées et où les effectifs ont été fortement réduits au cours des dernières décennies. Ainsi, la prise en compte de la productivité comme variable explicative potentielle complémentaire à l'emploi permettrait de limiter les distorsions entre l'évolution de l'emploi et l'évolution des capacités de production. Les productivités participent aux inégalités régionales en tant que différentiels d'efficacité économique et jouent également un rôle dans le renforcement de spécialisations sectorielles régionales.

La construction d'indices de productivité se heurte à des difficultés méthodologiques relatives à la mesure de la production et à celle des quantités de facteurs de production et notamment du volume de travail. En guise d'approximation quantitative, le ratio de productivité régionale généralement calculé par l'I.N.S.E.E. est un rapport entre la valeur ajoutée brute régionale et le nombre d'actifs. Ce ratio a donc été retenu et calculé à partir des statistiques de valeur ajoutée et d'emploi précédemment exposées.

Tableau V-12. Répartition territoriale de la productivité (V.A.B./ actif : branches agricoles et industrielles et ensemble des branches en 1992)

France : indice base 100	*Agri. + industrie*	*total branches*		*Agri. + industrie*	*total branches*
Nord Pas de Calais	88	93	Champagne-Ardenne	96	94
Picardie	85	93	Lorraine	84	90
Ile de France	131	119	Alsace	91	95
Centre	90	93	Franche-Comté	86	91
Haute-Normandie	117	103	Bourgogne	89	92
Basse-Normandie	96	92	Auvergne	87	91
Bretagne	87	92	Rhône-Alpes	97	97
Pays de la Loire	80	90	Languedoc-Roussillon	106	95
Poitou-Charentes	89	91	PACA	116	101
Limousin	80	85	Corse	87	84
Aquitaine	98	94	**France**	**100**	**100**
Midi-Pyrénées	93	92			

L'Ile de France se démarque à nouveau assez nettement des autres régions. La dispersion spatiale de la productivité du travail est plus particulièrement prononcée dans la branche agricole et industrielle qui présente une productivité élevée pour Ile de France, et dans une moindre mesure pour Haute-Normandie et Provence-Alpes-Côte-d'Azur. Dans ces deux dernières régions, les zones portuaires participent fortement au niveau élevé de productivité en raison d'une forte mécanisation de leurs activités.

Le calcul des indices de dissemblance spatiale sur le ratio de productivité (VAB/emploi salarié) est intéressant par la tendance d'évolution qu'il révèle. On s'aperçoit en effet qu'à la fin des années 80 et au début des années 90 que les disparités de productivité tendent à s'accroître alors qu'elles avaient connu une baisse du milieu des années 70 au milieu des années 80.

Tableau V-13. Evolution de l'inégalité territoriale de la productivité

	1975	1980	1985	1990	1992
coefficient de variation C	9,38	9,51	9,35	9,43	9,49
indice de Theil	10,66	10,38	10,20	10,40	10,64

La présentation des structures socio-économiques régionales à travers les indicateurs économiques de valeur ajoutée et d'emploi a mis en évidence des capacités de production inégales entre les différentes régions supérieures aux dissemblances démographiques et une tendance à l'accentuation des disparités régionales en fin de période, depuis la fin des années 80. Cette tendance générale d'évolution met en évidence une nouvelle impulsion dans la concentration spatiale au sein des grandes régions économiques et en particulier en Ile de France.

L'analyse descriptive des disparités régionales a mis en évidence les différences de capacité entre les régions à créer des richesses. Pour terminer cette analyse, nous abordons maintenant les disparités de revenus, qui constitueront une estimation des différentiels de consommation régionale.

V-2-4. La dimension sociale à travers le revenu des ménages

Les disparités régionales de la richesse économique peuvent avoir un impact sur les mouvements de marchandises par l'intermédiaire des dépenses de consommation. A défaut de disposer d'indicateurs de consommation dans les différentes régions et sur plusieurs années, une approximation est fournie par l'indicateur du revenu disponible brut des ménages.

Tableau V-14. Disparités spatiales du revenu disponible brut (1990)

millions de frs constants 80	RDB 1990	%		RDB 1990	%
Nord Pas de Calais	267164	6%	**Midi-Pyrénées**	183205	4%
Picardie	122308	3%	**Champagne-Ardenne**	105987	2%
Ile de France	1034290	23%	**Lorraine**	168646	4%
Centre	180164	4%	**Alsace**	129512	3%
Haute-Normandie	128231	3%	**Franche-Comté**	76461	2%
Basse-Normandie	99266	2%	**Bourgogne**	121517	3%
Bretagne	203198	5%	**Auvergne**	95765	2%
Pays de la Loire	215200	5%	**Rhône-Alpes**	404430	9%
Poitou-Charentes	113422	3%	**Languedoc-Roussillon**	154015	3%
Limousin	54172	1%	**PACA**	344676	8%
Aquitaine	214586	5%	**France**	4416215	100%

Les disparités interrégionales de revenu sont très importantes à nouveau entre la région parisienne et la province. Au sein des régions de province, seules les régions Rhône-Alpes et PACA se détachent.

A travers les indices synthétiques de disparité spatiale, les revenus présentent une répartition régionale déséquilibrée mais moins prononcée que celle des valeurs ajoutées brutes. Cette relative correction des inégalités de production par les revenus tient au jeu des transferts financiers interrégionaux (Santi, 1995).

Tableau V-15. Evolution des disparités spatiales du revenu disponible brut

	1975	1980	1982	1986	1988	1990
coefficient de variation C	24,9	23,9	23,5	22,5	23	23,4
indice de Theil	49,2	46,2	45,4	42,7	44,2	44,8

Entre 1975 et 1990, les inégalités relatives au revenu connaissent également une évolution en deux temps. Une première sous-période, jusqu'au milieu des années 80, est marquée par une réduction des inégalités régionales. Une seconde sous-période présente une tendance opposée avec une légère recrudescence des disparités.

Ce panorama général et synthétique de l'espace économique français à l'aide des indicateurs statistiques pouvant être utilisés dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional fait ressortir une forte hétérogénéité démographique, économique et sociale de l'espace économique national ainsi qu'une hiérarchisation de l'espace dominée par la région francilienne.

Ces mesures quantitatives ne demeurent toutefois pas les seuls facteurs de différenciation des structures socio-économiques régionales. Des mesures plus qualitatives faisant référence à des particularités ou savoir-faire régionaux peuvent aussi révéler des disparités régionales et indirectement jouer sur des écarts de volume ou de structure spatiale des flux régionaux de marchandises générés et échangés. Les différences qualitatives régionales relèvent notamment de spécificités ou de spécialisations sectorielles.

V-3. La structuration socio-économique du territoire par le jeu de spécificités, spécialisations et concentrations spatiales

L'hypothèse sous-jacente à l'étude des spécificités régionales en tant que déterminant de la distribution spatiale du fret interrégional est que les différenciations spatiales intimement liées aux phénomènes de spécialisation conduisent à la formation d'échanges de biens : *"Les modèles statiques de base* [d'inspiration ricardienne ou néo-classique] *mettent en évidence une spécialisation spatiale de complémentarité entre régions à caractéristiques différenciées valorisant leurs avantages comparatifs. Une certaine division spatiale des activités productives, et une intégration par les courants d'échange, accompagnent ce processus de spécialisation "* (Catin, 1994). Les spécialisations spatiales proviennent de dotations particulières en ressources naturelles mais aussi de savoir-faire ou d'économies d'échelle dans certaines branches sectorielles.

Les effets positifs des spécificités ou spécialisations sectorielles sur le développement des échanges de marchandises ont été mis en évidence dans de nombreux travaux en économie

régionale ou en économie internationale. Notre objectif dans le cadre de ce travail est de formaliser ce type de relations au niveau macro-économique sur les échanges interrégionaux de marchandises. La question sous-jacente est de savoir si les spécialisations ou les spécificités sectorielles régionales peuvent non seulement orienter mais aussi favoriser les échanges de biens entre les régions au sens où elles auraient un impact favorable sur la dimension structurelle du fret, c'est-à-dire sur le niveau des coefficients structurels. En référence à la théorie de la base économique, l'hypothèse qui sous-tend notre investigation sur les spécificités sectorielles régionales est que les spécialisations ou les spécificités industrielles régionales fournissent un potentiel à l'exportation. Dans cette optique, les spécialisations pourraient participer à la formation de relations *préférentielles ou privilégiées* d'échange au sens défini dans la méthode des coefficients structurels.

V-3-1. Les spécificités régionales

Les mesures de spécificité et de spécialisation ont été calculées sur les indicateurs de valeur ajoutée brute régionale.

A. Les spécificités régionales en valeur ajoutée brute

Dans un premier temps, la répartition sectorielle de l'activité économique distingue des régions plus industrielles (Haute-Normandie, Franche-Comté, Alsace, Rhône-Alpes), des régions plus agricoles (Champagne-Ardenne, Bretagne, Poitou-Charentes, Pays de Loire) et des régions à forte dominance tertiaire (PACA, Languedoc-Roussillon, Ile de France).

Tableau V-16. Répartition de la VAB en grands secteurs (1992)

Millions de francs constants 80	agriculture		Industrie		BGCA		Tertiaire	
Nord Pas de C.	2707	1,4%	51319	27,3%	11524	6,1%	122314	65,1%
Picardie	4057	4,5%	26702	29,9%	5401	6,0%	53284	59,6%
Ile de France	2103	0,2%	222385	23,2%	53808	5,6%	680106	71,0%
Centre	5313	4,2%	36531	28,6%	8882	7,0%	77010	60,3%
Haute-Normandie	2209	2,1%	37962	36,3%	6627	6,3%	57687	55,2%
Basse-Normandie	3450	4,8%	20156	28,0%	4911	6,8%	43394	60,3%
Bretagne	7718	5,8%	27350	20,6%	9095	6,9%	88514	66,7%
Pays de la Loire	7673	5,0%	39181	25,4%	11053	7,2%	96332	62,5%
Poitou-Charentes	3585	4,9%	17580	23,8%	4647	6,3%	47917	65,0%
Limousin	658	2,0%	7943	24,4%	2129	6,5%	21848	67,1%
Aquitaine	6935	4,8%	31615	22,1%	9393	6,6%	95149	66,5%
Midi-Pyrénées	3894	3,2%	27088	22,4%	8796	7,3%	81141	67,1%
Champagne-A.	5597	7,7%	20985	29,0%	4397	6,1%	41335	57,2%
Lorraine	1881	1,7%	32886	29,2%	7439	6,6%	70478	62,5%
Alsace	2140	2,2%	31313	32,2%	6406	6,6%	57380	59,0%
Franche-Comté	1378	2,4%	20941	36,9%	3071	5,4%	31416	55,3%
Bourgogne	3695	4,5%	21947	26,9%	5300	6,5%	50511	62,0%
Auvergne	1934	3,1%	17212	27,8%	3653	5,9%	39065	63,1%
Rhône-Alpes	5137	1,6%	98115	31,2%	22377	7,1%	188367	60,0%
Languedoc-R.	4083	4,2%	15841	16,4%	6915	7,2%	69734	72,2%
PACA-Corse	4342	1,8%	42849	18,0%	17799	7,5%	173247	72,7%

source : statistiques INSEE

Au cours des dernières décennies, les structures sectorielles des systèmes productifs régionaux ont évolué vers un plus grand déséquilibre entre les secteurs économiques, au profit du secteur tertiaire. Seules deux régions ont eu des taux de croissance plus élevés dans le secteur industriel que dans le secteur tertiaire (Haute-Normandie et Basse-Normandie).

Les tendances d'évolution de la valeur ajoutée par grand secteur économique diffèrent fortement entre les secteurs. Deux tendances s'opposent radicalement. Le secteur tertiaire connaît une hausse dans l'ensemble des régions alors que le secteur agricole accuse une baisse dans toutes les régions. Dans les deux autres secteurs les évolutions divergent. En effet, si certaines régions, comme Basse-Normandie, Haute-Normandie ou Franche-Comté présentent une hausse de leur activité industrielle, d'autres, comme Aquitaine ou Nord-Pas-de-Calais, affichent une baisse. Dans le secteur du bâtiment et du génie civil, les tendances s'opposent également avec une légère contraction de l'activité de ce secteur dans les régions rurales, Limousin et Auvergne, et dans certaines régions de l'Ouest (Bretagne, Poitou-Charentes).

Tableau V-17. Croissance des grands secteurs économiques par région entre 1982 et 1992

(francs constants)	Agriculture	Industrie	BGCA	Tertiaire	VAB totale
Nord Pas de Calais	-43%	-5%	3%	30%	14%
Picardie	-32%	2%	17%	32%	16%
Ile de France	-37%	12%	28%	32%	26%
Centre	-32%	19%	12%	32%	22%
Haute-Normandie	-25%	23%	7%	16%	17%
Basse-Normandie	-20%	50%	8%	32%	31%
Bretagne	-17%	19%	-3%	28%	20%
Pays de la Loire	-16%	3%	10%	36%	21%
Poitou-Charentes	-29%	18%	-4%	25%	17%
Limousin	-60%	8%	-10%	23%	12%
Aquitaine	-6%	-19%	1%	34%	13%
Midi-Pyrénées	-41%	20%	6%	37%	25%
Champagne-Ardenne	-31%	6%	12%	22%	10%
Lorraine	-32%	7%	1%	18%	12%
Alsace	-10%	18%	32%	28%	24%
Franche-Comté	-9%	23%	3%	25%	22%
Bourgogne	-26%	5%	9%	30%	17%
Auvergne	-36%	14%	-6%	22%	15%
Rhône-Alpes	-26%	13%	13%	53%	33%
Languedoc-Roussillon	-29%	16%	-2%	37%	25%
PACA	-25%	21%	3%	24%	20%
France	-26%	11%	11%	31%	22%

Le calcul d'indices de spécificité sur la part du secteur industriel et agricole dans l'activité économique régionale et nationale établit une forte distinction entre les régions, avec d'un côté des régions agricoles ou industrielles comme Franche-Comté, Champagne-Ardenne ou Haute-Normandie et de l'autre côté les régions tertiaires comme Languedoc-Roussillon et PACA.

L'indice de spécificité calculé est le suivant :

$$IS_i^{AI} = \frac{VAB_i^{AI} / VAB_i}{VAB_n^{AI} / VAB_n} \qquad \text{[V-3b]}$$

VAB^{AI} : valeur ajoutée brute agricole et industrielle
VAB : valeur ajoutée brute totale
i : région (origine ou destination)
n : espace national

Tableau V-18. Indice de spécificité industriel global régional (1992)

	IS-vabai/vab92		IS-vabai/vab92
Nord Pas de C.	1,031	Midi-Pyrénées	0,919
Picardie	1,233	Champagne-A.	1,318
Ile de France	0,840	Lorraine	1,106
Centre	1,174	Alsace	1,233
Haute-Normandie	1,378	Franche-Comté	1,409
Basse-Normandie	1,177	Bourgogne	1,129
Bretagne	0,948	Auvergne	1,109
Pays de la Loire	1,089	Rhône-Alpes	1,179
Poitou-Charentes	1,029	Languedoc-R.	0,740
Limousin	0,946	PACA-Corse	0,710
Aquitaine	0,966		

sources : statistiques I.N.S.E.E. et D.R.A.F.

En évolution sur 10 ans, entre 1982 et 1992, la spécificité “ agricole / industrielle ” ou la spécificité “ tertiaire ” des régions ne connaît pas de transformation significative. Seules 5 régions, soit 23%, présentent une évolution de leur degré de spécificité industrielle ou agricole sur 10 ans. Un recul des spécificités est observé en particulier dans les régions Aquitaine et Rhône-Alpes qui auraient tendance à moins se spécialiser, ou à connaître une plus faible concentration spatiale d’activités, dans les secteurs primaires et secondaires que la moyenne française et de ce fait à s’orienter davantage vers le secteur tertiaire. A l’opposé, les régions Haute-Normandie et Basse-Normandie renforcent leurs spécificités agro-industrielles.

Tableau V-19. Evolution des spécificités industrielles entre 1982 et 1992 (VABAI//VAB)

	TCG82-92		**TCG82-92**
Aquitaine	-14,8%	Ile de France	1,9%
Rhône-Alpes	-10,8%	Centre	3,1%
Nord Pas de Calais	-7,2%	Bretagne	4,9%
Languedoc-Roussillon	-5,0%	Poitou-Charentes	5,0%
Pays de la Loire	-4,9%	Auvergne	6,7%
Picardie	-4,3%	Lorraine	7,3%
Midi-Pyrénées	-1,9%	Alsace	8,0%
Bourgogne	-1,9%	PACA	8,2%
Limousin	-1,2%	Franche-Comté	14,3%
Champagne-Ardenne	0,1%	Basse-Normandie	17,5%
		Haute-Normandie	17,7%

Cette stabilité relative des spécificités agricoles/industrielles ou tertiaires des régions n’est observée que sur une dizaine d’années mais tend tout de même à souligner la pérennité des structures productives ou tout du moins une très lente mutation de celles-ci. L’impact des spécificités industrielles ou agricoles des régions sur les échanges interrégionaux de marchandises devrait donc davantage jouer dans le sens d’une relative stabilité de la structure spatiale des échanges, si un impact particulier peut être mis en évidence.

Les spécificités sectorielles régionales plus fines calculées sur les différentes branches économiques de la valeur ajoutée agricole et industrielle, selon un découpage en NAP 40[7], sont

[7] La N.A.P. selon le découpage NAP 40 est présentée en annexe V-1.

assez nettement différenciées selon les régions. Ainsi la Lorraine demeure la région la plus spécifique avec une valeur ajoutée brute extrêmement élevée dans la production de combustibles minéraux solides (NAP T04). La spécificité sectorielle principale de chaque région, pour l'année 1992, est présentée dans le tableau ci-après et l'ensemble des indices de spécificité pour les différentes branches économiques et les différentes régions est présenté en annexe V-2.

Tableau V-20. Plus forte spécificité sectorielle en 1992 (branches économiques de la V.A.B. agricole ou industrielle régionale en NAP 40)

	spécificité sectorielle en 1992		**spécificité sectorielle en 1992**
Nord Pas de C.	Industrie du verre (T10)	Midi-Pyrénées	Matériaux de construction (T09)
Picardie	Industrie du verre (T10)	Champagne-A.	Agriculture (T01)
Ile de France	Industrie pétrolière (T05)	Lorraine	Combustibles minéraux solides (T04)
Centre	Industrie pharmaceutique et matière plastiques (T23+T12)	Alsace	Chimie de base, fibres synthétiques (T11)
Haute-Normandie	Industrie pétrolière (T05)	Franche-C.	Matériel de transport terrestre (T16+T17)
Basse-Normandie	Minerais et métaux ferreux et non ferreux (T07+T08)	Bourgogne	Agriculture (T01)
Bretagne	Agriculture, pêche (T01)	Auvergne	Industrie du caoutchouc, matière plastiques (T23+T12)
Pays de la Loire	Agriculture, pêche (T01)	Rhône-Alpes	Fonderie et travail des métaux (T13)
Poitou-Charentes	Industrie agro-alimentaire (T02+T03)	Languedoc-R.	Minerais et métaux ferreux et non ferreux (T07+T08)
Limousin	Papier, carton (T21)	PACA	Chimie de base, fibres synthétiques (T11)
Aquitaine	Agriculture, pêche (T01)		

Source : comptes régionaux INSEE (hors énergie (T06)), comptes départementaux DRAF pour T01 (hors sylviculture et pêche).

B. L'évolution des spécificités régionales

Les principales spécificités industrielles et agricoles régionales demeurent au cours du temps et constituent donc une caractéristique forte de l'appareil productif régional. Cette stabilité est particulièrement marquée dans la production ou le traitement des combustibles minéraux solides en Lorraine, la production agricole en Bretagne et en Pays de Loire, la construction automobile en Franche-Comté, la transformation du caoutchouc en Auvergne ou le traitement des produits pétroliers en Haute-Normandie. Un tableau synthétique des principales spécificités régionales au cours de la période 1975 – 1992 est présenté annexe V-2.

Ces spécificités cachent toutefois deux phénomènes distincts : des spécialisations régionales et des concentrations spatiales d'activité, comme nous l'avons souligné précédemment lors de la présentation des indices. Cette distinction peut aider à comprendre l'évolution de certains échanges interrégionaux, soit du fait de l'évolution de certaines spécialisations soit surtout du fait de modifications dans la concentration spatiale de certaines activités. Des coefficients de spécialisation et de localisation ont donc été calculés sur les valeurs ajoutées brutes globales et sur les valeurs ajoutées agricoles et industrielles régionales.

C. La distinction dans les spécificités régionales entre effet de spécialisation régionale et effet de concentration spatiale des activités

Les coefficients de spécialisation régionale et de localisation des activités sont calculés dans le but de connaître précisément les facteurs déterminants des spécificités régionales. Ainsi une région peut avoir une spécificité qui relève soit d'une spécialisation soit d'une concentration spatiale des activités soit des deux. Cette distinction a un intérêt certain quand on s'intéresse à l'évolution de l'organisation spatiale des activités sur l'espace économique de référence. L'évolution de la structure spatiale des échanges interrégionaux de marchandises peut en effet s'expliquer dans une certaine mesure par une intensification ou au contraire un abandon progressif de spécialisations anciennes devenues économiquement non rentables, mais aussi par une accentuation ou un relâchement de phénomènes de concentration spatiale des activités. Dans le premier cas, les leviers de commande sont davantage du ressort de la politique économique globale de la région et des aides au développement ou au renforcement des spécialisations locales. Dans le second cas, les leviers de commande sont plutôt à rechercher dans les stratégies de localisation des firmes en fonction des avantages comparatifs et surtout des économies d'agglomération et économies d'échelles permises par certaines formes de localisations concentrées dans l'espace.

Les degrés de spécialisation[8] calculés sur les valeurs ajoutées brutes régionales font nettement ressortir les régions n'ayant pas de spécialisation très marquée, voire étant des régions très diversifiées économiquement (Rhône-Alpes, Midi-Pyrénées, Limousin, Pays de Loire) et des régions très spécialisées dans une branche d'activité (Franche-Comté, Bretagne, …).

Tableau V-21. Coefficients de spécialisation (VAB 1992) francs constants 80

Nord Pas de Calais	0,079	Midi-Pyrénées	0,054
Picardie	0,108	Champagne-Ardenne	**0,142**
Ile de France	**0,114**	Lorraine	0,096
Centre	0,077	Alsace	0,095
Haute-Normandie	**0,148**	Franche-Comté	**0,158**
Basse-Normandie	0,105	Bourgogne	0,078
Bretagne	**0,112**	Auvergne	**0,123**
Pays de la Loire	0,058	Rhône-Alpes	0,066
Poitou-Charentes	0,093	Languedoc-Roussillon	0,094
Limousin	0,057	PACA-Corse	0,092
Aquitaine	0,074		

sources statistiques : I.N.S.E.E. (hors T06) et DRAF (hors sylviculture et pêche)

Des spécialisations bien connues ressortent très nettement, en particulier en Haute-Normandie (énergie), en Bretagne et Champagne-Ardenne (agriculture), en Franche-Comté (construction automobile) et en Corse (services non marchands). Le poids du tertiaire dans l'ensemble des économies régionales cache toutefois certaines spécialisations agricoles ou industrielles dont la valeur ajoutée reste bien inférieure à celle des branches tertiaires. En affinant le calcul au niveau de la valeur ajoutée agricole et industrielle, les spécialisations productives ressortent davantage. Deux cas de figure se distinguent alors plus nettement : des régions fortement spécialisées et d'autres très diversifiées.

[8] Les coefficients de spécialisation régionale sur les valeurs ajoutées brutes distinguées selon le découpage en NAP 40 sont présentés en annexe V-3.

Tableau V-22. Coefficients de spécialisation en VAB agricole et industrielle (1992)

Nord Pas de Calais	0,251	Midi-Pyrénées	0,232
Picardie	0,237	Champagne-Ardenne	**0,341**
Ile de France	0,272	Lorraine	0,269
Centre	0,164	Alsace	0,194
Haute-Normandie	0,259	Franche-Comté	**0,367**
Basse-Normandie	**0,288**	Bourgogne	0,199
Bretagne	**0,284**	Auvergne	0,230
Pays de la Loire	0,217	Rhône-Alpes	0,171
Poitou-Charentes	0,273	Languedoc-Roussillon	**0,298**
Limousin	0,234	PACA-Corse	0,270
Aquitaine	0,259		

sources statistiques : I.N.S.E.E. (hors T06) et DRAF (hors sylviculture et pêche)

Les spécialisations productives ressortent particulièrement pour les régions Franche-Comté dans la construction automobile et Champagne-Ardenne, Bretagne, et Languedoc-Roussillon dans l'agro-alimentaire.

L'étude des localisations d'activités[9] vient renforcer un des résultats apportés par le calcul des spécialisations selon lequel le tertiaire est une branche économique largement diffuse sur le territoire, les régions étant toutes bien dotées en services. Les principales concentrations spatiales d'activités en termes de valeur ajoutée produite concernent plus particulièrement l'agriculture, l'énergie, les biens intermédiaires et l'agro-alimentaire.

Tableau V-23. Coefficients de localisation (VAB-1992)

agriculture	**0,351**	Bâtiment	0,047
ind. agricoles et alimentaires	**0,202**	Commerce	0,033
Production pétrole et gaz	**0,431**	transports, télécommunications	0,052
Ind. biens intermédiaires	**0,219**	services marchands	0,101
Ind. biens d'équipement	0,103	Institutions financières	0,051
Ind. biens de consommation	0,092	tertiaire non marchand	0,073

sources : statistiques I.N.S.E.E. (hors T06) et DRAF (hors sylviculture et pêche)

En réduisant l'analyse aux seules branches industrielles et agricoles, les formes de concentration d'activités s'affinent.

Tableau V-24. Coefficients de localisation 1992 (VAB branches industrielles)

T01	Agriculture	0,332	T13	Fonderie, travail des métaux	0,191
T02	Indus. viande et lait	0,310	T14	Construction mécanique	0,135
T03	autres produits alimentaires	0,186	T15	Construction électrique, électronique	0,165
T04	Production de combustibles solides	**0,716**	T16	Matériel de transport terrestre	0,184
T05	Production de pétrole et de gaz naturel	**0,515**	T17	Construction navale et aéronautique	**0,358**
T07	Minerais et métaux ferreux	**0,486**	T18	textile, habillement	0,205
T08	Minerais, métaux non ferreux	0,335	T19	Industrie cuir et chaussure	0,333
T09	Matériaux de construction, minéraux	0,141	T20	Bois, meubles, industries diverses	0,152
T10	Industrie du verre	0,351	T21	Papier, carton	0,219
T11	Chimie de base, fibres	0,233	T22	Imprimerie, presse, édition	0,291
T12	Parachimie et pharmacie	0,241	T23	Caoutchouc, matières plastiques	0,267

sources statistiques : I.N.S.E.E. (hors T06) et DRAF (hors sylviculture et pêche)

[9] Les coefficients de localisation régionale des différentes branches agricoles et industrielles (NAP 40) sont présentés en annexe V-3.

La localisation des activités sur le territoire national apparaît donc très hétérogène selon les branches industrielles. Les productions de combustibles minéraux solides, de minerais et métaux ferreux sont fortement concentrées sur certaines parties du territoire (Lorraine, Nord Pas de Calais) ainsi que la production pétrolière (Haute-Normandie, Ile de France et Aquitaine)[10].

En évolution, on remarque que depuis la crise pétrolière de 1974 et les crises économiques des années 70 et 80, les spécialisations régionales se sont affaiblies. Les régions d'anciennes industries, ont connu une forte crise dans leurs spécialisations et sont entrées dans une phase de reconversion de leur système productif et de diversification économique. Les principales spécialisations qui se sont maintenues ou ont émergé plus récemment sont issues des branches agricoles et agro-alimentaires.

Tableau V-25. Evolution des spécialisations régionales en VAB agricoles et industrielles (82-92)

Rhône-Alpes	-45,3%	Lorraine	-0,6%
Aquitaine	-21,3%	Champagne-Ardenne	-0,2%
Centre	-19,6%	Picardie	-0,1%
Alsace	-19,1%	Ile de France	2,5%
Limousin	-14,4%	Poitou-Charentes	4,4%
Auvergne	-13,9%	Franche-Comté	6,9%
Bretagne	-10,2%	PACA	8,7%
Midi-Pyrénées	-7,2%	Basse-Normandie	14,1%
Nord Pas de Calais	-5,4%	Haute-Normandie	23,3%
Bourgogne	-4,0%	Pays de la Loire	32,6%
Languedoc-Roussillon	-0,7%		

sources statistiques : I.N.S.E.E. (hors T06) et DRAF (hors sylviculture et pêche)

La tendance générale est à la diminution ou à la stabilisation des spécialisations sectorielles. Les régions de la façade atlantique se présentent comme les régions qui ont le plus renforcé leurs spécialisations. Pour les régions Pays de Loire, Haute-Normandie, Basse-Normandie, on constate une cohérence avec le renforcement des spécificités sur la même période (cf. annexe V-2). L'évolution de leurs spécificités est donc fortement entretenue par des spécialisations. Il en est de même de la baisse des spécialisations pour les régions Rhône-Alpes et Aquitaine qui présentent aussi une réduction de leurs spécificités, respectivement dans les matériaux de construction et dans la production de gaz naturel.

Du point de vue de la localisation spatiale, deux tendances s'opposent avec, d'un côté, les branches agricole, agro-alimentaire et énergétique qui renforcent leur concentration spatiale et, de l'autre, l'industrie des biens de consommation qui connaît une diffusion spatiale.

[10] Cf. annexe V-3.

Tableau V-26. Evolution des concentrations d'activités par branche NAP40 (1982-1992)

T01	Agriculture	6,7%	T13	Fonderie, travail des métaux	36,2%
T02	Indus. viande et lait	-0,2%	T14	Construction mécanique	8,2%
T03	autres produits alimentaires	4,4%	T15	Construction électrique, électronique	-25,8%
T04	Production de combustibles solides	0,9%	T16	Matériel de transport terrestre	-15,6%
T05	Production de pétrole et de gaz naturel	13,8%	T17	Construction navale et aéronautique	19,3%
T07	Minerais et métaux ferreux	-1,8%	T18	textile, habillement	-23,7%
T08	Minerais, métaux non ferreux	2,0%	T19	Industrie cuir et chaussure	-29,3%
T09	Matériaux de construction, minéraux	-14,2%	T20	Bois, meubles, industries diverses	-14,6%
T10	Industrie du verre	0,9%	T21	Papier, carton	-18,0%
T11	Chimie de base, fibres	-5,5%	T22	Imprimerie, presse, édition	-0,3%
T12	Parachimie et pharmacie	-7,8%	T23	Caoutchouc, matières plastiques	-4,0%

sources statistiques : I.N.S.E.E. (hors T06) et DRAF (hors sylviculture et pêche)

V-3-2. La difficile construction d'un indicateur de proximité sectorielle ou organisationnelle interrégionale

A l'instar des séparations et des proximités spatiales, formalisées par des indicateurs de distance continue et de contiguïté discrète (variable indicatrice binaire)[11], un indicateur de proximité sectorielle et organisationnelle a été recherché pour exprimer les relations intra ou interindustrielles existant entre des activités appartenant à des réseaux fonctionnels ou organisationnels d'entreprises dans lesquels l'espace géographique n'intervient pas ou peu.

Des indices d'écarts absolus ou relatifs ont été construits puis abandonnés car ils ne conduisaient pas à une mesure correcte et sans équivoque des différentiels interrégionaux de spécificité ou de spécialisation d'une part et des phénomènes de dépendance sectorielle entre certaines régions d'autre part. Ainsi, un faible écart pouvait provenir soit de deux régions très spécialisées soit au contraire de deux régions fortement diversifiées. Or, notre recherche portant sur la détermination de l'impact éventuel des spécificités sur la structure spatiale des échanges interrégionaux, il est nécessaire que les indicateurs d'écart interrégional de spécificité sectorielle distinguent clairement les échanges entre deux régions spécialisées et ceux entre deux régions plutôt diversifiées. Ce type d'écarts interrégionaux relatifs aux degrés de spécificité ou de spécialisation restent peu développés. Quelques recherches toutefois s'inscrivent dans ce domaine, notamment des travaux d'Olivier Thomas (1999) sur la construction d'indicateurs de distance entre les structures productives fonctionnelles de chaque ville dans le but de montrer dans quelle mesure la proximité organisationnelle est susceptible de stimuler la croissance économique urbaine.

Les résultats décevants obtenus dans la recherche de tels indicateurs nous ont conduit à conserver l'approche classique selon laquelle les facteurs socio-économiques interviennent en tant que masses d'attraction ou d'émission.

[11] Cf. section VI suivante.

Section VI.

La structuration de l'espace par l'offre de transport

Les facteurs spatiaux mesurés par des indicateurs de séparation spatiale et de proximité sont exploités comme facteurs de frein aux échanges et éléments d'orientation géographique des interactions spatiales. Les facteurs de séparation spatiale et de proximité expriment, à travers des distances réseaux ou des indicateurs de contiguïté pondérée, les effets de la structuration du territoire par l'offre de transport sur la distribution spatiale du fret. Leur impact peut être apprécié soit de façon individuelle en tant que facteurs explicatifs uniques ou facteurs complémentaires aux effets des facteurs d'attraction, soit de façon combinée aux facteurs d'attraction au sein d'indicateurs d'accessibilité interrégionale.

VI-1. Les indicateurs de distance et de proximité

En cohérence avec les orientations méthodologiques du modèle, deux mesures de la distance ont été retenues et considérées comme des variables susceptibles d'expliquer la structure spatiale du fret interrégional : une mesure quantitative et concrète de la distance, ou distance-longueur (Beguin et Thisse, 1979), entre les villes centroïdes de région et une mesure qualitative de la distance, à l'aide de matrices de contiguïté interrégionale dans le but de mettre l'accent sur l'expression de proximités spatiales.

VI-1-1. La distance en analyse spatiale

La distance est une notion fondamentale en analyse spatiale. Elle permet de distinguer les éléments dans " l'espace des lieux ". C'est une mesure de la séparation spatiale entre deux lieux qui peuvent être générateurs d'activités ou de déplacements. La distance interfère de ce fait avec tous les déplacements de personnes ou de marchandises. Ce concept se retrouve dans les théories et modèles fondamentaux de l'analyse spatiale et plus particulièrement de la localisation et de l'échange. Dans de tels modèles, la distance possède un pouvoir explicatif important des formes de localisation et de déplacement : modèles d'interactions spatiales, modèles gravitaires, théorie des lieux centraux.

Différents domaines scientifiques offrent une acception particulière de la distance : la distance économique, sociale, géographique ou mathématique. Les approches sont soit très abstraites, avec des mesures mathématiques, sensorielles avec une mesure perçue dans le domaine social, ou très concrètes avec un repérage sur le terrain qui tient compte du relief ou de la sinuosité des routes, à l'instar des distances relevées sur les cartes I.G.N. ou routières.

La définition mathématique (Pumain, St Julien, 1997) de la distance mesure la séparation entre deux points *i* et *j*. C'est une mesure toujours positive, d(ij) >0, nulle si les deux points sont confondus, d(ij) = 0 si i=j, elle est symétrique d(ij) = d(ji) et vérifie l'inégalité triangulaire d(ij) ≥ (d(ik) = d(kj)). Dans cette approche, l'espace est métrique.

L'expression mathématique la plus courante est la distance euclidienne ou *distance à vol d'oiseau*, qui mesure le plus court chemin entre deux points repérés par leurs coordonnées géographiques *x* et *y*. Elle est calculée grâce au théorème de Pythagore :

$$d_{ij} = \sqrt{\left(x_i - x_j\right)^2 + \left(y_i - y_j\right)^2} \qquad \text{[VI-1]}$$

Une autre expression, moins courante, est la distance rectilinéaire ou distance de Manhattan qui mesure la somme des valeurs absolues des différences entre les coordonnées en latitude et en longitude :

$$d_{ij} = \left|x_i - x_j\right| + \left|y_i - y_j\right| \qquad \text{[VI-2]}$$

Ces mesures rendent compte d'une dimension abstraite de la distance entre deux lieux, qui a comme avantages, d'une part, d'être facile à calculer au contraire des relevés de terrain plus laborieux à réaliser et, d'autre part, de fournir une mesure homogène pour tous les segments de points. Toutefois, ces distances demeurent trop abstraites et incomplètes dans le domaine de la géographie car elles font abstraction du relief et reposent sur l'hypothèse d'un espace isotrope. Ces mesures posent également problème dans le domaine économique en faisant abstraction de considérations temporelles ou monétaires et d'effets négatifs de pénibilité occasionnés par la séparation spatiale liée à tout déplacement. En économie, la distance est souvent exprimée en distance-temps ou en coût généralisé de transport. Les distances *économiques* se distinguent fortement par le fait qu'elles ne vérifient plus les propriétés des distances mathématiques à savoir qu'elles ne sont pas toujours symétriques entre deux points (présence de voies à sens unique), ne vérifient pas l'inégalité triangulaire, notamment dans les organisations de transport par les systèmes de " hub and spoke " dans lesquels le chemin le plus long en kilomètres peut être le plus rapide et/ou le plus rentable ou encore le plus efficient du point de vue économique. Dans une telle organisation de transport, on ne se trouve plus dans un espace métrique et la définition comme la mesure de la distance " *contiennent plus de temps et de fiabilité et moins de longueur* " (Bonnafous, 1990).

La distance mesurée en longueur prend plusieurs noms, distance-longueur, distance-transport, distance-itinéraire ou distance-réseau. C'est la mesure de la distance la plus couramment employée. Elle peut se décliner sous différentes unités. Elle est le plus souvent exprimée en kilométrage parcouru entre les lieux d'origine et de destination. Cette distance est souvent employée du fait de sa facilité de mesure et peut recouvrir des expressions abstraites, la distance euclidienne, ou très concrètes, la distance " réellement parcourue ".

VI-1-2. Les mesures quantitatives de “ distance interrégionale ”

Trois mesures distinctes de distance-longueur ont été calculées pour être testées dans le modèle en tant que facteur de séparation spatiale pouvant affecter la distribution spatiale du fret : la distance kilométrique, la distance-temps ou fonctionnelle et la distance-coût.

Ces mesures de distance font généralement référence au mode routier en raison de la difficulté d’obtenir des statistiques sur les facteurs de compétitivité relatives aux autres modes en particulier les temps de transport du mode ferroviaire[1].

A. La distance kilométrique

Le premier indicateur de distance kilométrique testé est une mesure de distance “ réseau ” calculée par la somme des longueurs des segments du réseau structurant interrégional. Cette mesure a été établie à partir d’une carte routière et à l’aide du logiciel Autoroute Express en relevant les kilométrages des itinéraires routiers les plus empruntés entre les villes capitales régionales considérées comme les centroïdes de région. Ces centroïdes décrits précédemment constituent les nœuds du graphe schématique des interactions spatiales (cf. section I).

Le second indicateur de distance géographique testé est une mesure de la distance "réellement" parcourue par les tonnages interrégionaux de marchandises observés et recensés dans la base de données S.I.TRA.M.. La distance parcourue entre deux régions est une moyenne annuelle pondérée calculée par le rapport entre les tonnes-kilomètres réalisées et les tonnes transportées pour chaque liaison interrégionale d’échange. Cette distance est une distance concrète au sens où elle est issue des parcours effectivement réalisés par les marchandises transportées. Cette distance est définie comme une moyenne des kilomètres parcourus pondérée par les volumes transportés annuellement pour chaque liaison origine-destination et pour chaque catégorie N.S.T. de marchandises.

$$KM_{ij} = \frac{TKM_{ij}}{T_{ij}} = \frac{\sum_{nst} TKM_{ij}^{nst}}{\sum_{nst} T_{ij}^{nst}} = \sum_{nst} \left(\frac{T_{ij}^{nst}}{T_{ij}} * KM_{ij}^{nst} \right) \qquad \text{[VI-3]}$$

Cet indicateur de distance est calculé pour l’ensemble des flux réalisés avec les trois modes de transport route, fer et fluvial. Il intègre de part sa construction deux grands éléments qui peuvent être démultipliés pour chaque mode de transport : les variations annuelles de la distance de transport en charge pour chaque grande catégorie de produits et le poids relatif des tonnages de chaque catégorie N.S.T. dans le tonnage total transporté annuellement. De ce fait, l’évolution des distances kilométriques peut résulter soit d’un accroissement des kilométrages moyens parcourus soit d’une modification de la structure sectorielle des tonnages transportés.

Les deux mesures de distance kilométrique offrent pour chaque liaison interrégionale une estimation du même ordre de grandeur[2] mais se différencient par leurs propriétés. La distance

[1] Cf. Latreille (1997), p. 130.

[2] Cf. annexe VI- 1, les matrices interrégionales des distances kilométriques réseau et des distances parcourues par les marchandises transportées.

moyenne parcourue reconstruite à partir des tonnes-kilomètres et des tonnes transportées issues de la banque de données S.I.TRA.M. n'est pas symétrique pour une même liaison interrégionale alors que la distance réseau est symétrique. Cette différence confère un avantage supplémentaire à la distance kilométrique reconstruite car elle permet de tenir compte de différents types de distribution logistique du fret entre les régions et de différences dans les itinéraires d'approche et de livraison.

La mesure de la distance kilométrique reconstruite présente aussi un très grand avantage par rapport à la distance-réseau, celui d'être disponible en série chronologique longue. La distance moyenne pondérée pour chaque liaison interrégionale peut être calculée sur l'ensemble de la période 1975-1994 pour laquelle des estimations du tonnage-kilométrique et du tonnage sont disponibles.

L'évolution des distances kilométriques annuelles moyennes par liaison interrégionale entre 1975 et 1994 présente davantage une tendance à la baisse qu'à la hausse ; En effet, 74% des distances moyennes interrégionales sont orientées à la baisse contre 26% à la hausse. Ces variations restent limitées, 62% n'excédant pas à la hausse comme à la baisse 10% sur 20 ans et 92% n'excédant pas 20%.

B. La distance fonctionnelle ou temporelle

L'estimation de la distance-temps pose davantage de difficultés de mesure car elle nécessite des informations relatives à la vitesse moyenne de déplacement en plus des kilométrages parcourus. Des statistiques relatives au temps de transport pour chaque mode de transport et sous la forme d'une matrice origine-destination interrégionale restent relativement rares.

Ainsi, l'Observatoire Régional des Transports (O.R.T.) des Pays de Loire a élaboré une matrice interrégionale des temps d'acheminement routier des marchandises entre les préfectures régionales pour l'année 1994 (ORT des Pays de Loire, 1995). En revanche pour les modes ferroviaire et fluvial, ces statistiques n'existent pas. Pour l'année 1994, la matrice des temps de transport utilisée est donc celle élaborée par l'ORT des Pays de Loire[3]. Ces temps de parcours sont des temps minima opérationnels de conduite ayant pour objectif premier de fournir un outil d'aide à l'exploitation des transports de marchandises tant pour les chargeurs (fixation des délais de livraison) que pour les transporteurs (meilleure gestion des temps de transport). Plusieurs critères, matériels et sociaux, sont retenus pour le calcul des temps minima de transport routier. Les caractéristiques des itinéraires sont les suivantes : l'itinéraire le plus rapide entre capitales, des itinéraires directs c'est-à-dire avec une charge complète jusqu'à destination, des conditions de fluidité optimales de circulation (trafics faibles et aucune perturbation de la circulation). Les types de véhicules considérés sont des poids lourds articulés de plus de 12 tonnes de P.T.A.C., constituant après observation le plus grand nombre des poids lourds dans les transports interurbains[4]. La nature des marchandises est la catégorie des marchandises générales, importante

[3] Cf. annexe VI-2 : matrice des temps de parcours routiers entre capitales régionales avec ou sans le temps de repos journalier réglementaire de 9 heures.

[4] Ce type de véhicule est également celui retenu par le Comité National Routier pour l'estimation annuelle du coût moyen du transport routier (Cahiers de l'Observatoire du CNR).

en tonnage en interurbain et ne faisant pas l'objet de limitations de vitesse particulières à l'instar du transport des matières dangereuses. Les critères sociaux font référence au type de conduite et à la réglementation sociale des transports routiers. L'organisation de la conduite retenue est celle d'un équipage simple (une seule personne) qui représente 90% des transports interurbains. Les règles de conduite et de temps de repos sont pris en compte. La conduite continue est fixée à 4h30 maximum suivie d'une pause de 45 minutes minimum. La conduite journalière est fixée à un maximum de 9 heures avec un aménagement de 10 heures pour les relations nécessitant une journée de transport pouvant aller entre 9h15 et 11h30, temps de pause compris. Le temps de repos journalier retenu est le temps de repos minimum de 9 heures.

Cette expression fournit une déformation de l'espace par rapport à la distance kilométrique moyenne parcourue en intégrant l'hétérogénéité physique de l'espace en termes de relief et de capacités routières qui influent sur la vitesse de circulation.

L'évolution du temps de transport interrégional pose davantage problème, car aucune série chronologique longue n'est disponible, que ce soit pour les temps de transport, les vitesses moyennes en lien avec l'allongement des réseaux autoroutiers pour le mode routier ou encore les améliorations organisationnelles pour le transport ferroviaire. Les temps moyens de transport sur chaque liaison O/D ont donc été reconstruits à partir des distances kilométriques moyennes calculées chaque année et de la matrice des temps de transport routier disponible pour une année. Le calcul a consisté à appliquer le rapport des kilométrages parcourus et des temps de transport de l'année 1994 aux kilométrages parcourus les autres années. Cette estimation est simplificatrice car elle pose l'hypothèse d'invariance des vitesses de transport au cours du temps, sans intégrer les progrès techniques affectant les véhicules ou l'allongement du réseau autoroutier.

C. La distance-coût

La distance-coût peut être définie comme une expression monétaire de la distance kilométrique ou de la distance fonctionnelle de transport. Le coût de transport est une expression économique de la distance par la valorisation des temps et kilomètres parcourus. Cette mesure engendre une nouvelle déformation de l'espace par rapport à la distance-temps en raison de la prise en compte d'une valeur du temps de transport.

Toutefois, la valeur du temps en transport de marchandises reste encore actuellement difficile à évaluer. Les méthodes traditionnelles utilisées sont soit la méthode des coûts des facteurs soit la méthode du modèle de choix (Calzada, Jiang, 1996). La première consiste à calculer les coûts d'exploitation de transport puis à déterminer quels composants du coût sont affectés par un changement dans le temps de transport. La deuxième méthode mesure la valeur du temps en calculant un ratio entre le temps de transport et le coût de transport, ces deux paramètres étant estimés à l'aide d'enquêtes auprès des chargeurs, de type préférences révélées ou préférences déclarées. Diverses méthodes d'estimation de la valeur du temps sont en effet appliquées.

L'approche des préférences révélées consiste à étudier le comportement et les choix effectués par le chargeur face à une réduction du temps de transport, le plus souvent en estimant son consentement à payer à l'aide d'un modèle économétrique.

L'approche d'estimation à partir de préférences déclarées constitue la seconde grande méthode utilisée. Elle se décline elle-même en plusieurs méthodes. La méthode de comportements consiste à analyser le comportement du décideur du transport face à différentes alternatives qui soit sont d'ordre intramodal (choix entre une infrastructure à péage ou sans péage), soit affectent le choix modal (application d'un modèle logit notamment pour estimer l'influence d'un changement de temps de transport sur le coût de transport)[5]. La méthode du " transfer price ", utilisée en France (Marmorstein-Wynter, 1994), permet de déterminer la hausse de prix qui fera changer le décideur de mode et donc le prix d'équilibre entre deux modes de transport.

Les estimations obtenues avec ces différentes méthodes présentent une forte dispersion comme le montre la synthèse chiffrée proposée par Calzada et Jiang (1996).

Tableau VI-1. Valeurs du temps en transport de marchandises moyennes en F/min/tonne

	Fer	Route	Voies navigables
Suède	0,1	0,5	-
Pays-Bas	0,5 – 1,5	2 – 6	0,1 – 0,4
France	-	7,2 - 14	-

Source bibliographique : Calzada et Jiang (1996)

Les estimations effectuées par Wynter sont intéressantes dans le cadre de la modélisation spatiale du transport interrégional de marchandises, par la distinction des valeurs du temps du transport routier selon différentes classes de distances.

Tableau VI-2. Estimations de valeur du temps moyenne par classe de grandes distances en transport routier de marchandises (F/min)

Classes de distances (km)	valeur moyenne	Classes de distances (km)	valeur moyenne
Moins de 350	7,2	Plus de 350	9,3
Moins de 450	7,7	Plus de 450	9,4
Moins de 550	8,0	Plus de 550	9,4
Moins de 650	8,0	Plus de 650	11,65
Moins de 750	8,2	Plus de 750	11,4
Moins de 850	8,3	Plus de 850	14
Moins de 950	8,4	Plus de 950	14

Source : Marmorstein-Wynter, 1994

L'utilisation de telles estimations dans le cadre de notre recherche ne peut se faire toutefois qu'en considérant la valeur du temps comme un élément additionnel au coût d'exploitation des transports de marchandises. Toutefois, ne disposant pas de série chronologique sur l'évolution des valeurs du temps en transport interurbain de marchandises, l'intégration de ce paramètre dans l'estimation du coût de transport d'exploitation (calculé à partir des coûts unitaires de la D.T.T.), ne modifiera pas les résultats économétriques obtenus avec les seules variations du coût d'exploitation de transport.

[5] Cf. pour les Pays-Bas : DE JONG G, GOMMERS M (1992), cité par CALZADA ET JIANG (1996).
Pour la Suède : WIDLERT S., BRADLEY M. (1992).

L'estimation d'un coût généralisé[6] du transport de marchandises en interurbain intégrant un paramètre de valeur du temps, fonction de la distance et/ou de la nature des marchandises transportées, est apparu comme un travail trop important d'enquête et de modélisation pour être mené dans le cadre de la thèse. Le concept de coût généralisé de transport est défini comme la somme des différents éléments présentant une désutilité au cours d'un transport. Dans sa forme la plus simple, il correspond à la somme du prix du transport et du temps de transport mesuré par une valeur du temps (Quinet, 1998) :

$$CG = p_i + \frac{\partial V}{\partial T} \Big/ \frac{\partial V}{\partial r} t_i \qquad \text{[VI-4]}$$

V : fonction d'utilité indirecte ; T : temps
r : revenu ; p_i : prix de l'activité i
t_i : temps pour consommer l'activité i (par ex. du transport)

D'autres facteurs peuvent être pris en compte en plus du prix et du temps de transport, tels que la fiabilité du transport ou la probabilité de perte ou de dommage à la marchandise. Le coût généralisé de transport peut en effet comporter un nombre élevé de paramètres et ceci d'autant plus si l'on souhaite effectuer des comparaisons entre différents modes. Beuthe et alii (2000) listent en particulier les coûts à considérer en plus du coût de déplacement proprement dit : "*Le coût généralisé des modes et moyens de transport […] comporte tous les coûts du déplacement de la marchandise, y compris celui des unités de chargement nécessaires, par exemple des conteneurs, les coûts de chargement, déchargement, transbordement […]. Il inclut également la valeur des dommages que peuvent subir les marchandises durant le transport, et notamment lors des transbordements, le coût du capital en marchandises et sa dépréciation éventuelle durant le transport. Il comprend encore les coûts du stock chez le destinataire […]. Enfin, il doit prendre en compte d'autres éléments plus qualitatifs comme la flexibilité relative d'ajustement à des flux variables, l'information disponible durant le transport et la commodité administrative d'organisation*".

La valorisation monétaire des différents paramètres constitutifs du coût généralisé du transport de marchandises est donc une tâche lourde et complexe. Si certains paramètres autorisent une estimation monétaire rapide et simple, tels que les péages ou le carburant consommé, d'autres en revanche, tels que les éléments qualitatifs relatifs aux risques d'accident, à la détérioration de la marchandise durant le transport ou à la fiabilité du transport, sont plus délicats à estimer.

Face à ces difficultés méthodologiques à estimer les coûts généralisés du transport de marchandises, une estimation empirique du coût de transport a été retenue. Les coûts considérés se réfèrent uniquement au mode routier en raison de la difficulté d'obtenir des informations statistiques relatives aux coûts de transport ferroviaire (Latreille, LET, 1997).

L'estimation concrète du coût de transport de marchandises repose sur les coûts d'exploitation du transport interurbain de marchandises calculés par des organismes publics tels que le Comité National Routier (C.N.R.). Ces coûts d'exploitation se déclinent en coûts kilométriques et en coûts fixes horaires. Ces postes de coût donnent une évaluation de la désutilité du parcours par opposition à l'utilité du déplacement de la marchandise représentée par la vente ou la livraison du produit au lieu de destination. Les coûts de transport utilisés sont donc des coûts d'exploitation du transport routier de marchandises effectué sur de longues distances, en interurbain et pour des

[6] Cf. notamment sur ce point : BLOY et alii (1977), pp. 25-26, QUINET (1998), pp. 89-92, JOURQUIN (1996), pp. 70-103.

marchandises générales. Ils prennent en compte les éléments facilement quantifiables entrant dans les coûts d'exploitation des transporteurs. Les éléments difficilement quantifiables comme la valeur du temps des marchandises, la fiabilité du service, le confort de conduite ne sont donc pas considérés.

Le coût de transport calculé est un coût moyen et opérationnel comprenant des coûts directs (kilométriques comme le carburant, périodiques comme les salaires) et des coûts indirects, frais généraux ou charges de structure (CNR, 1999). Les coûts directs kilométriques comprennent les postes suivants : carburant, pneumatiques, entretien-réparation et péages. Les coûts fixes sont liés à la notion de temps et dépendent du niveau d'activité : salaires, charges de personnel, frais de route des chauffeurs, assurances du véhicule et de la marchandise, taxes et cotisations, coût de renouvellement du matériel et coût de financement du renouvellement. Les charges de structures comprennent les charges de l'entreprise qui concernent globalement ou en partie tous les postes et sont donc affectées pour une part à chaque poste (charges de personnel, impôts, achats, dotations aux amortissements, charges financières, charges exceptionnelles, ...). Les coûts unitaires routiers sont des estimations moyennes relatives au transport sur longues distances interurbaines effectuées par une semi-remorque savoyarde de 40 tonnes, qui est le véhicule de référence en interurbain pour le C.N.R..

Le coût unitaire de transport routier de marchandises estimé pour l'année 1994 comprend les postes de l'exploitation de l'année 1994 : un kilométrage annuel de 92 135 km dont 30 400 km sur autoroute, 221 jours d'activité dans l'année, 172 voyages et un ratio conducteurs/véhicules de 1.

Tableau VI-3. Coût unitaire routier d'exploitation de référence pour l'année 1994

Coûts kilométriques	coûts unitaires en F/km
carburant	1,1585
pneumatiques	0,2551
entretien-réparations	0,6431
péages	0,2380
total coûts kilométriques	2,2947 F /km
Coûts fixes	coûts fixes en F/H
salaires et charges	91 F/H (180 739 F/an)
frais de route	23,60 F/H (46 935 F/an)
assurances	12,38 F/H (24621 F/an)
taxes et cotisations	2,10 F/H (4151 F/an)
renouvellement et financement matériel	58,70 F/H (116746 F/an)
frais généraux	54,55 F/H
total coûts fixes	242,34 F /H

source : CNR, 1995

Ces coûts unitaires sont appliqués aux mesures de distances kilométriques parcourues et aux temps minima d'acheminement routier présentés précédemment. Ces estimations ont été réalisées pour les années 1994 et 1992. Plusieurs hypothèses simplificatrices ont été posées. La première est que le temps d'acheminement routier est invariant dans le temps. La deuxième est que le temps de transport routier est appliqué aux kilométrages effectués pour l'ensemble des modes de transport à défaut de posséder une estimation des temps de transport pour chacun des modes. Les coûts

unitaires tous modes sont donc assimilés aux coûts routiers et appliqués de ce fait aux distances kilométriques moyennes en charge tous modes de transport confondus.

En évolution, il n'est pas possible d'utiliser les variations annuelles de coûts d'exploitation routiers du C.N.R. car ces coûts n'ont pas été calculés sur une série chronologique relativement longue et, en outre, n'ont pas été élaborés selon une même méthodologie. En revanche, une autre estimation des coûts du transport routier de marchandises en interurbain a été établie par la Direction des Transports Terrestres sur une période de 20 ans et a fait l'objet d'une homogénéisation.

L'évolution du coût de transport routier est donc déclinée en série longue grâce aux coûts unitaires annuels par véhicule/kilomètre calculés par la Direction des Transports Terrestres entre 1973 et 1992 (Benoit, DTT, 1994). La série chronologique des coûts unitaires de transport a été harmonisée sur la méthode de recueil des données des dernières années. Les coûts sont relatifs à des ensembles routiers de 38/40 tonnes ayant l'essentiel de leur activité en interurbain, pour des transports sur longues distances et pour du fret de marchandises générales. L'enquête sur les coûts de transport effectuée par la DTT avait pour objet le suivi des coûts réels de transport dans le but de fournir des indications sur l'évolution des coûts de transport aux pouvoirs publics ayant à décider du relèvement des barèmes de la Tarification Routière obligatoire (T.R.O.) encore en vigueur à ce moment là. Les informations recueillies sont donc précises sur un échantillon d'entreprises effectuant du transport à longue distance avec des véhicules de 38 tonnes ou plus. Toutefois, les résultats publiés par cette enquête ne reflétaient pas toujours a posteriori les coûts supportés par l'ensemble des entreprises (Bernadet, 1995). Cette limite est toutefois à relativiser pour deux raisons. La première est que cette évolution a été confirmée par des travaux d'homogénéisation des calculs de coût de transport issus du C.N.R. (Meteyer, *et alii*, S.E.S., 1999) et la seconde est que ces travaux ont le mérite de présenter une évolution des coûts de transport à long terme sur une base homogène d'élaboration permettant d'effectuer des analyses chronologiques.

La série chronologique du coût de transport est finalement construite à partir des coûts de revient unitaires de la Direction des Transports Terrestres, appliqués aux distances kilométriques moyennes parcourues reconstruites à partir des tonnages-kilométriques et des tonnages, pour les années 1975 à 1992. La série obtenue fournit une estimation du coût moyen de transport pour un véhicule effectuant un kilométrage moyen annuel sur une liaison origine-destination interrégionale.

De façon générale, les coûts de transport calculés sur les liaisons interrégionales d'échange, à partir des données de la D.T.T., présentent une tendance à la baisse. Ainsi, pour 99% des relations interrégionales, le coût de transport moyen, fonction de l'évolution du kilométrage moyen parcouru en charge, a tendance à diminuer avec un taux global moyen de -27% et selon des taux allant de -1% à -58% sur une période de 17 ans. Les coûts moyens de transport annuels augmentent en revanche sur 5 liaisons origine-destination entre 0,2% et 23% sur la même période. Les coûts de transport se différencient donc des distances moyennes parcourues par une tendance d'évolution plus marquée et très nettement orientée à la baisse.

VI-2. Les distances de contiguïté

Les positions géographiques relatives des régions dans l'espace national peuvent être chiffrées à l'aide d'un indicateur de contiguïté interrégionale. En outre, la prise en compte ou le traitement de phénomènes d'autocorrélation spatiale sur les variables dépendantes du modèle ou sur les résidus de modélisation nécessite aussi de disposer d'une matrice de contiguïté spatiale.

Plusieurs indicateurs de contiguïté spatiale peuvent être construits et utilisés pour l'analyse descriptive comme pour la modélisation. Les mesures de contiguïté peuvent être très sommaires avec une contiguïté stricte d'ordre 1, ou plus complexes avec une généralisation de la contiguïté d'ordre *n*, relative au nombre de frontières minimum à traverser pour passer d'une région à l'autre, ou à une pondération pour qualifier plus précisément les frontières.

La contiguïté renseigne sur les possibilités d'interactions spatiales directes ou non entre les régions du fait de leurs positions géographiques. Les effets propres à l'existence d'une proximité spatiale sur les variables économiques sont intuitivement très proches de ceux relevant d'une proximité temporelle. Ces effets comportent d'ailleurs un intitulé proche puisqu'on parle dans le premier cas d'autocorrélation spatiale et dans le second d'autocorrélation sérielle ou uniquement d'autocorrélation. Dans ce dernier cas, l'interaction directe entre deux observations est fonction de leur décalage temporel. Les phénomènes d'autocorrélation sérielle traitent des effets de la variable observée ou du résidu de modélisation à la date *t-1* sur la variable observée ou le résidu à la date *t*. De la même manière, les phénomènes d'autocorrélation spatiale font interagir une variable d'une entité spatiale ou d'une région *r* sur la même variable dans une autre région directement contiguë ou contiguë à un certain degré selon le degré de proximité spatiale.

La contiguïté se présente le plus souvent comme une mesure discrète du concept plus général de distance, qui repose sur un codage fonction des modalités caractérisant la proximité spatiale. Les indicateurs de contiguïté peuvent aussi être directement fonction de distances kilométriques[7]. Dans le cas des mesures discrètes qui nous intéressent pour qualifier la position géographique relative des régions, trois principales familles sont généralement utilisées[8] : la contiguïté stricte avec une mesure binaire, les distances de contiguïté avec une hiérarchie des contiguïtés codées selon un ordre *n* et une contiguïté pondérée qui tend à exprimer une proximité généralisée à l'aide d'éléments qualifiant la contiguïté stricte et intégrant de ce fait des degrés de différenciation plus fins de la contiguïté.

Dans le cadre des échanges interrégionaux, la contiguïté porte sur la position géographique des régions. Elle peut varier entre une mesure stricte liée à la présence d'une frontière commune, une mesure plus souple intégrant des ordres de contiguïté liés au nombre de frontières à traverser entre les régions et une mesure plus complexe en pondérant la contiguïté par des facteurs qualifiant les frontières à franchir. Quel que soit l'indicateur, la forme de la matrice de contiguïté est carrée et symétrique. L'élément constitutif de base de la matrice de contiguïté, noté *Cij* dans le cas d'une contiguïté stricte, traduit l'existence ou non d'une frontière commune et donc d'une contiguïté.

---

[7] Cf. travaux de modélisation de B. SCHEOU (1997) ayant recours à ce type de matrice de contiguïté.

[8] Cf. ANSELIN (1988), pp. 16-22 et JAYET (1993), pp. 7-13.

VI-2-1. La contiguïté stricte et les distances simples de contiguïté

Dans le cas de contiguïté stricte, deux zones géographiques sont contiguës quand elles ont une frontière commune et l'élément *Cij* prend la valeur 1 dans le cas de contiguïté directe (frontière commune) et la valeur 0 dans le cas de non-contiguïté (absence de frontière commune). La matrice de contiguïté stricte correspondant au découpage interrégional de l'espace national est présentée en annexe VI-4. Dans le cas de contiguïté d'ordre *n*, l'ordre 1 (Cij = 1) correspond à la présence d'une frontière commune, l'ordre 2 (Cij=2) correspond au cas où il y a deux frontières à traverser, etc. Plus les régions sont éloignées et plus l'ordre de contiguïté est élevé. L'ordre de contiguïté devient une distance à valeurs positives vérifiant les propriétés d'inégalité triangulaire. La matrice de contiguïté comporte les distances de contiguïté interrégionale correspondant au nombre de frontières à traverser (cf. annexe VI-4).

VI-2-2. Les indicateurs de contiguïté pondérée

Les distances de contiguïté peuvent être pondérées par des paramètres qualifiant les frontières interrégionales comme la longueur des frontières, la part d'une frontière entre deux régions dans la frontière globale d'une des deux régions ou les capacités des voies de communication transfrontalières. Les pondérations permettent de dépasser l'équivalence théorique des distances de contiguïté concernant toutes les frontières. L'espace réel est formé de complexités où les formes régulières sont rares. De ce fait, les pondérations permettent de considérer des contiguïtés de même ordre mais avec des poids et des caractéristiques différents. La matrice des contiguïtés pondérées, notée *Wij*, est construite par l'application de coefficients proportionnels à une modalité qualifiant les frontières régionales.

Les recherches théoriques et travaux empiriques intégrant des matrices de contiguïté plus générales, présentés par Anselin (1988) ont été initiés par Cliff et Ord (1973) qui ont cherché à développer une mesure générale de la contiguïté spatiale *" to include a general measure of the potential interaction between two spatial units "* (Anselin, 1988). Les premières propositions ont porté sur une combinaison de mesures de la distance entre deux entités spatiales et de la longueur relative de la frontière commune entre ces deux entités spatiales.

$$W_{ij} = [d_{ij}]^{-a} * [\beta_{ij}]^{b} \qquad \text{[VI-5]}$$

d_{ij} : distance continue entre i et j
β_{ii} : proportion de la frontière de la zone i en contact avec la zone j
a, b : paramètres à estimer

A l'aide des différentes matrices de contiguïté pondérée présentées par Anselin et des diverses formulations proposées, nous avons sélectionné un certain nombre de modalités susceptibles d'avoir des effets sur la distribution spatiale des tonnages interrégionaux : la longueur kilométrique des frontières communes, les capacités pratiques des voies de communication routières transfrontalières, la surface des régions et la part d'une frontière commune entre deux régions dans la frontière totale de la région émettrice des flux.

La pondération par la longueur des frontières kilométriques régionales peut directement affecter les échanges de marchandises en raison d'une plus grande zone d'interface. En effet, les interactions entre régions contiguës sont particulièrement fortes en transport de marchandises en

raison de l'importance des flux transfrontaliers de courte distance pouvant être assimilés à des transports intrarégionaux de distribution entre des villes ou des zones industrielles peu éloignées géographiquement même si elles n'appartiennent pas à la même entité spatiale. De plus, dans le cas de flux interrégionaux au sein d'un même pays, les effets de frontière sont inexistants ou marginaux. De ce fait, l'effet permissif de la proximité spatiale directe sur les échanges de marchandises peut être renforcé par celui de la longueur de la frontière commune. L'hypothèse sous-jacente est qu'une frontière plus longue entre deux régions joue en faveur, *toutes choses égales par ailleurs*, d'une multiplication des échanges de marchandises. L'indicateur de pondération est une expression relative rapportant la longueur de la frontière à la frontière totale de la région d'émission.

$$W_{ij}^{1} = C_{ij} * PARTLF_{ij} \qquad \text{[VI-6]}$$

C_{ij} : contiguïté binaire
PARTLF ij: proportion de la frontière ij par rapport à la frontière totale de la région i d'émission

La pondération par la capacité pratique des voies de communication entre les régions relève de la même optique et suit la même hypothèse permissive fonction cette fois de l'importance des axes de transport. La pondération par les capacités de transport autoroutières et routières fait référence au degré d'accessibilité entre les zones d'échange. Ces capacités peuvent s'entendre comme des " poids d'accessibilité " ou des " effets structurants d'accompagnement " (Bonnafous, 1992) d'une dynamique de l'échange engendrée par d'autres facteurs (un potentiel d'échange commercial, des relations de complémentarité sectorielle, un dynamisme et un rayonnement interrégional des entreprises de production ou de distribution). Les capacités de communication interrégionales sont donc assimilées à un indice d'accessibilité et expriment des effets structurants (Plassard, 1977) ayant pu favoriser les échanges entre les régions reliées. Les voies de communication routières entre régions limitrophes ont en effet été " *des conditions permissives du développement régional* " (Bonnafous, 1992) ayant pu favoriser les échanges de marchandises. Les voies de communication transfrontalières offrent donc des capacités d'échange accompagnant, entretenant ou pouvant renforcer une dynamique à l'échange impulsée par d'autres facteurs économiques ou spatiaux.

La pondération par les capacités en infrastructures permet aussi d'intégrer l'effet de qualité du réseau de transport sur les interactions spatiales entre régions contiguës et pas seulement l'effet de présence ou d'absence d'axes structurants de circulation. L'indicateur construit repose sur l'offre routière et autoroutière (routes nationales et autoroutes concédées ou non à 2x2 voies ou plus). La prise en compte des seules voies routières s'explique par la part dominante des tonnages de marchandises échangés entre régions limitrophes avec le mode routier et par la relative faiblesse du transport ferroviaire de fret sur courtes et moyennes distances. La différenciation des capacités routières transfrontalières apparaît de ce fait plus discriminante que les capacités des autres modes de transport terrestre. La pondération a été établie à partir des capacités pratiques des autoroutes et des routes nationales publiées par le S.E.T.R.A (SETRA, 1990 ; 1992), exprimées en unités de véhicule particulier par heure (deux sens de circulation).

L'indicateur de contiguïté pondérée présente la même formalisation que l'indicateur précédent [VI-5] avec une pondération de nature différente qualifiant l'importance des infrastructures routières de la frontière interrégionale considérée pour la région d'émission du fret :

$$W_{ij}^{2} = C_{ij} * PVCOM_{ij} \quad \text{[VI-7]}$$

C_{ij} : contiguïté binaire
PVCOM ij: proportion des capacités pratiques des voies de communication routières de la frontière ij par rapport aux capacités transfrontalières totales de la région i.

La troisième pondération testée est une double pondération développée par Dacey en 1968[9]. Cette pondération tient compte de l'aire relative de l'unité spatiale émettrice et de la part de la longueur de la frontière *ij* dans la frontière totale de la région émettrice[10].

$$W_{ij}^{3} = C_{ij} * \alpha_i * \beta_{ij} \quad \text{[VI-8]}$$

C_{ij} : contiguïté binaire
α_i : part de i dans l'aire totale de toutes les régions
β_{ij} : proportion de la frontière ij dans la frontière totale de i

Cette matrice de contiguïté s'inscrit dans la volonté de construire une matrice généralisée de la proximité spatiale ou " *General Spatial Weight Matrix* (Anselin, 1988) qui cherche à ne pas trop restreindre le champ de définition de la contiguïté. Cette recherche de matrices généralisées de contiguïté comporte toutefois des limites liées à la multiplication des facteurs de pondération qui peut noyer l'effet de chacun de ces facteurs. Ce dernier point a été décisif dans le cadrage des indicateurs de contiguïté pondérée qui seront testés dans la phase de modélisation.

Les facteurs spatiaux qui viennent d'être exposés ainsi que les facteurs socio-économiques d'attraction présentés auparavant sont considérés comme des facteurs susceptibles d'expliquer la génération mais aussi la distribution spatiale du fret. Leur combinaison au sein d'un seul indicateur d'accessibilité peut fournir une meilleure compréhension et une conceptualisation de leurs effets respectifs de séparation spatiale et d'attraction sur la distribution spatiale du fret.

VI-3. Les indicateurs d'accessibilité : effet conjoint de l'attraction et de la séparation spatiale

VI-3-1. Le concept d'accessibilité

Le concept d'accessibilité est communément utilisé en économie des transports et a donné lieu à diverses interprétations et définitions du concept. 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 : " *L'accessibilité peut être définie comme une mesure locale de la facilité d'accéder à partir d'un point à un ou plusieurs autres points de l'espace, pour une motivation liée à un besoin, et par un moyen ou un ensemble de moyens de transport* " (Bloy *et al*., 1977).

Dans le cadre du transport interurbain de marchandises, la définition de l'accessibilité peut se décliner comme un compromis entre une dépense de transport liée à la séparation spatiale et des débouchés pour les marchandises aux différents lieux de destination. Cette conception de

[9] travaux cités dans ANSELIN (1988).

[10] Cette double pondération a été étendue au paramètre de capacités des voies de communication sans donner de résultats différenciés par rapport à l'indice de Dacey, dans la phase de modélisation.

l'accessibilité fait référence à la logique gravitaire de la loi de distribution des déplacements (Poulit, 1974) qui confère pour son auteur une interprétation économique à l'accessibilité dans le cadre des déplacements de personnes par la combinaison d'un indicateur de masse des zones réceptrices et d'une fonction rapidement décroissante du coût généralisé du déplacement.

L'accessibilité combine les deux déterminants antinomiques de la distribution spatiale des flux de transport : la séparation spatiale et les coûts ou la désutilité que cela entraîne d'une part et l'utilité ou les opportunités des lieux de destination d'autre part. Ces deux aspects sont essentiels pour caractériser la distribution spatiale des flux mais aussi pour caractériser le point de vue de l'usager du transport d'après Koenig (1974). Koenig associe également les facteurs négatifs du déplacement et les facteurs positifs liés aux choix que procure la destination dans la définition de l'accessibilité. Le premier terme est " *l'élément résistant du transport représenté par le temps, l'argent ou l'inconfort qu'il faut " payer " pour se déplacer* " et le second terme est " *l'élément moteur représenté par l'intérêt attaché à la possibilité d'accéder au lieu de destination* " et par exemple à un marché de consommation ou à un marché de production (Koenig, 1974). Cette combinaison se décline aussi sous la forme d'un indice de satisfaction ou d'utilité nette d'un déplacement (Poulit, 1974).

VI-3-2. Les différents indicateurs d'accessibilité

A. Les indicateurs d'accessibilité en un point

Un grand nombre de formulations mathématiques de l'accessibilité existent et sont pour une grande partie d'entre elles liées à la théorie physique et à la loi gravitaire. A. Reggiani (1999) présente une revue synthétique du concept d'accessibilité et des principales mesures utilisées par un grand nombre d'auteurs. La formulation générale de l'accessibilité est la suivante :

$$A_i = \sum_j D_j * f(C_{ij}) \quad \text{[VI-9]}$$

Dj : caractéristiques d'attraction, opportunités en *j*
F(Cij) : fonction d'impédance, du coût de transport

Ainsi l'indicateur d'accessibilité couramment utilisé, l'accessibilité gravitaire ou l'indicateur de potentiel d'activités, est construit par analogie avec la loi de la gravitation universelle de Newton. L'indicateur d'accessibilité propose une combinaison de l'élément moteur du déplacement qui est l'existence d'opportunités dans la zone de destination et l'élément résistant exprimé par la distance, le temps ou le coût de transport. Cet indicateur a été utilisé par différents auteurs, notamment Hansen (1959). L'accessibilité d'un lieu A par rapport à l'ensemble des autres lieux constituant un ensemble est mesurée par l'expression suivante :

$$A_i = \sum_j D_j * e^{-\beta C_{ij}} \quad \text{[VI-10]}$$

Dj : caractéristiques d'attraction, opportunités en *j*
$e^{-\beta C_{ij}}$: fonction exponentielle négative d'impédance

Diverses formulations de la fonction d'impédance ont été proposées, une fonction hyperbolique ($\frac{1}{d_{ij}^{\beta}}$), une fonction exponentielle négative ($k\, e^{-\alpha d_{ij}}$) ou des fonctions gaussiennes ($k\, e^{-\frac{d_{ij}^2}{v}}$). Ces trois spécifications ont des avantages et des limites propres[11] qui conditionnent souvent le choix de

[11] Cf. BLOY et al. (1977), pp. 51-54 et PINI (1990), pp. 174-178.

l'une par rapport à l'autre. Le choix ultime de la fonction au sein de travaux empiriques relève également des résultats de calage de la fonction d'impédance qui permettent de retranscrire le mieux possible la distribution spatiale des flux observée.

B. Les indicateurs d'accessibilité interrégionale

Le concept et les indicateurs d'accessibilité initialement développés dans le champ de l'économie urbaine se sont élargis à d'autres échelles spatiales et à des accessibilités interurbaines. L'accessibilité globale d'un point se définit comme la somme des accessibilités entre deux points, ou entités spatiales, *i* et *j*, qui s'écrivent de la façon suivante :

$$A_{ij} = D_j * f(C_{ij}) \qquad \text{[VI-11]}$$

Dj : caractéristiques d'attraction, opportunités en *j*
F(Cij) : fonction d'impédance, du coût de transport

Si l'approche de l'accessibilité et de son utilisation diffère sensiblement en interurbain par rapport aux problématiques urbaines par une optique plus macro-économique et géographique, les paramètres et les formalisations demeurent identiques.

L'accessibilité gravitaire entre différents lieux d'origine et de destination des flux retenue pour donner une expression synthétique des facteurs pouvant expliquer la distribution spatiale du fret interrégional s'écrit ainsi : (cf. annexe VI-5).

$$A_{ij} = D_j * e^{-\frac{1}{\tau} CG_{ij}} \qquad \text{[VI-12]}$$

D_j : facteur d'attraction ou opportunités du lieu de destination *j*
CG_{ij} : facteur résistant, coût généralisé de transport
τ : facteur intégrant le coût unitaire de déplacement propre à l'individu ou au bien qui se déplace et la rapidité de l'effet d'atténuation de la distance sur les opportunités

En référence aux travaux de Poulit, un indice de satisfaction a été calculé (cf. annexe VI-5).

$$S_{ij} = \lambda \log(D_j) - CG_{ij} \qquad \text{[VI-13]}$$

λ : facteur de pondération intégrant le coût unitaire d'une heure de transport et la rapidité de l'effet atténuateur de la distance sur l'attrait des opportunités à la destination

D'autres indicateurs d'accessibilité, tels que les indicateurs topologiques, font référence à des mesures de distance et aux qualités du système de transport sous la forme d'indice de " densité " rapportant la quantité d'infrastructures à une variable caractéristique de la zone (taille en km²)[12].

Enfin, des indicateurs d'accessibilité relative ont été calculés. Ces indicateurs expriment la performance du réseau de transport en rapportant une mesure de la distance " réelle " entre deux lieux et une mesure théorique à vol d'oiseau entre ces deux lieux (Pini, 1990). La matrice des accessibilités relatives interrégionales calculée est présentée en annexe VI-5.

$$M_{ij} = \frac{d_r(ij)}{d_{th}(ij)} \qquad \text{[VI-14]}$$

[12] CHATELUS (1997), p. 15.

Conclusion

Chapitre II

La donne statistique a exposé les différentes mesures permettant de décrire l'objet d'étude, les transports intra- et interrégionaux de marchandises, mais aussi les variables socio-économiques et spatiales susceptibles d'être des variables explicatives du modèle de simulation.

La présentation de la donne a permis de mettre en évidence plusieurs modalités relatives à la qualité et à la disponibilité statistiques des données économiques et de transport pouvant avoir des répercussions sur la construction du modèle, et en particulier sur la contrainte de mesurabilité du modèle. Elle a également exposé les différentes caractéristiques économiques et géographiques de l'espace national, dont on cherchera par la suite à formaliser l'impact sur les interactions spatiales en transport de marchandises.

La donne relative au transport de marchandises a exprimé les qualités et limites de la base de données S.I.TRA.M.. Le transport est mesuré de façon agrégée, en tonnes transportées et en tonnes-kilomètres parcourues. Les principales distinctions portent sur les catégories de produits, les modes de transport terrestres et les origines et destinations des marchandises, considérées comme des lieux de chargement et de déchargement de la marchandise. Aucune information plus détaillée ne permet de suivre la marchandise, de connaître les ruptures de charge entre les différentes régions ou de retracer une chaîne logistique complète.

Le panorama de l'espace national qui a été ainsi dressé a révélé une structuration socio-économique du territoire très marquée, que ce soit du point de vue économique (PIB, emploi, productivité), ou démographique et social (population, revenu disponible brut des ménages). Le territoire national présente clairement une différenciation et une hiérarchisation socio-économiques. La position hégémonique de la région Ile de France sur les plans économique et démographique contraste avec la position des régions rurales, comme l'Auvergne, le Limousin ou la Basse-Normandie, qui affichent des retards chroniques de développement. Entre ces deux extrêmes, un certain nombre de régions et en particulier les régions de l'Ouest affichent une dynamique économique soutenue et des spécificités sectorielles en pleine expansion sur le marché national des échanges de biens.

Enfin, la donne relative à la structuration spatiale du territoire national est exprimée à travers deux grands types de mesures spatiales. La première est une distance-longueur qui prend plusieurs formes, distance kilométrique, distance-temps et coût de transport. La seconde est un indicateur de proximité spatiale construit sur la base de matrices de contiguïté interrégionale soit stricte soit pondérée par des facteurs qualifiant la frontière interrégionale, tels que les capacités pratiques des voies de communication routières.

Ces différents indicateurs et mesures constituent la donne du modèle QuinQuin Fret Multirégional dans le sens où se sont les facteurs qui seront testés comme éventuelles variables explicatives de la génération et de la distribution spatiale du fret intra- et interrégional et de leur évolution à long terme.

PARTIE II

LES TRANSPORTS DE MARCHANDISES ET LA STRUCTURATION DE L'ESPACE

Les formes de concentration démographique et socio-économique observées précédemment font pressentir l'existence de disparités spatiales dans le transport national de marchandises. Le transport national de marchandises fait donc l'objet d'une analyse spatiale sur la base d'un découpage régional de l'espace. L'analyse est menée sur deux dimensions du fret : la dimension " potentiel " ou " conjoncturelle " autrement dit le volume global de marchandises généré et la dimension " flux " ou " structurelle " autrement dit la structure des interactions spatiales en transport de marchandises entre les différentes régions.

Le chapitre III a pour objet l'analyse spatiale relative à la dimension " potentiel " du transport national de marchandises. Dans un premier temps, l'analyse est menée sur les tonnes transportées et les tonnes-kilomètres réalisées dans chacune des deux échelles géographiques constitutives du fret national, l'échelle intrarégionale et l'échelle interrégionale (section VII). Dans un second temps, l'analyse est approfondie sur les contributions en volume et en parts relatives au fret généré des différentes régions (section VIII).

Le chapitre IV s'intéresse à la dimension " flux " dans le but de déterminer la structure spatiale des échanges interrégionaux de marchandises. Les interactions spatiales de fret entre régions sont étudiées par l'estimation d'une intensité structurelle à l'échange, à travers leur nature sectorielle et à travers leur évolution de long terme. L'analyse de la distribution spatiale du fret entre les régions porte d'abord sur l'estimation de l'intensité structurelle des échanges interrégionaux à l'aide des coefficients structurels (section IX), puis sur la détermination des caractéristiques fortes de la dynamique structurelle de long terme du transport interrégional de marchandises (section X).

Chapitre III.

Les transports de marchandises dans un découpage régional de l'espace

L'analyse spatiale du transport national de marchandises relative à la dimension " potentiel " s'attache à mettre en évidence dans un premier temps les différences de volume et de structure entre les deux échelles géographiques de transport considérées, l'intrarégionale et l'interrégionale (section VII). Ces différences sont évaluées sur les deux expressions du fret, les tonnes et les tonnes-kilomètres, et en fonction des modalités de structure du fret, telles que la nature des marchandises transportées, le mode de transport utilisé ou la tendance d'évolution à long terme.

Dans un second temps, l'analyse spatiale conjoncturelle du fret est approfondie par une décomposition spatiale des volumes globaux intra- et interrégionaux entre les différentes régions génératrices. L'objectif est d'évaluer le rôle des différentes régions dans les volumes de fret générés (section VIII) et de qualifier ces rôles par les spécificités sectorielles du fret généré par chaque région et par la dynamique de long terme observée au cours des vingt dernières années (1975-1994). Les contributions régionales au transport de marchandises, en intrarégional comme en interrégional, sont mesurées en volume physique, tonnes et tonnes-kilomètres, mais surtout en parts relatives afin de mettre en évidence une structure régionale dans le transport national de marchandises et d'identifier les éléments de stabilité ou de déformation de cette structure à long terme.

Section VII.

Les deux échelles géographiques du transport national

Nous proposons dans cette section de décrire les volumes interrégionaux et intrarégionaux constitutifs de la part conjoncturelle des transports nationaux de marchandises. Le potentiel de transport national se scinde en deux échelles spatiales de trafic, interrégionale et intrarégionale, qui présentent des caractéristiques de structure et d'évolution très différentes.

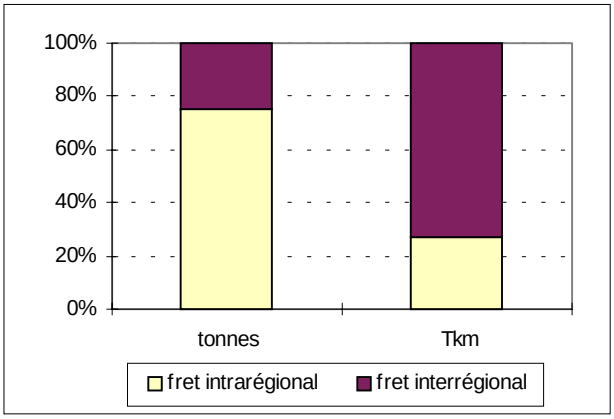
VII-1. Deux échelles géographiques de trafic opposées

Les deux échelles spatiales de transport, interrégionale et intrarégionale, traduisent des fonctions différentes de circulation des marchandises. Le fret intrarégional, de type urbain, périurbain ou régional, suit une logique de distribution des marchandises à courte distance, autrement dit d'alimentation d'un marché " local " de production et de consommation. Le fret interrégional répond en revanche à une logique d'échange de biens plus différenciés entre régions et à une logique d'approche des marchandises dans des lieux de groupage-dégroupage, lieux à partir desquels émergent des flux intrarégionaux de distribution.

Le poids de chaque échelle de trafic est apprécié par différentes unités de mesure de transport. L'unité de mesure couramment utilisée pour apprécier le transport de marchandises est la tonne-kilomètre. Cette mesure fait référence aux deux composants essentiels du transport de marchandises : le volume transporté et la distance parcourue. L'unité de mesure en tonnes transportées, également couramment utilisée, fait uniquement référence aux quantités transportées et indirectement aux quantités de biens générés par l'appareil productif. Le tonnage permet d'estimer la participation au transport de marchandises de différents lieux d'échange, de production ou de consommation, sans faire intervenir l'éloignement spatial entre ces lieux. Le tonnage-kilométrique en revanche intègre la notion de couverture spatiale des échanges commerciaux d'une région. La partie *distance* traduit la division spatiale des activités par une estimation de la séparation spatiale entre les lieux d'échange.

Les deux échelles géographiques du transport de marchandises présentent de grandes différences dans les deux unités de mesure. En tonnage, le fret intrarégional est près de 3 fois plus important que le fret interrégional (respectivement 1040 millions de tonnes contre 348,7 pour l'année 1994). En tonnes-kilomètres, les positions s'inversent avec une place prépondérante du fret interrégional, qui représente près de 3 fois le tonnage-kilométrique intrarégional (96,9 milliards pour l'interrégional et 35,4 pour l'intrarégional en 1994).

Graphique VII-1. Comparaison interrégional/intrarégional en 1994



Ces différences de niveau entre les transports intra- et interrégionaux selon l'unité de mesure considérée s'explique par la structure sectorielle des tonnages transportés et par la valeur moyenne des distances parcourues dans chaque échelle de trafic.

VII-1-1. Des structures sectorielles différenciées

La structure sectorielle du fret est donnée par une décomposition selon les postes de la nomenclature N.S.T. des transports de marchandises. La désagrégation est effectuée au niveau des chapitres N.S.T., et des sections N.S.T. pour le chapitre 9 qui constitue un groupe très diversifié.

Tableau VII-1. Catégories N.S.T. de produits

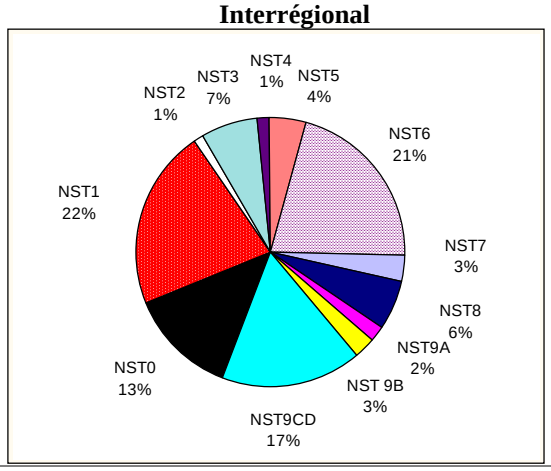
N.S.T.	Intitulés des produits
0	Produits agricoles et animaux vivants
1	Denrées alimentaires et fourrages
2	Combustibles minéraux solides
3	Produits pétroliers bruts et raffinés
4	Minerais et déchets pour la métallurgie
5	Produits métallurgiques
6	Minéraux bruts ou manufacturés et matériaux de construction
7	Engrais
8	Produits chimiques
9a	Matériel de transport et matériel agricole
9b	Machines et articles métalliques
9c+9d	Verre, faïence, porcelaine et autres articles manufacturés

L'opposition sectorielle entre les deux échelles de trafic est particulièrement marquée en tonnage. En effet, les tonnes transportées à l'intérieur des régions sont très fortement dominées par les matériaux de construction (NST6) alors que les tonnages interrégionaux se répartissent de façon plus équilibrée entre les différentes catégories de produits. Le passage en tonnes-kilomètres tend à réduire le déséquilibre de la structure sectorielle du fret intrarégional et ne modifie pratiquement pas la structure sectorielle du fret interrégional. Les principales différences tiennent à une place moins importance des matériaux de construction (nst6) en tonnes-kilomètres, du fait de distances de transport relativement courtes dans cette catégorie de produits.

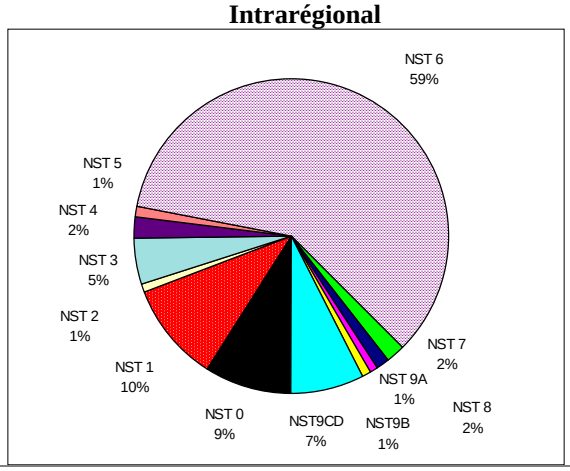
Graphiques VII-2. Structures sectorielles interrégionale et intrarégionale (1994)

En tonnes

Interrégional

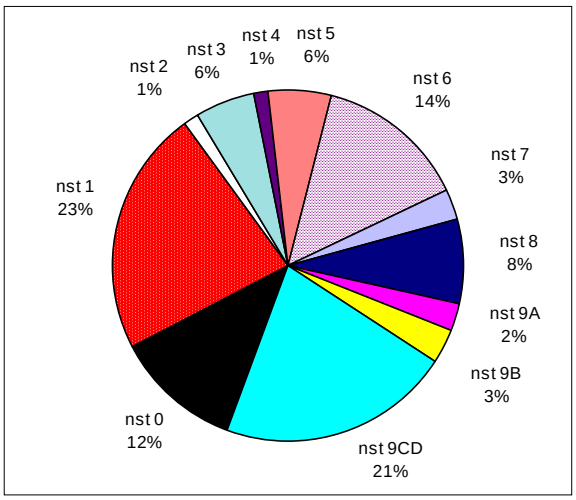


Intrarégional

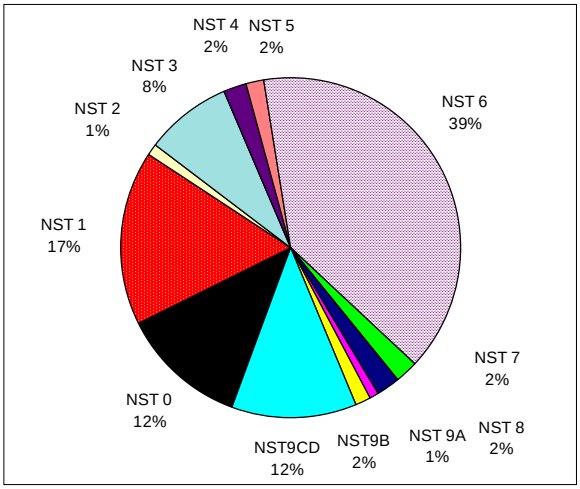


En tonnes-kilomètres

Interrégional



Intrarégional



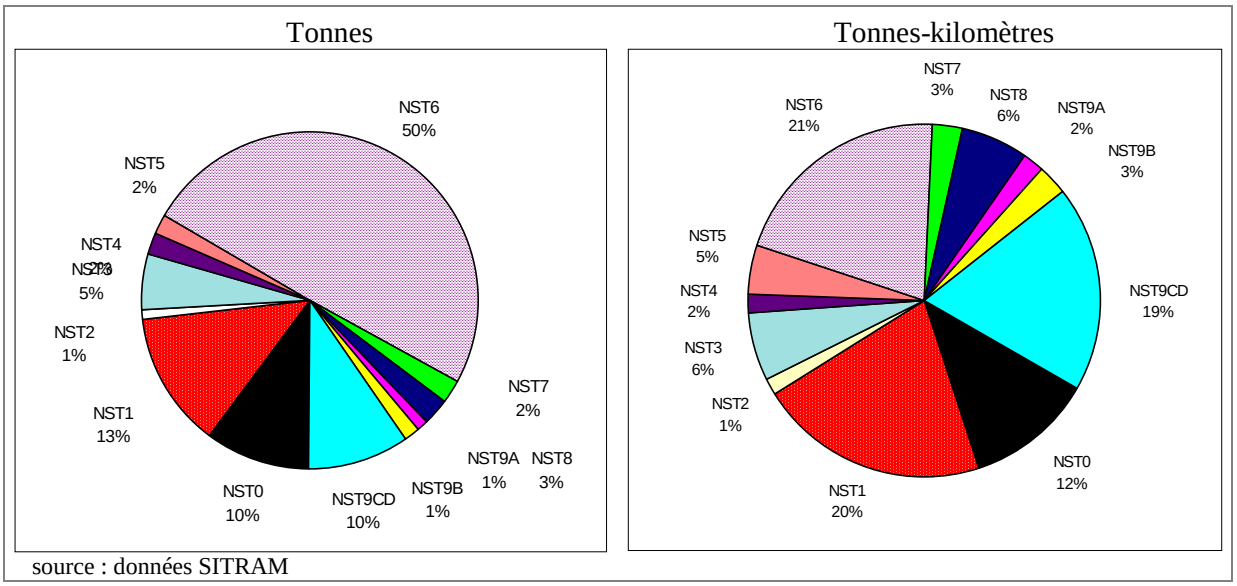
source statistique : S.I.TRA.M.

Les tonnages intrarégionaux sont dominés par les matériaux de construction qui pèsent 618 millions de tonnes et 14 milliards de tonnes-kilomètres en 1994. La place dominante des matériaux de construction en intrarégional s'explique par le poids unitaire élevé des matières premières et par l'utilisation courante de ces produits dans l'ensemble des régions par le secteur du bâtiment et des travaux publics.

En interrégional, la décomposition sectorielle est moins déséquilibrée. La principale catégorie de produits en tonnage pour l'année 1994, les produits agro-alimentaires, représente 21,8% du tonnage total (76 MT) et la deuxième catégorie, les matériaux de construction, représente 21,1% (73,5 MT). Quatre catégories de produits se partagent toutefois près des trois-quarts du tonnage interrégional. En effet, l'ensemble produits agricoles, agro-alimentaires, matériaux de construction et produits manufacturés représente 73% des tonnages et 70% des tonnes-kilomètres.

L'influence des deux échelles de trafic dans la structure sectorielle du fret national est nettement différenciée selon l'unité considérée. En tonnes, la structure sectorielle du fret intrarégional détermine en grande partie celle du fret national et en tonnes-kilomètres, la structure sectorielle du fret interrégional l'emporte.

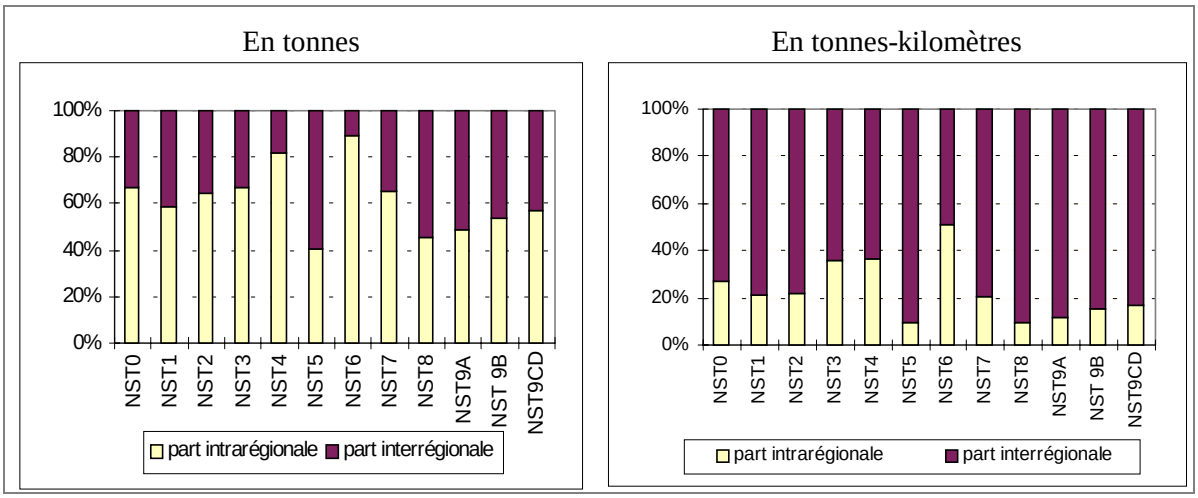
Graphique VII-3. Structures sectorielles du fret national (1994)



source : données SITRAM

La part relative des deux échelles de trafic pour chaque catégorie de produits fait nettement ressortir en tonnage l'importance des flux intrarégionaux dans les matériaux de construction (nst6), les déchets pour la métallurgie (nst4), et dans une moindre mesure les produits pétroliers (nst3) et les produits agricoles (nst0). Du point de vue des tonnes-kilomètres, le poids du fret intrarégional ne ressort que dans les matériaux de construction (nst 6) alors que celui du fret interrégional est largement prédominant dans les produits métallurgiques (nst5), les produits chimiques (nst8) et les produits manufacturés et matériels de transport (nst 9a, 9b, 9cd).

Graphique VII-4. Poids relatifs par produit des deux échelles de trafic



VII-1-2. Des différences dans les distances moyennes parcourues

La distance moyenne parcourue par les marchandises transportées est calculée par le rapport des tonnes-kilomètres en charge réalisées et des tonnes transportées. La mesure de la distance ainsi calculée est une moyenne pondérée des kilomètres parcourus par les poids relatifs des différentes catégories de produits dans le tonnage transporté.

$$KM_{total} = \frac{TKM_{total}}{T_{total}} = \frac{\sum_{nst=1}^{9cd} TKM_{nst}}{\sum_{nst=1}^{9cd} T_{nst}} = \sum_{nst=1}^{9cd} \left(\frac{T_{nst}}{T_{total}} \times KM_{nst}\right) \qquad \text{[VII-1]}$$

En interrégional, la distance moyenne parcourue est de l'ordre de 280 kilomètres alors qu'en intrarégional, elle ne s'élève qu'à 34 kilomètres, pour l'année 1994. Ces écarts de distance se retrouvent au sein de chaque catégorie de produits.

Tableau VII-2. Distances moyennes par produit (1994)

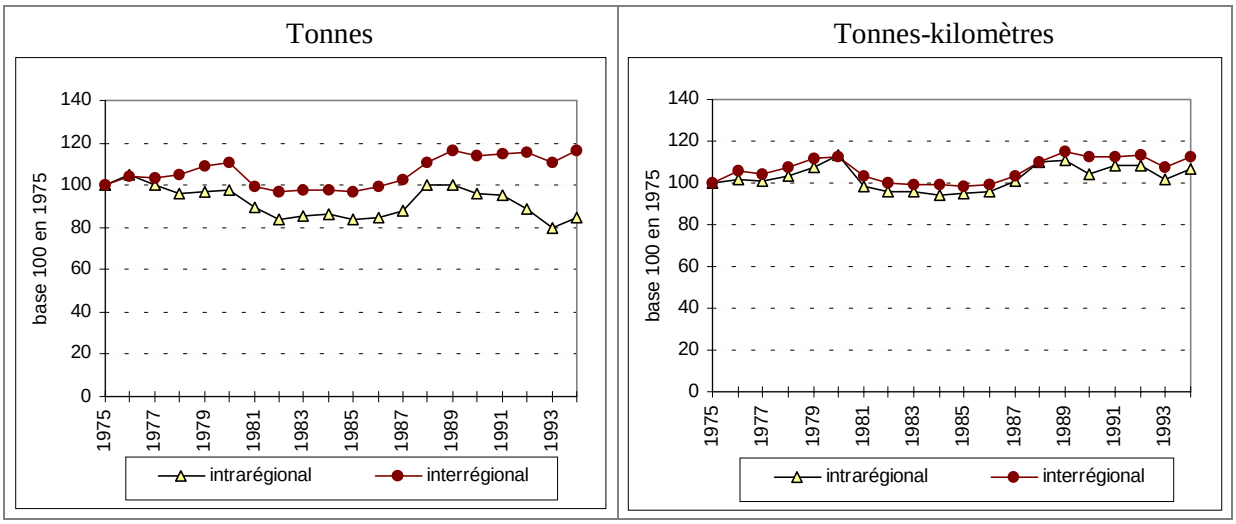
	intrarégional	**interrégional**
NST0	46	249
NST1	54	290
NST2	55	350
NST3	58	219
NST4	34	264
NST5	58	360
NST6	23	182
NST7	36	267
NST8	48	382
NST9A	47	339
NST 9B	53	340
NST9CD	54	356

Les écarts de distance moyenne traduisent les échelles de trafic préférentielles des différentes catégories de produits préférentielles. En effet, les matériaux de construction (nst6), les déchets pour la métallurgie (nst4) et les engrais (nst7), davantage présents dans le transport intrarégional que dans le transport interrégional, affichent des distances moyennes faibles, respectivement 23, 34 et 36 kilomètres en intrarégional et 182, 264 et 267 kilomètres en interrégional. A l'opposé, les plus longues distances moyennes relèvent de catégories bien présentes en interrégional telles que les combustibles minéraux solides (nst2), les produits métallurgiques (nst5) ou les produits manufacturés (nst9cd).

VII-2. Des tendances d'évolution divergentes à long terme

Les deux échelles de trafic ne connaissent pas la même évolution à long terme, observée sur la période 1975-1994. En tonnes transportées, le fret intrarégional suit une tendance à la baisse avec une réduction globale de –15,5% entre 1975 et 1994 alors que le fret interrégional affiche une hausse globale de 17%. En tonnes-kilomètres, les tendances d'évolution sont de même sens et diffèrent plus en intensité, avec une hausse de 12,6% en interrégional et une hausse de 6,5% en intrarégional.

Graphique VII-5. Evolutions 1975-1994 comparées en tonnes et en tonnes-kilomètres



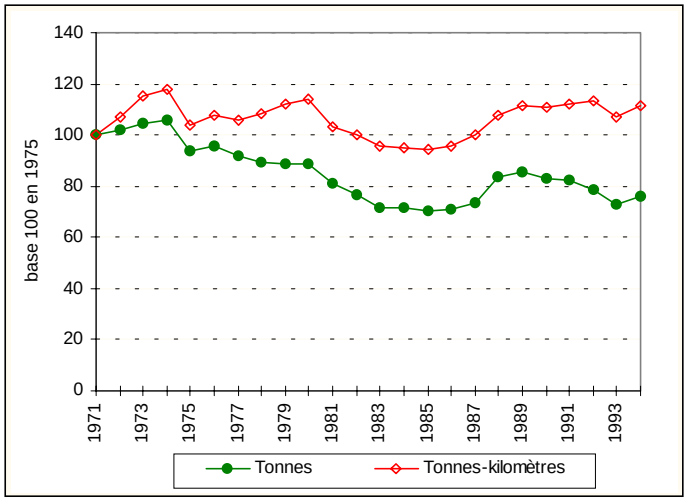
La tendance générale d'évolution des deux échelles de transport est marquée par deux grands bouleversements économiques : les crises économiques et pétrolières et la mutation du système productif. Les crises pétrolières et économiques de la seconde moitié des années 70 et de la première moitié des années 80 ont en effet affecté à la fois les volumes physiques transportés sur longue distance et les volumes transportés sur courte distance, comme le montrent les contractions ou fortes baisses des tonnages transportés en 1977 puis entre 1981 et 1986. Aux crises économiques s'ajoute une forte mutation technologique du système productif ayant des conséquences directes sur la nature des produits et donc sur la structure sectorielle des tonnages transportés, par une baisse des poids unitaires moyens des produits. Cette mutation s'exprime par une dématérialisation de l'économie avec la production de biens à plus forte valeur ajoutée incorporée et avec moins de matières premières lourdes.

Le retour à une situation de croissance économique plus soutenue en 1987-1989 dynamise le transport de marchandises et plus nettement le fret intrarégional. Toutefois, cette hausse n'est pas durable pour le fret intrarégional qui subit à nouveau très fortement les fluctuations économiques du début des années 90. Le fret interrégional se maintient quant à lui à un niveau assez élevé pour la période malgré la récession de 1993.

La tendance d'évolution en tonnes-kilomètres présente moins de fluctuations conjoncturelles et est moins affectée par les variations de la croissance économique ou industrielle. Cette plus grande stabilité s'explique par le jeu de la distance moyenne de transport qui offre un profil d'évolution régulier et stable.

A titre de comparaison, nous soulignons l'évolution générale à long terme du transport national, qui présente une tendance à la baisse en tonnes transportées, fortement imputable à sa composante intrarégionale, et une légère tendance à la hausse en tonnes-kilomètres parcourues.

Graphique VII-6. Evolution du fret national (1971-1994)



Ces évolutions souvent divergentes entre les tonnages intrarégionaux et interrégionaux peuvent être analysées plus finement à travers une décomposition sectorielle du fret et à travers l'évolution des distances de transport, ces deux caractéristiques du fret s'étant avérées, en coupe transversale au cours de l'année 1994, très différentes entre le fret interrégional et le fret intrarégional.

VII-2-1. L'évolution des structures sectorielles

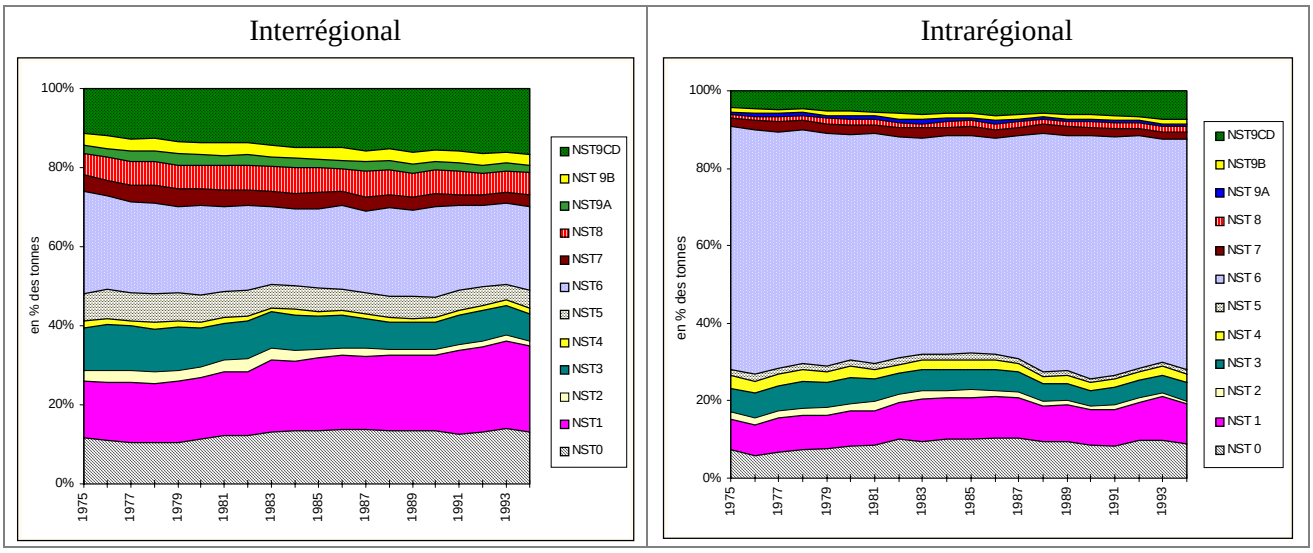
Les structures sectorielles du fret intrarégional et du fret interrégional connaissent des évolutions à long terme sensiblement différentes, surtout en tonnes transportées. Le fret intrarégional conserve une structure relativement stable en raison essentiellement du poids prépondérant des matériaux de construction alors que le fret interrégional présente une structure évolutive (cf. graphique VII-7).

La principale catégorie de produits en tonnage, les matériaux de construction, a fortement tendance à stabiliser les évolutions de long terme. En intrarégional, cet effet est particulièrement marqué en lien direct avec le poids écrasant de cette catégorie de produits. Les matériaux de construction connaissent en effet une baisse globale de leur tonnage de 20% soit une baisse de 5,5% de leur part relative sur 20 ans.

En comparaison, leur évolution pèse davantage dans la structure sectorielle du fret interrégional puisqu'une baisse de 6% des tonnes correspond alors à une baisse de plus de 19% de la part relative. D'autres catégories de produits connaissent aussi des évolutions marquées[1] qui affectent fortement la structure du fret interrégional à long terme

[1] Les graphiques des évolutions des tonnages de chaque catégorie de produits en interrégional et en intrarégional sont présentés en annexe VII-1.

Graphique VII-7. Evolution sectorielle des tonnes transportées

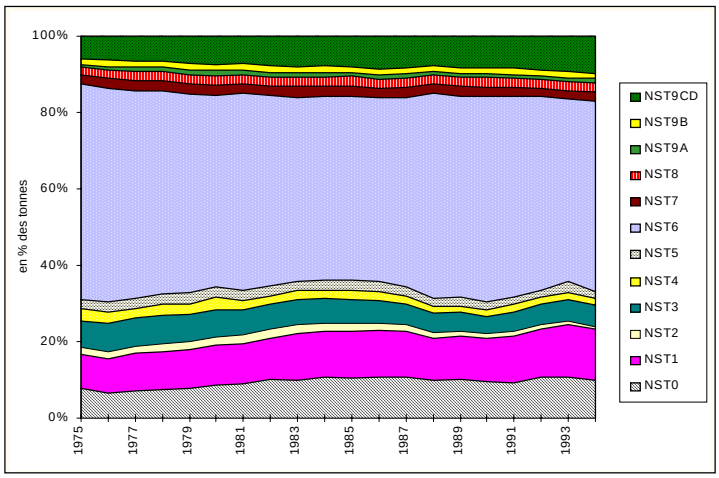


En interrégional, les produits agro-alimentaires, les produits manufacturés et dans une moindre mesure les produits agricoles présentent les fluctuations les plus fortes. En augmentant leurs parts relatives de 50% et de 46% respectivement, les produits agro-alimentaires et les produits manufacturés deviennent les premier et troisième postes en tonnage transporté sur longue distance (interrégional) pour l'année 1994. D'autres catégories de produits, moins importantes en volume physique, connaissent aussi de fortes inflexions. Il s'agit principalement des combustibles minéraux solides et des produits pétroliers. Toutefois, leurs inflexions n'ont pas de répercussion sur la tendance générale d'évolution de la structure sectorielle. Elles peuvent cependant jouer de façon non négligeable sur des variations ponctuelles. En effet, entre 1980 et 1981, les produits pétroliers ont participé à la chute du tonnage interrégional avec une baisse de -15,4% en tonnage (- 5 millions de tonnes) ainsi que les produits métallurgiques avec une baisse de -13,3% (- 3 millions de tonnes) et les produits agro-alimentaires avec -6,3% (-3,2 millions de tonnes). La perte en tonnage dans ces trois catégories de produits équivaut à celle imputable aux matériaux de construction, avec -15,5% soit - 11,6 millions de tonnes.

La tendance d'évolution de la structure sectorielle est globalement similaire pour les deux échelles de trafic. En effet, les biens agro-alimentaires, agricoles et manufacturés augmentent leur part relative alors que les matériaux de construction la réduisent.

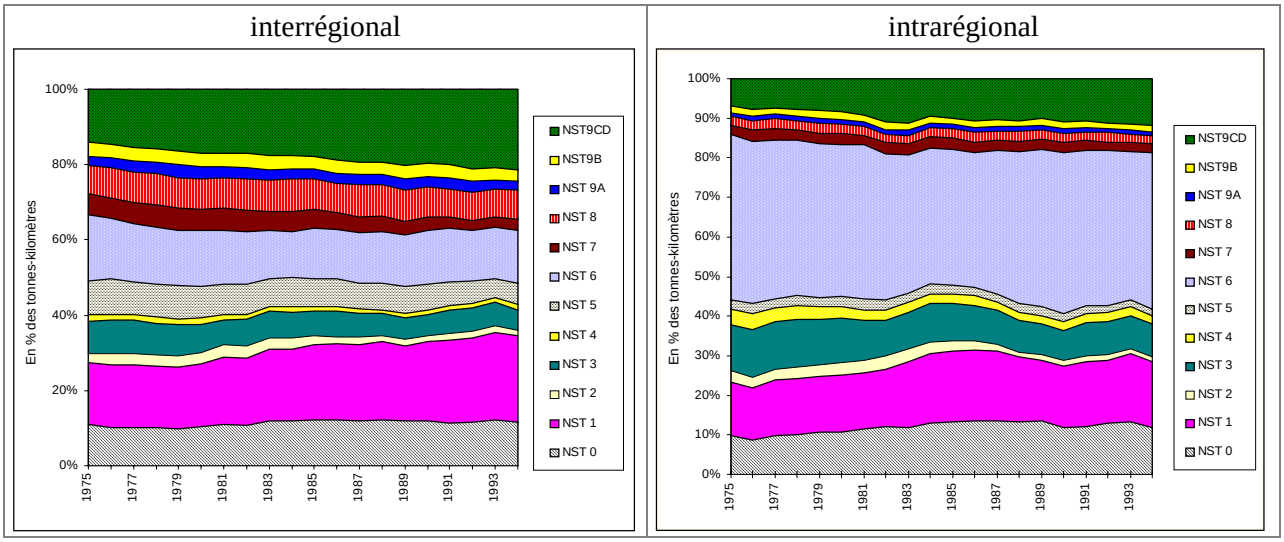
Au niveau national, la structure sectorielle d'ensemble reste relativement stable en tonnage à l'instar de la structure du fret intrarégional, tout en faisant entrevoir une lente tendance à la hausse des produits agro-alimentaires, manufacturés et agricoles.

Graphique VII-8. Evolution de la structure sectorielle du tonnage national



En tonnes-kilomètres, l'évolution de la structure sectorielle suit pour chaque échelle de trafic une tendance similaire à celle observée avec les tonnages. En interrégional, les produits agro-alimentaires et manufacturés accroissent de façon sensible leurs parts relatives, respectivement +39% et +52% pour devenir les deux premiers postes du transport interrégional avec des parts relatives de 22,8% et de 21,6%. Les matériaux de construction cèdent donc leur première place pour ne représenter que 13,8% des tonnes-kilomètres en 1994 contre 17,8% en 1975.

Graphique VII-9. Evolution sectorielle des tonnes-kilomètres



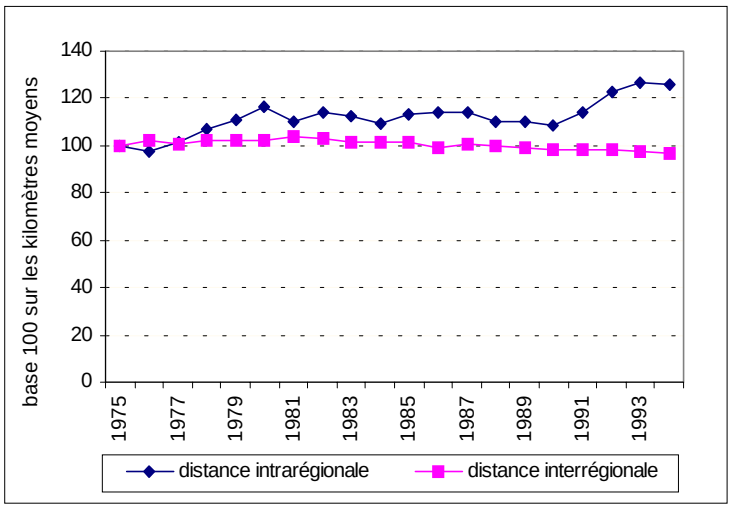
En intrarégional, la structure sectorielle reste assez stable, les matériaux de construction figeant la majeure partie de l'évolution. La plus forte inflexion provient comme dans le cas des tonnages des produits manufacturés avec une hausse de 71% de leurs parts relatives (passant de 7% en 1975 à 12% en 1994).

En interrégional, la structure sectorielle suit la même tendance d'évolution que celle des tonnages, avec d'une part une baisse des parts relatives des matériaux de construction (-22%), des produits pétroliers (-36%) et des déchets pour la métallurgie (-22%) et d'autre part, une hausse des parts relatives des produits manufacturés (+52%) et des produits agro-alimentaires (+39%).

VII-2-2. Le jeu de l'évolution de la distance moyenne de transport

L'évolution de la distance parcourue présente un profil tout à fait opposé à celui du volume transporté en intrarégional comme en interrégional. La distance moyenne en charge diminue en interrégional alors qu'elle augmente en intrarégional.

Graphique VII-10. Evolution des distances moyennes tous produits tous modes



La diminution de la distance moyenne en charge pour les flux interrégionaux commence au début des années 80 et se fait légèrement plus marquante à la fin des années 80 puis au cours des années 90. La diminution globale est de –3,5% et depuis 1981 elle atteint –7,3%. La distance moyenne passe de 300 km en 1975 à 278 km en 1994. Le fret intrarégional connaît en revanche une hausse de la distance moyenne en charge de 14% sur la période 1975-1994, passant de 27 km à 34 km.

Ces évolutions sont d'intensité variable selon les catégories de produits. En intrarégional, la majorité des catégories de produits voit sa distance moyenne en charge augmenter sur les 20 ans d'observation. La hausse de la distance moyenne est en grande partie le fait des matériaux de construction (+25,5%), qui en outre pèsent très fortement en tonnage dans le calcul de la distance moyenne globale pondérée. Les produits manufacturés augmentent aussi leur distance moyenne de transport de 26,5% sur la période. Seuls les produits chimiques présentent une baisse de leur distance moyenne de transport.

En interrégional, la catégorie de produits qui participe fortement à la baisse de la distance moyenne est la catégorie des produits agro-alimentaires, avec une baisse de -10,4% de sa distance moyenne en charge et une augmentation sur la même période de sa part relative dans le tonnage total de 15% à 22%.

Tableau VII-3. Taux de déformation des distances par produit de 1975 à 1994

	taux déformation distance -1975-1994		**part dans le tonnage 1994**		**taux déformation de la part relative en tonnage 1975-1994**	
	interrégional	intrarégional	interrégional	intrarégional	interrégional	intrarégional
NST 0	-9,3%	27,4%	13,1%	8,8%	13,6%	18,7%
NST 1	-10,4%	17,2%	21,8%	10,5%	50,2%	32,7%
NST 2	19,6%	20,0%	1,1%	0,7%	-55,0%	-59,6%
NST 3	-4,6%	14,1%	7,1%	4,9%	-34,9%	-19,6%
NST 4	-10,2%	7,2%	1,4%	2,1%	-15,9%	-38,2%
NST 5	-0,8%	44,3%	4,4%	1,0%	-35,9%	-33,5%
NST 6	-7,1%	25,5%	21,1%	59,4%	-19,3%	-5,5%
NST 7	-34,1%	18,7%	3,1%	2,0%	-21,1%	2,9%
NST 8	-4,7%	-4,9%	5,6%	1,5%	3,4%	28,1%
NST 9	0,1%	9,3%	2,0%	0,6%	0,2%	19,7%
NST9B	-2,7%	23,4%	2,6%	1,0%	-15,0%	-5,8%
NST9CD	0,2%	26,5%	16,7%	7,4%	46,0%	70,2%

VII-3. Une répartition modale déséquilibrée

La répartition modale est évaluée sur les tonnages-kilométriques réalisés dans les trois modes de transport terrestres fer, route et fluvial. En comparaison de la répartition à l'échelle nationale, le partage modal au niveau interrégional est moins déséquilibré alors qu'il est beaucoup plus fortement en intrarégional.

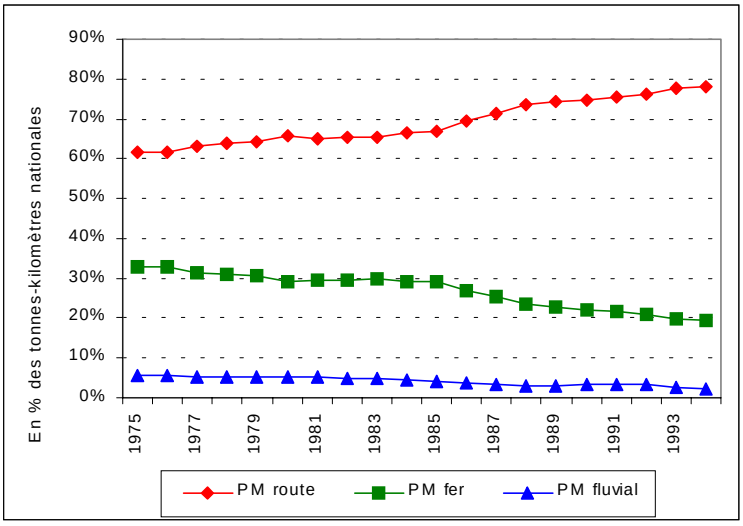
Ainsi en 1994, le partage modal sur les tonnes-kilomètres se décline à l'échelle nationale en 78,2% pour la route, 19,4% pour le fer et 2,4% pour le fluvial. A l'échelle interrégionale, la répartition est légèrement moins déséquilibrée entre la route et le fer, la route représentant 72,7% du trafic, le fer 24,9% et le fluvial 2,4%. En revanche, à l'échelle intrarégionale, le mode routier est presque totalement dominant avec 93,4% au détriment principalement du fer qui n'atteint qu'une part de marché de 4,3%, le fluvial demeurant à 2,4%.

En évolution à long terme, entre 1975 et 1994, la répartition modale connaît une progression des parts de marché de la route quelle que soit l'échelle spatiale de trafic considérée et une dégradation des parts de marché du fer. Le fluvial perd également des parts de marché et demeure à un niveau très faible annonçant un déclin " irréversible ".

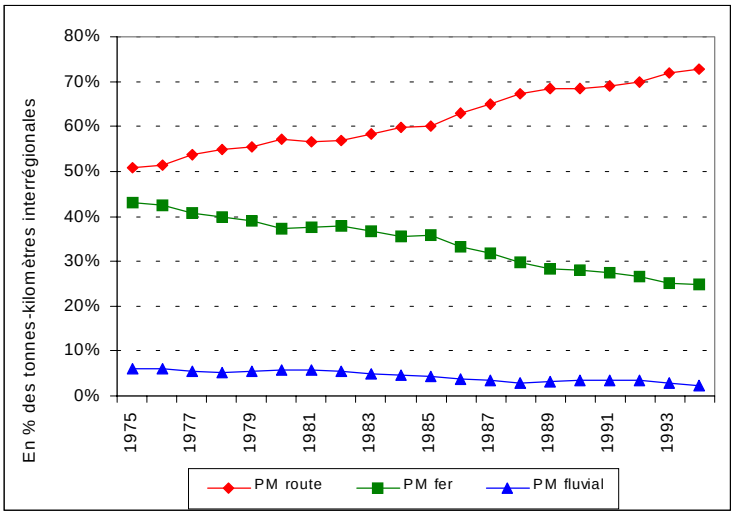
Les parts de marché routières ont ainsi progressé de 27,3% entre 1975 et 1994 à l'échelle nationale, de 43% à l'échelle interrégionale et de 10% à l'échelle intrarégionale. Les parts de marché ferroviaires ont régressé de 41% en national, de 42% en interrégional et de 56% en intrarégional. Enfin, le fluvial régresse respectivement de 58,4%, 61% et 54% sur cette même période de temps.

La tendance d'évolution des parts de marché modales est donc similaire quelle que soit l'échelle spatiale de trafic et se fait au profit de la route et au détriment du fer.

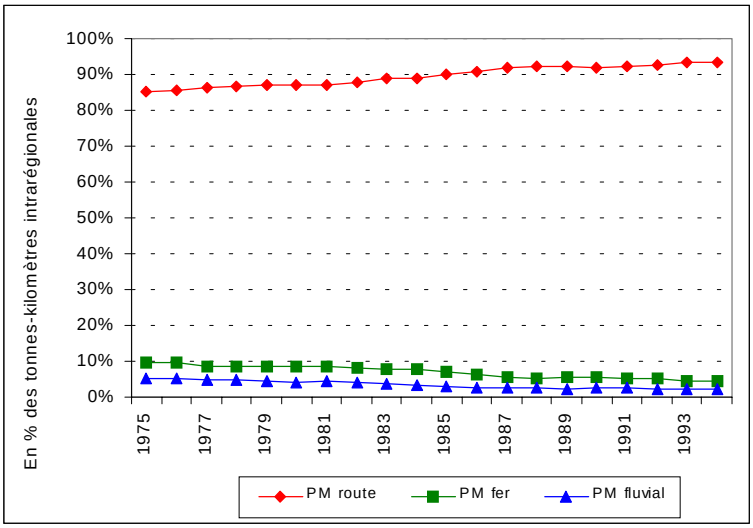
Graphique VII-11. Evolution des parts de marché nationales



Graphique VII-12. Evolution des parts de marché interrégionales



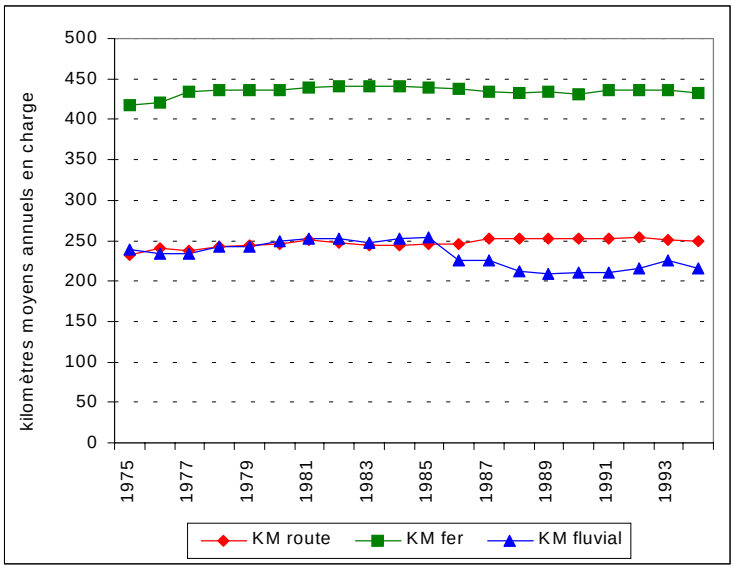
Graphique VII-13. Evolution des parts de marché intrarégionales



Les parts de marché calculées sur les tonnes-kilomètres peuvent être décomposées selon deux effets : les effets de tonnage transporté et de distance parcourue dans chaque mode.

Cette décomposition est particulièrement intéressante à l'échelle interrégionale, et à l'échelle nationale, car elle met en évidence que les parts de marché ferroviaires sont imputables à de grandes distances de transport mais à des quantités transportées relativement faibles.

Graphique VII-14. Evolution de la distance moyenne interrégionale par mode de transport



La proportion entre les quantités transportées et la distance parcourue dans la constitution des parts de marché sur les tonnes-kilomètres est opposée entre le mode routier et le mode ferroviaire. La place importante des distances face à celle des tonnages transportés dans les parts de marchés ferroviaires calculées sur les tonnes-kilomètres fragilise donc la position commerciale du fer face à celle de la route.

VII-4. Les premiers enseignements de l'analyse descriptive des volumes globaux interrégionaux et intrarégionaux de marchandises

L'analyse descriptive des deux échelles géographiques de transport de marchandises a mis en évidence deux catégories de fret très différentes du point de vue de leur poids relatif dans le fret national, de leur structure sectorielle, de leur distance moyenne de transport en charge, de leur structure modale et enfin de leur tendance d'évolution à long terme.

La part relative très différente des deux échelles de trafic selon l'unité de mesure du transport considérée apporte une dimension très importante du point de vue de la méthodologie d'analyse de ces trafics. Le fret interrégional ne correspond qu'à une faible part du tonnage total transporté sur le territoire mais représente la majorité du fret en tonnes-kilomètres. Cet état des lieux met en évidence l'importance d'analyser les deux échelles de trafic de façon séparée. Ainsi, le fret intrarégional, et par conséquent urbain, doit plus particulièrement être analysé en tant que volume transporté, chargement et déchargement des marchandises puisque son importance réside plus dans les volumes chargés que dans les distances parcourues. Cela signifie que sur de courtes distances, de forts volumes de trafics sont effectués à l'intérieur des régions et plus finement au sein des

grandes agglomérations. En revanche, le fret interrégional qui génère de fortes distances en charge doit être analysé selon une optique d'interactions spatiales et d'organisation spatiale des trafics. L'objectif est dans ce cas de tenir compte du poids de la distance dans le potentiel global de trafic interrégional. Il est alors important d'analyser et de modéliser les tonnes-kilomètres en plus des tonnes transportées.

Toutefois, une analyse combinée des estimations des deux échelles de transport peut par la suite être menée afin de traiter des interactions mutuelles sur les grands corridors de circulation, aux portes et à l'intérieur des agglomérations urbaines entre d'une part le trafic local et d'autre part le trafic de grand échange ou de transit. De telles recherches nécessitent toutefois la création d'un outil d'analyse et de modélisation complexe permettant de traiter de plusieurs échelles géographiques de transport et de leurs interactions réciproques[2].

L'optique d'analyse et de modélisation dissociée du fret intrarégional et du fret interrégional est donc retenue. Notre choix se limite donc à une modélisation distincte du fret intrarégional et du fret interrégional au niveau de la génération des volumes. L'accent sera ensuite mis sur la distribution spatiale du fret interrégional en lien direct avec un des volets de la problématique qui consiste à déterminer les facteurs explicatifs de la distribution spatiale du fret national (et de son évolution à long terme) sur la base d'un découpage régional de l'espace national. L'analyse équivalente de la distribution du fret au sein des régions, entre les départements par exemple, ne sera pas développée, car elle nécessiterait logiquement de s'intéresser aux logiques d'approvisionnement des villes, qui relève davantage d'une problématique de modélisation du fret urbain. Or, la problématique du transport urbain diffère fortement de celle du fret interurbain du point de vue des méthodes et des modèles de prévision et de simulation (Aubert et Routhier, 1998).

[2] Nous renvoyons notamment à ce sujet au programme de recherche Télescopage mené au LET, qui a consisté à appréhender, au sein d'un méta-modèle de simulation basé sur la connexion de plusieurs modèles indépendants, des transports de nature différente (personnes, marchandises) et à des échelles spatiales variables (urbain, périurbain, interurbain) : CABANNE, DURAND *et alii*, (2000).

Section VIII.

Les contributions régionales dans le transport national de marchandises

La répartition régionale des volumes de marchandises a pour objectif de déterminer les dynamiques régionales particulières sur le marché du fret soit d'ouverture aux marchés régionaux extérieurs soit de maintien sur son propre marché intérieur. En outre, cette analyse peut faire ressortir des régions dominantes en termes de tonnages générés, soit autonomes sur le marché du fret par de fortes exportations alors que d'autres régions se présenteraient comme plus dépendantes avec de fortes importations.

VIII-1. Des contributions régionales fortement différenciées

A l'instar de leur participation hétérogène à la croissance économique nationale, les régions françaises présentent des contributions différenciées au volume de fret généré. Ces contributions peuvent être appréciées par différentes mesures, absolues ou relatives, portant sur les tonnes ou sur les tonnes-kilomètres. La principale mesure considérée se réfère aux parts relatives régionales dans le tonnage global intrarégional d'une part et interrégional d'autre part, en distinguant les exportations et les importations.

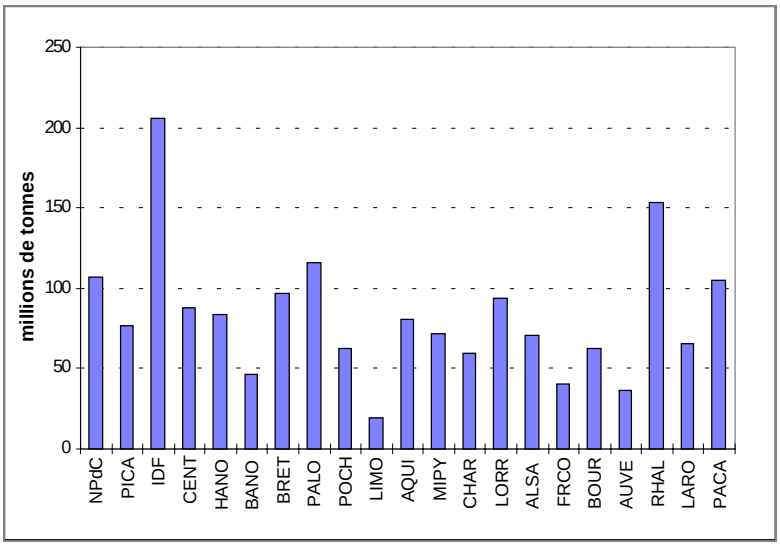
VIII-1-1. Les contributions régionales globales

Le potentiel de transport généré par chaque région et mesuré en tonnes transportées ou en tonnes-kilomètres parcourues donne une estimation des contributions régionales directes au transport de marchandises. La totalité des flux générés par chaque région prise individuellement est définie par la somme des flux intrarégionaux, émis et reçus. Ces montants régionaux ne peuvent toutefois qu'être comparés entre régions mais non additionnés sur l'ensemble des régions car ils comprennent des doubles-comptes, les importations d'une région étant nécessairement les exportations d'autres régions et réciproquement.

A. Les contributions régionales en 1994

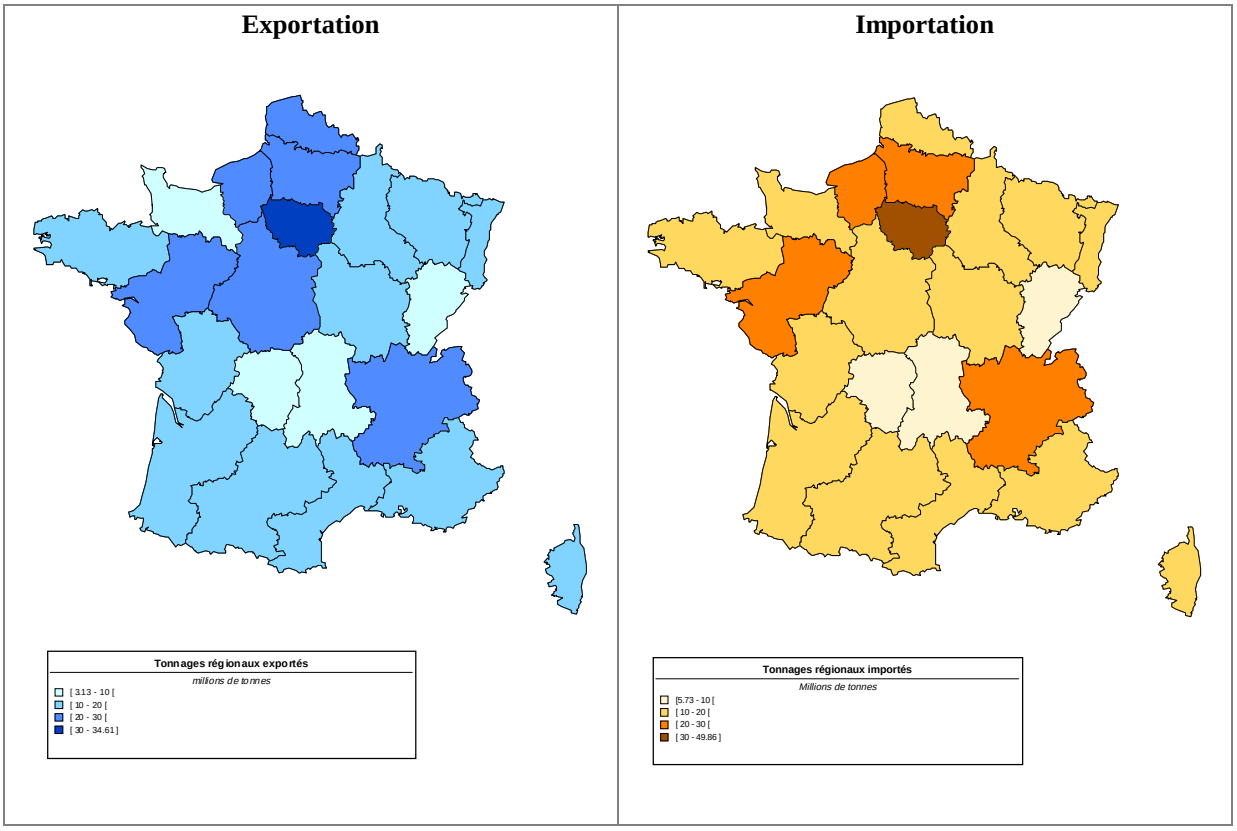
La mesure des participations régionales reposant sur le tonnage global généré sur une année par chaque région, fait ressortir les deux grandes régions économiques, Ile de France et Rhône-Alpes, comme les plus fortes régions génératrices de fret national. Les régions Nord-Pas-de-Calais et PACA, bien qu'économiquement importantes, ne se démarquent pas par leur tonnage global généré et présentent des niveaux comparables à ceux des régions Bretagne, Pays de Loire et Lorraine. Les régions économiquement moins développées génèrent les plus faibles tonnages, inférieurs à 50 millions de tonnes, en particulier les régions Limousin et Auvergne.

Graphique VIII-1. Tonnages globaux générés par chaque région (intra + export +import) en 1994

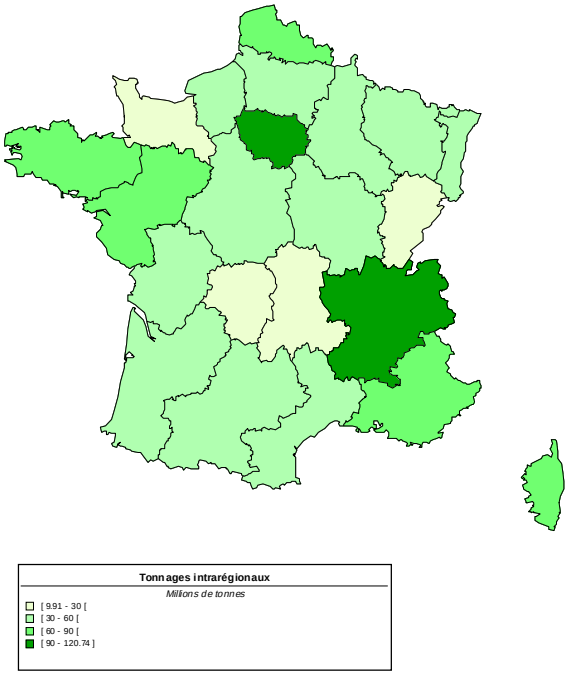


La distinction entre les différentes échelles de transport et sens de transport fait ressortir des structures spatiales sensiblement différentes. A l'exportation, le quart Nord-Ouest du territoire national (à l'exception de la Basse-Normandie) et Rhône-Alpes se démarquent en générant les plus forts tonnages. A l'importation, seul un bassin parisien resserré, avec les régions Ile de France, Picardie et Haute-Normandie présente des volumes plus importants, ainsi que la région Rhône-Alpes. En intrarégional, la structure repose sur les principales régions démographiques et économiques, distinguant en particulier les régions de l'Ouest.

Figure VIII-1. Tonnages régionaux exportés, importés et intrarégionaux en 1994

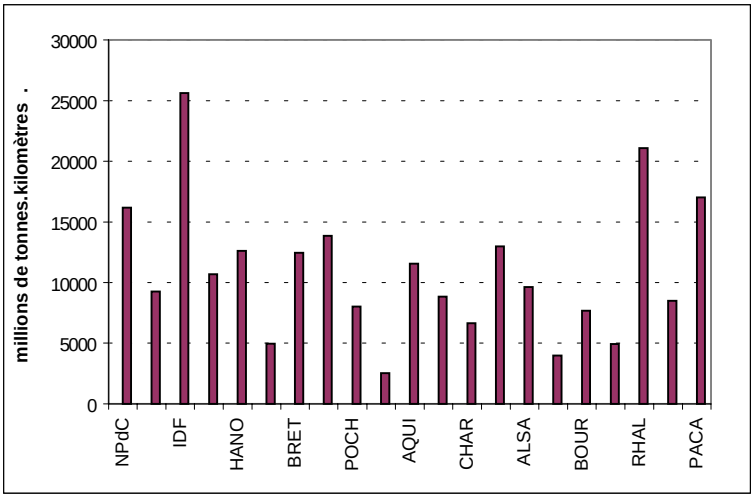


Intrarégional



En tonnes-kilomètres, les contributions régionales suivent sensiblement la même hiérarchie. Les principales régions économiques, Ile-de-France et Rhône-Alpes restent les régions à plus forts volumes de transport. L'intégration des distances de transport fait toutefois davantage ressortir les régions Nord-Pas-de-Calais et PACA, positionnées aux frontières du territoire national et dotées d'importantes superstructures de transport, avec le premier port français en tonnage chargé en 1994[1] pour PACA, et de nombreuses sociétés de transport, notamment en relation avec la vente par correspondance, en Nord-Pas-de-Calais.

Graphique VIII-2. Tonnes-kilomètres globales par région en 1994

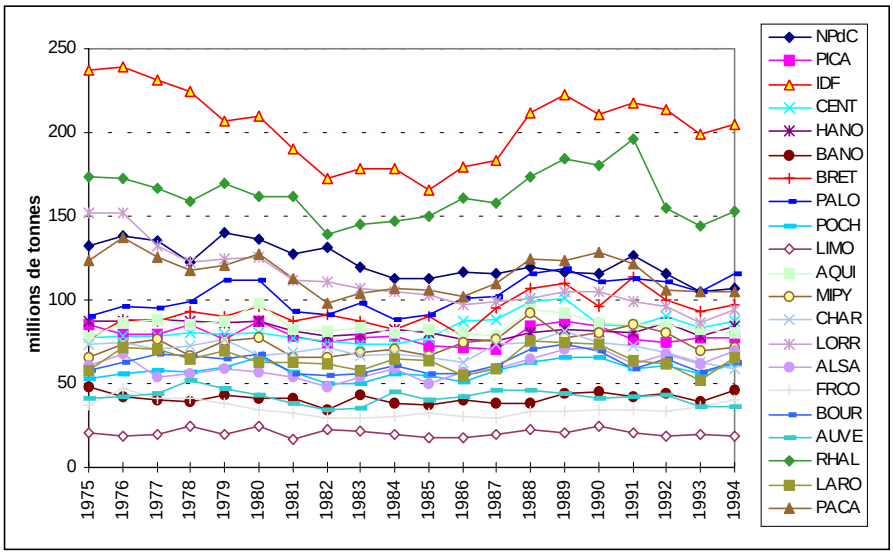


[1] En 1994, le port de Marseille a chargé 91 millions de tonnes de marchandises (81% débarquées et 19% embarquées) loin devant les ports du Havre (54 millions de tonnes) et Dunkerque (37 millions de tonnes). Source : OEST (1995e).

B. L'évolution rétrospective des contributions régionales globales

Entre 1975 et 1994, les participations régionales en volume total généré par région connaissent quelques variations ayant des conséquences sur la structure régionale du fret national.

Graphique VIII-3. Evolution des tonnages globaux générés par région (intra+export+import)



La hiérarchie régionale est conservée à long terme pour les poids dominants des régions Ile de France et Rhône-Alpes et les poids marginaux des régions Limousin, Franche-Comté et Auvergne. En revanche, les régions ayant un poids intermédiaire en tonnage généré présentent pour certaines d'entre elles des évolutions plus marquées affectant leur contribution relative au fret généré. C'est principalement le cas du Nord-Pas-de-Calais et de Lorraine qui voient leur tonnage global diminuer de 1,1% et de 2,5% par an et des Pays de Loire et de Bretagne qui connaissent une hausse de 1,3% par an.

VIII-1-2. Les contributions relatives régionales à l'exportation, à l'importation et en intrarégional et leur évolution à long terme

La distinction de l'échelle géographique de transport et du sens des flux apporte des informations complémentaires sur les contributions régionales. La distinction intrarégionale / interrégionale renseigne sur la plus ou moins forte propension des régions à s'ouvrir sur l'extérieur ou à se limiter à leur marché intérieur tandis que la prise en compte du sens des flux interrégionaux, émission ou réception, qualifie la nature de l'interdépendance des régions, avec soit des régions dynamiques exportant de forts tonnages, soit des régions plutôt dépendantes et important davantage. Les volumes à l'exportation peuvent en effet exprimer une dynamique par l'ouverture des marchés régionaux sur l'extérieur même si l'expression en tonnage ne peut rendre compte du dynamisme commercial en termes de richesse. Les volumes intrarégionaux peuvent renseigner sur l'importance du bassin de consommation régional et les importations peuvent constituer un élément central de l'interdépendance régionale.

A. Les contributions relatives régionales dans le fret intrarégional

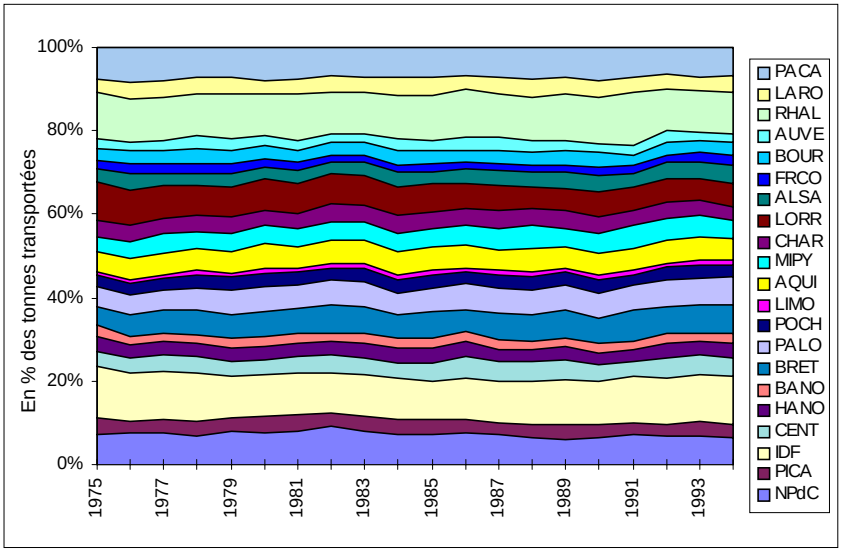
Les contributions relatives en intrarégional sont nettement dominées par les régions Ile de France et Rhône-Alpes, qui représentent respectivement 11,6% et 10% du tonnage intrarégional total généré en 1994.

Tableau VIII-1. Parts relatives régionales dans le tonnage intrarégional (1994)

	Parts relatives intra		Parts relatives intra
NPDC	6,4%	MIPY	4,6%
PICA	3,2%	CHAR	3,2%
IDF	11,6%	LORR	5,5%
CENT	4,4%	ALSA	4,4%
HANO	3,6%	FRCO	2,4%
BANO	2,5%	BOUR	3,2%
BRET	6,5%	AUVE	1,9%
PALO	6,7%	RHAL	10,0%
POCH	3,1%	LARO	3,9%
LIMO	1,0%	PACA	6,7%
AQUI	5,1%		

En évolution à long terme (1975-1994), la structure régionale du tonnage intrarégional global se caractérise par une forte stabilité. Elle reste dominée sur toute la période par les grandes régions économiques Ile-de-France, Rhône-Alpes, PACA et Nord-Pas-de-Calais.

Graphique VIII-4. Evolution de la structure régionale du tonnage intrarégional global (1975-1994)



Cette stabilité générale masque toutefois quelques tendances divergentes[2]. En effet, si la décroissance globale du tonnage intrarégional sur la période 1975-1994 relève de baisses de trafics pour un grand nombre de régions, certaines régions présentent tout de même des hausses de leur fret local.

[2] Les évolutions des tonnages intrarégionaux depuis 1975 sont représentés en annexe VIII-1.

Tableau VIII-2. Variations globales 75-94 et moyennes annuelles des tonnages intrarégionaux

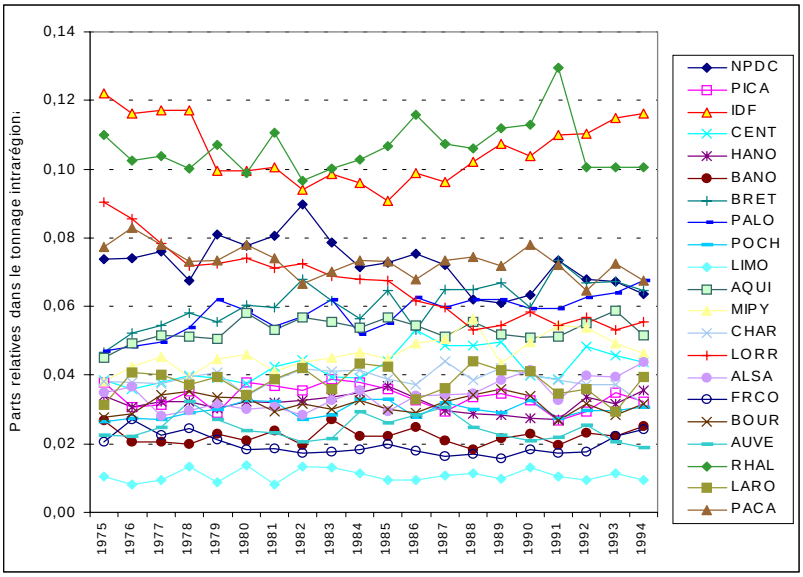
	TCG75-94	tcma		TCG75-94	tcma
NPDC	-26,9%	-1,6%	**MIPY**	2,3%	0,1%
PICA	-27,9%	-1,7%	**CHAR**	-30,0%	-1,9%
IDF	-19,6%	-1,1%	**LORR**	-48,3%	-3,4%
CENT	-3,8%	-0,2%	**ALSA**	6,2%	0,3%
HANO	-11,4%	-0,6%	**FRCO**	0,1%	0,0%
BANO	-20,7%	-1,2%	**BOUR**	-3,4%	-0,2%
BRET	17,2%	0,8%	**AUVE**	-29,0%	-1,8%
PALO	20,9%	1,0%	**RHAL**	-22,9%	-1,4%
POCH	-1,7%	-0,1%	**LARO**	6,2%	0,3%
LIMO	-23,2%	-1,4%	**PACA**	-26,5%	-1,6%
AQUI	-3,4%	-0,2%			

Les régions principalement affectées par une baisse de leur tonnage local sont principalement les régions du Nord-Est, alors que les régions de l'Ouest présentent plutôt des tendances à la hausse (Bretagne et Pays de Loire).

Ces disparités spatiales de croissance du tonnage intrarégional se retrouvent dans les variations des contributions relatives régionales. Les régions du Nord-Est (exceptions de l'Alsace et de la Franche-Comté) réduisent leurs parts relatives de 10 à 39% alors que les régions de l'Ouest et du Sud-Ouest les améliorent de 15 à 43%. Ces différentes évolutions modifient sensiblement à long terme la hiérarchie des contributions régionales. Les deux principales régions génératrices voient leurs positions relatives s'inverser, la région Rhône-Alpes présentant la plus forte part relative en tonnage intrarégional entre 1979 et 1991 devant l'Ile de France.

La structure régionale évolue également par une dégradation des parts relatives des régions Lorraine (-39%), Nord-Pas-de-Calais (-13,5%), et PACA (13%) et par une amélioration de celles des Pays de Loire (+43%) et de Bretagne (+39%).

Graphique VIII-5. Variations annuelles des parts relatives intrarégionales



B. Les contributions régionales à l'exportation et à l'importation

Les contributions relatives régionales diffèrent fortement à l'interrégional et entre les flux à l'export et à l'import. En particulier, les grandes régions économiques qui ressortaient nettement en intrarégional ne contribuent pas de façon majoritaire aux échanges interrégionaux, à l'exception de la région Ile de France. Du point de vue des flux exportés, la région Ile-de-France connaît la plus forte contribution mais sans toutefois se détacher nettement des autres régions et notamment des régions Haute-Normandie, Rhône-Alpes et Pays de Loire. En revanche, du point de vue des flux importés, l'Ile de France se démarque très fortement avec une part relative de plus de 14% en 1994. Cette position largement dominante par rapport aux autres régions s'explique par un fort bassin de consommation et une forte densité démographique d'une part, et par une moindre importance des activités productives agricoles et industrielles face aux activités tertiaires d'autre part.

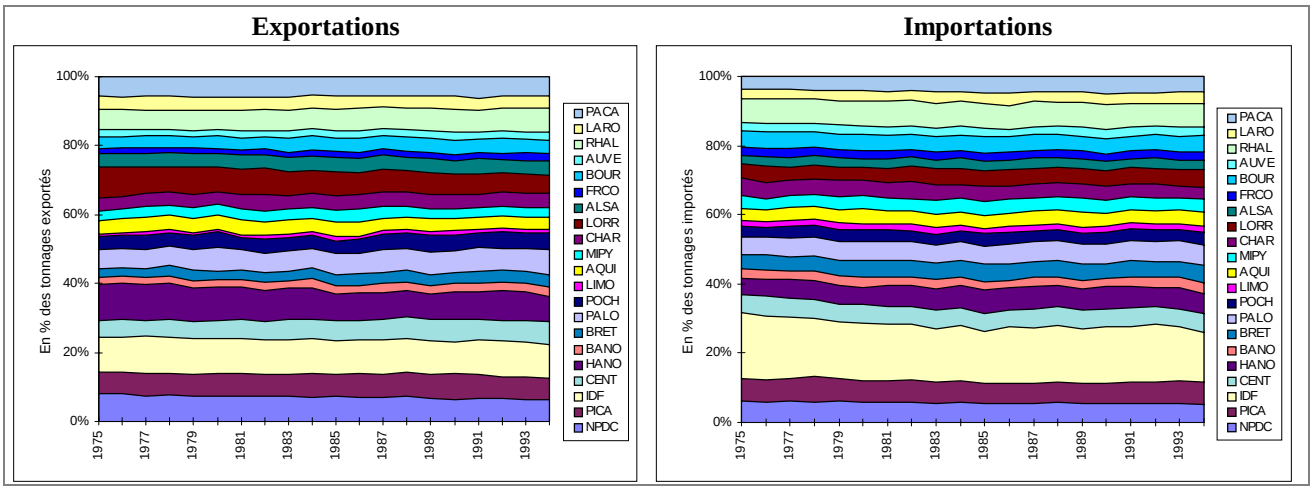
Tableau VIII-3. Parts relatives régionales dans les tonnages exportés et importés (1994)

	export	import		export	import
Nord Pas de C.	6,3%	5,3%	Midi-Pyrénées	2,9%	3,8%
Picardie	6,2%	6,3%	Champagne-Ardenne	3,9%	3,5%
Ile de France	9,9%	14,3%	Lorraine	5,4%	5,0%
Centre	6,4%	5,5%	Alsace	4,1%	2,9%
Haute-Normandie	7,6%	5,9%	Franche-Comté	2,1%	2,3%
Basse-Normandie	2,6%	3,1%	Bourgogne	3,9%	4,6%
Bretagne	3,6%	4,9%	Auvergne	2,2%	2,4%
Pays de Loire	7,1%	6,0%	Rhône-Alpes	7,0%	6,9%
Poitou-Charentes	5,1%	3,6%	Languedoc Roussillon	3,7%	3,3%
Limousin	0,9%	1,6%	PACA	5,4%	4,6%
Aquitaine	3,5%	4,1%			

En évolution à long terme, la structure régionale des tonnages interrégionaux présente davantage de modifications qu'en intrarégional. A l'exportation, outre les régions Ile de France et Haute-Normandie qui conservent les plus fortes parts relatives (réduites toutefois), les autres principales régions exportatrices de fret en interrégional sont Pays de Loire, Rhône-Alpes et Centre et non plus Lorraine, Nord-Pas-de-Calais et Picardie.

A l'importation, en revanche, la structure régionale demeure très stable à long terme en raison principalement de la place prédominante de la région Ile de France qui représente en moyenne sur la période d'observation 16,4% des tonnages globalement importés par an.

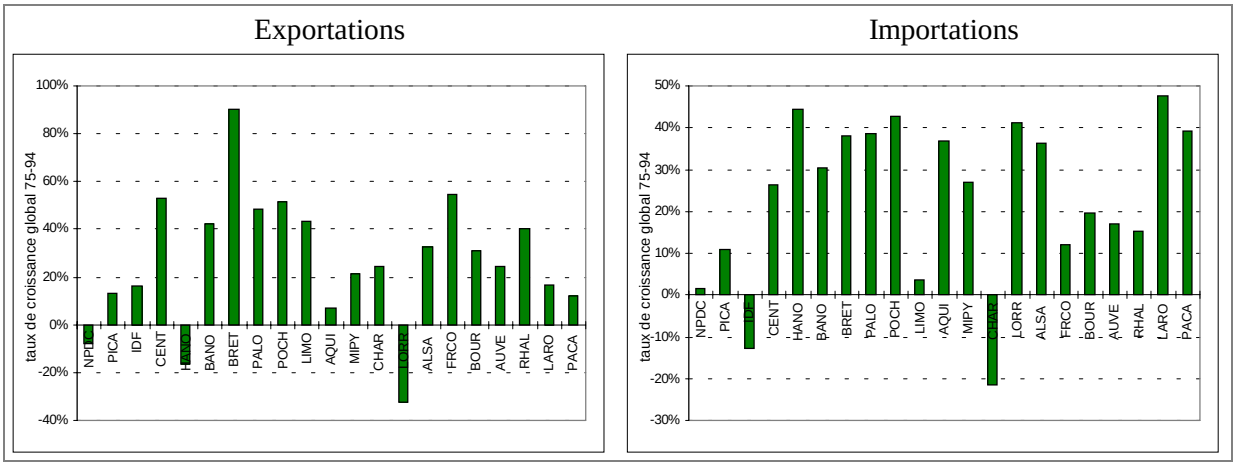
Graphique VIII-6. Evolution de la structure régionale des tonnages importés et exportés



Des évolutions assez fortes peuvent être soulignées, en particulier pour le fret à l'exportation. Les régions de l'Ouest affichent une forte dynamique avec des taux de croissance globaux entre 1975 et 1994 atteignant en majorité entre 40 et 60% et jusqu'à 90% en Bretagne. A l'opposé, les régions de l'Est et du Nord (Nord-Pas-de-Calais, Haute-Normandie et Lorraine) réduisent leur tonnage à l'exportation, avec des variations tout de même plus limitées (jusqu'à –32% en Lorraine)[3].

A l'importation, la majorité des régions accroît son volume physique de marchandises importées dans une fourchette variant entre 10 et 50% sur 20 ans. Quelques régions font tout de même exception, soit par une stabilisation des volumes importés (Nord-Pas-de-Calais et Limousin), soit par une baisse de ceux-ci de l'ordre de –10% pour Ile-de-France et –20% pour Champagne-Ardenne.

Graphiques VIII-7. Croissances globales des tonnages exportés et importés (1975-1994)

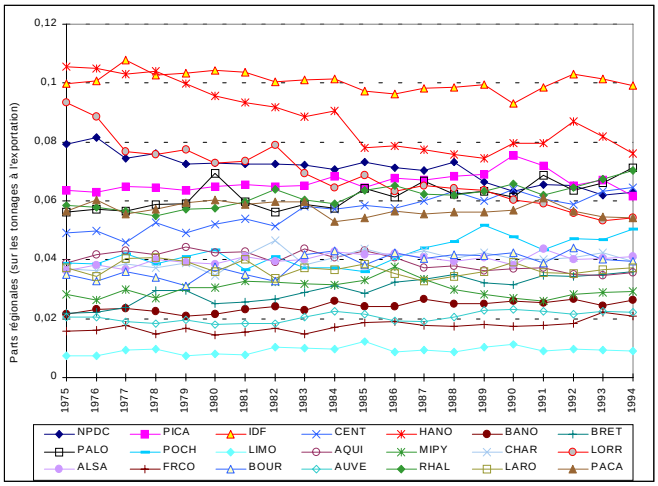


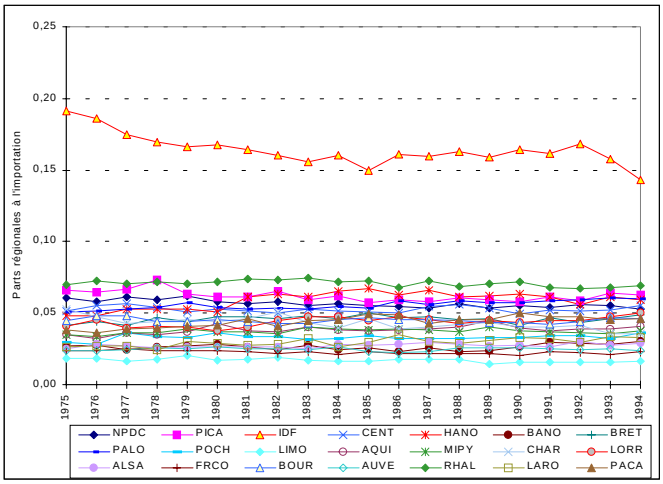
Ces quelques modifications ressortent également à travers les variations annuelles des parts relatives régionales à l'export et à l'import. A l'exportation, les plus fortes croissances en parts

[3] Les évolutions des tonnages exportés et importés par les différentes régions depuis 1975 sont représentées en annexe VIII-1.

relatives relèvent du quart Centre-Ouest avec les régions Bretagne (+63%), Centre (+31%), Poitou-Charentes (+30%) et Pays de Loire (+27%). Les principales baisses proviennent des régions du Nord et de l'Est, Lorraine (-42%), Nord-Pas-de-Calais (-29%) et Haute-Normandie (-21%). A l'importation, les régions de l'Ouest et du Sud ont tendance à améliorer leurs parts relatives, comme Languedoc-Roussillon (+27%), Haute-Normandie (+24%) ou Poitou-Charentes (+22%) alors que les régions du Nord et de l'Est, comme Champagne-Ardenne (-33%), Ile de France (-25%) et Nord-Pas-de-Calais (-13%), ont plutôt tendance à réduire leurs parts à l'importation (exception de Lorraine et Alsace).

Graphique VIII-8. Variations annuelles des parts régionales à l'exportation et à l'importation





Ces différentes évolutions des participations régionales dans les tonnages locaux, émis ou reçus annuellement conduisent en 1994 à des profils régionaux en transport de marchandises très différenciés, avec des régions plutôt centrées sur leur marché local, des régions dynamiques et plus ouvertes grâce à une croissance de leurs exportations et des régions sensiblement plus dépendantes du marché national à travers de plus fortes importations.

VIII-1-3. Des déséquilibres et des profils régionaux à l'échange différents

A. Des contributions interrégionales déséquilibrées

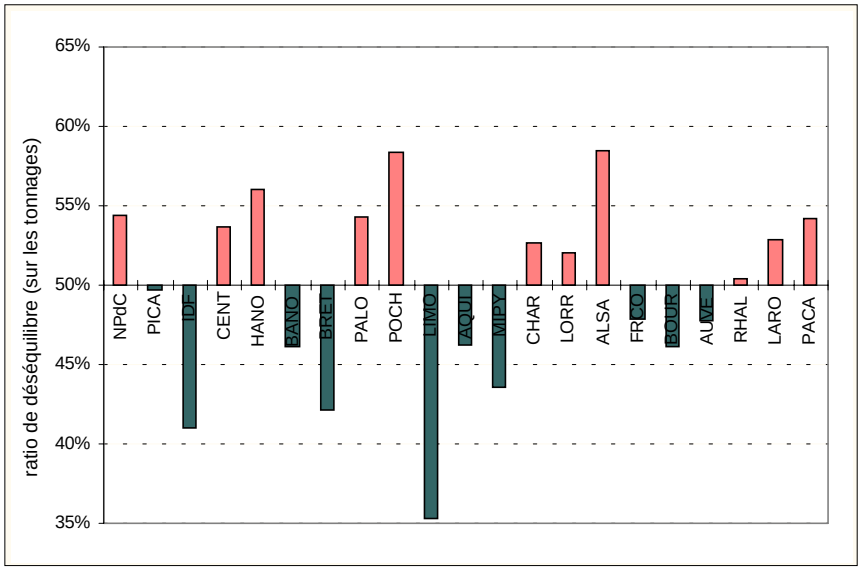
Les différences de volumes à l'exportation et à l'importation conduisent à des déséquilibres dans les flux interrégionaux de chaque région et à des situations de dominance ou au contraire de dépendance interrégionale. La mesure des déséquilibres des échanges d'une région en référence à l'ensemble des autres régions est donnée par le ratio de déséquilibre, noté *Ri*, calculé par le rapport des tonnages émis[4] par une région *i* vers l'ensemble des autres régions (noté Ti.) et la somme des tonnages reçus (T.i) et émis (Ti.) par cette région.

$$Ri = \frac{T_{i.}}{T_{i.} + T_{.j}} \qquad \text{[VIII-1]}$$

[4] L'optique des importations auraient donné des résultats symétriques.

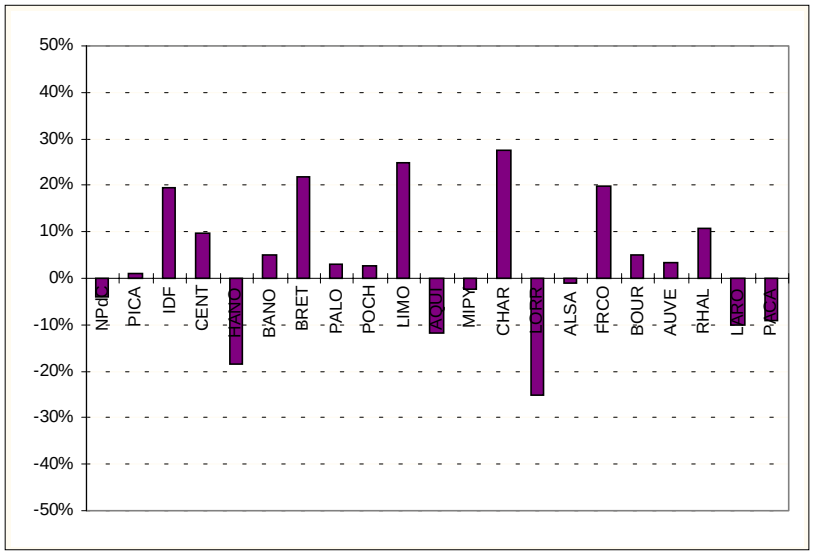
Si *Ri* >50%, la région émet plus qu'elle ne reçoit, et si *Ri*<50%, alors elle reçoit plus qu'elle n'émet. Le premier cas peut refléter une plus grande capacité productive et/ou distributive de la région face aux autres régions et une relative autonomie pour ses approvisionnements par rapport au marché national. Le second cas peut au contraire traduire une dépendance de la région pour ses approvisionnements ou ses besoins de consommation envers le marché national. Toutefois, il ne nous est pas possible de traiter de dépendance ou d'autonomie économique du fait que nous ne raisonnons pas sur la valeur ajoutée intégrée aux biens, c'est-à-dire sur la richesse des échanges commerciaux. Cette analyse a en revanche pour objectif de classer les régions du point de vue de la nature de leur participation dans la dynamique du système économique national, entre des régions "autonomes " ayant des exportations supérieures aux importations, et des régions "dépendantes " ayant des importations supérieures aux exportations.

Graphique VIII-9. Ratio de déséquilibre des flux interrégionaux (1994)



En 1994, la répartition entre régions *autonomes* et régions *dépendantes* est pratiquement équilibrée puisque 11 régions présentent un ratio de déséquilibre supérieur à 50% contre 10 avec un ratio inférieur à 50%. En outre, les déséquilibres restent peu importants, inférieurs en valeur absolue à 10% du niveau d'équilibre. Les régions présentant les plus forts ratios en 1994, sont Alsace (58,4%), Poitou-Charentes (58,4%) et Haute-Normandie (56%) et les plus faibles, Limousin (35,3%), Ile de France (41%), Bretagne (42,2%) et Midi-Pyrénées (43,5%). Entre 1975 et 1994, les déséquilibres des flux interrégionaux ont eu tendance à s'accroître c'est-à-dire à dépasser 50%. En effet, 13 régions, principalement Champagne-Ardenne, Limousin et Bretagne ont accru leur ratio de déséquilibre à l'exportation et 7 régions l'ont diminué, principalement Lorraine, Haute-Normandie, Aquitaine.

Graphique VIII-10. Evolution des déséquilibres des flux interrégionaux (exportation / exportation +importation) - 1975-1994



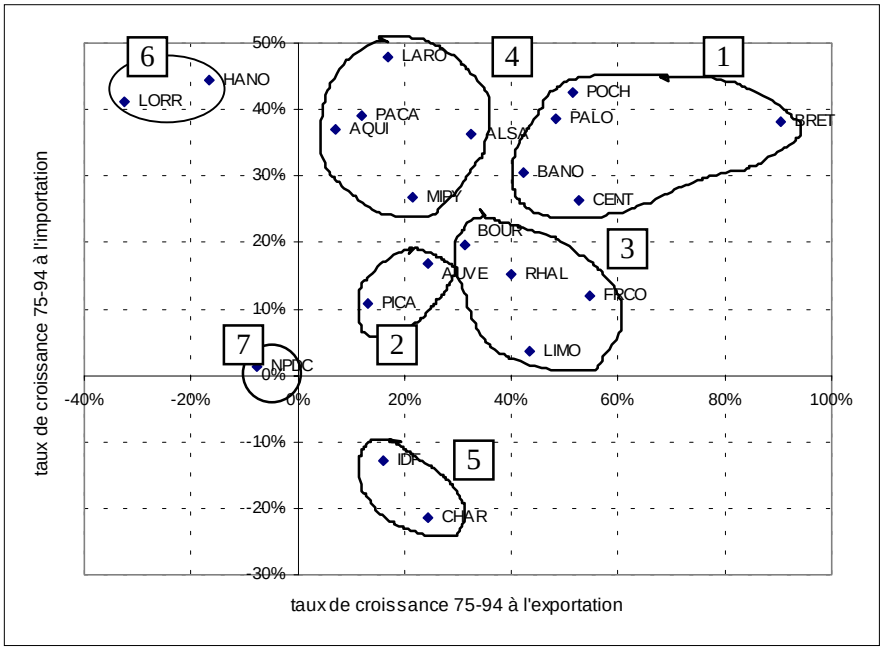
Cette évolution fait ressortir d'une part, le dynamisme économique des régions de la façade atlantique, et d'autre part, les difficultés économiques que traversent les régions de l'Est suite au déclin des anciennes industries lourdes.

B. L'évolution des profils régionaux à l'échange

Le croisement des taux de croissance régionaux à l'importation et à l'exportation permet de dégager des profils régionaux en échange interrégional de marchandises. Quatre profils régionaux se présentent par un tel croisement : des " régions dynamiques ouvertes ", qui présentent des taux de croissance régionaux élevés à l'importation et à l'exportation, des " régions fermées " qui réduisent leurs deux participations extérieures, des régions " dominantes " qui accroissent leurs participations à l'exportation et réduisent celles à l'importation, et des régions " dépendantes " qui augmentent leur participation à l'importation et réduisent celle à l'exportation.

Le croisement des taux de croissance des tonnages émis et reçus aboutit à 7 catégories de profils régionaux à l'échange dont un cas isolé constitué par la région Nord-Pas-de-Calais.

Graphique VIII-11. Profils régionaux sur les taux de croissance des tonnages émis et reçus (75-94)



Le groupe 1 comprend les régions s'ouvrant fortement aux échanges interrégionaux avec de forts taux de croissance (proches ou supérieurs à 30%) à l'exportation comme à l'importation. Le groupe 2 est composé de régions s'ouvrant plus timidement à l'interrégional avec des taux de croissance inférieurs à 30%. Le groupe 3 contient des régions qui s'ouvrent à l'interrégional davantage sous l'angle des exportations. Le groupe 4 comprend des régions avec une tendance opposée c'est-à-dire qui augmentent leurs participations interrégionales davantage par le biais des importations que des exportations. Le groupe 5 concerne des régions qui réduisent leurs participations à l'importation tout en augmentant celles à l'exportation. Le groupe 6 est symétrique au précédent avec des régions qui diminuent leurs participations à l'exportation et accroissent celles à l'importation. Enfin le groupe 7 correspond à une stabilité.

Ces croisements font ressortir des catégories de régions très différentes quant à la nature et à l'évolution de leurs contributions aux échanges interrégionaux de marchandises. Ainsi, les régions de la façade atlantique participent de plus en plus fortement à la dynamique du système d'interactions spatiales alors que les régions du Nord et de l'Est participent de moins en moins (Nord-Pas-de-Calais et Picardie). Les autres régions participent de façon déséquilibrée dans le sens où elles accroissent seulement une facette de leur participation, soit leurs exportations soit leurs importations.

Afin de mieux comprendre l'évolution des participations régionales, une analyse désagrégée sur les catégories sectorielles de produits est développée, présentant la structure sectorielle des tonnages locaux, émis ou reçus de chaque région et le rôle des structures sectorielles d'une part et des dynamiques géographiques d'autre part, dans l'évolution des interactions spatiales en transport de marchandises.

VIII-2. Analyse sectorielle des contributions régionales

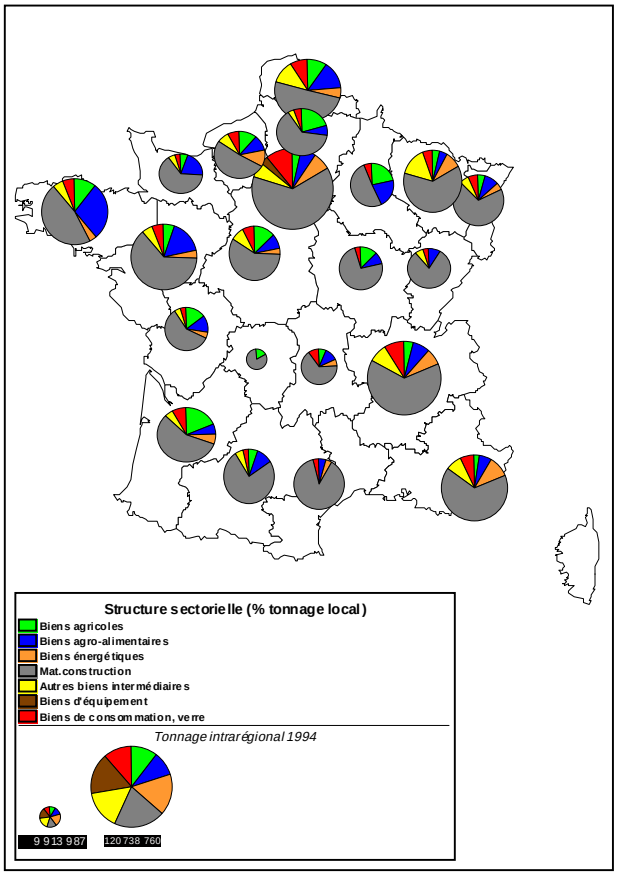
L'analyse sectorielle du fret généré par chaque région permet de qualifier les contributions régionales du point de vue de la nature des produits transportés et de montrer si la croissance des contributions en tonnage relève plus d'effets structurels ou d'effets géographiques régionaux.

L'analyse sectorielle est effectuée à l'aide de deux indicateurs, déjà exploités lors de l'analyse sectorielle des structures socio-économiques régionales. Le premier indicateur est la part de chaque catégorie de produits dans les tonnages régionaux générés et le second est un indice de spécificité calculé sur les tonnages à l'exportation ou à l'importation.

VIII-2-1. Prédominance des produits du BTP dans les flux locaux

Les structures sectorielles du tonnage intrarégional de chaque région sont sans exception caractérisées par une proportion élevée des matériaux de construction et minerais bruts (nst 6). En 1994, ces produits représentent plus de 50% du tonnage intrarégional pour 17 régions. Seules quatre régions, Bretagne, Champagne-Ardenne, Nord-Pas-de-Calais et Haute-Normandie, totalisent moins de 50% de leur tonnage local en matériaux de construction. La représentation spatiale des structures sectorielles du fret local des différentes régions présente de ce fait un profil homogène sur l'ensemble du territoire national.

Figure VIII-2. Représentation spatiale de la structure sectorielle des tonnages intrarégionaux 1994



Conception : auteur, SIG : GéoConcept, données SITRAM

Tableau VIII-4. Principaux produits des tonnages intrarégionaux (1994)

(% des tonnes)	première catégorie NST		seconde catégorie NST			première catégorie NST		seconde catégorie NST	
Nord Pas de C.	nst6	48%	nst1	13%	Midi-Pyrénées	nst6	71%	nst1	9%
Picardie	nst6	57%	nst0	21%	Champagne-A.	nst6	44%	0 / 1	21%
Ile de France	nst6	63%	nst9cd	11%	Lorraine	nst6	60%	9cd / 2	6%/5%
Centre	nst6	56%	nst0	13%	Alsace	nst6	67%	1 / 9cd	8%
Haute-Normandie	nst6	49%	nst0	13%	Franche-Comté	nst6	70%	nst1	10%
Basse-Normandie	nst6	58%	nst1	21%	Bourgogne	nst6	64%	nst0	14%
Bretagne	nst6	45%	nst1	26%	Auvergne	nst6	59%	nst1	11%
Pays de Loire	nst6	60%	nst1	16%	Rhône-Alpes	nst6	62%	9cd / 1	9%/8%
Poitou-Charentes	nst6	55%	nst0	16%	Languedoc R.	nst6	79%	nst1	6%
Limousin	nst6	61%	nst0	18%	PACA	nst6	66%	nst3	9%
Aquitaine	nst6	52%	nst0	18%					

En évolution à long terme, les structures sectorielles des tonnages intrarégionaux présentent une forte stabilité en raison de la part écrasante des matériaux de construction. Seule la région Lorraine fait exception et connaît d'importantes transformations dans sa structure sectorielle de 1975 à 1994.[5].

VIII-2-2. Des échanges interrégionaux plus diversifiés

A. Des régions plus " spécialisées " dans leurs exportations

La structure sectorielle des tonnages émis est nettement plus diversifiée selon les régions que celle des tonnages intrarégionaux. Si les matériaux de construction demeurent une catégorie importante, ils n'occupent la première place que dans 8 régions et n'atteignent jamais 50% du tonnage global (43% au maximum en Poitou-Charentes). Les biens agro-alimentaires constituent dans 8 régions la seconde catégorie de produits les plus exportés. Enfin, les produits manufacturés sont le poste principal des tonnages exportés pour 2 régions et les produits pétroliers constituent la part principale (23%) en PACA, en raison de son activité portuaire (importations internationales d'hydrocarbures).

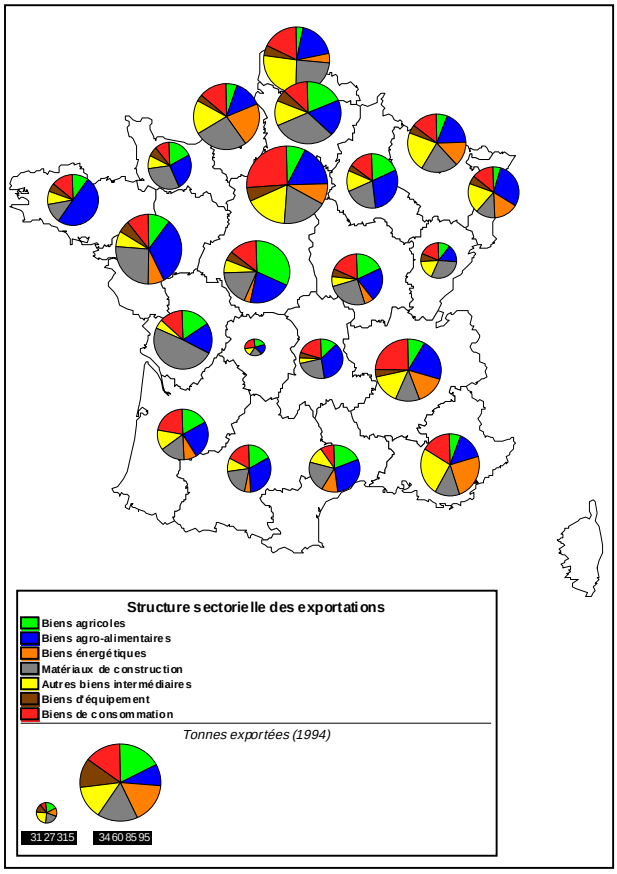
Tableau VIII-5. Principales catégories de produits exportés par région (1994)

(% des tonnes)	première catégorie NST		seconde catégorie NST			première catégorie NST		seconde catégorie NST	
Nord Pas de C.	nst 6	23%	nst 9cd	18%	Midi-Pyrénées	nst 1	31%	nst 6/9cd	18%
Picardie	nst 6	29%	nst 1	19%	Champagne-A.	nst 1	28%	nst 0/6	19%
Ile de France	nst 9cd	27%	nst 1/6	17%	Lorraine	nst 6	21%	nst 1	18%
Centre	nst 0	33%	nst 1	20%	Alsace	nst 1	28%	nst 6	14%
Haute-Normandie	nst 6	25%	nst 3	18%	Franche-Comté	nst 6	29%	nst 9cd	18%
Basse-Normandie	nst 6	27%	nst 1	24%	Bourgogne	nst 6	24%	nst 1	22%
Bretagne	nst 1	47%	nst 9cd	14%	Auvergne	nst 1	31%	nst 6	21%
Pays de Loire	nst 1	30%	nst 6	26%	Rhône-Alpes	nst 9cd	24%	nst 1	22%
Poitou-Charentes	nst 6	43%	nst 1	18%	Languedoc R.	nst 1	28%	nst 6	22%
Limousin	nst 9cd	32%	nst 1	19%	PACA	nst 3	23%	nst 9d	16%
Aquitaine	nst 1	24%	nst 9cd	22%					

[5] Evolution de la structure sectorielle du tonnage intrarégional de plusieurs régions en annexe VIII-3.

Bien que relativement diversifiées, les structures sectorielles des tonnages exportés reposent dans la majorité des régions sur trois catégories de produits : les matériaux de construction, les biens agro-alimentaires et les produits manufacturés. Deux régions font tout de même un peu exception avec des tonnages importants en produits agricoles, dans le Centre, et en produits pétroliers, en PACA. Enfin, des structures sectorielles déséquilibrées apparaissent, notamment en Bretagne avec la part élevée des produits agro-alimentaires (47%) et en Poitou-Charentes avec les matériaux de construction (43%).

Figure VIII-3. Structure sectorielle des exportations régionales (sur les tonnages 1994)



Conception : auteur, SIG : GéoConcept, données SITRAM

Sur le long terme, les structures sectorielles des tonnages exportés connaissent davantage de modifications que celles des tonnages intrarégionaux. La majorité des évolutions est imputable à une hausse de la part des produits agro-alimentaires de plus de 40% (12 régions), et dans une moindre mesure à une hausse des produits agricoles et des produits manufacturés[6].

B. Des structures à l'importation plus homogènes

La structure sectorielle des tonnages importés par les différentes régions se distingue fortement celles des flux intrarégionaux et exportés par une répartition plus équilibrée entre les différentes catégories de produits. Les principales catégories représentent en effet moins de 40% du tonnage total. Les principales catégories de produits importées sont des produits agro-alimentaires pour 9

[6] Evolution des structures sectorielles des exportations de différentes régions en annexe VIII-3.

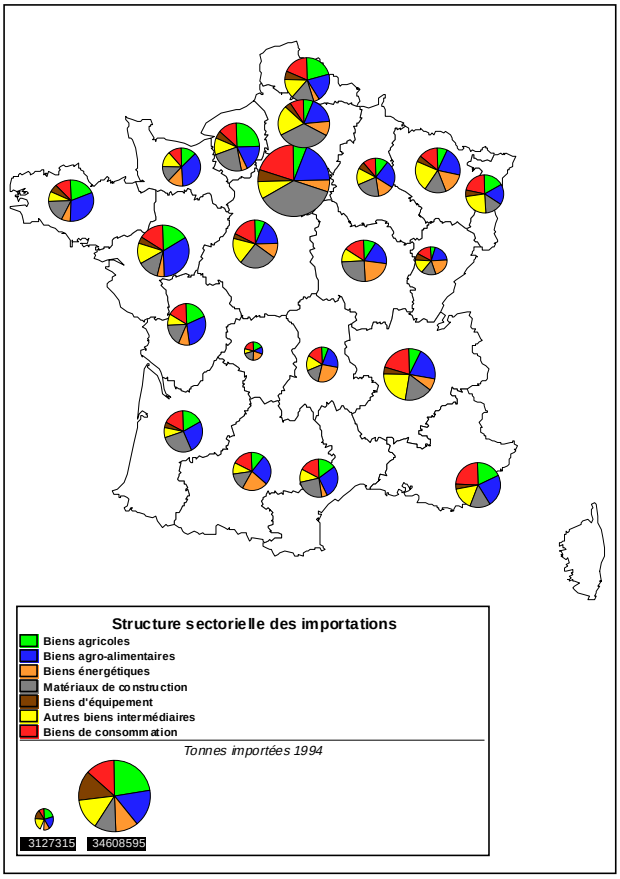
régions, des matériaux de construction pour seulement 5 régions, des produits manufacturés pour 4 régions et des produits agricoles pour 2 régions.

Tableau VIII-6. Principaux produits importés par région (1994)

(% des tonnes)	première catégorie NST		seconde catégorie NST			première catégorie NST		seconde catégorie NST	
Nord Pas de C.	nst0	20%	nst 1/9cd	19%	Midi-Pyrénées	nst1	24%	nst3	20%
Picardie	nst6	31%	nst1	16%	Champagne-A.	nst1	24%	nst6	20%
Ile de France	nst6	35%	nst9cd	20%	Lorraine	nst1	20%	nst6	17%
Centre	nst6	27%	nst1	18%	Alsace	nst9cd	21%	nst1/0	18%/17%
Haute-Normandie	nst0	25%	nst6	23%	Franche-Comté	nst1	20%	nst6	18%
Basse-Normandie	nst1	35%	nst6	15%	Bourgogne	nst6	22%	nst1	18%
Bretagne	nst1	31%	nst0	19%	Auvergne	nst3	22%	nst1	21%
Pays de Loire	nst1	32%	nst0	17%	Rhône-Alpes	nst9cd	21%	nst1	20%
Poitou-Charentes	nst1	27%	nst0	19%	Languedoc R.	nst1	25%	nst6	20%
Limousin	nst9cd	20%	nst1	18%	PACA	nst9cd	25%	nst1	23%
Aquitaine	nst6	25%	nst1	24%					

Les produits agro-alimentaires affichent une part significative dans l'ensemble des régions, oscillant entre 16% et 35% du total importé. Les autres catégories de produits présentent davantage de disparités, ce qui confèrent à certaines régions des structures sectorielles plus différenciées. C'est notamment le cas pour Midi-Pyrénées et Auvergne qui affichent une part élevée en produits pétroliers, respectivement 22% et 20% en 1994. La région Ile de France se démarque également avec une part élevée en matériaux de construction (35% en 1994).

Figure VIII-4. Structure sectorielle des importations régionales (sur les tonnes 1994)



Conception : auteur, SIG : GéoConcept, données SITRAM

Sur le long terme, les structures sectorielles régionales à l'importation présentent plus d'inflexions que celles des tonnages intrarégionaux mais moins que celles à l'exportation. Les modifications observées se font principalement en faveur des produits agro-alimentaires qui, représentant en général plus de 20% des tonnages importés, augmentent de 40% ou plus dans 15 régions[7].

La diversité des structures sectorielles régionales à l'exportation et à l'importation aboutit à des systèmes d'échange différenciés selon les catégories de produits. On observe en effet des systèmes intégrés de transport de fret (Savy, 1993), entre régions échangeant des produits des mêmes branches économiques, et des systèmes complémentaires entre régions échangeant des produits de branches économiques différentes.

VIII-2-3. Des systèmes d'échange intégrés ou complémentaires selon les catégories de produits

En considérant la répartition spatiale des tonnages émis et reçus en interrégional, une structuration de l'espace est nettement mise en évidence pour chaque grand secteur économique de biens marchands transportés.

nst 0 - 1 : produits agro-alimentaires
nst 2 -3 : produits énergétiques
nst 4-5-6-7-8-9c : biens intermédiaires
nst 9a-9b : biens d'équipement
nst 9d : biens de consommation

A. Les biens agricoles et agro-alimentaires

La structure spatiale des exportations et importations nationales en produits agricoles et agro-alimentaires fait ressortir les régions fortement spécialisées dans l'agriculture et dans l'industrie agro-alimentaire telles que Bretagne, Centre, Pays de Loire ou Poitou-Charentes.

La structuration du territoire par les biens agricoles et agro-alimentaires scinde la France en deux parties, la façade atlantique d'un côté, étendue jusqu'au centre dans le cas des exportations et au Sud dans le cas des importations, et les régions de l'Est et du Nord de l'autre côté. Les régions qui génèrent les plus forts tonnages en produits agricoles et agro-alimentaires sont donc les régions des façades Ouest et Sud. Les régions de l'Ouest sont fortement présentes à l'exportation et à l'importation et de ce fait développent des échanges intégrés. D'autres régions ne développent des échanges que dans un sens, comme la région Centre qui exporte beaucoup plus de produits agricoles qu'elle n'en importe, du fait de sa production céréalière intensive. Cette région s'insère donc plutôt dans un système complémentaire d'échanges, avec des flux intersectoriels. Enfin les régions portuaires, PACA, Nord-Pas-de-Calais et Haute-Normandie, importent davantage de biens agricoles et agro-alimentaires qu'elles n'en exportent, ce qui s'explique par leur fonction dans le

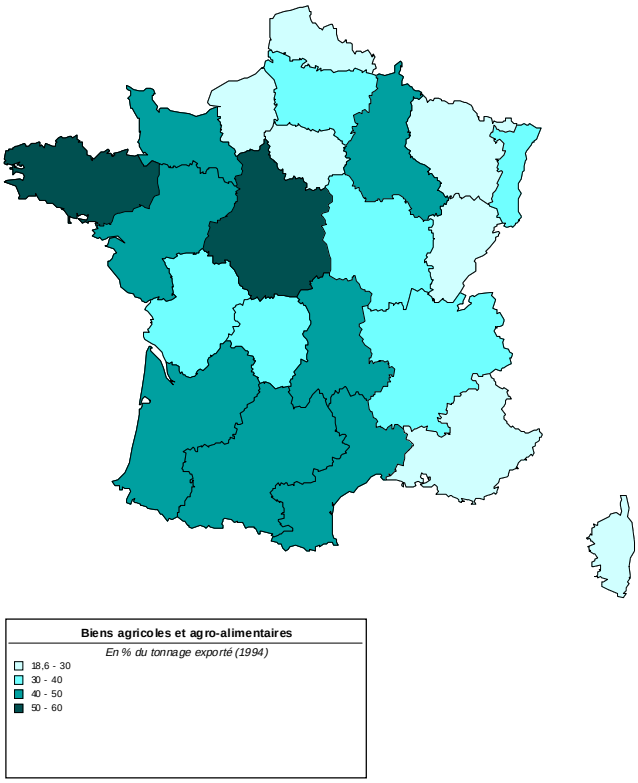
[7] Evolution des structures sectorielles des importations de différentes régions en annexe VIII-3.

commerce international conduisant à des exportations internationales de biens agricoles et agro-alimentaires relativement importantes.

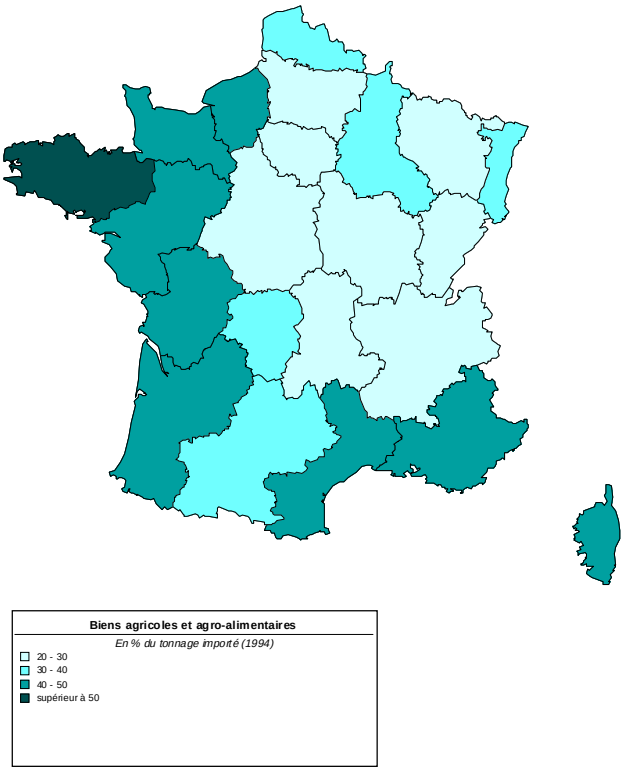
Le système d'échange des biens agricoles et agro-alimentaires est donc à la fois de type intégré avec des forts échanges entre régions génératrices à l'importation comme à l'exportation (façade atlantique) et complémentaire, pour la branche céréalière, avec des émissions en provenance de la région Centre.

Figure VIII-5. Les produits agricoles et agro-alimentaires dans le commerce interrégional (1994)

a. Exportation



b. Importation



B. Les produits énergétiques

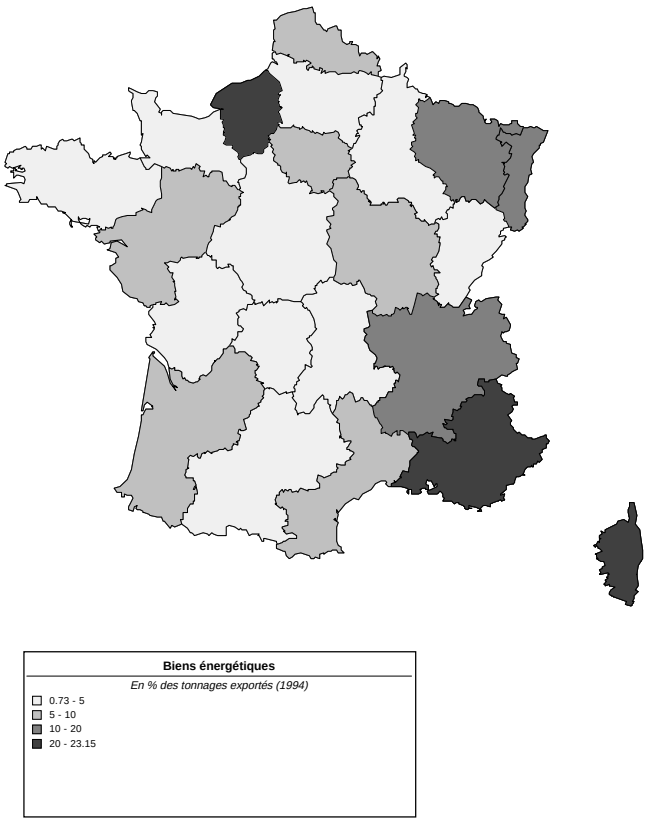
Les produits énergétiques font ressortir deux catégories de régions radicalement opposées. Les régions portuaires, PACA et Haute-Normandie, se présentent comme les principales régions exportatrices de produits énergétiques sur le territoire national, essentiellement des produits pétroliers. Cette position s'explique très logiquement par leur fonction dans le commerce international, qui dans le cas des produits pétroliers, consiste à réceptionner les importations internationales en provenance des pays producteurs. Les régions de l'Est, Lorraine et Alsace, ressortent également dans les exportations de biens énergétique mais pour une raison différente de celle concernant les régions portuaires. En effet, ces régions réceptionnent d'importants tonnages de combustibles minéraux solides et de gaz en provenance de l'international, pays de l'Est et Russie essentiellement, par le mode oléoduc. Après traitement de ces produits, ceux-ci sont distribués à travers le territoire national.

Du point de vue des importations, la structuration de l'espace est radicalement opposée puisque ce sont principalement des régions centrales géographiquement qui importent le plus de biens énergétiques. De façon logique, ces importations se font auprès des régions portuaires.

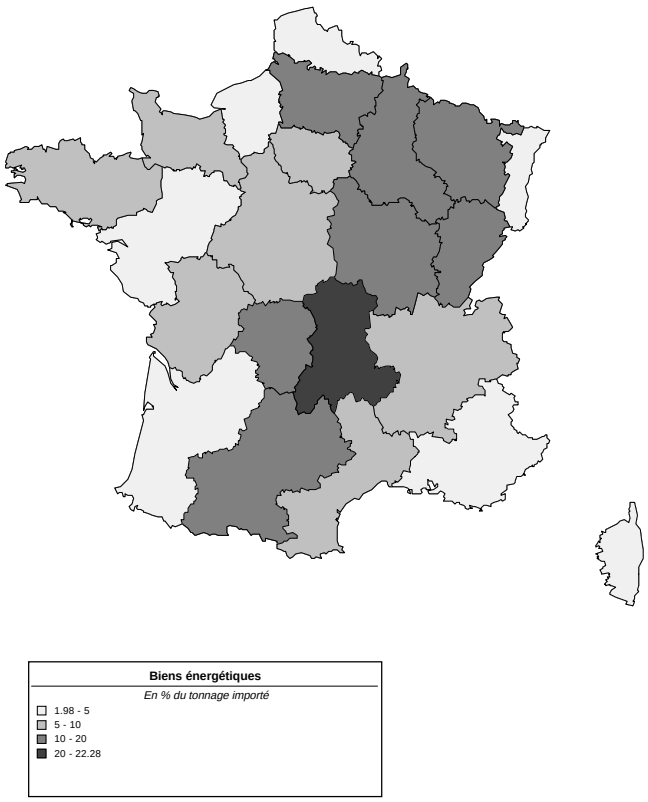
Le système d'échange des produits énergétiques est donc totalement de type complémentaire entre les régions françaises.

Figure VIII-6. Les produits énergétiques dans le commerce interrégional (1994)

a. Exportation



b. Importation



C. Les biens intermédiaires

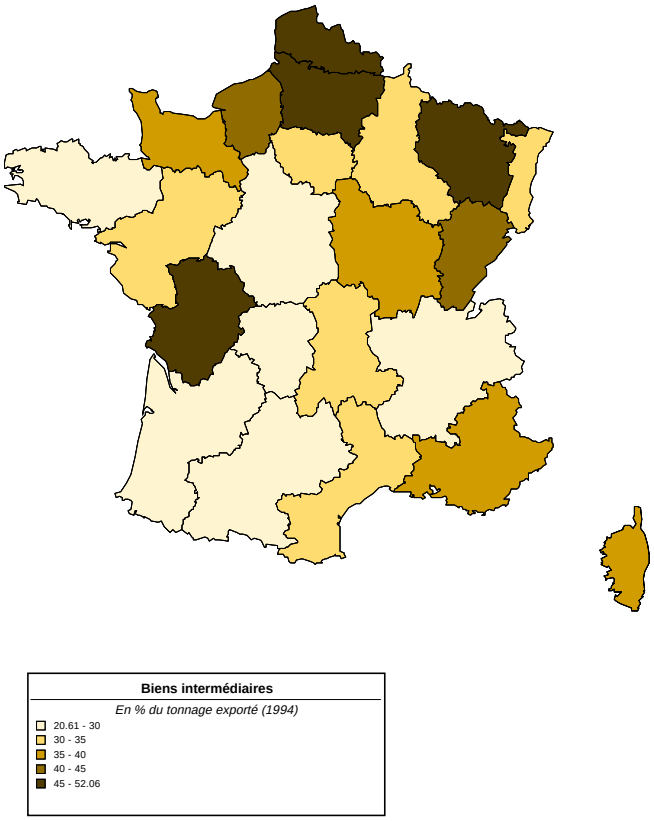
Du point de vue des flux exportés, la structuration spatiale établie par le commerce interrégional de biens intermédiaires sépare la France en deux, d'un côté les régions d'un tiers Nord-Est, et de l'autre les régions des deux tiers Sud et Ouest. Les régions du Nord et de l'Est génèrent de forts tonnages de biens intermédiaires en raison de leurs spécialisations sectorielles très anciennes dans les industries lourdes traditionnelles (métallurgie, sidérurgie), qui leur confèrent encore une position particulière dans ces branches économiques, même si ces dernières ont grandement perdu de leur importance dans l'activité économique nationale des années 80 et 90. La région Poitou-Charentes se démarque également par une spécificité marquée dans les matériaux de construction.

Du point de vue des flux importés, une limite apparaît entre les régions de la façade atlantique peu importatrices et le reste du pays.

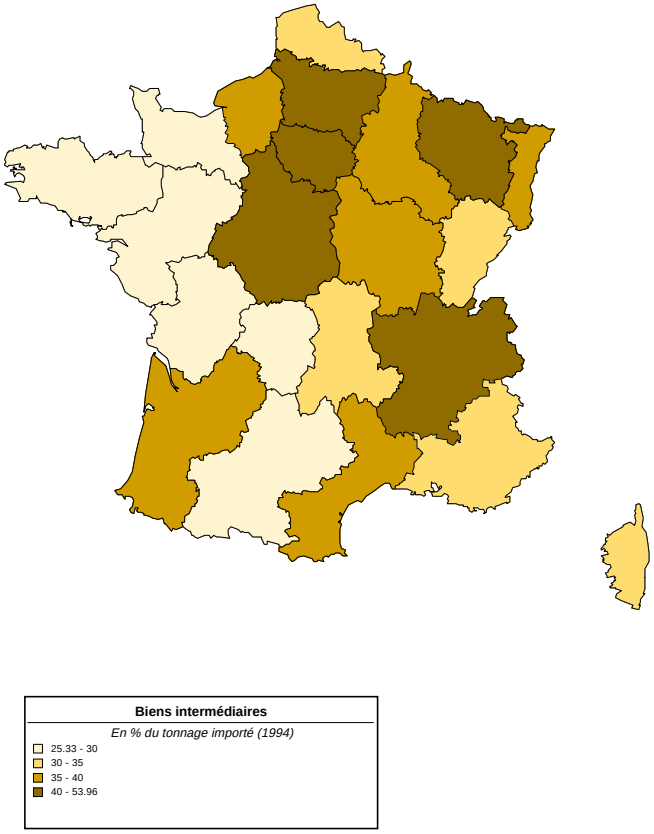
Le système d'échange des biens intermédiaires est donc plutôt de type intégré, principalement entre les régions du Nord-Est, même si cette caractéristique n'est pas fortement marquée.

Figure VIII-7. Les biens intermédiaires dans le commerce interrégional (1994)

a. Exportation



b. Importation

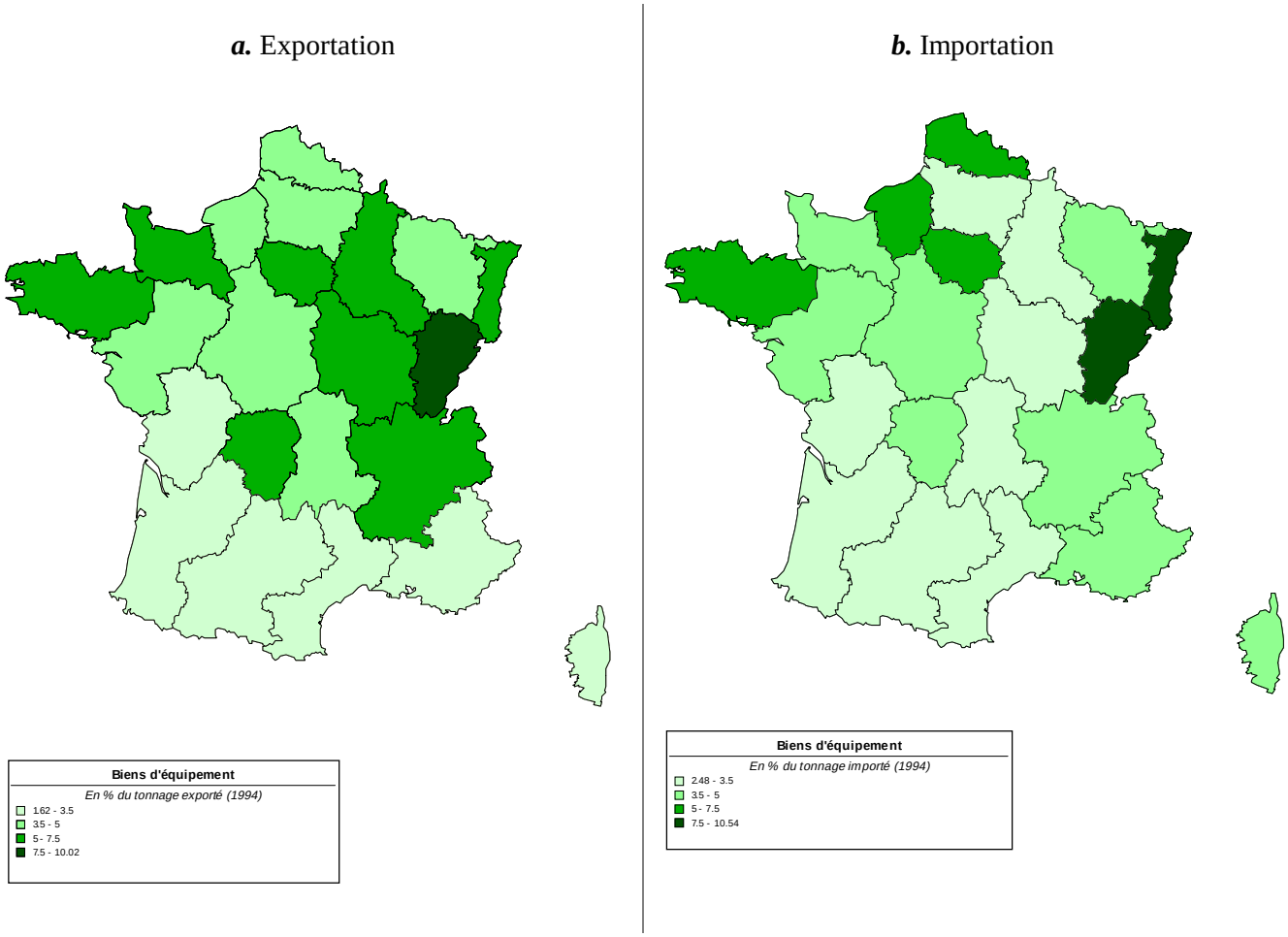


D. Les biens d'équipement

Les flux d'exportation des biens d'équipement divisent le territoire en deux sous-espaces avec d'un côté, un tiers Sud comprenant des régions peu génératrices de biens d'équipement et d'un autre côté, le reste du pays qui englobe des régions plus impliquées dans les échanges de ces produits, à des degrés variables toutefois. Les régions du Nord-Est sont les principales régions génératrices de biens d'équipement avec des spécialisations fortes telles que la construction automobile en Franche-Comté et dans une moindre mesure en Alsace. La structure spatiale établie par les importations en biens d'équipement diffère sensiblement et ne présente pas de caractéristiques fortes.

Le système d'échange des biens d'équipement n'est pas clairement déterminé, il est à la fois de type complémentaire et de type intégré.

Figure VIII-8. Les biens d'équipement dans le commerce interrégional (1994)



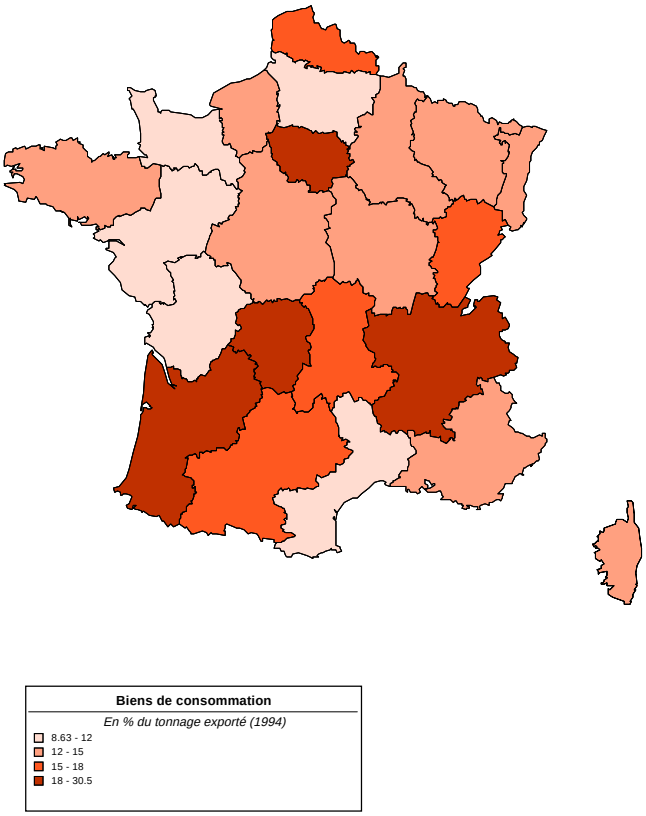
E. Les biens de consommation

Les biens de consommation présentent une répartition spatiale relativement diffuse qui établit tout de même une séparation entre les régions de la moitié Sud, davantage génératrices et les régions de la moitié Nord, moins génératrices à l'exception de l'Ile de France. Les parts relatives à l'importation ou à l'exportation des différentes régions ne sont pas très différenciées, oscillant entre 12 et 20% du tonnage émis comme reçu pour la majorité des régions.

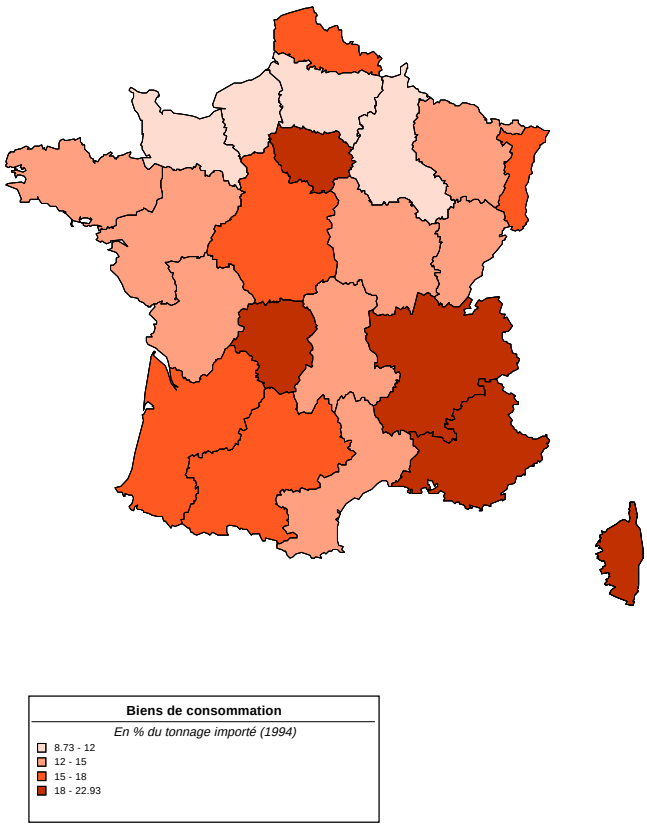
Les échanges de marchandises dans cette branche économique conduisent donc à un système d'échange plutôt de type intégré essentiellement pour les trois régions fortement génératrices en importation comme en exportation : Ile de France, Rhône-Alpes et Limousin.

Figure VIII-9. Les biens de consommation dans le commerce interrégional (1994)

a. Exportation



b. Importation



A partir des différentes structurations du territoire fournies par les exportations et importations nationales de chaque grand secteur économique, une classification des régions peut être établie entre celles davantage insérées dans un système d'échange intégré et celles relevant d'un système d'échange complémentaire.

Au regard des structures spatiales du fret émis et reçu en 1994 et de la stabilité des structures sectorielles à long terme, il ressort que les régions de l'Ouest s'insèrent davantage dans un système d'échanges intégré du fait principalement de leur forte présence dans le commerce des biens agricoles et agro-alimentaires. Les régions du Nord et de l'Est s'inscrivent également dans ce système avec leur spécialisation dans la production et la transformation des biens d'équipement et des biens intermédiaires. Les régions portuaires, Haute-Normandie et PACA, sont au contraire davantage insérées dans un système d'échange complémentaire. Cette position s'explique par leur position intermédiaire dans le commerce international, via leur structure portuaire.

Afin de mieux déterminer le rôle de structures sectorielles sur les échanges interrégionaux de marchandises, nous avons cherché à calculer des spécificités régionales sur les volumes émis, qui permettent de palier en partie la déconnexion volume physique - valeur à laquelle on se heurte lorsque l'on cherche à mettre en relation d'un côté des variables de transport et de l'autre des variables économiques. Nous avons également réalisé une analyse structurelle-résiduelle dans le but de mettre en évidence l'impact des structures sectorielles ou des dynamiques régionales sur la croissance des tonnages émis et reçus annuellement par les régions (Polese, 1994 ; Bonnet, 1995 ; Jayet, 1993).

VIII-2-4. Le rôle des structures sectorielles et des dynamiques géographiques dans la croissance des échanges interrégionaux

L'estimation des spécificités régionales à la fois sur les valeurs ajoutées produites et sur les flux générés est intéressante, d'une part pour repérer les relations pouvant exister entre les structures productives et la génération de marchandises et, d'autre part pour rechercher une corrélation entre les spécificités sectorielles régionales et la structure spatiale des échanges interrégionaux. Ces interrogations rejoignent des problématiques du commerce international, en particulier les travaux empiriques relatifs aux facteurs déterminants de la croissance des exportations internationales en transport de marchandises (Catin, 1993 ; Catin, Djondang, 1992). Ainsi, Jean-Pierre Fines (1992) s'interroge sur le rôle des spécificités économiques régionales dans la dynamique des exportations internationales.

A. Une mesure des spécificités à l'échange de marchandises

Les spécificités régionales à l'exportation ou à l'importation sont estimées à l'aide de l'indice de spécificité [V-3], qui est défini de la façon suivante sur les tonnages importés :

$$Is_j^k = \frac{T_j^k \Big/ \sum_k T_j^k}{\sum_j T_j^k \Big/ \sum_{k,j} T_j^k} \qquad \text{[VIII-2]}$$

Tj : Tonnage total importé par *j*
$T^k j$: Tonnage de la NST *k* importée par une région *j*
$T^k.$: Tonnage national de la catégorie NST *k*

L'indice de spécificité sur les tonnages signifie que la part des exportations dans la catégorie *k* de produits de la région *j* est plus élevée si *Is* > 1 (ou 100 en base 100) que la part dans le volume national. Réciproquement, elle est plus faible si *Is* < 1.

La signification de cet indicateur peut être rapprochée de celle du coefficient structurel. En effet, elle peut signifier que la région exporte (ou importe) plus (ou moins) dans une catégorie de produits qu'elle ne l'aurait fait dans une situation " théorique d'échange ". Cette situation théorique est calculée par le produit du volume total exporté (ou importé) par la région et le volume global de la catégorie de produits rapporté au tonnage interrégional total.

Les principales spécificités sectorielles régionales à l'exportation et à l'importation, présentées dans les tableaux ci-après, sont assez fortement différenciées selon les régions et restent en majorité peu marquées (ensemble des spécificités présenté en annexe VIII-4). Seules quelques fortes spécificités ressortent : produits métallurgiques en Nord-Pas-de-Calais, produits agricoles dans le Centre, produits agro-alimentaires en Bretagne, combustibles minéraux solides en Lorraine et Haute-Normandie, et matériel de transport en Franche-Comté. Ces spécificités très marquées coïncident presque systématiquement (exception en Haute-Normandie) avec les spécificités socio-économiques régionales calculées sur les valeurs ajoutées brutes des branches économiques (cf. section V). En revanche, les spécificités moins marquées ne correspondent pas du tout aux spécificités en valeur calculées précédemment.

Tableau VIII-7. Les plus fortes spécificités régionales sur les tonnages exportés (1994)

Indice en base 100	première spécificité		deuxième spécificité		*Indice en base 100*	première spécificité		deuxième spécificité	
Nord Pas de C.	nst 5	**388**	nst 8	119	Midi-Pyrénées	nst 1	143	nst 0	133
Picardie	nst 0	140	nst 6	138	Champagne-A.	nst 4	183	nst 9b	148
Ile de France	nst 4	174	nst 9cd	160	Lorraine	nst 2	**966**	nst 5	280
Centre	nst 0	**254**	Nst 9b	120	Alsace	nst 7	202	nst3	190
Haute-Normandie	nst 2	**270**	nst 3	253	Franche-Comté	nst 9a	**305**	nst 8	192
Basse-Normandie	nst 9a	171	nst4	140	Bourgogne	nst 9b	150	nst 0	135
Bretagne	nst1	**216**	nst 9a	187	Auvergne	nst 1	142	nst 4	128
Pays de Loire	nst 1	138	nst 6	126	Rhône-Alpes	nst 3	176	nst 8	171
Poitou-Charentes	nst 6	206	nst0	120	Languedoc R.	nst 0	143	Nst 1	129
Limousin	nst 9cd	192	nst 9b	177	PACA	nst 3	**321**	nst 5	232
Aquitaine	nst 7	194	Nst 9cd	133					

Sur les tonnages régionaux importés, les spécificités sont beaucoup moins marquées et ne correspondent pas, de façon logique, avec les spécificités régionales en valeur ni en volume exporté. Quelques rares spécificités légèrement marquées ressortent et s'expliquent par des besoins dans les activités de production spécialisées de la région d'importation : les minerais et déchets pour la métallurgie en Nord-Pas-de-Calais, les engrais dans le Centre, les produits chimiques en Rhône-Alpes, le matériel de transport en Franche-Comté, les produits agricoles et les matériels de transport et agricole en Bretagne. En revanche, d'autres spécificités à l'import s'expliquent moins facilement : les combustibles minéraux solides en Ile de France et les produits énergétiques en Bourgogne et Auvergne.

Tableau VIII-8. Indice de spécificité régionale à l'importation en 1994

Indice en base 100	première spécificité		deuxième spécificité		*Indice en base 100*	première spécificité		deuxième spécificité	
Nord Pas de C.	nst 4	227	nst 2	197	Midi-Pyrénées	nst 3	275	nst 1	110
Picardie	nst 5	200	nst 7	170	Champagne-A.	nst 7	168	nst 5	150
Ile de France	nst 2	261	nst 6	165	Lorraine	nst 5	249	nst 4	228
Centre	nst 7	243	nst 6	128	Alsace	nst 5	224	nst 9a	188
Haute-Normandie	nst 0	192	nst 9a	140	Franche-Comté	nst 9a	**264**	nst 9b	207
Basse-Normandie	nst 1	160	nst7	145	Bourgogne	nst 3	243	nst 2	147
Bretagne		nst 9a, nst	0 : 149		Auvergne	nst 3	306	nst 7	156
Pays de Loire	nst 1	146	nst7	145	Rhône-Alpes	nst 8	**210**	4	150
Poitou-Charentes	nst 9c	202	nst0	144	Languedoc R.	nst 4	203	nst0	120
Limousin	nst9b	135	nst8	128	PACA	nst 9cd	150	nst 0	133
Aquitaine	nst0	129	nst1	111					

Ainsi, les principales spécificités à l'exportation, et dans une moindre mesure à l'importation, sont similaires ou en cohérence avec les caractéristiques des structures socio-économiques régionales mesurées à l'aide des valeurs ajoutées brutes. Ce résultat est important, car il met en évidence les possibilités de dépasser le problème de déconnexion volume physique - valeur, tout du moins pour les productions faisant l'objet de fortes spécificités. Ce résultat est encourageant pour la recherche de corrélation entre les spécificités sectorielles des régions et la structure spatiale des échanges, puisque les volumes exportés ou importés par les régions présentent des spécificités sectorielles marquées pour certaines régions.

B. Le jeu des structures sectorielles et des dynamiques régionales sur les volumes générés

La recherche d'effets structurels et géographiques consiste à dégager dans l'évolution des tonnages régionaux émis et reçus deux types d'effets liés à la structure sectorielle de l'activité économique régionale d'une part, et à une dynamique géographique d'autre part. La méthode dite " structurelle-résiduelle " ou " shift-share " (cf. encadré) consiste à " *distinguer ce qui découle de la structure du système productif régional de ce qui résulte d'une capacité régionale originale à s'intégrer dans les échanges* " (Donnelier, 1992). Cette analyse constitue également une phase descriptive préalable à la modélisation de la génération des volumes transportés, par l'examen des différents effets influant sur l'évolution des tonnages (Calzada, 1998).

L'effet structurel fait référence à la structure sectorielle de l'activité économique de la région et l'effet géographique ou résiduel, intègre les facteurs autres que ceux déterminant la structure économique de la région, facteurs difficiles à identifier clairement mais qui globalement génèrent un dynamisme propre à la région. Cette méthode présente le défaut d'estimer l'effet régional par déduction, autrement dit par différence entre l'effet national et l'effet structurel régional (Jayet, 1993). Toutefois, les méthodes pour estimer directement l'effet régional restent peu développées et s'inscrivent dans une optique de modélisation relativement complexe (Jayet, 1993 ; Calzada, 1998). La définition de cet effet rencontre des problèmes conceptuels équivalents à ceux relatifs à la mesure des économies d'agglomération ou d'effets de proximité en économie spatiale et industrielle (Bellet *et alii*, 1993).

La méthode descriptive d'analyse structurelle-résiduelle ou shift-share

La méthode structurelle-résiduelle -" shift-share " ou structurelle-géographique- est une méthode descriptive utilisée depuis les années 50 pour décomposer la croissance d'un agrégat économique selon une composante structurelle et une composante résiduelle géographique. La composante structurelle fait référence à la structure économique initiale de la région considérée. La composante résiduelle relève de facteurs autres que ceux constituant la structure économique de la région, pouvant être la conséquence de caractéristiques propres à la région non prises en compte par la structure économique initiale de la région. Ces facteurs sont définis comme un dynamisme régional propre.

La méthode structurelle-résiduelle descriptive repose sur le calcul d'écarts. L'écart total ou national est la différence entre la situation régionale observée et la situation nationale de croissance économique. L'écart structurel est la différence entre une croissance "fictive" structurelle, calculée à partir de la structure économique initiale de la région et du taux de croissance national de chaque modalité (branche économique) du critère étudié (agrégat économique), et la croissance nationale. L'écart géographique ou régional est la différence entre la croissance observée et la croissance fictive structurelle, autrement dit entre l'écart national et l'écart structurel. L'identification précise des effets géographiques reste problématique. Ils peuvent en effet être la conséquence d'effets structurels non pris en compte et constituer une spécificité ou une particularité régionale : " *La composante structurelle, positive ou négative rend compte de l'importance relative dans la région des secteurs respectivement à forte ou à faible croissance nationale. La composante résiduelle, positive ou négative, retrace respectivement l'attractivité (dynamisme) ou la répulsivité (mollesse) de la région considérée, due à tous les éléments que la seule structure sectorielle ne peut expliquer (structure de la population, qualification, position géographique, cultures, aides régionales à l'emploi, à l'investissement, à la création d'entreprises, ...) "* (Bonnet, 1995) [8].

Cette méthode peut être appliquée à différents indicateurs économiques régionaux : l'emploi, la croissance économique à travers la valeur ajoutée brute régionale, la production industrielle ou encore l'investissement productif. Les effets structurels et résiduels peuvent être exprimés soit en taux de croissance soit en valeurs brutes ou effectifs. L'avantage d'une expression en taux tient dans la possibilité d'intégrer les tailles des régions et de développer par la suite des comparaisons directes.

Les impacts des effets structurels et résiduels sont estimés grâce à trois taux de croissance caractéristiques (exemple sur des valeurs ajoutées) :

- le taux de croissance de la valeur ajoutée brute nationale, noté **Rn**.

- le taux de croissance de la valeur ajoutée brute observé dans la région, noté **Ri**.

- le taux de croissance de la valeur ajoutée brute totale qu'aurait connu la région si la VAB de chacune des branches économiques régionales avait connu le même taux de croissance qu'à l'échelle nationale, noté **Ri '**.

On considère la variable VAB, qui prend la valeur *VABi* pour une région *i* et la valeur *VABn* à l'échelle nationale. Le critère de distinction est la décomposition en branches économiques notées *k*.

[8] *"L'attractivité" et la "répulsivité" font référence à l'attrait (ou au non-attrait) que peut exercer la région sur la localisation des activités externes à la région. Le "dynamisme" ou la "mollesse" font référence aux plus ou moins fortes potentialités de développement endogène.* (Bonnet, 1995).

* pour chaque région française *i* (i = 1,..., 21), les écarts sont :

- écart national : Ei = Ri - Rn.
C'est la différence effective.

- écart structurel : Si = Ri' - Rn.
Cette différence résulte de la différenciation entre les structures de la région et celles de l'ensemble du pays.

- écart géographique : Gi = Ri – Ri'
Cette différence est obtenue en retranchant l'écart structurel à l'écart total : (Ri-Rn)-(Ri'-Rn) = Ri-Ri'.

* pour chaque grande branche économique k :

- écart total, national : Eik = Rik - Rn
- écart structurel : Sik = R.k - Rn
- écart régional : Gik = Rik - R.k

avec Rik : croissance de la branche *k* dans la région *i*

R.k : croissance nationale de la branche économique *k*.

- En taux : (deux périodes de temps : 0, 1.)

$$E_i = \left[\frac{VAB_{i.}^1 - VAB_{i.}^0}{VAB_{i.}^0}\right] - \left[\frac{VAB_n^1 - VAB_n^0}{VAB_n^0}\right]$$

$$S_i = \frac{\sum_k VAB_{ik}^0 * \left[1 + \left(\frac{VAB_{.k}^1 - VAB_{.k}^0}{VAB_{.k}^0}\right)\right] - \sum_k VAB_{ik}^0}{\sum_k VAB_{ik}^0} - \left(\frac{VAB_n^1 - VAB_n^0}{VAB_n^0}\right)$$

$$G_i = \left[\frac{VAB_{i.}^1 - VAB_{i.}^0}{VAB_{i.}^0}\right] - \frac{\sum_k VAB_{ik}^0 * \left[1 + \left(\frac{VAB_{.k}^1 - VAB_{.k}^0}{R_{.k}^0}\right)\right] - \sum_k VAB_{ik}^0}{\sum_k VAB_{ik}^0}$$

- En effectif :

$$E_i = VAB_{i.}^0 * (1 + R_i) - VAB_{i.}^0 * (1 + R_n)$$

$$S_i = VAB_{i.}^0 * (1 + R_i') - VAB_{i.}^0 * (1 + R_n)$$

$$G_i = VAB_{i.}^0 * (1 + R_i) - VAB_{i.}^0 * (1 + R_i')$$

B-1. Effets sur les volumes régionaux exportés

L'analyse structurelle-résiduelle appliquée à la croissance des tonnages exportés annuellement par les régions est développée en termes d'écarts et de taux de croissance structurels et géographiques par rapport à une situation " hypothétique de croissance en fonction d'un taux national ". Nous rappelons que l'écart national sur l'évolution de 1975 à 1994 correspond à la différence entre le volume de fret régional observé et un volume hypothétique national calculé pour l'année 1994. L'écart structurel est la différence entre le volume structurel théorique et le volume national hypothétique et l'écart géographique est la différence entre le volume structurel théorique et le volume observé.

Sur la période 1975-1994, les effets structurels et géographiques ont été plutôt favorables aux exportations interrégionales dans le sens où les tonnages exportés en 1994 sont, pour un grand nombre de régions, supérieurs à ce qu'ils auraient été en suivant le taux de croissance national (cf. tableau VIII-8 et figure VIII-13).

Tableau VIII-9. Ecarts structurels et géographiques sur les tonnages régionaux exportés (75-94)

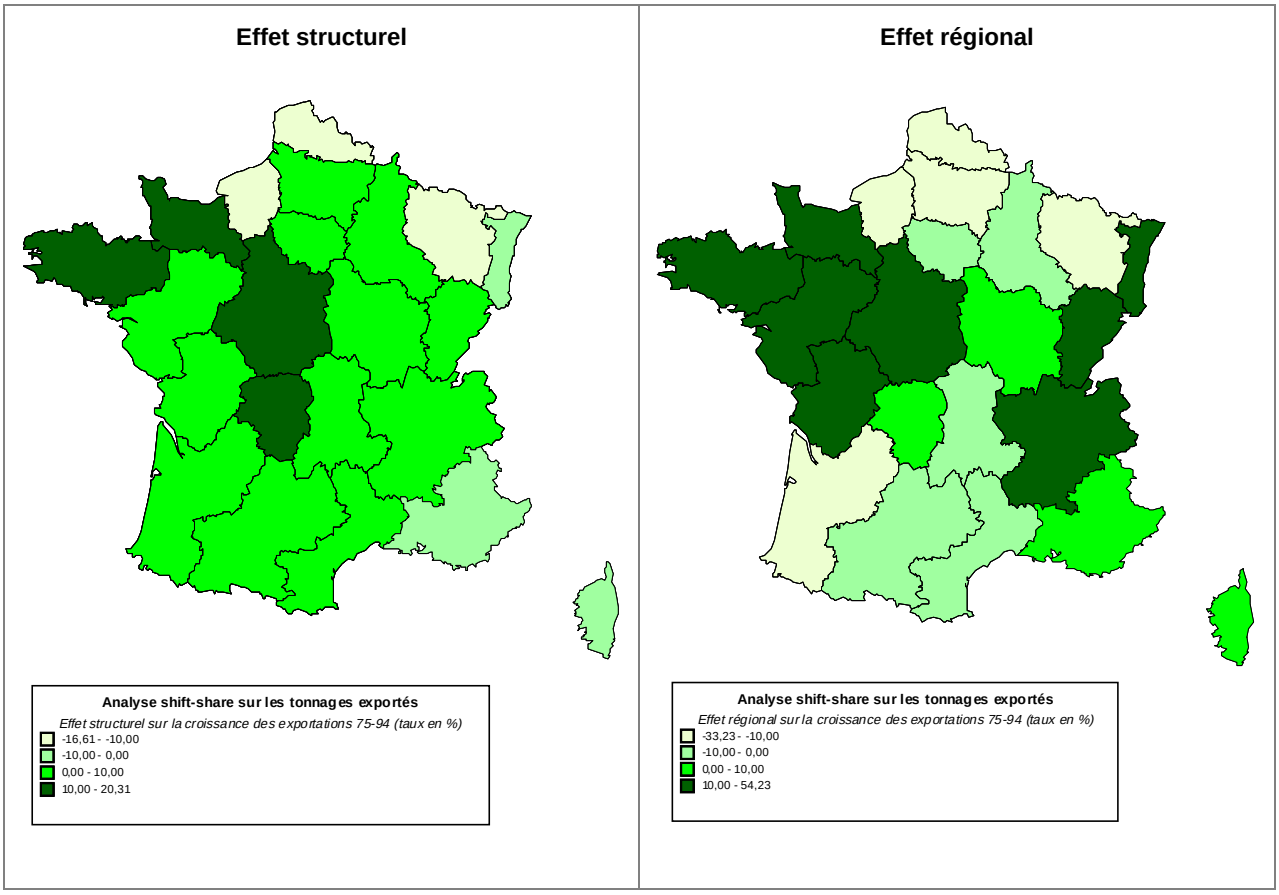
	Ecart total national		Ecart structurel		Ecart géographique	
	effectif	taux (Ei)	effectif	taux (Si)	effectif	taux (Gi)
Nord Pas de Calais	-5736538	-24,2%	-2784469	-11,7%	-2952069	-12,4%
Picardie	-653588	-3,4%	1507102	7,9%	-2160690	-11,4%
Ile de France	-144277	-0,5%	2127375	7,1%	-2271652	-7,6%
Centre	5311743	36,1%	1838304	12,5%	3473439	23,6%
Haute-Normandie	-10505466	-33,2%	-5251549	-16,6%	-5253917	-16,6%
Basse-Normandie	1651577	25,8%	870990	13,6%	780588	12,2%
Bretagne	4834058	73,7%	1278092	19,5%	3555966	54,2%
Pays de Loire	5303068	31,6%	391590	2,3%	4911478	29,3%
Poitou-Charentes	4069148	35,0%	21930	0,2%	4047218	34,8%
Limousin	584267	26,8%	442984	20,3%	141283	6,5%
Aquitaine	-1117167	-9,7%	571130	4,9%	-1688297	-14,6%
Midi-Pyrénées	399521	4,8%	699543	8,3%	-300022	-3,6%
Champagne-A.	844712	7,7%	953316	8,6%	-108604	-1,0%
Lorraine	-13677728	-49,0%	-4405138	-15,8%	-9272590	-33,2%
Alsace	1723317	15,9%	-87743	-0,8%	1811060	16,7%
Franche-Comté	1800955	38,1%	457695	9,7%	1343260	28,4%
Bourgogne	1524225	14,6%	538260	5,1%	985964	9,4%
Auvergne	474959	7,7%	578297	9,4%	-103338	-1,7%
Rhône-Alpes	4091238	23,4%	1083553	6,2%	3007685	17,2%
Languedoc R.	13252	0,1%	830548	7,5%	-817296	-7,3%
PACA	-791276	-4,7%	-1661810	-9,8%	870534	5,1%

L'effet structurel a été favorable pour une large majorité des régions et en particulier pour les régions du quart Centre-Ouest (Bretagne, Pays de Loire, Limousin,...). Cet effet a été négatif dans cinq régions seulement, essentiellement les régions du Nord-Est fortement spécialisées dans les industries lourdes traditionnelles et les régions portuaires (Nord-Pas-de-Calais, Haute-Normandie, Lorraine, Alsace et PACA).

L'effet régional a été globalement moins favorable par rapport au nombre de régions concernées mais présente de fortes intensités positives. L'effet régional a été plutôt négatif pour les régions du Nord-Est (Alsace excepté) et du Sud-Ouest. Les effets favorables sont généralement

supérieurs aux effets structurels et concernent les régions du grand quart Centre-Ouest et les régions frontalières de l'Est (Alsace, Franche-Comté, Rhône-Alpes).

Figure VIII-10. Effets structurels et régionaux en taux de croissance à l'exportation (75-94)



Les médiocres performances à l'exportation de certaines régions s'expliquent par des effets doublement négatifs mais avec une intensité sensiblement plus forte de l'effet géographique. Cela signifie qu'un effet structurel négatif s'accompagne ou provoque un effet géographique encore plus défavorable. Les régions particulièrement affectées sont Nord-Pas-de-Calais, Lorraine et Haute-Normandie. La principale exception dans cette configuration, outre l'Alsace, revient à la région PACA qui, malgré un effet structurel défavorable pouvant provenir des difficultés sociales et économiques du Port Autonome de Marseille au cours des années 80, présente un effet géographique favorable, trop faible toutefois pour contrebalancer entièrement l'effet structurel négatif.

De même, les meilleures performances en termes de volumes exportés par rapport à une situation hypothétique basée sur un taux de croissance national, reposent sur des effets doublement positifs et, dans pratiquement la totalité des régions, sur un effet géographique plus fort que l'effet structurel. Cette situation concerne en particulier les régions de l'Ouest, considérées déjà à travers différentes analyses précédentes comme particulièrement dynamiques dans leurs échanges de marchandises.

Enfin, les régions présentant peu de différences avec la situation hypothétique au taux national le sont généralement en raison d'un effet géographique peu soutenu mais défavorable et d'un effet structurel également peu soutenu mais favorable.

Une classification des régions en fonction du signe des effets structurels et géographiques présente une structuration spatiale relativement marquée entre le jeu soit d'effet doublement négatifs soit doublement positifs. En effet, les régions du Nord-Est font l'objet d'effets négatifs et les régions du Centre-Ouest et du Centre-Est d'effets positifs.

Tableau VIII-10. Effets conjoints sur les exportations régionales

Effet géographique / **Effet structurel**	**négatif**	**peu significatif**	**positif**
négatif	**G1** : Nord Pas de Calais, Haute-Normandie, Lorraine		**G3** : Provence Alpes Côte d'Azur
peu significatif			Alsace, Poitou-Charentes
positif	**G2** : Picardie, Ile de France, Aquitaine, Midi-Pyrénées, Languedoc-Roussillon	Champagne-Ardenne, Auvergne,	**G4** : Centre, Basse-Normandie, Bretagne, Pays de Loire, Limousin, Franche-Comté, Bourgogne, Rhône-Alpes

Cette analyse apporte des enseignements quant à la nature des effets jouant sur la propension à exporter, notamment le jeu des spécialisations sectorielles, ainsi que sur l'impact direct de ces effets sur l'évolution des exportations de 1975 à 1994.

A partir de cette analyse structurelle-résiduelle, il est possible de repérer les conséquences sociales et économiques d'une division spatiale des activités très poussée pendant les années 50 et 60 d'une part et des fortes spécialisations conduisant à des économies mono-industrielles d'autre part. Ces conséquences sont principalement des régions durement affectées par les crises économiques, telles que les régions du Nord et de l'Est, Nord-Pas-de-Calais et Lorraine en particulier, pour lesquelles les effets structurels fortement défavorables bloquent tout dynamisme géographique. Ces régions sont fortement marquées par un effet structurel négatif exprimant une économie mono-industrielle et très spécialisée. Cet effet de structure a eu des répercussions importantes sur le dynamisme économique et entrepreneurial des acteurs économiques de ces régions, car il a freiné toute diversification économique et n'a pu soutenir une structure touchée de plein fouet par une crise profonde des modes de production. La Haute-Normandie subit également un double effet négatif liée à une activité économique à nouveau fortement spécialisée sur le transport international en biens énergétiques par voie maritime. L'impact négatif du dynamisme régional dans ces régions relève donc pour une part non négligeable d'une faible diversification sectorielle des économies régionales concernées.

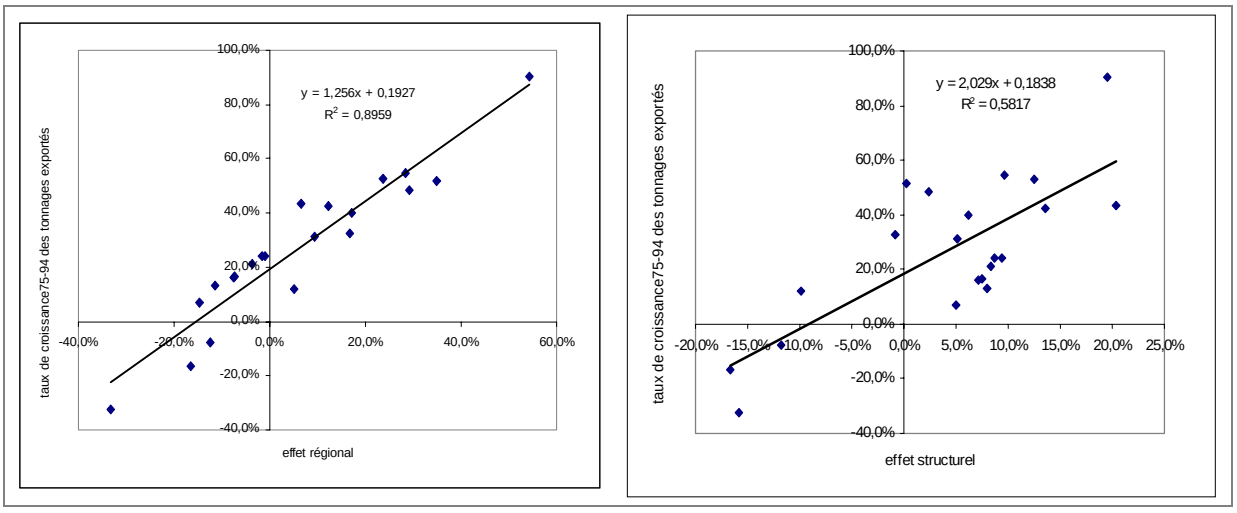
A l'opposé, les effets positifs d'une diversification économique ou d'une structure dynamique reposant sur des petites et moyennes entreprises et impulsée par des mesures de décentralisation après 1975, peuvent être mis en évidence. Ces effets se retrouvent en particulier dans les régions de l'Ouest et quelques régions de l'Est (Rhône-Alpes). Ces régions jouissent d'une structure productive relativement diversifiée et axée sur des biens d'industrie récente ou de consommation courante (agro-alimentaire dans les régions du Centre-Ouest, automobile en Franche-Comté, économie très diversifiée en Rhône-Alpes). Les régions qui présentent de fortes spécificités à

l'exportation dans certaines branches, telles que le Centre dans les produits agricoles, la Bretagne dans les produits agro-alimentaires et le Poitou-Charentes dans les matériaux de construction connaissent un effet régional fortement positif pour ces catégories de produits.

Les autres régions présentant un profil moins marqué rendent plus difficile leur classement. La région Alsace, par exemple, a un effet structurel négatif peu prononcé, exprimant le fait que cette région de l'Est a mieux surmonté la crise économique que ces voisines grâce à un système productif plus diversifié. De plus, son importante ouverture internationale lui confère un effet géographique positif. La région Poitou-Charentes se trouve également dans ce type de situation au regard du signe des effets structurels et géographiques. Enfin, les régions Champagne-Ardenne et Auvergne ont des effets structurels positifs, liés à des spécificités marquées (agro-alimentaire en Champagne, caoutchouc en Auvergne). Toutefois, ces spécificités ne s'accompagnent pas d'une dynamique régionale particulière, ce qui peut s'expliquer par l'isolement économique de l'entreprise Michelin en Auvergne, et par la position particulière d'un secteur économique de luxe en Champagne-Ardenne, qui reste très concentré entre un petit nombre d'entreprises et a peu de retombées socio-économiques sur le reste de la région.

L'importance de l'effet géographique, ou du dynamisme régional, ressort très nettement à travers une relation économétrique faisant intervenir le degré de l'effet (structurel ou géographique) et le taux de croissance des exportations. Le résultat obtenu est intéressant puisqu'il fait ressortir une nette liaison entre effet régional et croissance des exportations et une liaison plus médiocre entre effet structurel et croissance des exportations.

Graphique VIII-12. Corrélation entre effet régional ou effet structurel et croissance des exportations



Ces résultats montrent que les spécificités sectorielles ne jouent pas de façon significative sur la génération du fret en tonnage au contraire du dynamisme local des entreprises. L'environnement socio-économique plus solide, plus stable ou encore plus diversifié permet aux entreprises de mieux réagir face aux diverses fluctuations du marché économique et face aux innovations.

En conclusion, cette analyse structurelle-résiduelle a mis en évidence le rôle primordial des effets de dynamisme géographique face à ceux de structure sectorielle dans la croissance des exportations. La prise en compte de ce résultat lors de l'élaboration du modèle de simulation du

fret spatialisé se heurte toutefois à la difficulté de construire un indicateur composite de dynamique géographique régionale.

B-2. Effets sur les tonnages importés

Les effets structurels et géographiques ont également eu des effets plutôt positifs sur l'évolution des importations régionales. En effet, 14 régions présentent un écart national positif. Toutefois, les effets concernant les importations se démarquent de ceux relatifs aux exportations. Ainsi, on remarque que l'effet régional est plus favorable en nombre de régions affectées mais avec une intensité en moyenne plus faible. L'effet structurel est en revanche moins favorable en nombre de régions et présente aussi une intensité en moyenne plus faible.

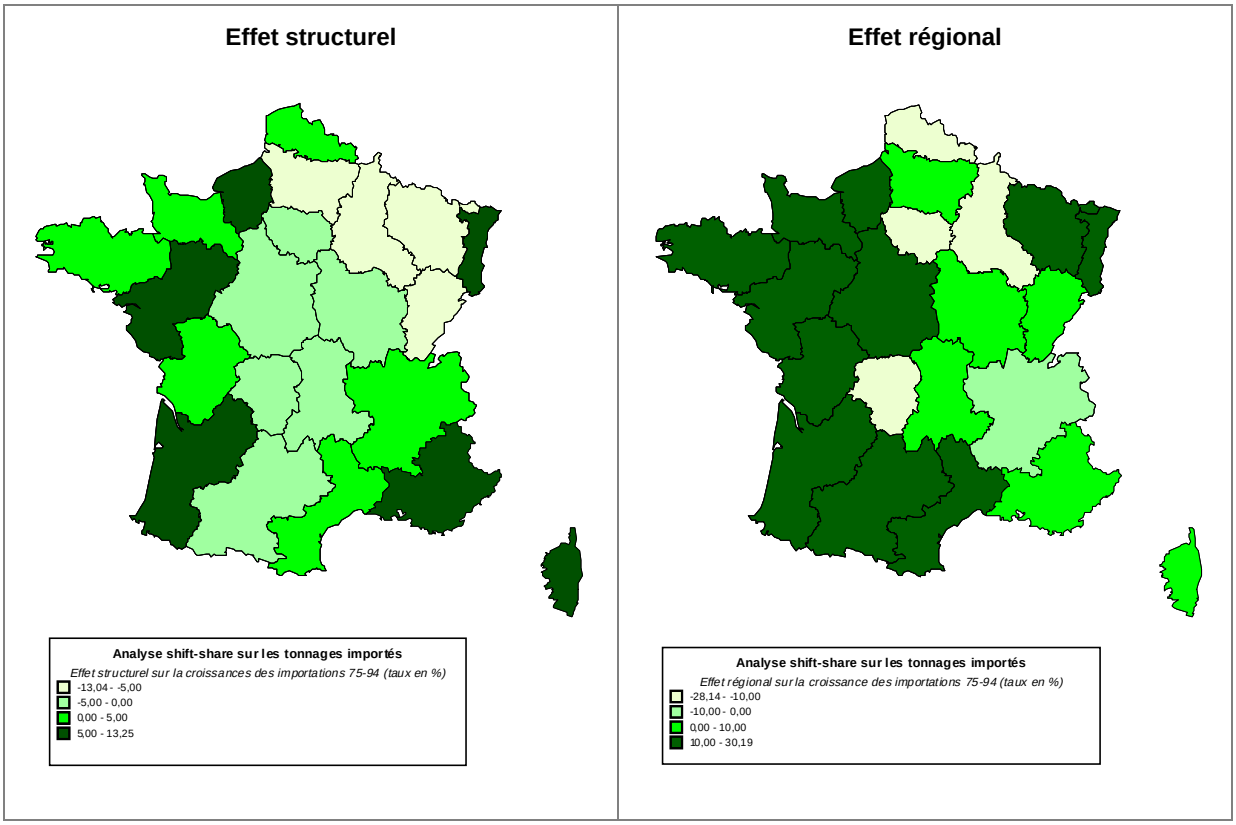
Tableau VIII-11. Ecarts structurel et résiduel sur les importations

	Ecart national		Ecart structurel		Ecart régional	
	effectif	taux (Ei)	effectif	taux (Si)	effectif	taux (Gi)
Nord Pas de Calais	-2755935	-15,2%	355736	2,0%	-3111670	-17,2%
Picardie	-1157779	-5,9%	-1483025	-7,5%	325246	1,7%
Ile de France	-16814941	-29,4%	-727535	-1,3%	-16087406	-28,1%
Centre	1476944	9,6%	-641128	-4,2%	2118072	13,8%
Haute-Normandie	3998535	27,9%	1025475	7,1%	2973060	20,7%
Basse-Normandie	1130530	13,8%	157744	1,9%	972786	11,9%
Bretagne	2660428	21,5%	615035	5,0%	2045394	16,5%
Pays de Loire	3335371	22,1%	1157830	7,7%	2177540	14,4%
Poitou-Charentes	2288234	26,0%	353140	4,0%	1935093	22,0%
Limousin	-719086	-13,0%	-30970	-0,6%	-688117	-12,4%
Aquitaine	2133969	20,3%	1024118	9,8%	1109851	10,6%
Midi-Pyrénées	1065524	10,2%	-187334	-1,8%	1252858	12,0%
Champagne-A.	-5981244	-38,1%	-2048264	-13,0%	-3932981	-25,0%
Lorraine	3033323	24,6%	-686799	-5,6%	3720122	30,2%
Alsace	1470058	19,6%	511850	6,8%	958208	12,8%
Franche-Comté	-330758	-4,6%	-451882	-6,4%	121124	1,7%
Bourgogne	417295	3,1%	-444713	-3,3%	862007	6,4%
Auvergne	20645	0,3%	-242706	-3,4%	263351	3,7%
Rhône-Alpes	-299198	-1,4%	91304	0,4%	-390502	-1,9%
Languedoc R.	2439025	31,2%	128886	1,6%	2310139	29,5%
PACA	2589060	22,5%	1523236	13,3%	1065824	9,3%

Du point de vue de la répartition spatiale, l'effet régional est très nettement favorable aux régions de l'Ouest et du Sud-Ouest et beaucoup moins aux régions de l'Est, en tirant une ligne de démarcation nette allant d'Abbeville à Marseille. On retrouve ainsi une structure peu différente de celle observée sur les exportations, avec toutefois une délimitation plus nette entre régions de l'Ouest et de l'Est.

L'effet structurel révèle également une scission entre les régions de la façade atlantique et les autres régions, mais beaucoup moins nette et avec une intensité bien moindre.

Figure VIII-11. Répartition spatiale des effets structurels et régionaux à l'importation



En termes de performances à l'importation, on retrouve des impacts équivalents à ceux des exportations. En effet, les meilleures performances à l'importation sont le fait d'effets doublement positifs avec une intensité plus élevée pour l'effet géographique dans la majorité des cas. Cette situation concerne à nouveau les régions de l'Ouest mais aussi Languedoc-Roussillon et Alsace. Du point de vue des performances négatives à l'importation, la tendance diffère de celle des exportations, puisqu'on ne relève pas de doubles effets négatifs dominants. Les performances négatives proviennent en effet aussi bien de deux effets négatifs que de deux effets opposés avec des intensités plus déséquilibrées.

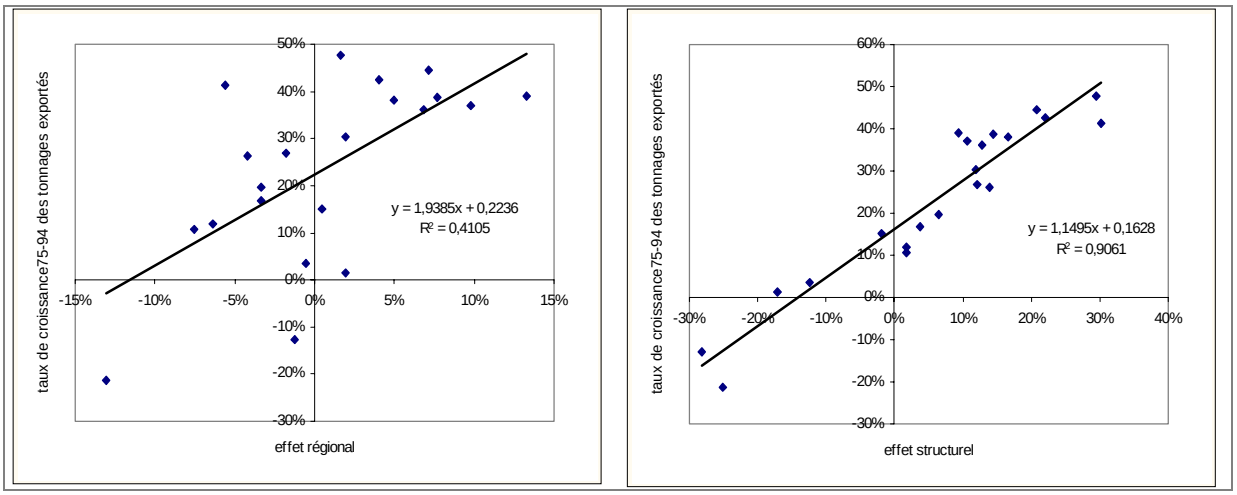
La classification régionale que l'on peut retirer de cette analyse structurelle-résiduelle sur les volumes importés diffère légèrement de celle obtenue sur les exportations, principalement pour les régions affectées par des effets doublement négatifs. En revanche, les régions subissant un double effet positif sont sensiblement identiques, notamment les régions de la façade atlantique. On peut enfin noter que la classification est très déséquilibrée au profit des effets géographiques positifs.

Tableau VIII-12. Effets conjoints sur les importations régionales

Effet géographique / **Effet structurel**	**négatif**	**peu significatif**	**positif**
négatif	**G1** : Ile de France, Champagne-Ardenne		**G3** : Picardie, Centre, Midi-Pyrénées, Lorraine, Franche-Comté, Bourgogne, Auvergne
peu significatif	Limousin, Rhône-Alpes		
positif	**G2** : Nord Pas de Calais		**G4** : Haute-Normandie, Basse-Normandie, Bretagne, Pays de Loire, Poitou-Charentes, Aquitaine, Alsace, Languedoc-Roussillon, PACA.

La recherche d'une corrélation entre la nature des effets et le taux de croissance des importations aboutit à un résultat opposé à celui obtenu sur les exportations. Les effets régionaux ne permettent pas une liaison correcte avec le taux de croissance des importations alors que les effets structurels conduisent à une liaison satisfaisante et présentent donc un impact marqué et de signe positif avec la croissance des importations.

Graphique VIII-13. Corrélation entre effets structurels ou régionaux et taux de croissance des importations



Deux principaux enseignements peuvent être retirés de l'analyse structurelle-résiduelle sur la croissance à long terme des tonnages exportés et importés sur la marché national par les différentes régions françaises. Le premier enseignement est que les structures sectorielles, et par conséquent les spécificités ou spécialisations sectorielles, auraient un impact plus marqué sur la croissance des importations nationales que sur celle des exportations, et que, à l'opposé, les effets régionaux seraient plus favorables aux exportations nationales. Le second enseignement est que les régions françaises présentent des dynamiques à l'échange interrégional fort différentes, les régions du quart Nord-Ouest présentant les plus fortes dynamiques soutenues par une structure sectorielle diversifiée très favorable.

Ces résultats sont cohérents et complémentaires aux travaux de J.-C. Donnelier (1990) relatifs au jeu des effets structurels et géographiques sur le taux d'exportation des régions françaises à l'international. En effet, ses travaux mettent en évidence que l'effet de structure des activités et l'effet de structure de la taille des entreprises favorisent les exportations internationales dans les régions de l'Est (en particulier Nord-Pas-de-Calais et Alsace) et désavantagent les régions de l'Ouest et du Centre, plus axées alors sur le marché national. L'effet régional est aussi particulièrement positif et élevée pour les régions de l'Est et du Nord (Alsace, Nord-Pas-de-Calais, Haute-Normandie) et plutôt négatif pour les régions de l'Ouest.

Conclusion

Chapitre III

L'analyse spatiale des volumes de marchandises transportés a permis de distinguer dans le transport national de marchandises deux échelles géographiques de transport très différentes. Cette analyse a également défini le fret national en fonction des contributions des différentes régions que ce soit dans le fret local, dans les volumes importés ou dans les volumes exportés.

Le premier enseignement porte sur l'existence de forts facteurs de différenciation entre le fret intrarégional et le fret interrégional. Des différences très nettes sont apparues sur l'importance de chaque échelle de transport dans le fret national selon la mesure considérée. Ainsi, en tonnes transportées le fret intrarégional s'impose alors qu'en tonnes-kilomètres parcourues c'est le fret interrégional qui domine. La structure sectorielle présente également de forts points de divergence. Le fret intrarégional est très largement dominé par les matériaux de construction alors que le fret interrégional présente une plus grande diversité reposant principalement sur les produits agro-alimentaires, agricoles et manufacturés. Enfin, ces deux échelles géographiques de transport se distinguent par des évolutions divergentes à long terme, en particulier en tonnage transporté. Le fret interrégional connaît en effet une tendance à la hausse alors que le fret intrarégional présente une orientation à la baisse.

Le second grand enseignement tient aux degrés très variables et aux spécificités des contributions des différentes régions au fret intrarégional comme interrégional. Les contributions régionales, en volumes comme en parts relatives, sont fortement liées à la taille économique des régions. De ce fait, les grandes régions économiques comme Ile de France ou Rhône-Alpes contribuent plus fortement au fret généré annuellement que les autres régions. Cette classification est toutefois à relativiser. Des régions économiquement moins développées présentent en effet des contributions significatives et en pleine croissance à long terme, en particulier la région Bretagne. Les contributions régionales diffèrent également par des spécificités sectorielles ou par un dynamisme régional particulier. La nature sectorielle et l'évolution des contributions régionales conduisent ainsi à l'identification de différents profils régionaux en transport de marchandises : certaines régions apparaissent comme plus dynamiques et ouvertes sur le marché national, essentiellement les régions de l'Ouest, alors que d'autres ont tendance à se renfermer sur leur marché régional ou à privilégier l'international. Enfin, des systèmes d'échange interrégionaux ont été mis en évidence selon la catégorie de produits considérée. Ainsi, des systèmes intégrés d'échange prévalent pour les régions de l'Est et du Nord alors que des systèmes complémentaires d'échange sont plutôt développés par les régions portuaires. Les impacts des spécificités sectorielles régionales ou des dynamiques régionales particulières sur la croissance des volumes exportés et importés ont également été mis en évidence. L'effet structurel influe davantage sur l'évolution des tonnages importés alors que l'effet de dynamique régionale a tendance à affecter davantage l'évolution des exportations.

Chapitre IV

Les échanges de marchandises révélateurs d'une structuration de l'espace et des interdépendances régionales

Depuis la structuration du territoire par les grandes infrastructures de circulation, chemin de fer au XIXème siècle et autoroutes depuis les années 60, et par le développement des grandes agglomérations urbaines, Paris et dans une moindre mesure Lyon et Marseille, des courants privilégiés de circulation se sont formés et consolidés au fil du temps. Ces axes de circulation bien connus, comme le couloir rhodanien, sont formés par l'addition des principales liaisons d'échange interrégionales entre les grands pôles économiques et démographiques, tels que Paris-Lyon ou Lyon-Marseille.

L'analyse spatiale de la dimension " flux " ou dimension " structurelle " porte sur ces liaisons d'échange interrégionales. L'analyse consiste à évaluer l'intensité structurelle à l'échange de chaque liaison interrégionale et l'évolution à long terme de cette intensité. L'évaluation de l'intensité structurelle est réalisée à l'aide des coefficients structurels, qui établissent un rapport entre les volumes de fret observés et les volumes potentiellement réalisables. La dimension structurelle du fret exprime le jeu de facteurs structurels, spatiaux ou socio-économiques, pour façonner une structure spatiale des trafics d'échange.

L'analyse de la structure spatiale du fret à l'aide de coefficients structurels repose sur la distinction de liaisons structurelles d'échange privilégiées et de liaisons désavantagées. La structure spatiale est alors façonnée par l'orientation des principales liaisons privilégiées (section IX). La tendance d'évolution à long terme de cette structure spatiale est ensuite abordée (section X) dans le but de faire ressortir les tendances lourdes de la dynamique structurelle du transport interrégional de marchandises.

Le modèle aura alors comme objectif de rendre compte et si possible d'expliquer ces différents éléments caractéristiques de la structure spatiale des échanges et de son évolution à long terme lors de la phase de distribution spatiale des flux interrégionaux de marchandises.

Section IX.

La structure spatiale des flux interrégionaux de marchandises

La structure spatiale du transport de marchandises est déterminée par l'analyse de l'intensité structurelle des liaisons interrégionales, exprimée par les coefficients structurels. Cette intensité structurelle rend compte des effets de la structuration du territoire par les activités économiques ou par les infrastructures routières et ferroviaires de transport et reste indépendante des effets de la croissance économique qui ne jouent que sur le volume de marchandises transporté. La détermination de la structure spatiale du fret interrégional est effectuée en coupe transversale par rapport aux régions et pour une année donnée, en l'occurrence l'année la plus récente disposant de données empiriques, 1994, qui constituera l'année de référence du modèle.

IX-1. La définition de la structure spatiale des échanges interrégionaux à l'aide des coefficients structurels

La structure spatiale du fret ou dimension structurelle du fret est exprimée par les coefficients structurels qui mesurent l'écart entre les tonnages interrégionaux observés et ceux *potentiellement réalisables* sous le seul effet des capacités d'exportation et d'importation des composantes régionales (cf. équations [II-1] et [II-10], section II).

L'analyse de la structure spatiale des échanges de marchandises repose sur la distinction de deux types de liaisons d'échange : des liaisons *structurellement privilégiées* avec un coefficient structurel supérieur à l'unité et des liaisons *structurellement désavantagées* avec un coefficient inférieur à l'unité. Les liaisons privilégiées sont des liaisons d'échange favorisées par la structuration du territoire, notamment par la distribution territoriale des activités économiques, des bassins de consommation, ou par les infrastructures de transport. Les liaisons désavantagées sont au contraire défavorisées par le jeu des facteurs géographiques ou socio-économiques définissant le système global des interactions interrégionales. La structure spatiale des échanges est alors dessinée par la répartition spatiale des liaisons privilégiées.

Le recours à une méthode comparative de la situation observée par rapport à une situation théorique est couramment utilisée dans l'analyse de la structure spatiale des flux d'échange, quelle que soit leur nature, flux téléphoniques ou trafics ferroviaires (Damette, 1994 ; Calzada, Mary, 1996) ou migrations interurbaines de personnes (Pumain, Saint-Julien, 1989). Le principe est le même mais la détermination du trafic théorique diffère. Damette construit différents indices pour rendre compte d'un trafic théorique, que ce soit pour les trafics ferroviaires de voyageurs ou les trafics téléphoniques. Le trafic théorique est calculé par un modèle gravitaire inspiré du modèle de Newton, c'est-à-dire en fonction directe du produit des masses démographiques des deux entités spatiales de l'échange et en fonction inverse de la distance kilométrique les séparant. Le coefficient obtenu par le rapport entre le trafic observé et le trafic théorique ainsi calculé est appelé

coefficient de liaison spécifique. La signification de ce coefficient de liaison est équivalente à celle du coefficient structurel. L'utilisation de ce coefficient permet de mettre en évidence et de représenter du point de vue cartographique les liaisons ayant un trafic supérieur ou inférieur à celui que l'on pouvait attendre du seul fait des masses démographiques et de la distance entre les zones d'échange.

Notre approche se différencie par deux points méthodologiques. Le premier porte sur le calcul du trafic théorique. Dans notre approche, aucun facteur susceptible d'expliquer les volumes de trafics n'est intégré, distance ou masses économiques ou démographiques. Le trafic théorique est donc tout à fait indépendant du jeu de facteurs économiques ou géographiques. Le second point de différenciation est la fonction tenue par les coefficients structurels. Les coefficients structurels sont en effet non seulement utilisés pour distinguer les liaisons préférentielles des liaisons désavantagées et exprimer la structure spatiale des échanges ou " dimension structurelle " du fret mais aussi pour modéliser la distribution spatiale des trafics interrégionaux de marchandises. Cette phase de modélisation (section XII) repose sur la recherche d'une corrélation entre le niveau des coefficients structurels et celui de facteurs structurels de séparation spatiale ou d'émission et d'attraction socio-économique, que ce soit en coupe transversale interrégionale ou en série chronologique à long terme. L'objectif est bien de déterminer les facteurs explicatifs des liaisons préférentielles et des liaisons désavantagées, ainsi que ceux rendant compte des tendances de long terme croissantes ou décroissantes de l'intensité structurelle des liaisons d'échange interrégionales.

IX-2. Les caractéristiques de la structure spatiale du fret interrégional

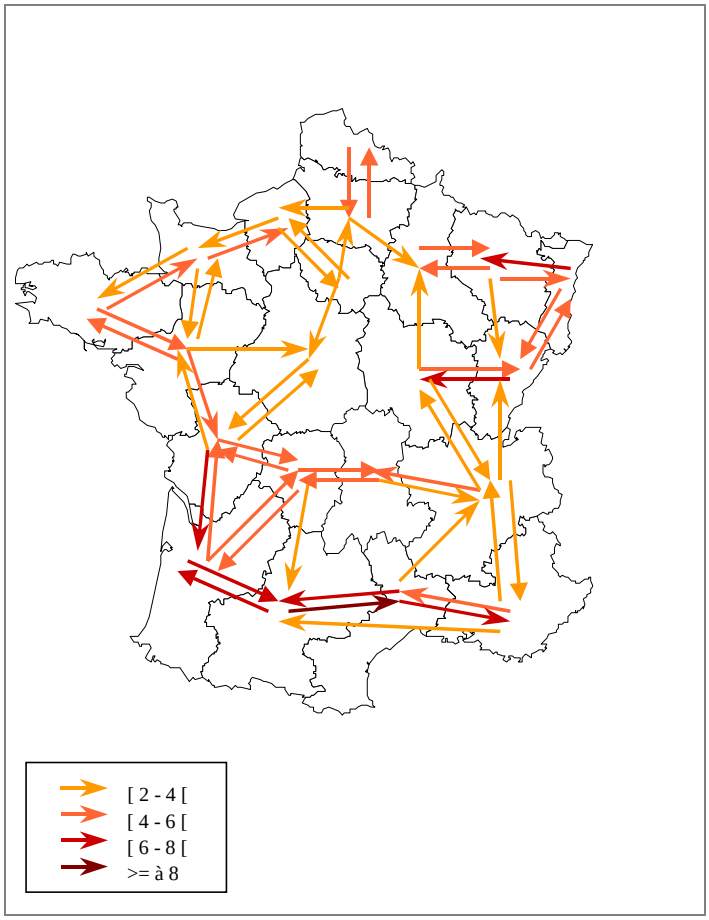
La structure spatiale du fret interrégional est appréhendée selon deux angles d'approche : la structure spatiale d'ensemble constituée par toutes les liaisons structurelles privilégiées et désavantagées d'échange et la structure spatiale des échanges relatifs à chaque région.

IX-2-1. La structure spatiale d'ensemble

La répartition des 420 liaisons interrégionales d'échange entre liaisons privilégiées, désavantagées et équilibrées ($CS_{ij}=1$) est marquée par un fort déséquilibre. En effet, pour l'année 1994, les liaisons privilégiées ($CS \geq 1,05$) représentent 25% (soit 107 liaisons), les liaisons désavantagées ($CS<0,95$) s'élèvent à 73% et les liaisons équilibrées ($0,95 \leq CS<1,05$) ne comptent que pour 2%. Au sein des liaisons privilégiées et désavantagées, les intensités structurelles sont très variables. Ainsi, les liaisons fortement privilégiées, c'est-à-dire pour lesquelles le tonnage observé est plus de deux fois supérieur au tonnage théorique ($CS \geq 2$), représentent 13% de l'ensemble des liaisons (soit 55 liaisons) et les liaisons très désavantagées, dont le tonnage observé ne représente au mieux d'un quart du tonnage théorique, ($CS<0,25$), s'élèvent à 19% (soit 67 liaisons). Les écarts à la situation théorique sont donc relativement importants, puisque les coefficients extrêmes mentionnés ci-dessus représentent près de 30% des liaisons d'échange. L'action des facteurs structurels, spatiaux ou socio-économiques, affectant la distribution spatiale du fret entre les régions, apparaît donc, a priori, à travers l'observation globale des écarts aux flux théoriques, très significative.

La structure spatiale des échanges interrégionaux de marchandises établie à partir des principales liaisons structurelles privilégiées (CS≥2) fait ressortir les grands axes de circulation d'une part, et reposent sur des liaisons d'échange de courte distance généralement entre régions limitrophes d'autre part. On retrouve les grandes orientations Nord-Sud, comme l'axe rhodanien avec les liaisons entre Dijon, Lyon, Marseille d'un côté, et l'axe atlantique avec les liaisons de la Bretagne à l'Aquitaine de l'autre. Les grandes orientations Est-Ouest sont aussi très nettement mises en évidence, en particulier celle entre l'Aquitaine et PACA en suivant les autoroutes A64, A9 et A7, et avec une moindre intensité, celle entre Lyon et Bordeaux par le Massif Central. On relève également des liaisons structurelles intenses et réciproques entre les régions du quart Nord-Est, ainsi que de la Bretagne à l'Ile de France en passant par les deux régions de Normandie.

Figure IX-1. La structure spatiale du fret interrégional à travers les principales liaisons structurelles préférentielles (CS 1994)



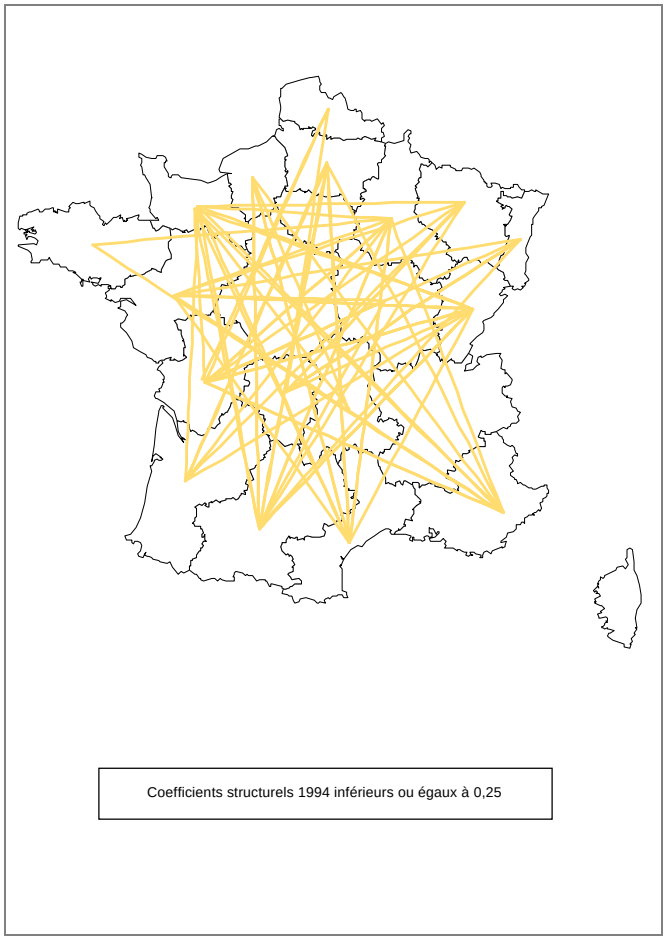
Conception : auteur, Powerpoint. Données SITRAM

Cette structure spatiale des liaisons fortement préférentielles se caractérise aussi par l'absence de liaison dans la partie centrale du territoire. On retrouve ainsi un " désert " au centre du territoire en termes d'intensité structurelle du transport de marchandises. La région Auvergne souffre particulièrement de ce phénomène puisqu'elle n'entretient que 2 liaisons interrégionales très privilégiées (à double sens) alors qu'elle possède 6 régions limitrophes. La région Centre se trouve également dans cette situation, avec 4 liaisons fortement privilégiées pour 8 régions limitrophes.

Une autre caractéristique importante de cette structure spatiale est l'absence de différenciation entre les liaisons concernant des régions économiques fortes et celles relatives à des régions économiquement plus pauvres. En effet, la région parisienne n'est pas impliquée de façon plus importante dans les relations structurelles préférentielles que les autres régions, elle présente même moins de liaisons fortement privilégiées qu'un certain nombre d'autres régions. Ainsi, en considérant les liaisons préférentielles d'échange par rapport à des flux théoriques potentiels, la structure spatiale des flux interrégionaux de marchandises se distingue des structures obtenues pour les transports de personnes ou pour les flux d'information. La structure spatiale du fret diffère de celle des migrations interurbaines de personnes (Pumain, Saint Julien, 1989, p. 34), qui fait ressortir une position hégémonique de la région Ile de France. Elle se différencie également de la structure relationnelle des flux téléphoniques (Damette, 1994, p. 173) qui est marquée par une forte polarisation sur la région parisienne et, pour les seules liaisons interurbaines, par l'axe Paris-Lyon.

Du point de vue des liaisons structurelles fortement désavantagées (CS<0,25), la couverture spatiale est fort différente, très diffuse à travers le territoire et ne présentant pas de structure particulière. La représentation cartographique peu lisible qui est exposée ci-après a comme intérêt de mettre en évidence le niveau relativement élevé des distances couvertes par ces liaisons.

Figure IX-2. Structure spatiale des relations structurelles les plus désavantagées (1994)

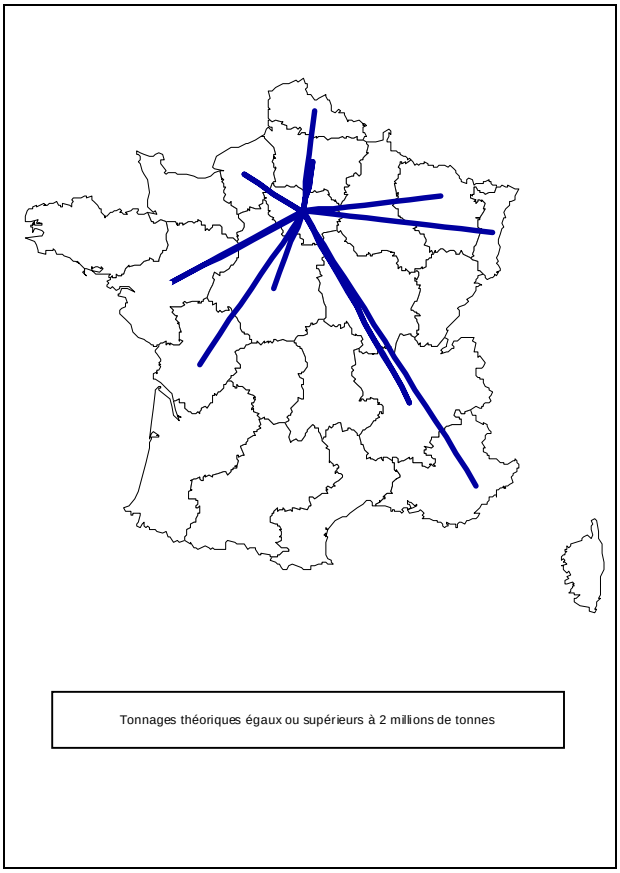


Conception : auteur, SIG GéoConcept. Données SITRAM

La structure spatiale des échanges interrégionaux de part leur intensité structurelle comprend donc deux formes distinctes de couverture spatiale, celle des liaisons privilégiées et celle des liaisons désavantagées. L'intensité supérieure des relations structurelles privilégiées fait que leur couverture spatiale influe plus fortement sur la distribution spatiale générale du fret interrégional.

Si l'on regarde maintenant la structure spatiale des tonnages théoriques, on s'aperçoit que les principales liaisons d'échange concernent les principales régions économiques ou génératrices de produits à valeur ajoutée relativement faible mais à fort tonnage (produits agricoles dans le Centre, combustibles minéraux solides en Lorraine). La structure est de forme étoilée reposant de façon dominante sur les échanges avec la région Ile de France. Elle rend compte des effets de masse économique, c'est-à-dire des effets " conjoncturels " sur les volumes de fret échangés.

Figure IX-3. La structure spatiale des principaux tonnages théoriques (1994)



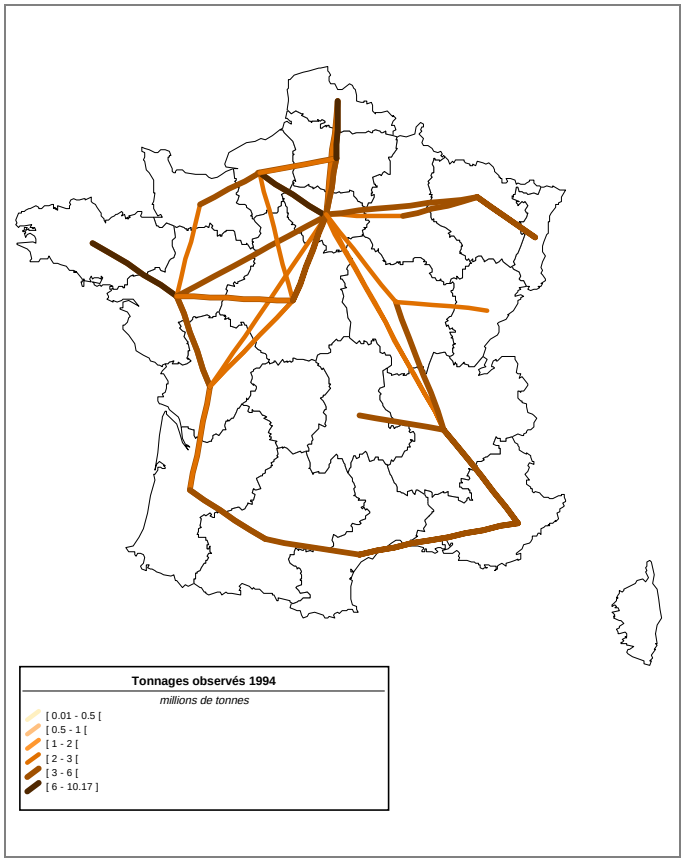
Conception : auteur, SIG GéoConcept. Données SITRAM

Les analyses précédentes sur la structure spatiale en coefficients structurels et l'organisation spatiale des flux théoriques permettent de dégager les principaux déterminants de la distribution spatiale du fret interrégional. Du point de vue de l'intensité structurelle, les liaisons privilégiées façonnent la structure spatiale du fret par des liaisons intenses entre régions géographiquement proches et surtout limitrophes. Cette structure présuppose donc un rôle non négligeable des effets de proximité spatiale sur le niveau des interactions spatiales. A l'opposé, les tonnages théoriques font ressortir les caractéristiques régionales de puissance économique ou de forts potentiels de fret, et dessinent une structure à l'échange qui repose sur des liaisons entre grandes régions économiques et exclusivement avec l'Ile de France. La distribution spatiale d'ensemble des

tonnages interrégionaux repose donc à la fois sur les principales liaisons structurellement privilégiées et sur des liaisons fortement liées à l'effet de masse économique régionale.

La distribution spatiale des tonnages interrégionaux intègre donc les deux dimensions du fret que distingue la méthode des coefficients structurels. D'un côté, l'importance des liaisons de proximité, en nombre comme en intensité, rend compte des effets structurels pouvant provenir de facteurs spatiaux ou socio-économiques régionaux ou interrégionaux. De l'autre côté, les liaisons entre pôles économiques ou potentiels de forts tonnages de pondéreux (la Lorraine avec les combustibles, le Poitou-Charentes avec les matériaux de construction) traduisent l'effet conjoncturel de masse économique.

Figure IX-4. La distribution spatiale des tonnages observés (1994)



Conception : auteur, SIG GéoConcept. Données SITRAM

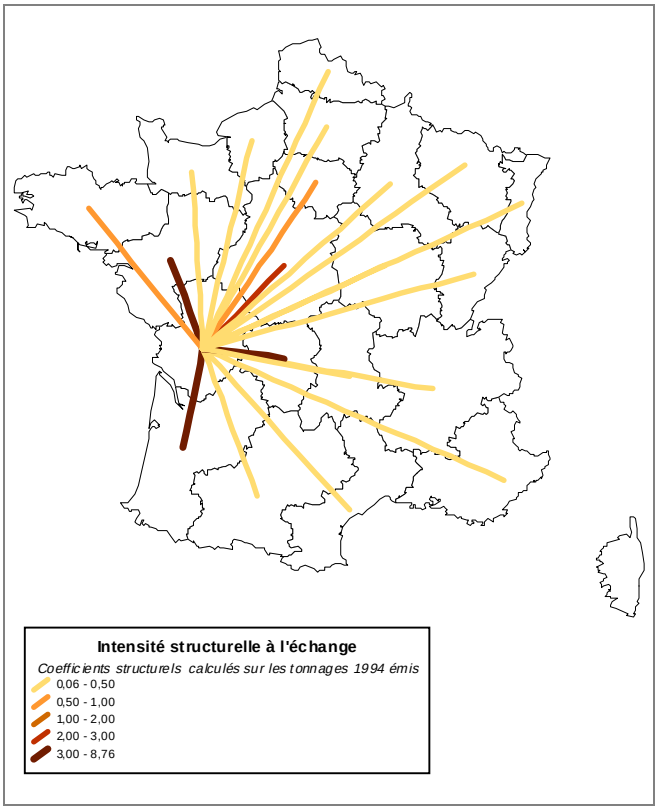
La distribution spatiale du fret interrégional repose sur trois grandes orientations spatiales. La première concerne des échanges de proximité entre l'Ile de France et ses régions voisines, exprimant l'importance d'un grand bassin parisien dans les échanges de fret. La deuxième correspond à un étalement à l'Ouest de l'influence parisienne (vers les Pays de Loire et Poitou-Charentes) et à une dynamique soutenue des échanges internes au quart Nord-Ouest. La troisième s'identifie aux grands axes de circulation routiers et ferroviaires, tels que l'axe Nord-Sud Lille-Paris-Lyon-Marseille, l'axe atlantique, l'axe de l'Est (autoroute A4) et la transversale du Sud entre Marseille, Toulouse et Bordeaux. Cette distribution présente une orientation commune avec l'organisation spatiale du trafic ferroviaire de voyageurs établie par Damette (1994), qui révèle un grand système parisien qui s'oriente vers l'Ouest et des flux significatifs sur l'axe Saône-Rhône, l'axe atlantique et entre les grandes villes du Languedoc ainsi qu'entre celles de la Côte-d'Azur.

IX-2-2. La structure spatiale des échanges propres à chaque région

Les traits caractéristiques de la structure spatiale d'ensemble se retrouvent de façon plus explicite quand on s'intéresse aux échanges d'une seule région. Les liaisons structurelles privilégiées concernent en effet principalement des régions géographiquement proches voire contiguës et les principaux tonnages théoriques s'établissent avec les grandes régions économiques et donc systématiquement avec la région Ile de France. Ces caractéristiques sont invariablement présentes quelle que soit la région considérée, quelle que soit l'optique des flux, importation ou exportation et quelle que soit l'année considérée.

A titre d'exemple, les relations structurelles de la région Poitou-Charentes mettent clairement en évidence l'opposition entre relations privilégiées à plus courte distance et relations désavantagées entre régions plus lointaines.

Figure IX-5. Coefficients structurels de la région Poitou-Charentes (1994)



Conception : auteur, SIG GéoConcept. Données SITRAM

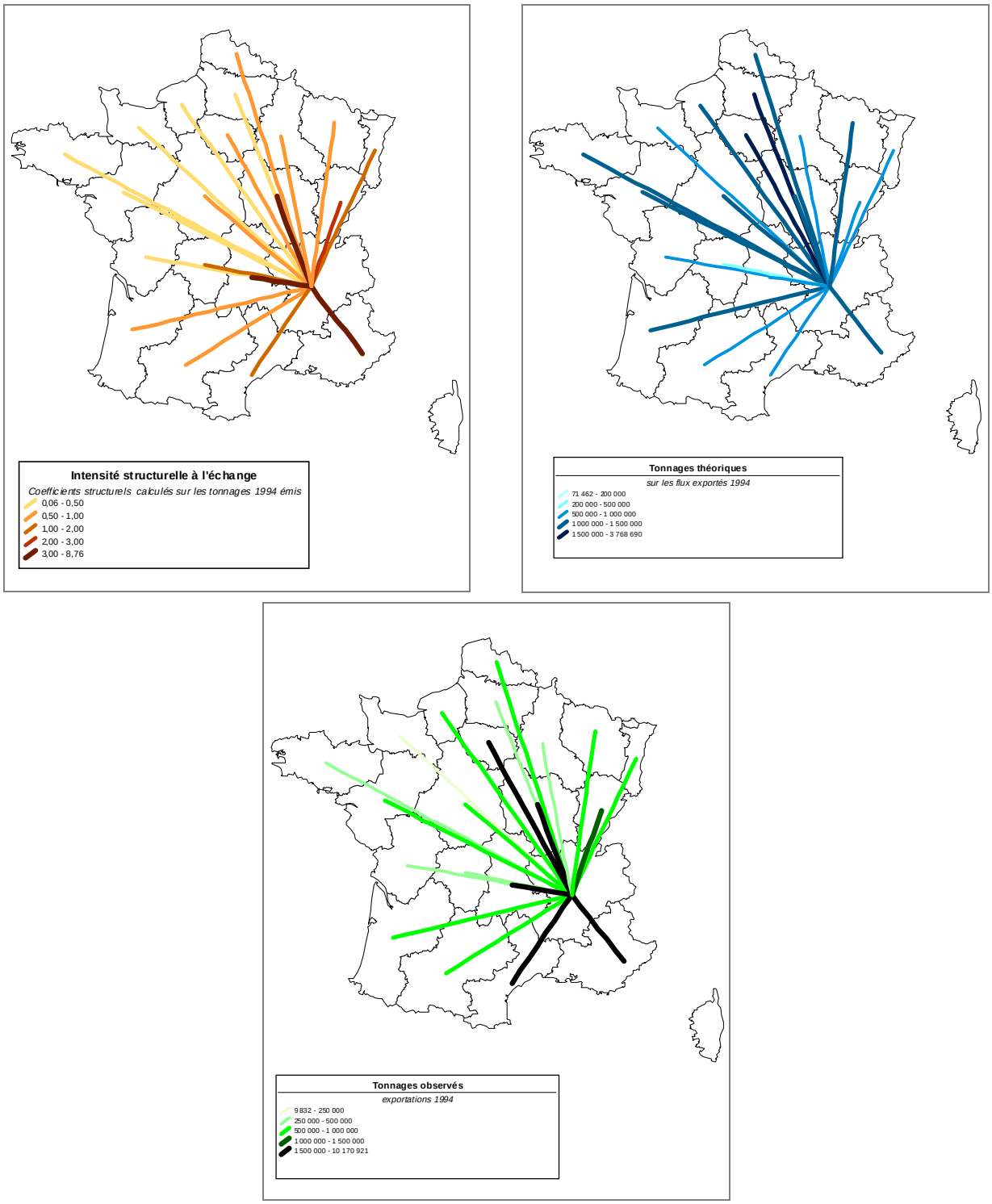
Les représentations cartographiques mettent en évidence le fait que les coefficients structurels ont tendance à être d'autant plus importants que les régions de destination sont *géographiquement proches* voire contiguës. Ce phénomène n'est pas exclusif mais apparaît fortement dominant pour l'ensemble des flux interrégionaux. Cette structure est similaire dans ses grandes lignes pour toutes les régions (cf. représentations cartographiques pour chaque région en annexe IX-1).

Si l'on compare, pour chaque région, les structures spatiales obtenues avec les coefficients structurels d'une part et les tonnages théoriques d'autre part, à la structure spatiale d'ensemble des tonnages interrégionaux observés, on retrouve les enseignements mis en exergue dans l'analyse globale précédente. Les tonnages théoriques font à nouveau ressortir l'effet de taille économique

régionale par des liaisons dominantes avec l'Ile de France et dans une moindre mesure avec les autres grandes régions économiques de province.

On retrouve les deux grandes caractéristiques influant la distribution spatiale du fret dans les échanges à l'origine de chaque région, à savoir, la proximité spatiale dans l'intensité structurelle des échanges et la taille économique dans les flux théoriques.

Figure IX-6. Structure spatiale du fret interrégional émis par Rhône-Alpes (1994)

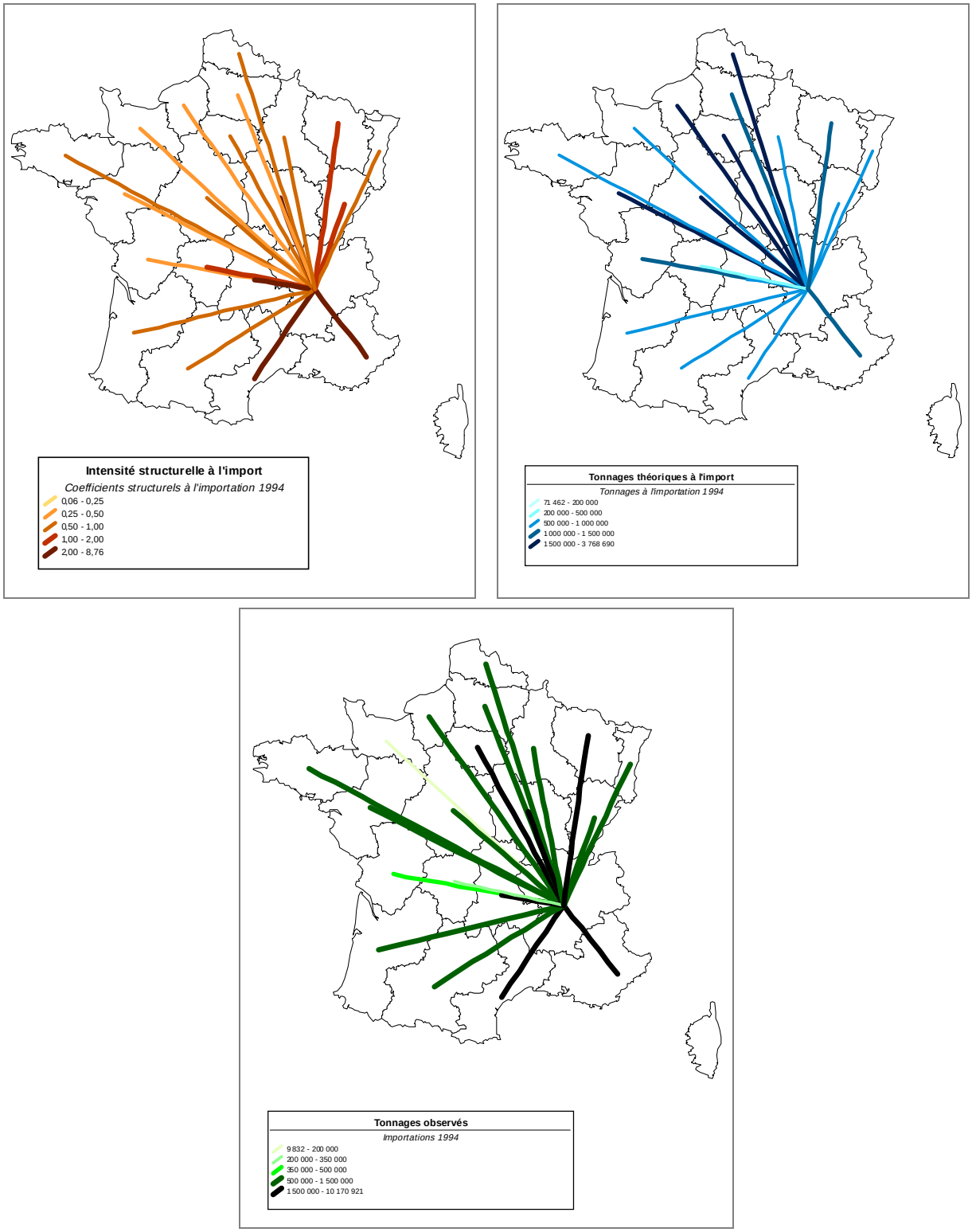


Les légendes renvoient à toutes les liaisons d'échange et pas seulement à celles de la région considérée.

Conception : auteur, SIG GéoConcept. Données SITRAM

Du point de vue des importations, les mêmes caractéristiques structurelles et conjoncturelles sont présentes. La dimension conjoncturelle ressort dans les forts tonnages reçus depuis les grandes régions économiques et démographiques et la dimension structurelle apparaît à travers les tonnages relativement conséquents entre régions géographiquement proches.

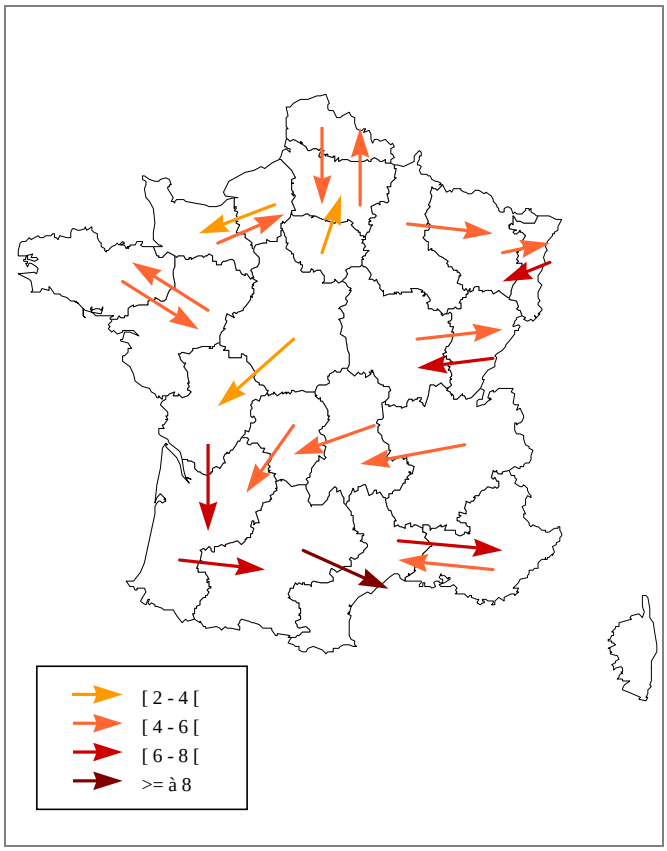
Figure IX-7. Structure spatiale du fret interrégional reçu par Rhône-Alpes (1994)



Conception : auteur, SIG GéoConcept. Données SITRAM

Les enseignements de cette analyse descriptive sont principalement les impacts de la proximité spatiale dans la dimension structurelle des échanges qui se répercutent assez fortement dans la distribution spatiale des tonnages interrégionaux. Cette proximité spatiale peut être définie plus précisément comme une distance de contiguïté. Cette contiguïté privilégie les liaisons d'échange, au regard des représentations cartographiques des intensités structurelles à l'échange interrégional, quand elle est stricte ou d'ordre 1 et plus rarement quand elle est d'ordre 2. A l'opposé, les ordres de contiguïté supérieurs engendrent rarement des liaisons structurelles privilégiées, mais conduisent davantage à des liaisons désavantagées, surtout pour les ordres de contiguïté les plus élevés (ordres 4 et 5). Ainsi, si l'on regarde la liaison privilégiée la plus intense de chaque région d'origine, on s'aperçoit qu'elle concerne systématiquement une région strictement contiguë.

Figure IX-8. Plus forte liaison structurelle privilégiée par région d'origine (CS 1994)



source : conception de l'auteur, sous Powerpoint.

IX-2-3. Les composantes sectorielles de la structure spatiale du fret interrégional

Une analyse sectorielle des relations structurelles est développée afin de repérer les secteurs économiques qui influent le plus sur la structure spatiale des liaisons structurelles et par conséquent sur la distribution spatiale des tonnages interrégionaux.

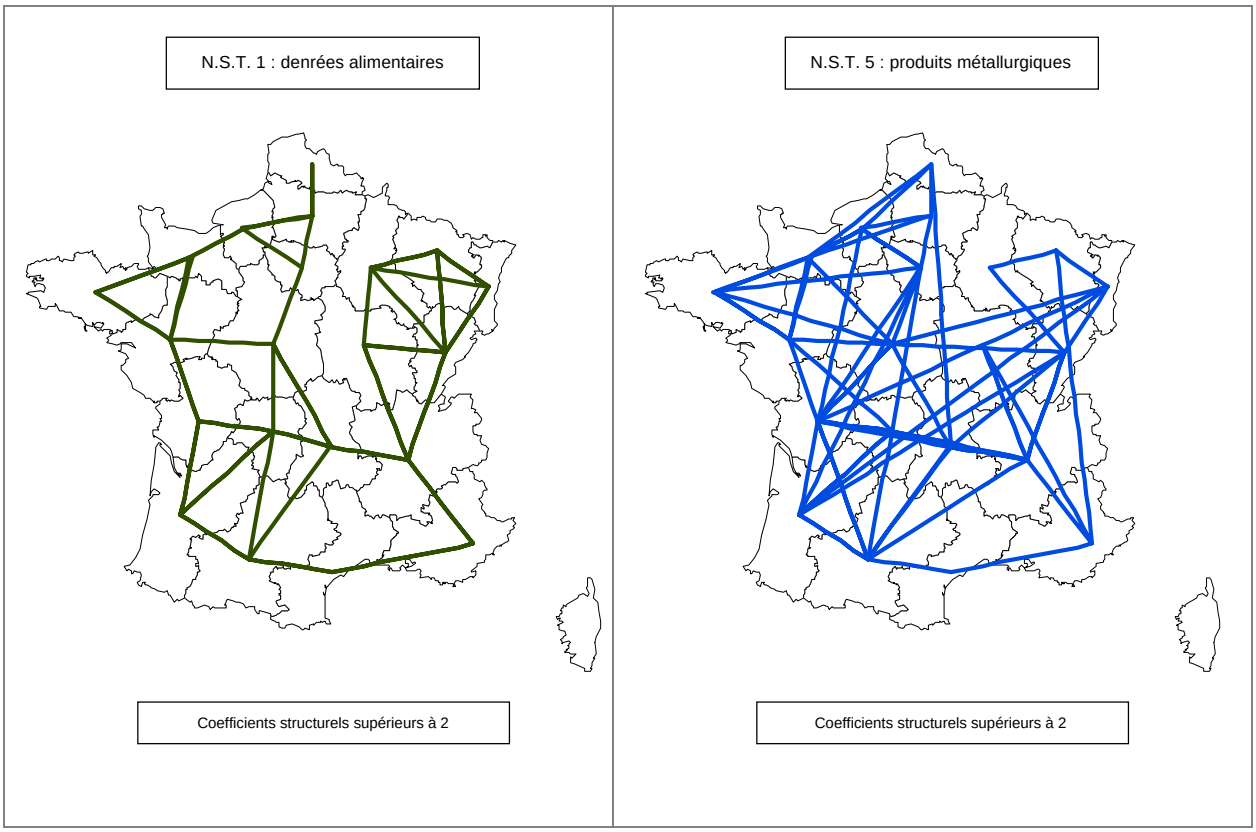
La démarche consiste à comparer les structures spatiales des liaisons structurelles d'échange de chaque catégorie de produits. Les structures se rapprochant le plus de celle de la structure spatiale d'ensemble détermineront les catégories de produits qui façonnent principalement la structure

spatiale des transports interrégionaux de marchandises. Pour ce type d'analyse sectorielle, les coefficients structurels ont donc été calculés sur les matrices interrégionales des tonnages relatifs à chaque catégorie de produits. La décomposition sectorielle retenue repose sur les chapitres NST à l'exception du dernier chapitre, nst 9, qui est décomposé en sections (9a, 9b, 9c et 9d).

Les structures spatiales des liaisons interrégionales structurelles, estimées par les coefficients structurels relatifs aux tonnages dans chaque catégorie de produit, affichent des configurations fort différentes selon les produits. Certaines configurations apparaissent ainsi relativement proches de la structure spatiale d'ensemble réalisée tous produits confondus et d'autres présentent en revanche une forme tout à fait différente.

Les catégories de produits conduisant à des structures spatiales proches de la structure d'ensemble sont les produits agricoles (nst 0), les produits agro-alimentaires (nst 1), les matériaux de construction et minéraux bruts (nst 6) et les produits manufacturés (nst 9d). A l'opposé, les produits représentant de faibles tonnages dans les échanges interrégionaux, tels que les combustibles minéraux solides (nst 2), les minéraux et déchets pour la métallurgie (nst 4) ou les produits métallurgiques (nst 5), présentent des configurations spatiales structurelles très différentes[1].

Figure IX-9. Structures spatiales sectorielles similaires (NST1) et divergentes (NST5) de la structure d'ensemble (1994)

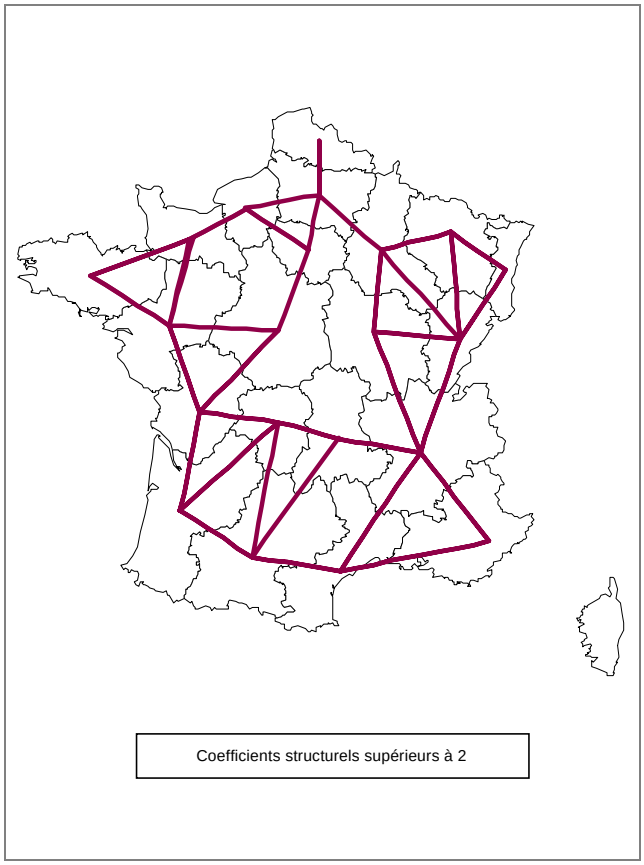


Conception : auteur, SIG GéoConcept. Données SITRAM

[1] Les représentations cartographiques des structures spatiales pour chaque catégorie de produits sont regroupées en annexe IX-3.

Pour retrouver la structure spatiale d'ensemble des laissons structurelles d'échange, nous avons procédé à des regroupements sectoriels. En associant les 4 catégories de produits ayant une structure spatiale relativement proche de celle obtenue avec tous les produits (nst 0, nst 1, nst 6, nst 9d), on aboutit à une structure spatiale pratiquement similaire à la structure générale.

Figure IX-10. Structure spatiale à partir des échanges en N.S.T. 0, 1, 6 et 9d



Conception : auteur, SIG GéoConcept. Données SITRAM

La différence entre les catégories de produits qui influencent fortement la structure spatiale générale du fret interrégional et les autres catégories de produits tient à l'impact de la proximité spatiale sur l'intensité structurelle des échanges. Dans les premières catégories de produits, les facteurs de proximité spatiale entre les régions jouent *a priori* fortement, puisque les relations structurelles fortement privilégiées s'établissent entre régions contiguës ou géographiquement proches. En revanche, dans les autres catégories, l'effet de proximité spatiale n'intervient pas, les relations structurelles intenses relèvent en effet autant de régions géographiquement proches qu'éloignées.

Cette différence essentielle signifie que la proximité spatiale ne constitue pas le seul facteur structurel favorisant les échanges de marchandises. Des proximités organisationnelles et sectorielles, c'est-à-dire d'une part des échanges fortement imputables à des relations intra- ou interindustrielles, et d'autre part des échanges fortement liés à l'existence de spécificités sectorielles dans certaines régions, pourraient avoir un impact sur la structure spatiale des échanges dans certaines catégories de produits. On observe en effet une différence importante entre les structures spatiales de catégories de produits faisant l'objet de fortes spécificités en tonnage exporté ou en valeur produite et de fortes concentrations spatiales (nst 2, combustibles

minéraux solides) et celles de catégories de produits ne conduisant pas ou peu à des spécificités en volume ou en valeur ou à une concentration spatiale (nst 6, matériaux de construction).

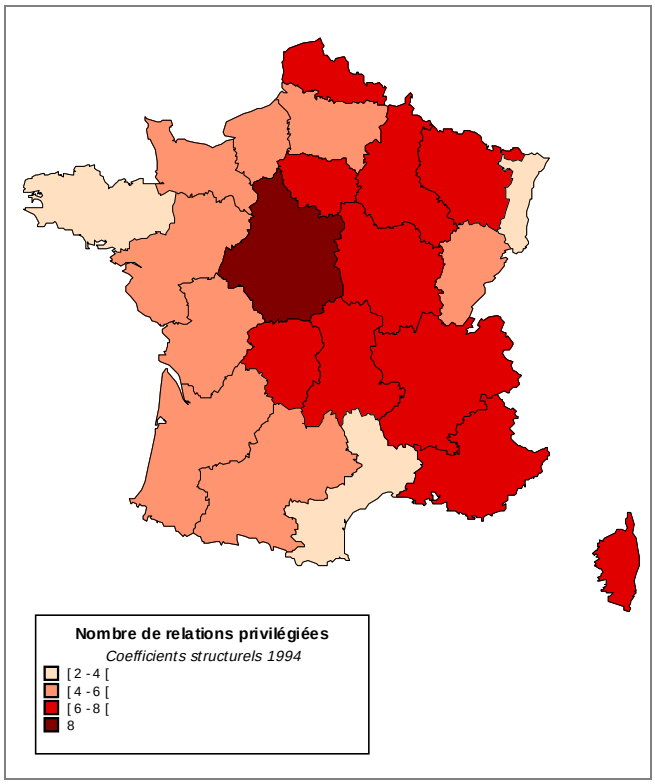
Le jeu des facteurs structurels, spatiaux ou socio-économiques, conduit certaines régions à présenter davantage d'atouts pour les échanges interrégionaux de marchandises que d'autres régions. L'ensemble de ces atouts peut être estimé à travers la nature des liaisons structurelles, c'est-à-dire à la fois par la répartition entre liaison privilégiée et liaison désavantagée et par l'intensité moyenne structurelle des liaisons de chaque région. L'importance des facteurs structurels pour chaque région peut ainsi être appréciée en dressant un bilan des effets structurels en termes " d'attractivité " et de " répulsivité " structurelle régionale.

IX-3. Bilan des relations structurelles en termes " d'attractivité " et de " répulsivité " régionale

IX-3-1. Des liaisons privilégiées inégalement réparties

Le nombre de relations structurelles privilégiées par région fournit une estimation de l'étendue de la couverture spatiale des échanges interrégionaux pour chaque région. Cette mesure est directement liée à deux critères spatiaux qui influent sur le nombre de régions géographiquement proches ou contiguës : la surface de la région et sa position géographique dans le territoire national. En effet, en moyenne, les régions situées au centre du territoire présentent un nombre plus élevé de relations privilégiées, et les régions frontalières en comptent un nombre plus faible.

Figure IX-11. Bilan des relations privilégiées par région d'émission - 1994



Conception : auteur, SIG GéoConcept. Données SITRAM

Ces effets sont toutefois relatifs puisque certaines régions frontalières, comme Nord Pas de Calais et PACA, comptent autant voire plus de liaisons privilégiées que certaines régions centrales, comme par exemple la région Bourgogne.

Le bilan structurel fondé sur le nombre des relations privilégiées par région pour l'année 1994 divise le territoire entre d'un côté les régions du Sud-Ouest, de l'Ouest et du Nord-Ouest, qui comptent un nombre plus restreint de liaisons privilégiées, et de l'autre côté, les régions du Centre et de l'Est, qui possèdent un nombre plus élevé de liaisons privilégiées. Les régions Alsace et Franche-Comté font toutefois exception avec une faible couverture spatiale structurelle. Leur situation atypique s'explique par leur ouverture internationale relativement importante, en particulier pour la région Alsace.

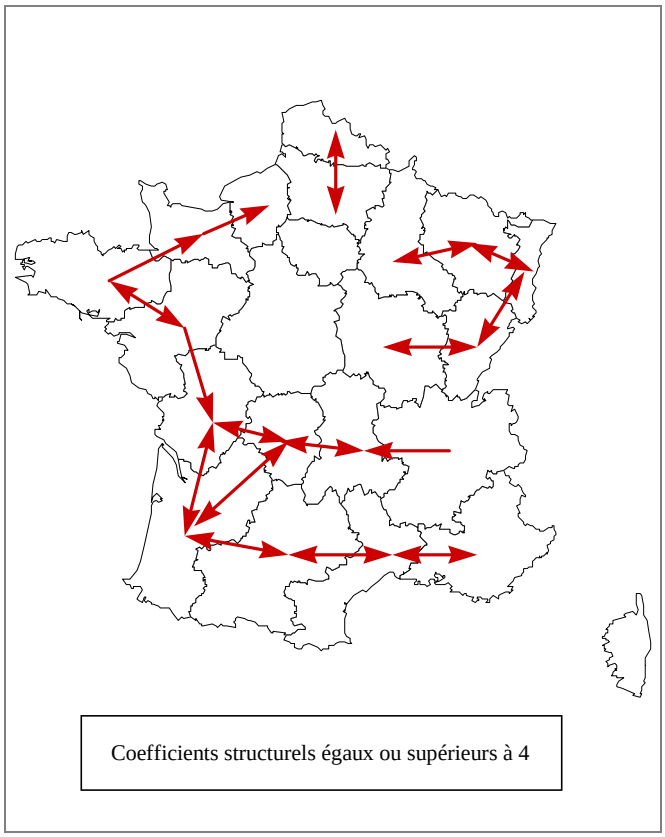
Les atouts structurels des régions en termes d'échanges interrégionaux de marchandises ne se limitent toutefois pas au nombre de liaisons structurelles privilégiées mais surtout à l'intensité structurelle moyenne des liaisons d'échange.

IX-3-2. Des intensités structurelles régionales très variables

L'intensité des liaisons structurelles joue fortement sur la structure spatiale des flux de marchandises et détermine ainsi les grandes lignes de la distribution spatiale des échanges interrégionaux de marchandises (cf. figures IX-1 et IX-4). L'analyse approfondie de l'intensité des liaisons structurelles, et en particulier des liaisons privilégiées, permet de dégager des axes d'échange déterminants dans le transport interrégional de marchandises mais aussi des " solidarités " structurelles interrégionales. Ainsi en restreignant l'analyse aux intensités structurelles les plus élevées, on s'aperçoit que les régions du Sud et de l'Ouest bénéficient davantage d'effets structurels positifs que les régions du Nord et de l'Est, à l'exception des régions Alsace et Lorraine (cf. figure IX-12).

Cet écart dans l'intensité des relations structurelles entre les régions du Sud et de l'Ouest et celles du Nord et de l'Est traduit l'existence de facteurs influant sur la structure spatiale des flux de marchandises autres que des facteurs spatiaux relatifs à la distance ou à la contiguïté. Cette scission spatiale rappelle effectivement celle relevant de la sphère économique, entre d'une part, les régions du Nord et de l'Est davantage dotées d'industries anciennes ou en reconversion économique et ayant fortement subi les crises économiques successives depuis les années 70 et d'autre part, les régions du Sud et de l'Ouest dotées d'une industrialisation plus récente, plus moderne et plus diversifiée, et de ce fait moins affectées par les dernières crises économiques. En outre, on remarque que les principales régions économiques du pays, Ile de France et Rhône-Alpes (à l'exception encore de l'Alsace) ne présentent pas de relations structurelles privilégiées particulièrement fortes. L'importance de leurs échanges de marchandises en tonnes transportées relève donc davantage de leur poids économique, autrement dit de l'effet conjoncturel " taille économique ".

Figure IX-12. Relations structurelles supérieures à 4 - 1994



Conception : auteur, powerpoint. Données SITRAM

Les régions du Sud et de l'Ouest apparaissent donc en 1994 comme plus *attractives* ou plus *dynamiques* structurellement, c'est-à-dire participant davantage aux échanges de marchandises qu'elles ne l'auraient fait sans l'action de facteurs spatiaux ou socio-économiques structurels (position géographique, proximité spatiale, proximité organisationnelle, spécificités sectorielles, ...).

En termes de bilan structurel, l'intensité moyenne des relations structurelles par région peut être appréciée globalement par la moyenne des coefficients structurels de chaque région d'émission. Cet indicateur donne une idée du pouvoir *polarisant* des régions du point de vue de leurs facteurs structurels (cf. tableau IX-1). On remarque tout d'abord que le niveau moyen des coefficients structurels est fortement influencé par des valeurs extrêmes, ce que traduisent des écarts-types relativement élevés. C'est le cas particulièrement pour les moyennes élevées de coefficients structurels (par exemple le cas de Midi-Pyrénées vers Languedoc-Roussillon : CS=8,76 et vers Basse-Normandie : CS =0,08), de certaines moyennes intermédiaires (Languedoc-Roussillon vers PACA avec CS=6,73 et vers Picardie avec CS=0,06) ou encore de quelques moyennes faibles (Basse-Normandie vers Haute-Normandie avec CS=5 et vers Midi-Pyrénées avec CS=0,12).

Tableau IX-1. Intensité moyenne des coefficients structurels en 1994

région d'émission	moyenne	écart-type	région d'émission	moyenne	écart-type
Haute-Normandie	0,850	0,944	***Franche-Comté***	1,090	1,663
Basse-Normandie	0,871	1,221	***PACA-Corse***	1,098	1,350
Picardie	0,875	1,187	***Poitou-Charentes***	1,100	1,673
Nord Pas de Calais	0,901	1,096	***Alsace***	1,125	1,921
Champagne-Ardenne	0,921	0,893	***Lorraine***	1,128	1,457
Centre	0,993	0,678	***Auvergne***	1,172	1,377
Bretagne	1,020	1,441	***Limousin***	1,181	1,407
Ile de France	1,042	0,613	***Rhône-Alpes***	1,264	1,325
Pays de Loire	1,062	1,502	***Midi-Pyrénées***	1,269	2,351
Bourgogne	1,085	1,120	***Aquitaine***	1,288	1,907
Languedoc-Roussillon	1,087	1,913			

L'intensité moyenne des seules relations privilégiées fait ressortir l'effet polarisant de certaines régions en termes de participation aux échanges interrégionaux. Les régions du Sud-Ouest et de l'Ouest présentent les plus fortes intensités moyennes des relations privilégiées.

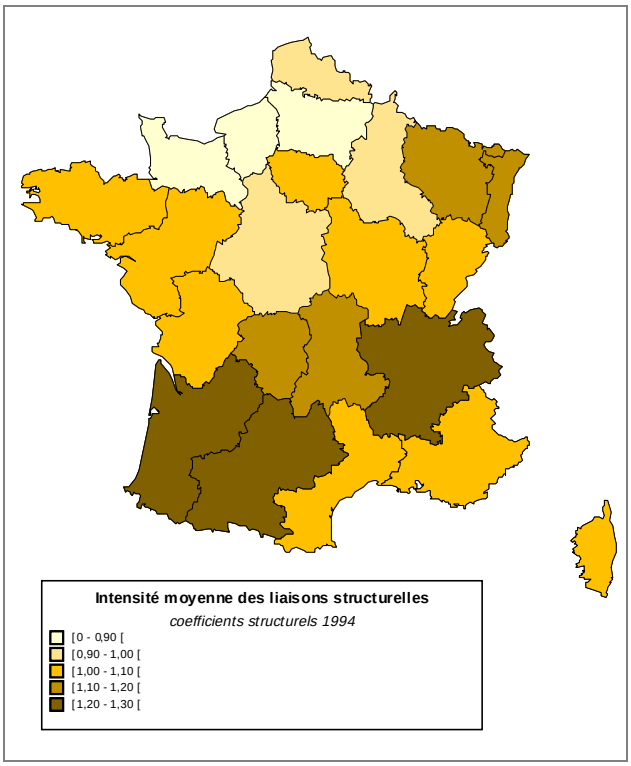
Tableau IX-2. Intensité moyenne des relations privilégiées (CS>1) en 1994

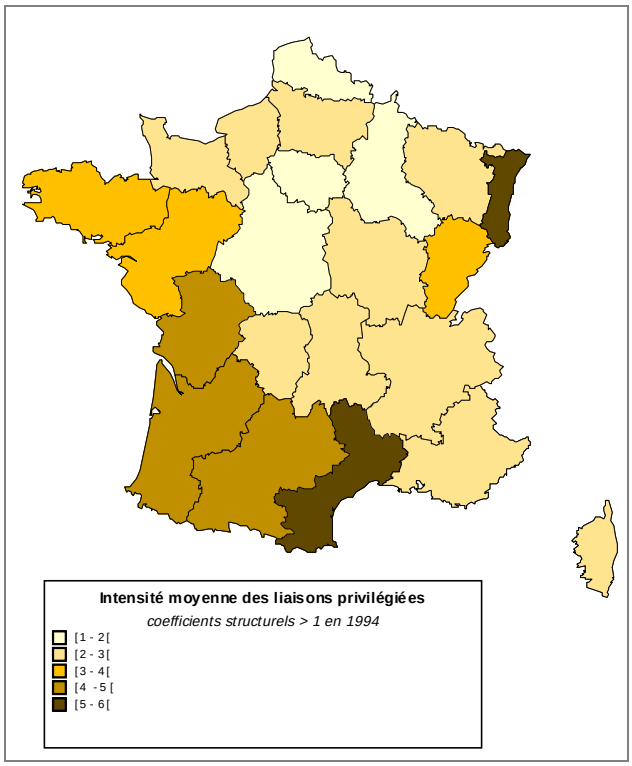
région d'émission	moyenne	région d'émission	moyenne
Centre	1,7206	***Limousin***	2,9394
Ile de France	1,8283	***Picardie***	2,9514
Champagne-Ardenne	1,8785	***Franche-Comté***	3,3973
Nord Pas de Calais	1,9883	***Bretagne***	3,8330
Rhône-Alpes	2,2342	***Pays de Loire***	3,8333
Bourgogne	2,2648	***Poitou-Charentes***	4,1742
Haute-Normandie	2,3689	***Midi-Pyrénées***	4,1771
Basse-Normandie	2,5087	***Aquitaine***	4,5420
Auvergne	2,5222	***Languedoc-Roussillon***	5,1324
PACA-Corse	2,7421	***Alsace***	6,7653
Lorraine	2,7600		

L’intensité moyenne permet de classer les régions par rapport à leur degré d’ouverture sur le territoire national. Les régions du Sud et de l’Ouest participent en moyenne plus *fortement* aux échanges interrégionaux que les régions du Nord et de l’Est du point de vue structurel. Ainsi les régions du Sud et l’Ouest bénéficient davantage d’effets structurels favorables aux échanges nationaux et les régions du Nord et de l’Est, d’effets de frein structurels aux échanges.

On retrouve donc dans de l'intensité moyenne des relations structurelles de chaque région les caractéristiques de la structuration spatiale du fret : un clivage Nord-Sud quant à l'intensité moyenne générale des relations structurelles et un clivage Est-Ouest quant à l'intensité moyenne des relations privilégiées.

Figure IX-13. Niveaux structurels d'attractivité régionale (1994)





Conception : auteur, SIG GéoConcept. Données SITRAM

Le principal enseignement de cette analyse descriptive de la structure spatiale du fret interrégional est donc l'existence d'effets structurels significatifs, et en particulier celui de la proximité spatiale mesurée par des indicateurs de contiguïté interrégionale stricte ou d'ordre n. Ces effets ne sont toutefois pas exclusifs dans la structure spatiale des échanges interrégionaux : les effets conjoncturels, principalement à travers la taille économique des régions, interviennent aussi.

Enfin, l'existence de liaisons privilégiées sur moyennes et longues distances telles que PACA vers Midi-Pyrénées, Lorraine vers Rhône-Alpes, ou encore le nombre élevé de relations structurelles privilégiées à l'origine de la région Nord Pas de Calais relativise l'influence des seuls facteurs spatiaux comme facteurs structurels déterminants. Ces liaisons présupposent au contraire l'influence de facteurs socio-économiques, notamment de proximités organisationnelles ou sectorielles liées soit à des stratégies d'entreprises soit à des spécificités sectorielles régionales.

Section X.

La dynamique structurelle des interactions spatiales en transport de marchandises

L'analyse dynamique de la structure spatiale du fret interrégional a pour objectif la mise en évidence des traits caractéristiques de la tendance d'évolution à long terme des liaisons structurelles interrégionales. La période temporelle d'observation s'étend sur une vingtaine d'années, de 1975 à 1994.

Deux optiques sont suivies dans cette analyse dynamique. Une optique générale, portant sur l'évolution de la structure spatiale d'ensemble des liaisons structurelles, dans le but d'estimer les changements globaux qu'elle a pu connaître à long terme, et une optique désagrégée, qui s'intéresse à l'évolution des liaisons structurelles de chaque région.

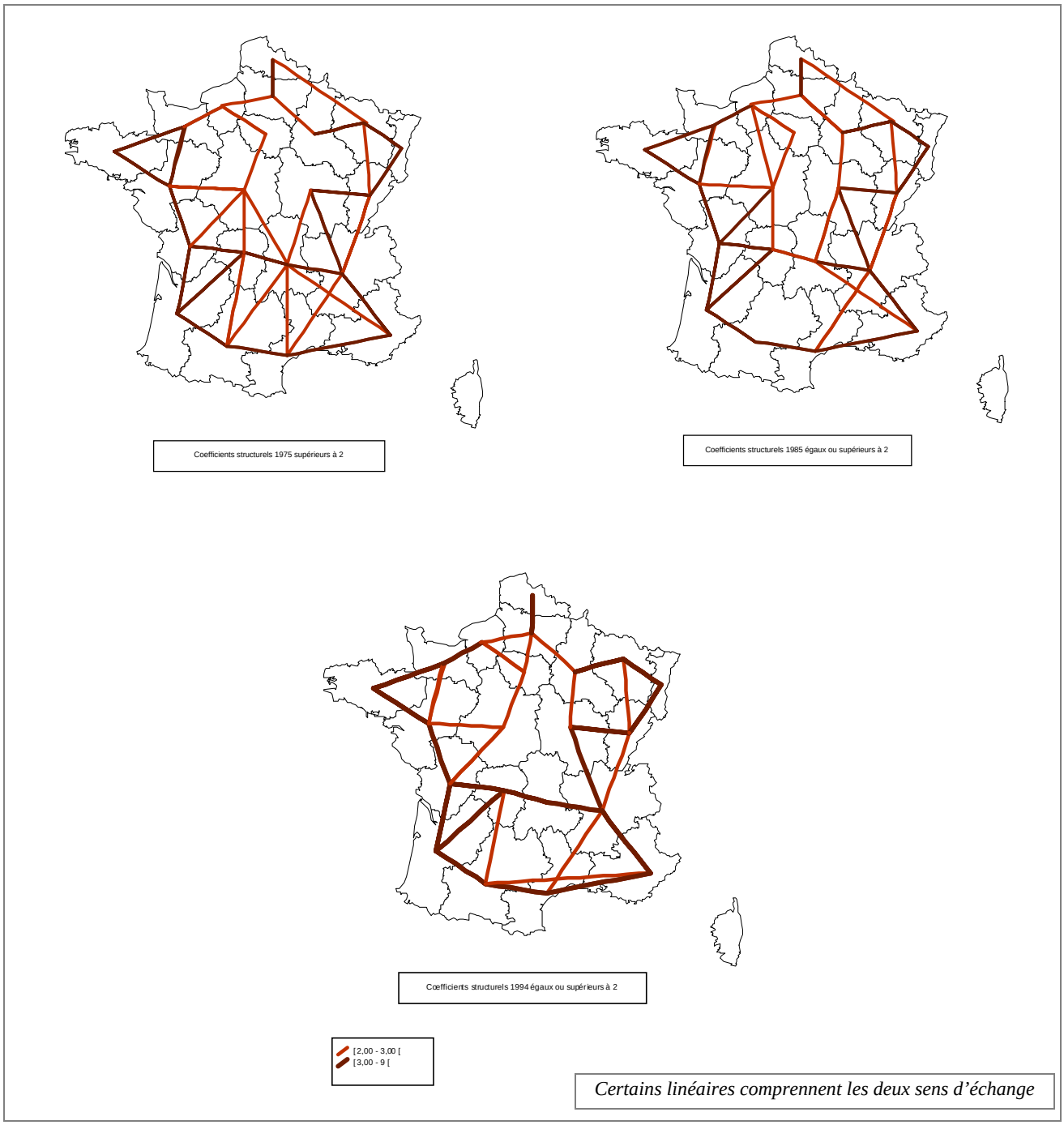
La première optique s'intéresse aux grandes mutations de long terme qu'a pu connaître la structure spatiale des échanges, soit de type polarisation régionale des échanges par le jeu de la proximité spatiale et des économies d'agglomération, soit au contraire de type diffusion spatiale en lien avec un abaissement de la contrainte de séparation spatiale et avec le développement de nouvelles formes d'organisation logistique suivant une logique de radialisation (Bonnafous, 1990). La première hypothèse fait référence au retour des économies régionales (Benko et Lipietz, 1992 ; Lung, 1983 et 1995) et au rôle des différentes formes de proximités (Torre et alii, 1992 ; Torre, 1993b ; Bellet *et alii*, 1993 ;…), qui se développeraient sur des formes plurielles de polarisation de type technopoles, districts industriels ou métropolisation. Cette nouvelle polarisation régionale repose sur des formes flexibles d'organisation productive et sur la valorisation de spécificités sectorielles, de savoir-faire locaux et sur le développement de services externalisés aux entreprises dont le succès repose sur une proximité territoriale forte (Scott, 1992). Toutefois, cette tendance ne concerne pas l'ensemble des régions et ne remet pas totalement en cause la division spatiale des activités amenée par la standardisation de la production (Amin et Robins, 1992). La seconde hypothèse est davantage axée sur l'articulation " Espace-Transport " et les transformations de l'organisation logistique spatiale des transports de marchandises en lien avec les évolutions de l'articulation " Production-Espace " et de l'articulation " Production-Transport " relative à la tendance de dématérialisation de l'économie et à la baisse relative des coûts de transports dans le coût global des produits.

La seconde optique, relative à chaque région, est complémentaire à la précédente dans le sens où elle approfondit l'analyse en s'intéressant aux mutations de la structure spatiale des liaisons structurelles d'échange de chaque région. Cette approche spatiale fine consiste à mettre en évidence les régions qui participent plus fortement à la dynamique structurelle des échanges interrégionaux de marchandises et à rechercher les facteurs structurels explicatifs.

X-1. La dynamique globale de la structure spatiale des échanges

L'évolution de la structure spatiale d'ensemble des liaisons structurelles interrégionales est effectuée par une analyse en statistique comparative de la structure spatiale des liaisons structurelles privilégiées. L'observation des principales liaisons structurelles privilégiées sur différentes années distingue nettement les relations interrégionales durables qui constituent l'ossature de la distribution spatiale du fret interrégional et les relations évolutives qui traduisent une certaine mutation de l'organisation spatiale du système productif et par conséquent de la structure spatiale des transports interrégionaux.

Figure X-1. Structures spatiales comparées 1975, 1985 et 1994



Conception : auteur, SIG GéoConcept. Données SITRAM

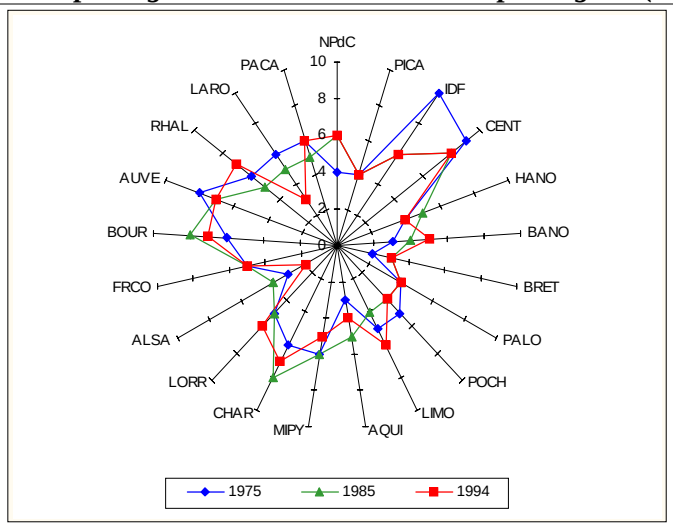
La juxtaposition des structures spatiales de 3 années éloignées (1975, 1985 et 1994) montre que la structure spatiale repose durablement sur des relations de proximité spatiale. Cette analyse comparative met également en évidence un resserrement spatial des effets structurels positifs. En effet, la structure spatiale des relations privilégiées présente une couverture spatiale plus large en 1975 qu'en 1994 et 1985. Cette évolution se produit essentiellement entre 1975 et 1985 et affecte particulièrement la partie centrale du territoire, autour de la région Auvergne, qui perd un nombre non négligeable de liaisons structurelles fortement privilégiées alors que les parties Nord-Est et Nord-Ouest du territoire en gagnent. Globalement, le nombre de relations fortement privilégiées (CS≥2) reste invariant entre 1975 et 1985 (61 à 60) alors qu'il se réduit plus fortement entre 1985 et 1994 (60 à 55), mais sans engendrer cette fois de grandes modifications dans la structure spatiale.

La dynamique structurelle des échanges interrégionaux se produit à long terme principalement au détriment des régions du centre de la France qui connaissent une réduction de l'intensité structurelle de leurs échanges. Autrement dit, la dynamique structurelle favorise de moins en moins les échanges avec les régions centrales (Limousin, Auvergne, Centre) et tend plutôt à renforcer les relations structurelles entre régions plus développées du point de vue socio-économique ou entre régions mieux reliées par les infrastructures de transport.

Globalement, la dynamique structurelle à l'échange se caractérise par une relative stabilité du point de vue de son intensité (la moyenne de l'ensemble des coefficients structurels passe de 1,1 en 1975 à 1,07 en 1994). Cette stabilité ressort dans les variations annuelles de la répartition entre les relations privilégiées et désavantagées pour chaque région d'origine des flux (Cf. graphique X-1) et dans l'évolution du niveau moyen des coefficients structurels de chaque région (Cf. graphique X-2).

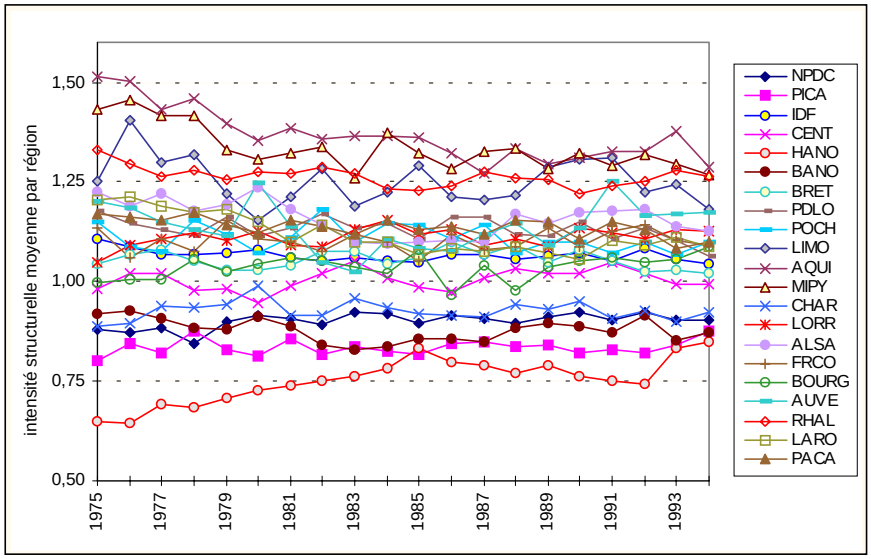
La répartition entre liaisons privilégiées et désavantagées est relativement stable sur le long terme pour la majorité des régions, à l'exception de l'Ile de France qui voit ses avantages structurels se réduire fortement (10 relations privilégiées en 1975, 6 en 1994) et de Languedoc-Roussillon qui divise de moitié son nombre de relations privilégiées. La répartition des relations structurelles se maintient donc globalement à long terme dans un rapport de un quart de liaisons privilégiées et trois quarts de liaisons désavantagées.

Graphique X-1. Evolution par région du nombre de relations privilégiées (75-94)



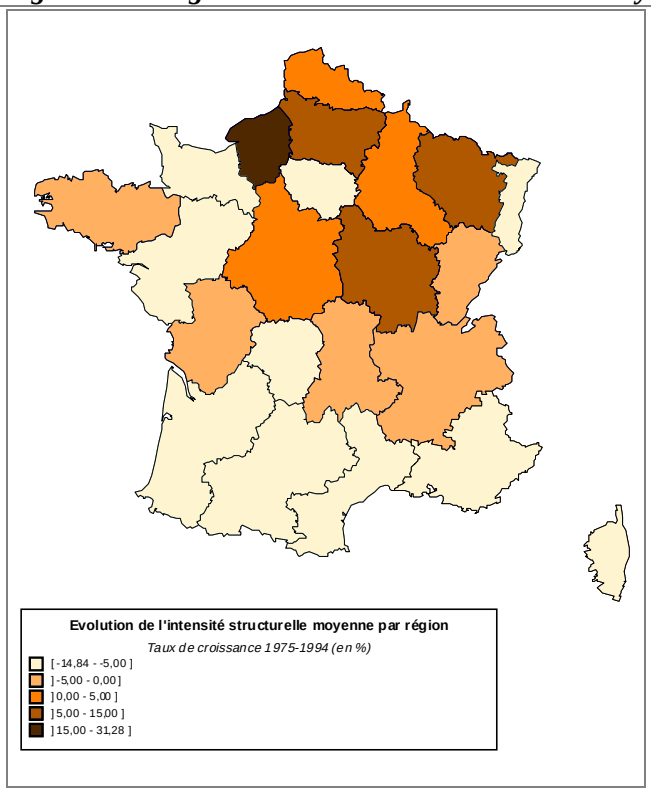
L'intensité moyenne des liaisons structurelles par région n'évolue que faiblement à long terme, et tend à réduire les écarts interrégionaux. La région Haute-Normandie, qui présentait en 1975 la plus faible intensité moyenne, enregistre la plus forte variation globale entre 1975 et 1994 (+31%) et la région Aquitaine, qui affichait la plus forte intensité structurelle moyenne, présente la plus forte baisse (-15%).

Graphique X-2. Evolution du niveau moyen structurel par région



Spatialement, la réduction des disparités interrégionales structurelles s'effectue par une réduction de l'intensité structurelle moyenne relativement élevée des régions de l'Ouest et du Sud, et une hausse dans les régions du Nord et de l'Est structurellement moins avantagées.

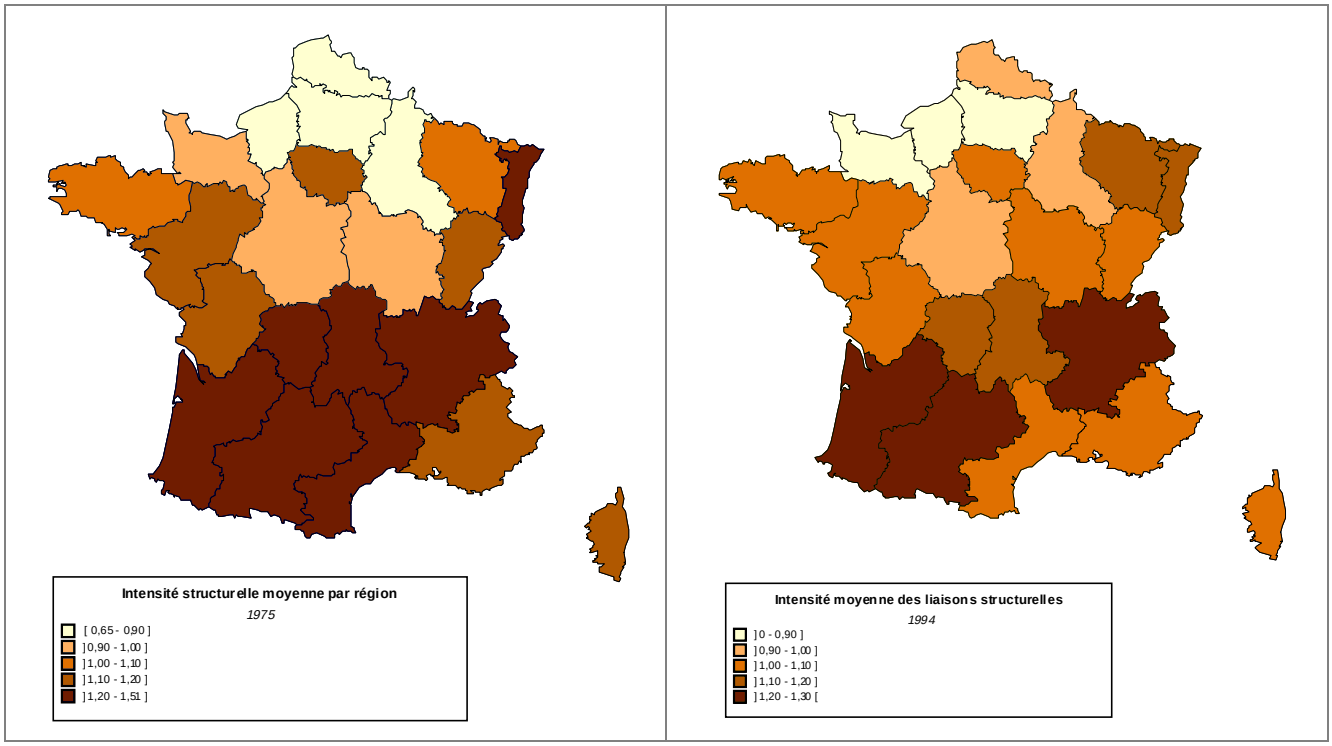
Figure X-2. Croissance globale à long terme de l'intensité structurelle moyenne par région



Conception : auteur, SIG GéoConcept. Données SITRAM

En 1994, la structure régionale de l'intensité moyenne des effets structurels tend à être relativement moins élevée dans les régions du Sud par rapport à 1975 et légèrement plus élevée dans les régions du Nord-Est, essentiellement en Nord-Pas-de-Calais, Champagne-Ardenne et Lorraine.

Figure X-3. Intensité structurelle moyenne par région en 1975 et en 1994

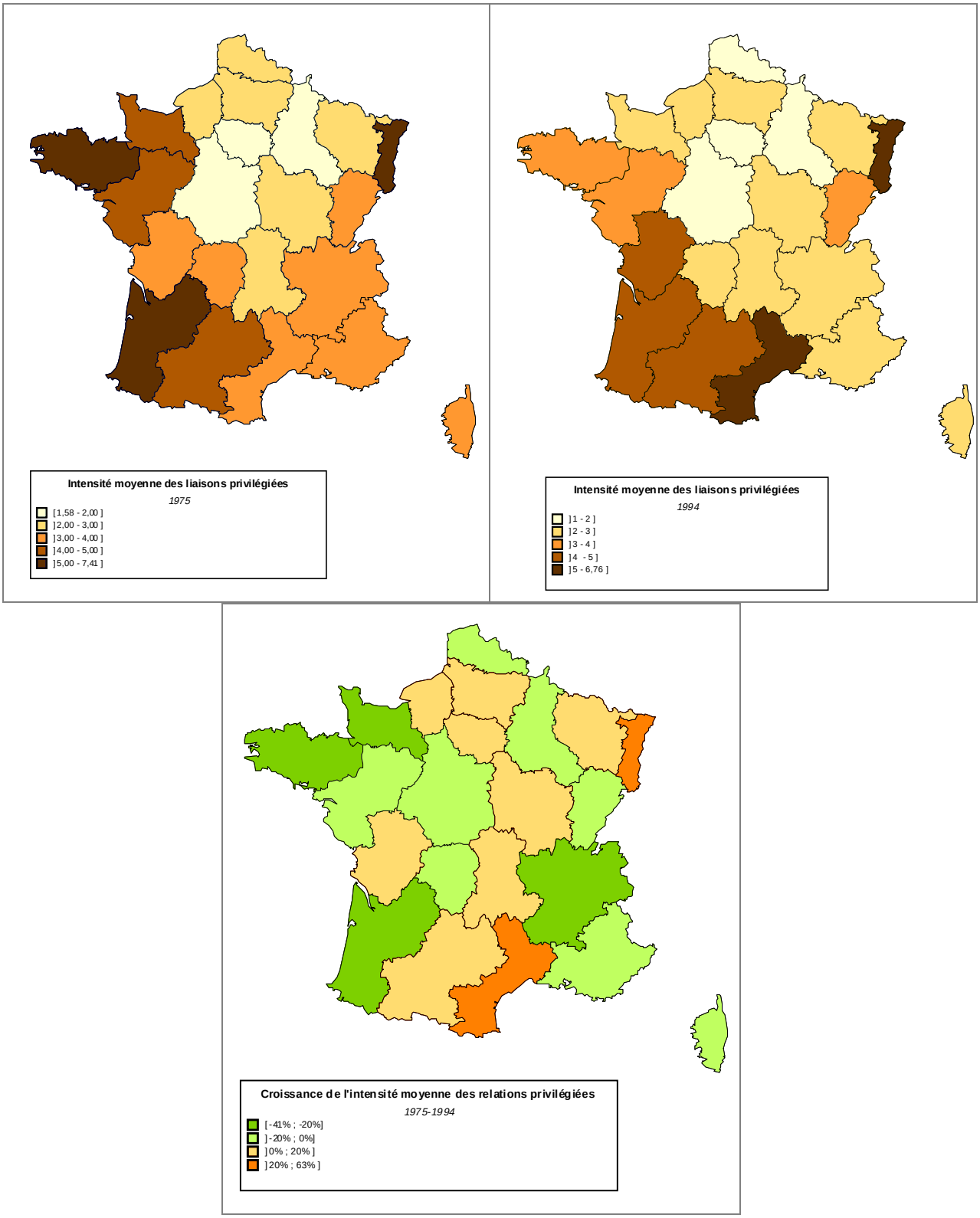


Conception : auteur, SIG GéoConcept. Données SITRAM

Cette dynamique structurelle est principalement le fait des relations privilégiées, comme les structures spatiales comparées de l'intensité moyenne des relations privilégiées par région entre 1975 et 1994 le font ressortir (cf. figure X-4).

Deux phénomènes opposés se produisent. D'un côté, les positions structurellement privilégiées s'affaiblissent, en particulier dans les régions de la façade atlantique et du Sud-Ouest (en Bretagne, Basse-Normandie, Aquitaine et avec un degré moindre en Pays de Loire) ainsi qu'en région Rhône-Alpes. De l'autre côté, les régions structurellement moins favorisées améliorent leur position, essentiellement les régions de l'Est et du Nord (en particulier Alsace) mais aussi la région Languedoc-Roussillon.

Figures X-4. Intensité moyenne des relations privilégiées en 1975 et en 1994 et variations globales 1975-1994



Conception : auteur, SIG GéoConcept. Données SITRAM

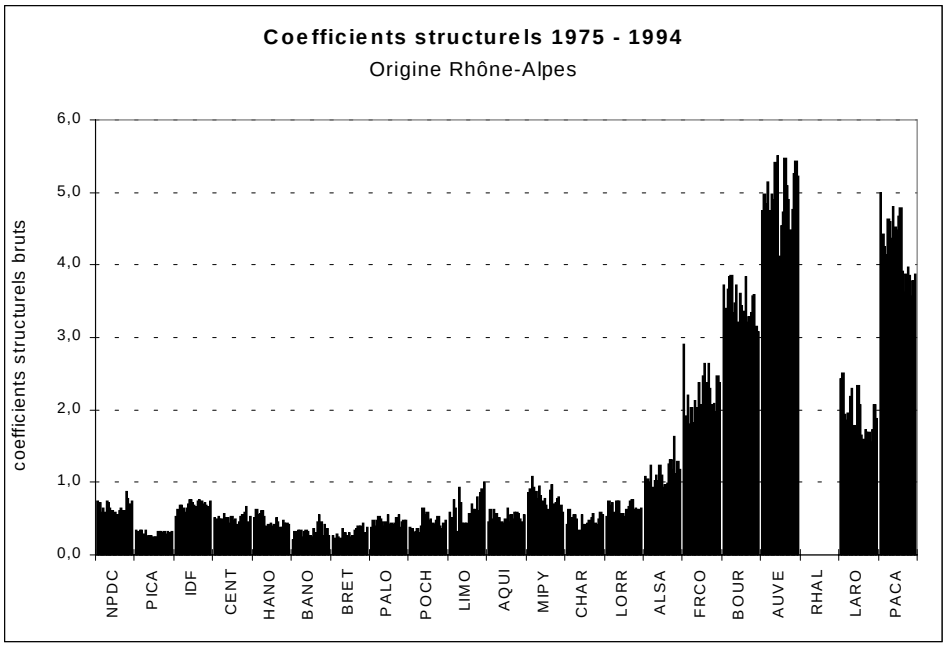
X-2. Une dynamique structurelle identique pour toutes les régions

La tendance de stabilité de la structure spatiale du fret interrégional peut également être mise en évidence à travers l'évolution du niveau des coefficients structurels de chacune des régions d'origine vers les différentes régions de destination. Cette relative inertie de la structure spatiale reposant sur le niveau moyen des coefficients structurels se retrouve quelle que soit la région considérée.

X-2-1. Une stabilité d'ensemble quelle que soit la région considérée

La représentation graphique en bâtons des niveaux annuels des coefficients structurels d'une région d'origine vers l'ensemble des autres régions de destination constitue un outil descriptif efficace mettant en évidence la stabilité à long terme du niveau des coefficients structurels sur chaque liaison interrégionale (cf. graphique X-3 et annexe X-1).

Graphique X-3. Evolution des coefficients structurels à l'origine de Rhône-Alpes



Cette représentation de l'évolution des coefficients structurels interrégionaux fournit deux enseignements déterminants sur la dynamique structurelle des transports interrégionaux de marchandises. Le premier est que le niveau des coefficients d'une liaison interrégionale donnée reste pratiquement invariant à long terme, à quelques fluctuations annuelles près. Le deuxième enseignement, corollaire du premier, est que les liaisons structurelles conservent leur statut à long terme soit de liaisons préférentielles soit de liaisons désavantagées. La dynamique structurelle du fret interrégional se caractérise donc très nettement par une forte inertie temporelle à long terme.

Cette stabilité ou invariance forte des coefficients structurels à long terme constitue un élément central du point de vue de la simulation à long terme du fret interrégional.

Une observation plus approfondie fait cependant ressortir quelques inflexions du niveau de certains coefficients sur des périodes pluriannuelles ou sur l'ensemble de la période d'observation.

En effet, si l'on trace une tendance à main levée sur chaque groupe de bâtons représentant les variations annuelles des coefficients structurels d'une liaison d'échange, on s'aperçoit que certaines relations, telles que Rhône-Alpes vers PACA, présentent une tendance à la baisse ou à la hausse relativement marquée. Ces inflexions sont soit d'un rythme peu soutenu et régulier, à l'instar de la relation Rhône-Alpes vers Midi-Pyrénées, soit plus marqué et brutal à l'image de la liaison Rhône-Alpes vers PACA. Les inflexions significatives, au sens qu'une tendance d'évolution peut être dégagée et formalisée à l'aide d'un modèle de prévision, restent minoritaires mais jouent un rôle tout à fait essentiel en termes de simulation et de prévision de la structure spatiale du fret interrégional à long terme.

X-2-2. Une stabilité enrayée par la présence de quelques relations évolutives

La distinction entre relations évolutives et relations stables a été établie de façon plus précise grâce à une analyse chronologique des séries temporelles de coefficients structurels et grâce au calcul d'écarts absolus (ou différence) et d'écarts relatifs (ou taux de croissance) sur les niveaux des coefficients de début et de fin de période. L'analyse chronologique a consisté dans un premier temps à lisser les valeurs " aberrantes " des coefficients structurels de chaque liaison origine-destination, d'un point de vue statistique comme économique. Autrement dit, les valeurs des coefficients très nettement supérieures ou inférieures au niveau moyen des coefficients de la relation considérée ou de la tendance générale d'évolution ont été éliminées et remplacées par la moyenne des coefficients directement voisins. Ensuite, les fluctuations conjoncturelles annuelles ou " aléas " ont été lissées à l'aide d'une moyenne mobile d'ordre 3.

Les séries obtenues après lissage ont donné lieu à deux typologies distinguant les liaisons stables des liaisons évolutives. La première typologie, d'ordre descriptif, est développée dans cette partie. Le critère de différenciation des deux types de liaisons est l'écart absolu des niveaux des coefficients structurels de début et de fin de période. La seconde typologie s'inscrit dans l'optique de modélisation et consiste à isoler une tendance d'évolution ou " trend " par l'ajustement d'une fonction linéaire ou log-linéaire. En l'absence de tendance significative ne pouvant être ajustée de façon satisfaisante du point de vue économétrique, l'évolution est ajustée à la valeur moyenne des observations (cf. section XII).

A. Des évolutions peu nombreuses en intensité absolue ...

Les écarts absolus du niveau des coefficients structurels[1] sur près de 20 ans font ressortir la grande stabilité de la structure spatiale des échanges. La répartition entre liaisons structurelles stables et évolutives est fortement déséquilibrée, avec 90% de liaisons stables et 10% de liaisons évolutives. Les liaisons sont considérées comme stables quant la variation du niveau des coefficients structurels est inférieure en valeur absolue à 0,5, et comme évolutives quand la variation est supérieure à 0,5.

[1] Les écarts absolus et relatifs sont calculés sur les coefficients structurels lissés de 1976 et de 1993.

Tableau X-1. Evolution des coefficients structurels en écarts absolus et relatifs (1976-1993)

Variations absolues		**Variations relatives**	
ordre	***Nombre de liaisons***	***ordre***	***Nombre de liaisons***
Forte baisse [écart < -1]	10 (2,4%)	Forte baisse [taux < -50%]	9 (2%)
Baisse modérée [-1<écart<-0,5]	19 (4,5%)	Baisse modérée [-50%<taux<-10%]	142 (34%)
Baisse faible [-0,5<écart<0]	173 (41,2%)	Baisse faible [-10%<taux<0%]	52 (12%)
Hausse faible [0<écart<0,5]	202 (48,1%)	Hausse faible [0%<taux<10%]	52 (12%)
Hausse modérée [0,5<écart<1]	9 (2,1%)	Hausse modérée [10%<taux<50%]	122 (29%)
Forte hausse [1<écart]	7 (1,7%)	Forte hausse [50%<taux<100%]	34 (8%)
		Très forte hausse [100%<taux]	9 (2%)
Total	420 (100%)	Total	420 (100%)

Les variations relatives exprimées en taux de croissance, font apparaître de fortes fluctuations, car celles-ci portent souvent sur des coefficients structurels de niveaux très faibles. Elles n'ont de ce fait pas de répercussion sur la structure spatiale d'ensemble du fret.

Tableau X-2. Taux de croissance globaux contrastés du niveau de coefficients structurels

Type d'évolution	**Origine**	**Destination**	**CSij lissés 76**	**CSij lissés 93**	**TCG 76/93**
Forte hausse	Haute-Normandie	Limousin	0,09	0,54	490%
	Limousin	Bretagne	0,19	0,55	197%
	Haute-Normandie	Poitou-Charentes	0,16	0,43	168%
Stabilité	Auvergne	Basse-Normandie	0,24	0,24	0,1%
	Bourgogne	Aquitaine	0,31	0,31	-0,1%
	Ile de France	Rhône-Alpes	0,90	0,90	-0,2%
Forte baisse	Midi-Pyrénées	Haute-Normandie	0,36	0,13	-63,7%
	Limousin	Franche-Comté	0,39	0,13	-66%
	Alsace	Aquitaine	0,94	0,31	-67,2%

Ainsi, même si les relations structurelles présentent souvent une variation relative non négligeable, la dynamique structurelle globale reste dominée par une forte inertie à long terme du fait d'une invariance du niveau moyen de la majorité des coefficients structurels. Les quelques inflexions en écarts absolus existantes sont néanmoins importantes en niveau et ont une signification forte. En effet, elles évitent un immobilisme strict de la structure spatiale des flux et suggèrent une lente mutation de la dimension structurelle du fret et par conséquent de la distribution spatiale du fret interrégional.

Un autre enseignement intéressant ressort quant aux différentes tendances d'évolution structurelle. On observe en effet une opposition de la tendance d'évolution en fonction de la nature de la relation, selon qu'elle soit privilégiée ou au contraire désavantagée. A partir des valeurs moyennes lissées des coefficients structurels de début et de fin de période, on remarque que les relations privilégiées ont tendance à diminuer d'intensité alors que les relations désavantagées suivent plutôt une voie d'amélioration. En effet, 59% des relations privilégiées diminuent leur intensité structurelle moyenne contre 41% qui l'accroissent et 56% des relations désavantagées augmentent leur intensité moyenne contre 44% qui la réduisent.

Les rares évolutions significatives sur le niveau des coefficients structurels apportent une information très importante quant aux facteurs explicatifs de l'évolution de la distribution spatiale du fret. En effet, elles mettent en évidence que l'évolution du tonnage des échanges de marchandises entre deux régions peut relever de transformations des facteurs structurels, tels que la division spatiale des activités, la structuration de l'espace par les infrastructures de transport par exemple, et non pas uniquement de la croissance économique.

B. … qui relèvent principalement des relations structurelles privilégiées

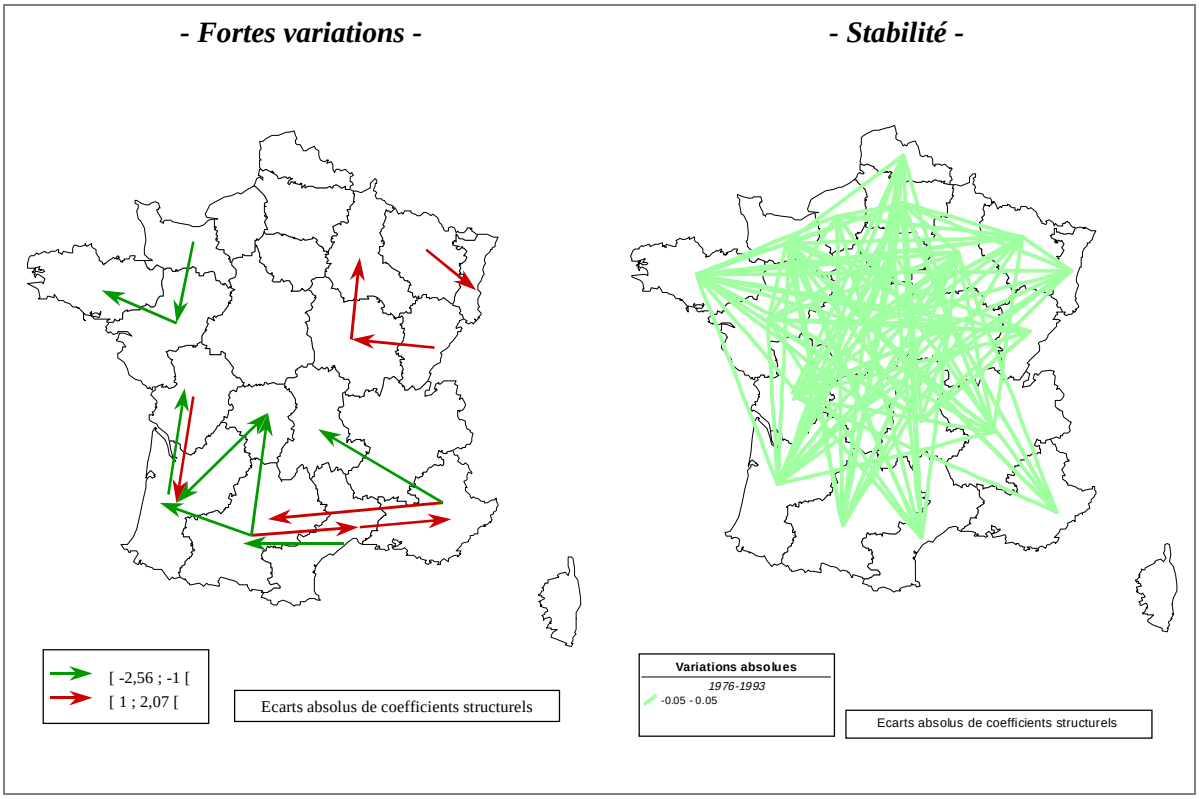
Les évolutions significatives à long terme se caractérisent par la nature des relations interrégionales sur lesquelles elles portent. En effet, les relations qui évoluent de façon significative en niveau (écart absolu supérieur à 0,5) sont à 93% des relations privilégiées et les relations stables sont à 81% des relations désavantagées. Cela signifie que la lente mutation à long terme de la structure spatiale du fret interrégional relève essentiellement des relations structurelles privilégiées.

Tableau X-3. Variations absolues du niveau de certains coefficients structurels (1976 - 1993)

Type d'évolution	Origine	Destination	CSij lissés 76	CSij lissés 93	Ecart absolu
Plus fortes baisses	Aquitaine	Limousin	7,48	4,92	-2,56
	Basse-Normandie	Pays de Loire	4,06	2,23	-1,84
	Midi-Pyrénées	Aquitaine	9,45	7,85	-1,6
Stabilité	Auvergne	Basse-Normandie	0,14	0,14	0
	Bourgogne	Aquitaine	0,31	0,31	0
	Pays de Loire	Champagne-A.	0,147	0,146	-0,001
Plus fortes hausses	Franche-C.	Bourgogne	3,93	6	2,07
	Poitou-Charentes	Aquitaine	4,13	5,6	1,48
	Bourgogne	Champagne-A.	1,26	2,6	1,3

Les cartes suivantes font distinctement ressortir la corrélation entre la nature de la liaison structurelle (privilégiée /désavantagée) et la variation absolue de l'intensité structurelle. Les plus fortes variations relèvent de liaisons privilégiées de courtes distances et les situations de stabilité sont imputables à des liaisons désavantagées à longue distance.

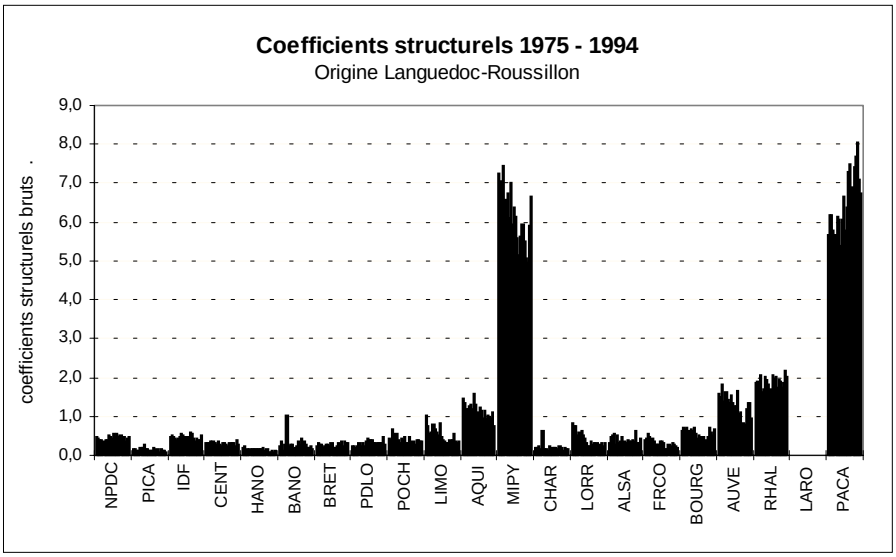
Figure X-5. Variations de l'intensité structurelle et nature de la liaison d'échange



Conception : auteur. Données SITRAM.

Ces quelques mutations structurelles de long terme ont des impacts sur la structure spatiale d'ensemble des liaisons structurelles de certaines régions. Ainsi, l'évolution des liaisons structurelles de la région Languedoc-Roussillon vers les régions Midi-Pyrénées et PACA est tout à fait édifiante de ce point de vue. La relation la plus privilégiée bascule en vingt ans de la région Midi-Pyrénées vers la région PACA.

Graphique X-4. Evolution des coefficients structurels de Languedoc-Roussillon



Des transformations non négligeables peuvent donc être observées sur les structures spatiales des liaisons structurelles de certaines régions au cours des vingt dernières années. Ces transformations prennent soit la forme de renforcement de solidarités interrégionales existantes au

détriment d'autres liaisons privilégiées, soit de changement dans la nature des relations structurelles, passant du statut de privilégié à celui de désavantagé ou inversement.

Ainsi, des renforcements de solidarités interrégionales au détriment d'autres liaisons d'échange privilégiées sont observées avec les relations de l'Ile de France vers Picardie et Haute-Normandie, de Poitou-Charentes vers Pays de Loire et Aquitaine, de Midi-Pyrénées vers Aquitaine et Languedoc-Roussillon, de Franche-Comté vers Alsace et Bourgogne, et de PACA vers Midi-Pyrénées et Auvergne (cf. annexe X-1).

Le passage de relations privilégiées à désavantagées ou inversement se produit soit progressivement soit brusquement pour les relations suivantes, désavantagées ou pratiquement équilibrées en début de période et privilégiées en fin de période : de la région Centre vers Nord Pas de Calais, Basse-Normandie vers Centre, Champagne-Ardenne vers Haute-Normandie, Lorraine vers Ile de France. Le phénomène inverse affecte aussi certaines relations structurelles privilégiées ou juste équilibrées en début de période : Alsace vers Aquitaine, Languedoc-Roussillon vers Aquitaine et vers Auvergne, ou encore PACA vers Franche-Comté (cf. annexe X-1). De telles évolutions sont intéressantes par le fait qu'elles rendent compte d'une inversion dans l'intensité des effets structurels, entre les facteurs attractifs à l'échange et les facteurs de frein à l'échange.

Ces différentes évolutions significatives en niveau de coefficients structurels se caractérisent également par une modification de leur structure sectorielle.

X-3. Des évolutions différenciées dans la structure sectorielle du fret

Les analyses monographiques de l'évolution de la structure sectorielle des flux interrégionaux ont été développées sur un nombre restreint de liaisons structurelles d'échange connaissant des évolutions à long terme contrastées. Le choix des liaisons étudiées tient à la particularité de la tendance d'évolution de leur intensité structurelle et à l'impact que celle-ci peut avoir à long terme sur la structure spatiale d'ensemble des échanges interrégionaux de marchandises. Nous avons sélectionné des liaisons privilégiées et désavantagées relevant de trois types d'évolution : une tendance fortement marquée à la hausse, une stabilité, et une tendance prononcée à la baisse.

X-3-1. Des modifications sectorielles dans les liaisons privilégiées : exemple de la nouvelle orientation structurelle de la région Languedoc-Roussillon

La structure spatiale des échanges interrégionaux à l'origine de la région Languedoc-Roussillon est caractérisée par un basculement de la principale région partenaire à l'échange au cours de la période 1975-1994. Les deux plus fortes liaisons structurelles privilégiées de Languedoc-Roussillon connaissent des évolutions tout à fait opposées et symétriques. En effet, on observe une inflexion à la baisse de l'intensité structurelle à l'échange vers la région Midi-Pyrénées, et une amélioration de celle à destination de la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (cf. graphique X-4). Ce constat signifie que la région Languedoc-Roussillon connaît des avantages structurels à

l'échange de plus en plus favorables vers PACA et de moins en moins favorables vers Midi-Pyrénées.

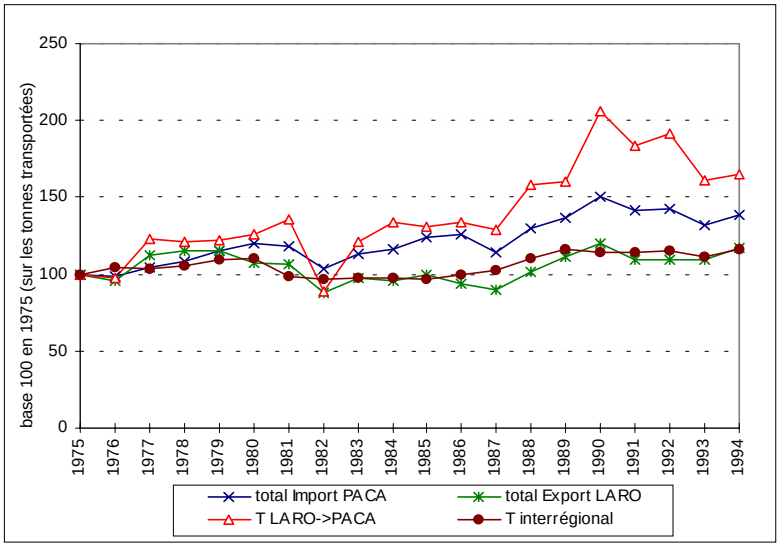
L'intérêt d'une analyse plus approfondie de l'évolution de ces deux liaisons d'échange est de repérer les catégories de produits, et par conséquent les branches économiques, qui participent de façon significative à l'amélioration ou au contraire à la détérioration structurelle de la relation d'échange.

A. La liaison Languedoc-Roussillon vers PACA

Cette liaison est structurellement privilégiée à long terme avec des niveaux élevés de coefficients structurels, de l'ordre de 6 en début de période et de 7,2 en fin de période. D'importants facteurs structurels affectent donc favorablement cette liaison d'échange rendant le tonnage observé nettement supérieur au tonnage théorique potentiel. Autrement dit, les facteurs structurels explicatifs de la distribution spatiale du fret interrégional favorisent nettement cette liaison et tendent à la consolider à long terme.

Le fret échangé de Languedoc-Roussillon vers PACA connaît une croissance soutenue de 65,5%, passant de 2,4 millions de tonnes en 1975 à 4 millions de tonnes en 1994. Cette croissance s'inscrit dans un contexte favorable de génération du fret de la part des deux régions impliquées dans l'échange, puisque la région Languedoc-Roussillon accroît ses exportations de 16,7% sur la même période et la région PACA augmente ses importations de 39,4%. A cela s'ajoute le contexte également favorable de l'évolution du tonnage interrégional, avec une augmentation de 16,6%. La position relative de la région PACA dans les exportations de Languedoc-Roussillon s'améliore, passant de 22% en 1975 à 31% en 1994. Réciproquement, la région Languedoc-Roussillon tient une place légèrement accrue dans les importations de PACA, avec 25% en 1994 contre 21% en 1975.

Graphique X-5. Evolution du tonnage échangé de Languedoc-Roussillon vers PACA

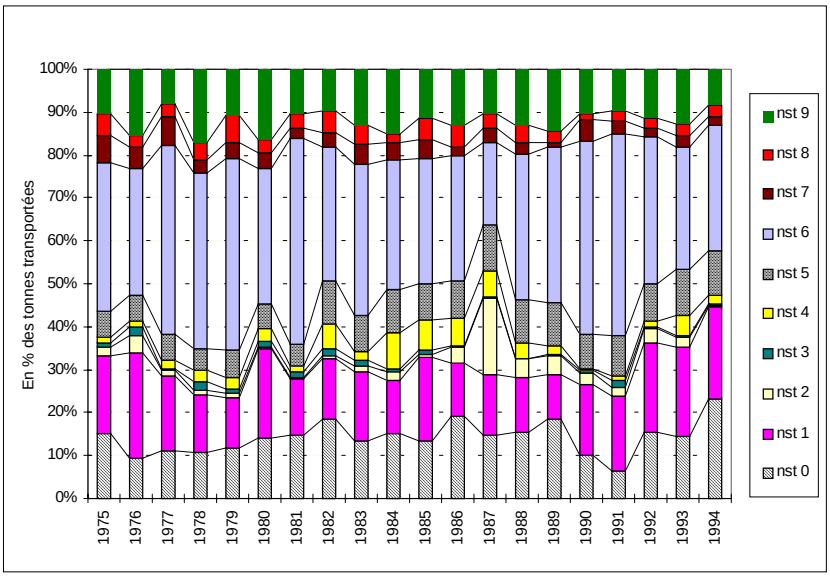


Ainsi, les 4 paramètres constitutifs des coefficients structurels (cf. [II-2]) suivent une tendance à la hausse. L'amélioration des coefficients structurels tient donc surtout à la forte hausse des tonnages échangés sur cette liaison, comparativement aux hausses respectives des volumes globaux émis et reçus. Les tonnages échangés sur cette liaison constituent une part significative

des volumes globaux émis et reçus par les deux régions. Cette liaison devient en effet la plus importante en tonnage émis par Languedoc-Roussillon en 1994, à la place de la liaison vers Midi-Pyrénées. Elle accroît aussi son importance dans le volume annuel importé par PACA, se rapprochant très nettement de la part tenue par la liaison à l'origine Rhône-Alpes, qui elle se dégrade légèrement depuis 1975.

Du point de vue de la structure sectorielle des tonnages échangés, la liaison se démarque sensiblement de la structure globale du tonnage interrégional (cf. graphique VII-2) avec une part prépondérante des matériaux de construction. Ces derniers représentent en moyenne près de 36% du tonnage total échangé sur la période, les produits agro-alimentaires près de 17%, les produits agricoles 14% et les produits manufacturés seulement 12%. Toutefois, cette structure connaît des modifications sensibles entre 1975 et 1994. Les matériaux de construction (nst6), nettement dominants en 1975 (35% des tonnages), demeurent le premier poste des tonnages échangés sur cette liaison malgré une part relative diminuée (29% en 1994). Les produits agricoles et agro-alimentaires (nst0 et nst1), qui constituent les deux autres principaux postes, améliorent leurs parts relatives, passant respectivement de 15% en 1975 à 23% en 1994 (+155% en tonnage) et de 18% à 21%. Les produits manufacturés en revanche ne modifient pas leur part relative qui stagne autour de 10%. D'autres modifications importantes de la structure sectorielle de cette liaison d'échange sont à souligner, même s'ils concernent des tonnages bien moins importants. Les produits métallurgiques (nst5) progressent fortement, de + 193% en tonnage, et de +78% en part relative, pour représenter 10% en 1994 et peser davantage que les produits manufacturés.

Graphique X-6. Evolution de la structure sectorielle du fret de Languedoc-R. vers PACA



En raisonnant sur les coefficients structurels sectoriels, on s'aperçoit que les transformations sectorielles de la liaison d'échange imputables aux produits agricoles, matériaux de construction et produits métallurgiques, rendent cette liaison de plus en plus spécifique par rapport à la structure potentielle qu'aurait cette liaison dans la situation théorique d'estimation des échanges.

Tableau X-4. Evolution des coefficients structurels LARO => PACA par catégorie de produit

	CS 75/nst	T observé	T théorique	CS 94/nst	T observé	T théorique
nst 0	6,31	365849	57950	6,29	933185	148261
nst 1	2,41	442329	183613	4,92	857186	174298
nst 2	21,72	46461	2139	4,24	6620	1560
nst 3	2,32	23160	10003	1,84	22506	12263
nst 4	8,32	38815	4666	8,73	77629	8893
nst 5	9,76	142236	14577	16,90	417058	24672
nst 6	13,27	838894	63229	14,51	1170944	80695
nst 7	16,35	153304	9376	10,21	75745	7421
nst 8	4,08	126968	31118	4,50	105653	23458
nst 9	5,45	250090	45928	3,79	341174	90068

On remarque en effet, que les trois catégories nst 1, nst 5 et nst 6 améliorent leurs coefficients structurels sur la période. Ainsi, les tonnages observés de ces produits augmentent plus que les tonnages théoriques respectifs : pour les produits agro-alimentaires +94% en observé contre -5% en théorique, pour les produits métallurgiques +193% contre 69% et pour les matériaux de construction +40% contre +28%. Globalement pour l'année 1994, ces trois catégories de produits représentent 61% du tonnage échangé sur la liaison alors qu'ils ne représenteraient que 49% dans la situation théorique. Ils accroissent ainsi leur part globale (59% en 1975) alors qu'ils l'auraient diminuée dans la situation théorique (62% en 1975).

Ces principales modifications sectorielles affectant surtout les produits agricoles et agro-alimentaires, les produits métallurgiques et les matériaux de construction reflètent une évolution dans la nature des échanges entre les deux régions. Les causes de cette évolution sont à rechercher dans les facteurs structurels spatiaux ou socio-économiques qui d'un côté caractérisent les régions et de l'autre l'axe d'échange. En particulier, les modifications ayant affecté les systèmes productifs des deux régions ou les relations interindustrielles entre les deux régions sont à prendre en considération. Cette recherche des facteurs explicatifs de l'évolution des facteurs explicatifs et la modélisation de la dynamique structurelle des liaisons sera développée en partie III, lors de la construction des relations causales du modèle de simulation.

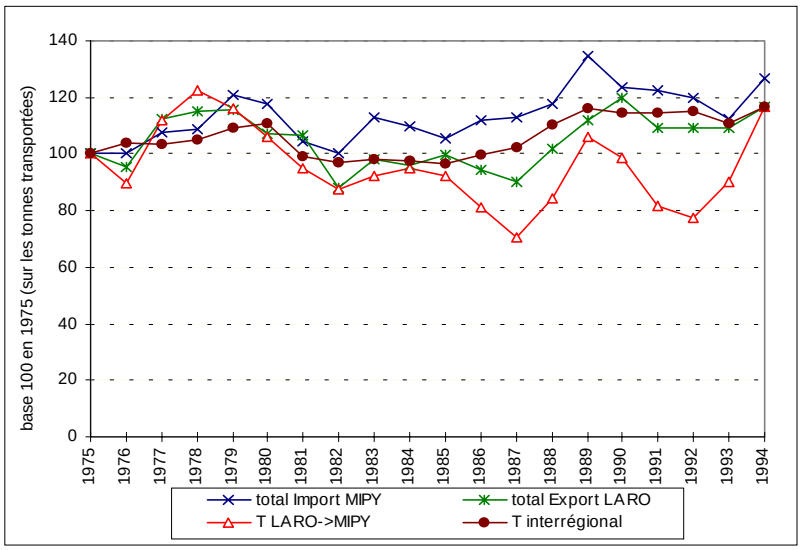
B. La liaison Languedoc-Roussillon vers Midi-Pyrénées

La relation structurelle de Languedoc-Roussillon vers Midi-Pyrénées présente un profil tout à fait opposé au précédent du point de vue de son évolution bien que l'intensité structurelle soit également élevée. Le niveau structurel de cette relation s'établit à 7 en début de période pour finir à 5,5 en fin de période. Cette relation est privilégiée mais les effets structurels positifs tendent à s'atténuer et/ou sont dépassés par un accroissement des effets de frein à l'échange.

Le fret généré par Languedoc-Roussillon vers Midi-Pyrénées ne connaît qu'une croissance limitée sur 20 ans, avec seulement +16,5%, passant de 2,8 millions de tonnes en 1975 à 3,3 millions en 1994. Cette croissance peu soutenue ne participe pas de façon importante à la hausse des exportations totales de Languedoc-Roussillon (+16,7%) et surtout à celle des importations de Midi-Pyrénées (+27%). La hausse du fret théorique potentiel entre les deux régions (produit des marges rapporté au total interrégional) est de plus en plus importante par rapport à la hausse observée et conduit donc à des coefficients structurels de plus en plus faibles. La part relative de la

région Midi-Pyrénées dans les exportations de Languedoc-Roussillon stagne autour de 25% alors que d'autres régions améliorent leur position, principalement Provence-Alpes-Côte-d'Azur (+ 41%), ou Rhône-Alpes (+ 6%). Réciproquement, la région Languedoc-Roussillon perd un peu d'importance dans les importations de Midi-Pyrénées (-8% sur la période, s'établissant à 25% en 1994), alors que PACA améliore sa position relative de +69% (part à 15% en 1994).

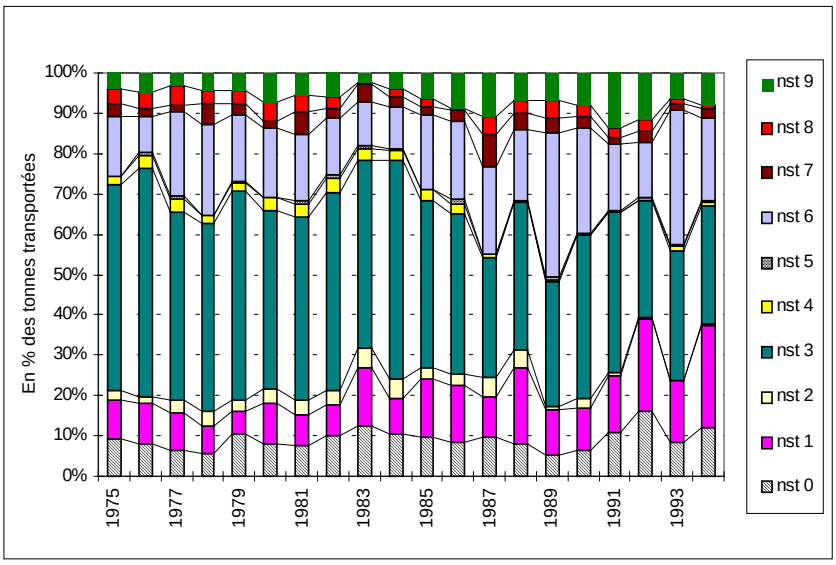
Graphique X-7. Evolution du tonnage de Languedoc-Roussillon vers Midi-Pyrénées



Du point de vue sectoriel, les échanges de Languedoc-Roussillon vers Midi-Pyrénées se caractérisent par des tonnages importants en produits pétroliers et gaz naturel, qui représentent en moyenne sur la période 42% du tonnage total. Les deux autres principaux postes sectoriels sont les matériaux de construction (19%) et les produits agro-alimentaires (12%).

Cette structure sectorielle connaît une évolution à long terme avec une baisse non négligeable des tonnages des produits énergétiques (-33% en tonnes et -43% en parts relatives) qui ne représentent plus en 1994 que 29% du tonnage total. La principale hausse provient essentiellement des produits agro-alimentaires qui augmentent de 200% en tonnes et de 165% en parts relatives. Les matériaux de construction sont également en augmentation sur la période.

Graphique X-8. Evolution de la structure sectorielle du fret LARO => MIPY



Ainsi, en 20 ans, les échanges de Languedoc-Roussillon vers Midi-Pyrénées se sont modifiés en structure, s'orientant vers une plus grande diversification. Le secteur agriculture a pratiquement doublé sa part relative (part relative de 40% en 1994 contre moins de 20% en 1975) et les produits pétroliers ne sont plus nettement prédominants (part relative de 51% en 1975 et de 29% en 1994).

En calculant les coefficients structurels par catégorie de produits, on s'aperçoit que la baisse du coefficient structurel global de la liaison provient des coefficients structurels relatifs aux produits pétroliers et gaz (nst3), aux produits chimiques (nst8) et aux minerais et déchets pour la métallurgie (nst4). Ces baisses ne sont pas compensées par les hausses des coefficients structurels relatifs aux produits agro-alimentaires, produits métallurgiques et matériaux de construction.

Tableau X-5. Evolution des coefficients structurels par catégorie de produits (LARO - MIPY)

	CS nst 75	T observé	T théorique	CS nst 94	T observé	T théorique
nst 0	5,06	257151	50783	4,36	388509	89081
nst 1	2,39	272157	113931	5,47	838476	153286
nst 2	8,09	66154	8179	5,69	9944	1747
nst 3	11,08	1436713	129617	8,08	955986	118381
nst 4	10,50	54393	5180	8,11	29796	3676
nst 5	0,15	860	5731	1,53	13036	8512
nst 6	8,51	422115	49588	10,54	671197	63688
nst 7	5,49	85531	15567	4,87	77799	15982
nst 8	6,73	98944	14698	2,35	27027	11492
nst 9	4,37	116598	26668	5,35	261245	48861

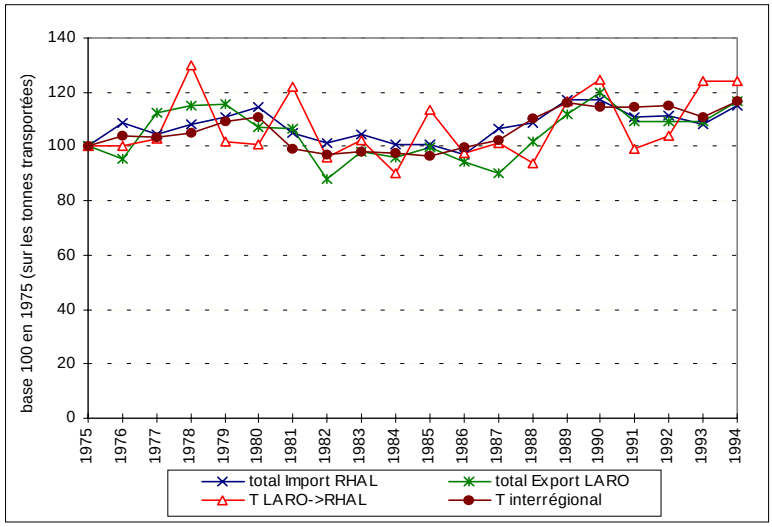
Le rééquilibrage de la structure sectorielle ne s'accompagne donc pas d'un renforcement de la relation d'échange, comme dans le cas de la liaison vers la région PACA. Les échanges de Languedoc-Roussillon vers ces deux régions, Provence-Alpes-Côte-d'Azur et Midi-Pyrénées, diffèrent donc assez fortement dans leur dominante sectorielle (matériaux de construction d'un côté, produits pétroliers de l'autre). Et cette distinction a son importance dans l'évolution divergente des deux liaisons d'échange. La structure sectorielle des exportations de Languedoc-Roussillon se modifie sur le long terme au profit des produits agricoles et manufacturés et au détriment des produits pétroliers et du gaz (cf. annexe VIII-3). Ainsi, la modification sectorielle des exportations de Languedoc-Roussillon se fait essentiellement à travers ses échanges avec ses deux régions voisines et en avantage une des deux, Provence-Alpes-Côte-d'Azur.

C. Une liaison privilégiée stable : Languedoc-Roussillon vers Rhône-Alpes

Les flux à destination de la région Rhône-Alpes possèdent une intensité structurelle élevée, avec un coefficient structurel moyen proche de 2, qui suit une tendance d'évolution relativement stable à long terme.

Le fret échangé vers Rhône-Alpes connaît une croissance à long terme peu soutenue, +24% sur 20 ans, mais qui compense globalement l'augmentation du tonnage potentiel imputable aux hausses des tonnages globalement exportés par Languedoc-Roussillon (+16,7%) et importés par Rhône-Alpes (+15%) rapportées à la hausse du tonnage total interrégional (+16,6%). Les positions relatives d'une région dans les échanges de l'autre ne se modifient pas. La position relative de Rhône-Alpes dans le fret émis par Languedoc-Roussillon n'évolue pratiquement pas (+6% sur la période pour atteindre une part 14% en 1994) tout comme la position de Languedoc-Roussillon dans les importations globales de Rhône-Alpes (+8% pour obtenir une part de 7,5% en 1994).

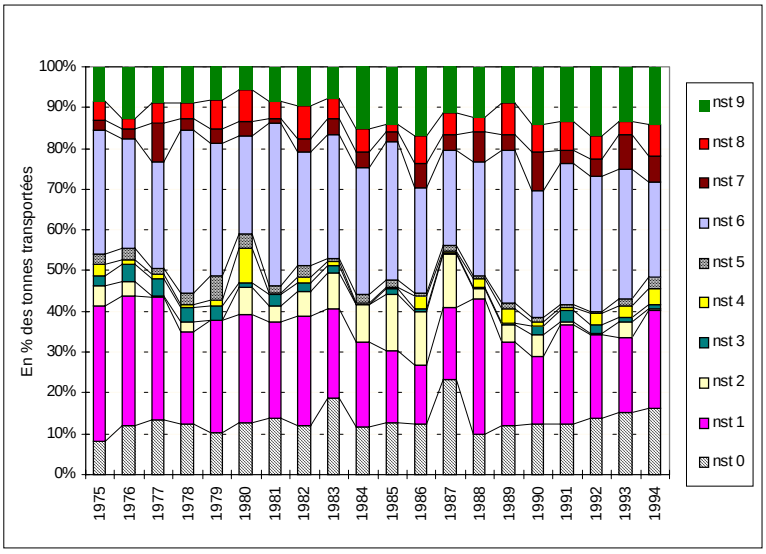
Graphique X-9. Evolution de la liaison Languedoc-Roussillon vers Rhône-Alpes en tonnes transportées



En termes de structure sectorielle, la liaison ne se distingue pas tellement de la structure générale du fret interrégional avec les 4 principaux postes que sont les matériaux de construction (part relative de 31% en moyenne sur la période 1975-1994), les produits agro-alimentaires (23%), les produits agricoles (13%) et les produits manufacturés (11%). Au cours de la période 1975-1994, la structure sectorielle tend à se rééquilibrer, les produits agro-alimentaires constituant le principal poste d'échange en 1994 avec 24% du tonnage échangé et les matériaux de construction le second avec 23%.

L'évolution de cette structure sectorielle reste limitée en comparaison des modifications ayant affecté les deux liaisons précédemment étudiées. En effet, seuls les produits agricoles, ayant un poids significatif en tonnage, présentent une évolution marquée (+152% en tonnage et +103% en part relative). Les matériaux de construction et les produits agro-alimentaires ne font l'objet que de faibles baisses (respectivement -23% et -28% en parts relatives).

Graphique X-10. Evolution de la structure sectorielle du fret



Concernant les coefficients structurels désagrégés par catégorie de produits, les modifications restent également limitées. Les fortes hausses des coefficients de deux catégories, produits

agricoles (nst0) et engrais (nst7), sont en grande partie compensées par les baisses de deux autres catégories, les combustibles minéraux solides (nst2) et surtout les matériaux de construction (nst6), ceux-ci pesant beaucoup plus en tonnage.

Tableau X-6. Evolution des coefficients structurels par catégorie de produits LARO-RHAL

	CS nst 75	T observé	T théorique	CS nst 94	T observé	T théorique
nst 0	1,68	117635	70164	2,79	296604	106313
nst 1	2,05	484458	235973	1,86	433311	233079
nst 2	2,45	70847	28896	0,45	4990	11039
nst 3	0,25	36478	143897	0,27	17706	66413
nst 4	2,49	39785	15966	3,63	71040	19582
nst 5	1,22	36303	29873	1,13	50322	44564
nst 6	4,21	445267	105801	2,68	423671	158095
nst 7	1,83	32518	17730	7,13	116427	16336
nst 8	1,14	67818	59347	2,61	136840	52433
nst 9	1,95	124333	63803	2,20	256509	116749

Les modifications limitées de la structure sectorielle semblent donc participer à la stabilité relative de l'intensité structurelle de cette liaison d'échange.

X-3-2. Des modifications sectorielles également présentes dans les liaisons désavantagées

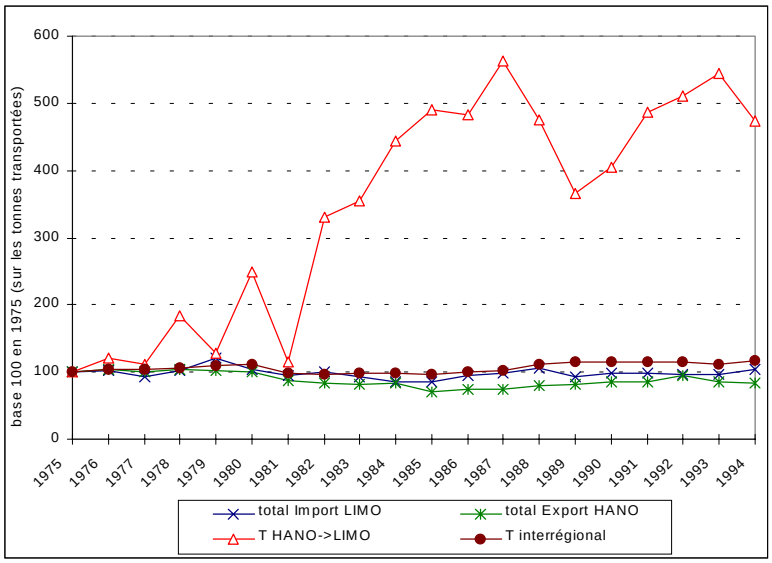
A l'instar des liaisons privilégiées, les liaisons désavantagées qui connaissent une forte évolution, surtout en variation relative, au cours de la période 1975-1994, présentent aussi d'importantes transformations dans leur structure sectorielle. Les deux liaisons désavantagées exposées ci-après, Haute-Normandie vers Limousin et Bretagne vers Poitou-Charentes, ont fait l'objet d'une très forte croissance au cours de la période d'observation, la liaison Bretagne vers Poitou-Charentes étant d'ailleurs devenue structurellement privilégiée. En revanche, les liaisons désavantagées et stables à long terme, telles que Nord-Pas-de-Calais – Aquitaine ou Centre - Franche-Comté, ne connaissent pas de modification dans leur structure sectorielle.

A. Les liaisons désavantagées et évolutives

Les flux d'échange de Haute-Normandie vers Limousin sont structurellement désavantagés mais connaissent depuis 1975 une évolution très positive en variation relative (+373%). Le montant des échanges passe ainsi de 47 000 tonnes en 1975 à 222 000 en 1994. Cette évolution se traduit en coefficients structurels (cf. annexe X-1) par un gain de 0,43 point (CS = 0,08 en 1975 et 0,51 en 1994).

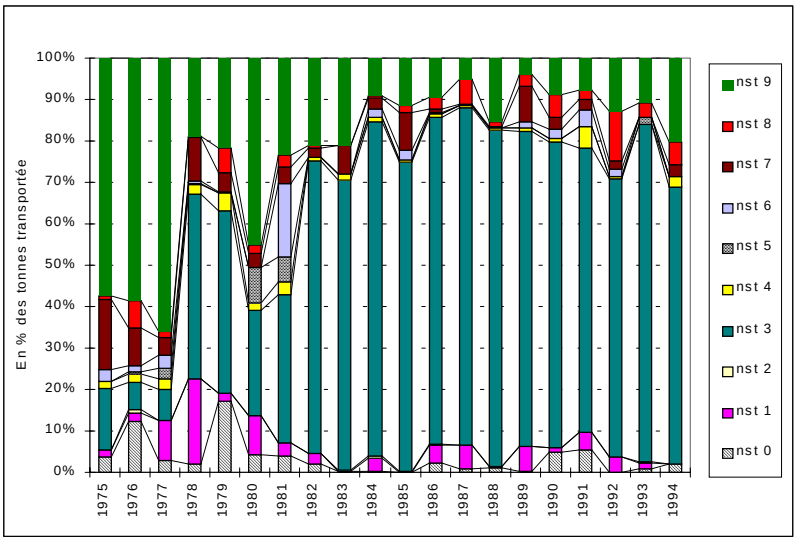
La liaison ne représente pas un flux d'échange important dans les volumes globaux générés par les deux régions mais sa part relative s'accroît nettement. Ainsi, la région Haute-Normandie représente près de 4% des importations du Limousin en 1994 alors qu'elle ne comptait que pour 0,8% en 1975. Réciproquement, la région Limousin accroît également fortement sa part relative dans les exportations de Haute-Normandie, même si elle reste marginale, passant de 0,15% en 1975 à 0,84% en 1994.

Graphique X-11. Variations annuelles des tonnages Haute-Normandie - Limousin



La structure sectorielle connaît sur la même période de fortes modifications imputables à deux catégories de produits, les produits pétroliers et les produits manufacturés. Ces derniers perdent 65% en parts relatives pour ne représenter plus que 20% des tonnages échangés en 1994 contre 57% en 1975. A l'opposé, les produits pétroliers connaissent une croissance explosive en part relative dès 1978 mais surtout à partir de 1982 (+348% atteignant une part de 67% en 1994).

Graphique X-12. Evolution sectorielle de la liaison Haute-Normandie - Limousin



L'amélioration structurelle de cette liaison repose du point de vue sectoriel essentiellement sur les produits pétroliers. En effet, entre 1975 et 1994, cette catégorie de produit accroît très fortement son intensité structurelle au point de devenir équilibrée par rapport au potentiel d'échange théorique estimé.

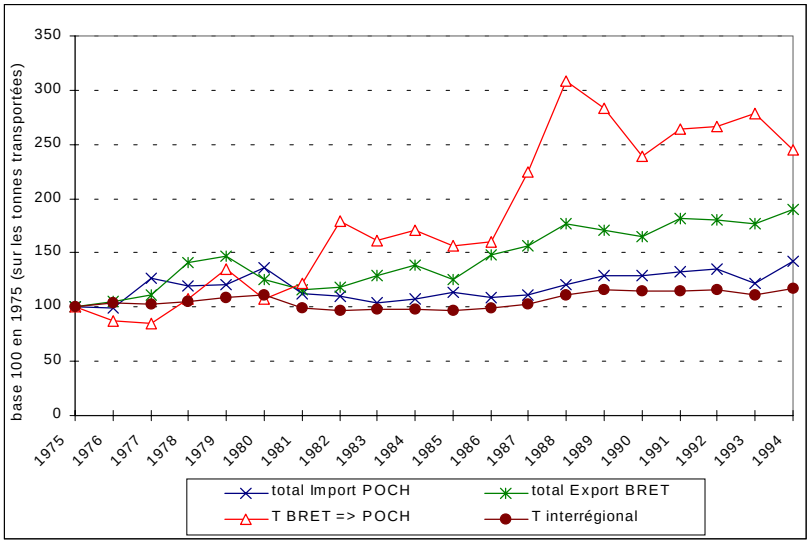
Tableau X-7. Evolution des coefficients structurels par catégorie de produits (HANO-LIMO)

	CS75/nst	T observé	T théorique	CS 94/nst	T observé	T théorique
nst 0	0,05	1789	34194	0,13	4350	32634
nst 1	0,02	724	42293	0,00	0	0
nst 2	0,00	0	0	0,00	0	0
nst 3	0,02	7006	314142	1,08	148375	137577
nst 4	0,95	826	872	1,54	5589	3625
nst 5	0,00	0	0	0,00	0	0
nst 6	0,01	1386	206827	0,00	0	0
nst 7	0,51	7808	15198	0,29	6539	22297
nst 8	0,02	450	22614	0,27	12227	44659
nst 9	0,70	26955	38669	0,52	44872	85690

Une autre liaison structurellement désavantagée et connaissant une évolution structurelle entre 1975 et 1994 atteste de l'existence d'une modification sectorielle conjointe à l'évolution structurelle. La liaison Bretagne - Poitou-Charentes, faiblement désavantagée en début de période, a aussi connu une forte amélioration structurelle sur les vingt années d'observation ainsi que des transformations sectorielles. L'intensité structurelle de la liaison gagne pratiquement 0,70 point, passant d'un coefficient structurel de 0,70 en début de période à près de 1,40 en 1994. Cette amélioration structurelle s'accompagne d'une hausse importante en volume transporté (+145%) pour atteindre 460 000 tonnes en 1994.

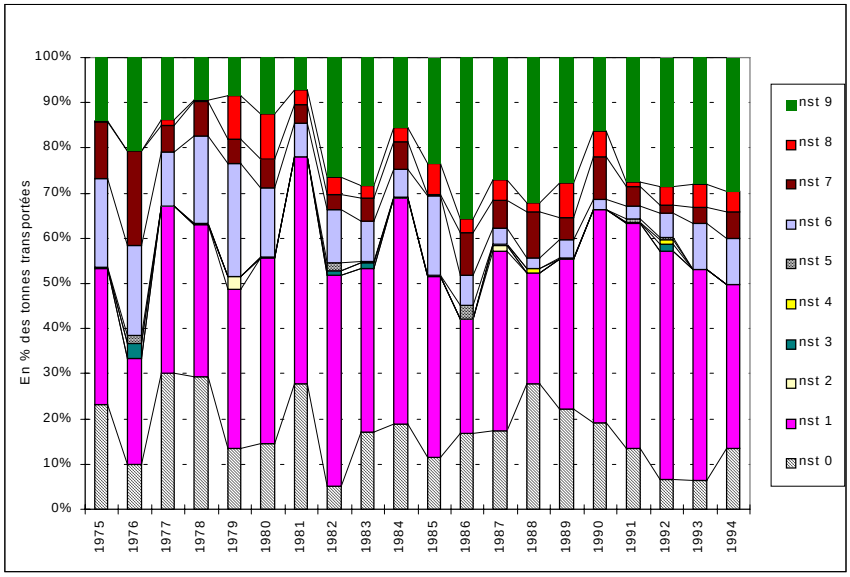
Cette liaison accroît sa position relative en particulier dans les importations de la région Poitou-Charentes. En 1994, la région Bretagne représente 3,7% du tonnage annuel émis par Poitou-Charentes, alors qu'elle n'en représentait que 2% en 1975.

Graphique X-13. Variations annuelles des tonnages Bretagne vers Poitou -Charentes



Cette évolution en volume physique et en coefficient structurel se produit conjointement à une modification sectorielle. Relativement équilibrée en début de période, la structure sectorielle de cette liaison est dominée en fin de période par les produits agro-alimentaires (36% des tonnages) et les produits manufacturés (30%). En outre, les produits chimiques connaissent une augmentation explosive sur la période passant de 0,3% du tonnage total à près de 5% en 1994.

Graphique X-14. Evolution sectorielle en chapitres N.S.T.



L'amélioration structurelle de cette liaison tient plus particulièrement aux branches des biens de consommation courante (produits manufacturés) et aux produits chimiques. Le coefficient structurel des produits manufacturés gagne en effet 0,80 point en niveau et celui des produits chimiques, plus de 3 points. L'amélioration structurelle de la liaison d'échange se traduit donc à nouveau par de fortes transformations sectorielles.

Tableau X-8. Evolution des coefficients structurels par catégorie de produits (BRET => POCH)

	CS nst 75	T observé	T théorique	CS nst 94	T observé	T théorique
nst 0	1,48	43705	29462	0,83	62042	74390
nst 1	0,64	56186	87126	0,63	167049	266465
nst 2	0,00	0	0	0,00	0	0
nst 3	0,00	0	0	0,00	0	0
nst 4	0,00	0	0	0,01	84	5992
nst 5	0,17	360	2069	0,01	14	1283
nst 6	1,49	37131	24868	1,36	46249	33954
nst 7	2,10	23166	11008	0,84	27094	32276
nst 8	0,30	614	2040	3,37	21429	6366
nst 9	0,84	26268	31106	1,70	135970	79804

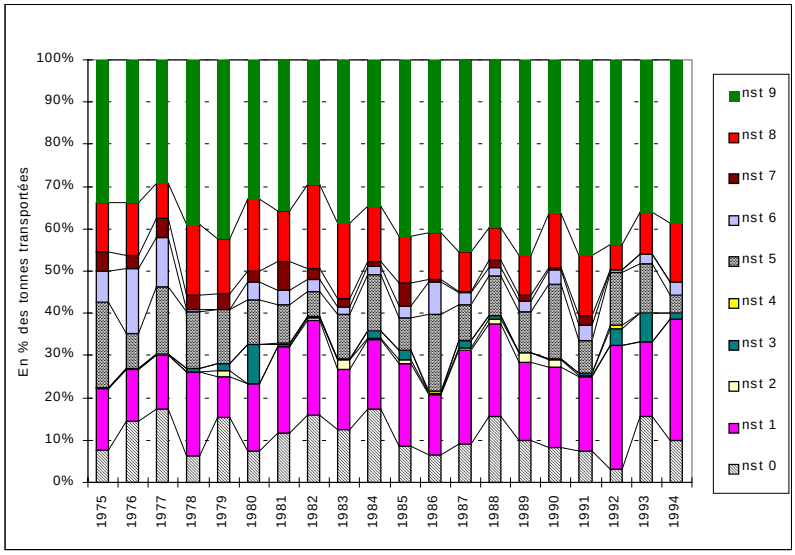
B. Invariance de la structure sectorielle pour les liaisons désavantagées stables

Les liaisons structurelles désavantagées ne connaissant pas d'évolution significative à long terme ne présentent pas de modification dans leur structure sectorielle. Deux exemples sont exposés, la liaison Nord-Pas-de-Calais - Aquitaine et la liaison Centre - Franche-Comté.

La liaison Nord-Pas-de-Calais - Aquitaine est désavantagée (CS = 0,36 en moyenne) sur l'ensemble de la période 1975-1994. Elle correspond à un tonnage de l'ordre de 312 000 tonnes, qui représente moins de 4% à la fois des exportations du Nord-Pas-de-Calais et des importations de l'Aquitaine et qui en outre stagne également sur la même période. De ce fait, le tonnage observé reste inférieur au tonnage potentiel obtenu par le produit des marges des deux régions impliquées.

La structure sectorielle de cette liaison reste pratiquement inchangée sur la période. Les seules modifications, parfois non négligeables en variation relative, ne concernent toutefois que des postes marginaux en volumes transportés et n'affectent pas la structure sectorielle d'ensemble.

Graphique X-15. Evolution sectorielle de la liaison Nord-Pas-de-Calais - Aquitaine



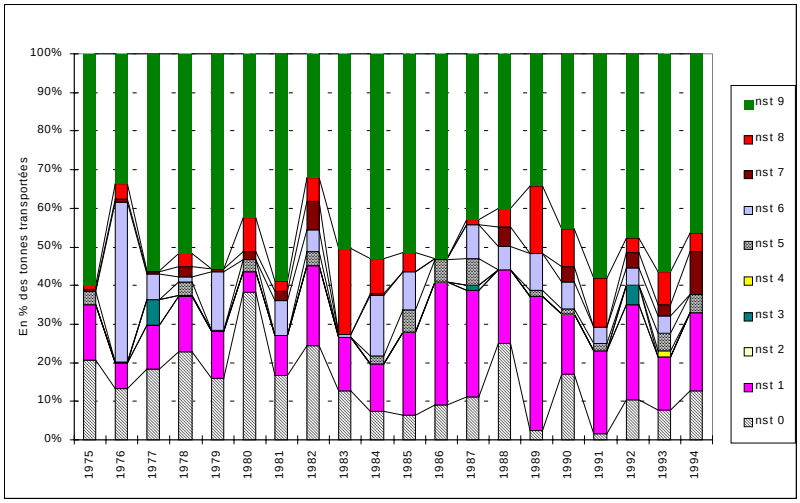
En conséquence, les coefficients structurels par catégorie de produits ne connaissent pas non plus de variation importante, si ce n'est pour des catégories de produits pesant faiblement en tonnage (par exemple, les engrais, nst 7).

Tableau X-9. Evolution des coefficients structurels par catégorie de produits (NPDC-AQUI)

	CS 75/nst	T observé	T théorique	CS 94/nst	T observé	T théorique
nst 0	0,45	27961	62396	0,61	33419	54587
nst 1	0,49	52089	107079	0,56	94792	169646
nst 2	0,01	365	0	0,00	0	0
nst 3	0,02	279	0	0,32	4848	0
nst 4	0,73	899	0	0,00	0	0
nst 5	0,77	73018	94393	0,22	14550	64940
nst 6	0,17	26571	152526	0,04	10051	247296
nst 7	0,31	16665	53892	0,00	0	0
nst 8	0,60	42505	71206	0,72	46077	64255
nst 9	0,89	122336	137465	0,63	128579	202549

Ce constat d'invariance relative de la structure sectorielle pour les liaisons structurelles stables à long terme se vérifie également pour la liaison Centre - Franche-Comté. Cette liaison fortement désavantagée (CS=0,25 en moyenne) ne connaît ni amélioration structurelle ni modification sectorielle à long terme. La hausse des tonnages transportés sur cette liaison ne provient donc que de la dimension conjoncturelle, à savoir les croissances économiques nationale et régionale. La structure sectorielle est nettement dominée par les produits manufacturés et les seules modifications importantes en variations relatives ne concernent que des postes marginaux.

Graphique X-16. Evolution sectorielle de la liaison Centre vers Franche-Comté



Ainsi, cette analyse sectorielle fait ressortir une relation entre l'évolution des coefficients structurels et la modification de la structure sectorielle des tonnages échangés. Cette analyse descriptive met donc en évidence un rôle tout à fait central des facteurs socio-économiques qualitatifs tenant aux transformations des systèmes productifs ou distributifs régionaux, participant à l'échange, dans l'évolution de la dimension structurelle des échanges interrégionaux de marchandises.

Conclusion

Chapitre IV

L'analyse spatiale de la dimension structurelle des flux d'échange interrégionaux et de son évolution à long terme a mis en évidence quatre éléments fondamentaux dans l'optique de modélisation de la distribution spatiale des transports de marchandises.

Le premier élément est l'existence d'une structure spatiale du fret interrégional fortement liée aux effets de proximité géographique. Cette structure tissée par les principales liaisons structurelles privilégiées relie essentiellement des régions ayant une frontière commune ou étant géographiquement proches. Cette analyse spatiale très globale permet aussi de mettre en évidence les effets discriminants de la séparation spatiale en tant que frein aux échanges, présents également dans la logique gravitaire d'analyse spatiale. Toutefois, l'analyse par les coefficients structurels se distingue par la mise en exergue des effets permissifs de la proximité spatiale, définie comme une contiguïté interrégionale.

Le second élément porte sur la division du territoire qui s'établit entre des régions structurellement plus favorisées et d'autres plus désavantagées pour diffuser leurs marchandises sur le marché national. Ainsi, les régions du Sud et de l'Ouest bénéficient davantage d'effets structurels positifs à l'échange interrégional de marchandises que les régions du Nord et de l'Est.

Le troisième élément se rapporte à la dynamique structurelle du fret interrégional. Celle-ci est fortement marquée par une inertie de long terme qui se manifeste par une invariance du niveau moyen de l'intensité structurelle des liaisons interrégionales. Cette stabilité est toutefois enrayée par la présence de quelques inflexions significatives. Ces rares évolutions structurelles traduisent une lente mutation de l'organisation spatiale des activités et du système productif ainsi que de la distribution spatiale du fret. Ces inflexions sont intéressantes en termes de prospective spatiale, du fait qu'elles relèvent essentiellement des liaisons structurelles privilégiées et qu'elles suivent une tendance à la baisse alors que les relations désavantagées présentent plutôt des améliorations. Ainsi, la stabilité générale de la structure spatiale du fret présente une légère tendance à long terme qui va dans le sens d'un lent rééquilibrage spatial.

Le quatrième et dernier élément fait ressortir l'existence d'une relation entre l'évolution de l'intensité structurelle et la modification de la structure sectorielle du fret échangé. L'examen de l'évolution de la structure sectorielle de liaisons d'échange, privilégiées comme désavantagées, a révélé un effet sectoriel dans l'évolution structurelle des liaisons interrégionales d'échange. En revanche, les liaisons présentant une inertie temporelle ne connaissent pas de déformation de leur structure sectorielle.

PARTIE III

LE MODELE QUINQUIN FRET MULTIREGIONAL

L'ensemble des éléments méthodologiques et des caractéristiques spatiales et socio-économiques du territoire national, structurelles et conjoncturelles du fret intra- et interrégional est exploité en partie III sous l'angle de la modélisation spatiale des transports de marchandises.

L'élaboration du modèle spatialisé QuinQuin Fret Multirégional (chapitre V) s'appuie sur deux éléments méthodologiques. Le premier élément fait référence aux acquis méthodologiques issus de précédentes modélisations macro-économiques développées au L.E.T.[1] en transport de personnes et de marchandises. Il correspond à l'utilisation d'élasticités variables pour modéliser l'évolution des volumes générés, car ce type d'élasticités restitue mieux la réactivité et les phénomènes d'amplification du transport de marchandises vis à vis des variations de la conjoncture économique ou industrielle (section XI). Le second élément porte sur les apports de la méthode des coefficients structurels pour modéliser la structure spatiale du fret (section XII) et pour combiner les deux dimensions du fret, que sont la dimension conjoncturelle liée à la croissance économique et la dimension structurelle liée à la structuration spatiale et socio-économique du territoire, dans la modélisation globale des flux d'échange en transport de marchandises.

A partir de ces fondements méthodologiques, le modèle spatialisé du fret a pour objectif de retranscrire les évolutions passées de long terme des transports intrarégionaux et interrégionaux et de simuler les évolutions possibles à long terme sous des hypothèses contrastées de croissance économique et de contextes d'aménagement du territoire (Chapitre VI).

[1] Les modèles développés au L.E.T. selon une même méthodologie de modélisation sous la direction scientifique d'Alain Bonnafous ont porté initialement sur le transport de personnes, les modèles Grosquinquin (Bouf, 1989) et Petitquinquin (Tabourin, 1989), pour être étendus par la suite au transport de marchandises, le modèle QuinQuin Fret (Latreille, 1997). L'intitulé d'origine " QuinQuin " a été conservé dans le présent modèle en tant que référence à ces précédents travaux. Cet intitulé avait à l'origine comme signification " QUalités INtroduites, QUantités INsolvables " dans les modèles de transport de personnes qui traitaient du financement des réseaux de transport collectifs urbains des agglomérations parisienne et lyonnaise.

Chapitre V

La construction du modèle QuinQuin Fret Multirégional

Le modèle QuinQuin Fret Multirégional s'articule selon deux sous-modèles relatifs chacun aux deux échelles géographiques de trafic, le fret intrarégional et le fret interrégional. Ces deux sous-modèles sont indépendants par construction car ils font référence à des transports relevant de logiques différentes. Le fret interrégional s'apparente au transport interurbain entendu comme transport massif d'approche sur des lieux de groupage-dégroupage des produits (plates-formes nationales, régionales ou urbaines). Le fret intrarégional s'apparente à du transport local de distribution finale ou de courte distance, généralement entre les lieux de groupage-dégroupage et les lieux de distribution finale.

Les deux sous-modèles sont organisés selon une même architecture et ont été construits selon la même démarche méthodologique de modélisation. Ils diffèrent sur le nombre de modules intégrés. Le modèle de simulation du fret intrarégional ne comprend qu'un module de génération, et le modèle de simulation du fret interrégional comprend un module de génération et un module de distribution spatiale. Les modules de génération portent sur la modélisation des tonnages annuels intrarégionaux, émis ou reçus globalement par les régions, autrement dit la relation " Production-Transport ". Le module de distribution spatiale s'intéresse à la répartition des tonnages générés entre les différentes régions d'origine et de destination des flux, c'est-à-dire la relation " Espace-Transport ".

La phase de génération du fret (section XI) consiste à mettre en relation les variations des tonnages générés aux fluctuations de la conjoncture économique ou industrielle et ainsi à modéliser l'effet conjoncturel du transport de marchandises.

La phase de distribution spatiale (section XII) étudie les relations pouvant exister entre *l'intensité structurelle* des échanges interrégionaux de marchandises, exprimée par les coefficients structurels, et des facteurs structurels, soit d'ordre spatial qualifiant les liaisons d'échange interrégionales, soit d'ordre socio-économique exprimant les atouts spécifiques à l'émission et à la réception des différentes régions d'origine et de destination, telles que les opportunités ou débouchés productifs ou de consommation.

La construction du modèle a été développée en deux étapes. Une première étape est réalisée en statique, ou en coupe transversale, dans le but de repérer les liens de causalité pouvant exister d'une part, entre les tonnages transportés et les structures socio-économiques régionales dans la phase de génération, et d'autre part, entre l'intensité structurelle des échanges et les facteurs structurels qualifiant les liaisons géographiques interrégionales ou les lieux d'échange, dans la phase de distribution spatiale. La seconde étape consiste à établir des relations fonctionnelles entre les variations annuelles des tonnages et de la croissance économique dans la phase de génération, et entre les variations des coefficients structurels et des facteurs spatiaux ou socio-économiques régionaux, dans la phase de distribution spatiale.

L'imbrication de ces différents modules est explicitée dans l'architecture complète du modèle QuinQuin Fret Multirégional présentée en première partie dans le schéma III-1.

Section XI.

Les relations conjoncturelles et la génération du fret

Un lien direct et positif existe logiquement entre le volume de biens produits et celui de biens transportés. Toutefois, cette relation intuitive qui est relativement simple à décrire, est beaucoup plus complexe à modéliser, c'est-à-dire à exprimer à travers une formulation mathématique mettant en relation des variables explicatives et des variables expliquées. La sensibilité du fret à la croissance économique ou industrielle a été mise en évidence dans plusieurs études descriptives sur l'évolution du fret national (Savy, 1996) ou dans des modèles de simulation ou de prévision du fret national (Girault et Bouton, 1994 ; Girault, Blain et Meyer, 1995 ; Latreille, 1997). Dans les modèles nationaux de transport, la sensibilité du fret à la croissance économique ou industrielle est modélisée par une relation temporelle entre un indicateur économique national (I.P.I., P.I.B., ...) et un indicateur de transport, le tonnage-kilométrique dans le cas des modèles du S.E.S. (Girault, Bouton, 1994 ; Girault, Puig, 1996) et le tonnage dans le cas du modèle QuinQuin Fret (Latreille, 1997).

Ces analyses s'inscrivent dans une approche " a-spatiale " de modélisation et n'abordent pas la distribution spatiale du fret. Dans le modèle Quinquin Fret, l'évolution des distances de transport est toutefois intégrée : " *Les évolutions du tonnage-kilométrique sont segmentées en fonction d'une part, du tonnage généré par la croissance industrielle et, d'autre part, de l'impact de l'organisation spatiale des échanges de marchandises en termes de distance moyenne de transport sur le territoire national. Les variations du tonnage transporté sont corrélées aux variations de la conjoncture industrielle. En revanche, les déterminants de l'évolution de la distance moyenne de transport ne sont pas isolés. Nous faisons l'hypothèse d'un prolongement temporel des tendances passées de la distance de transport* " (Latreille, 1997). De ce fait, l'évolution des facteurs démographiques ou socio-économiques caractérisant les différents lieux du territoire national ne sont pas intégrés comme des variables explicatives de l'évolution du volume de transport exprimé en tonnes-kilomètres parcourues. Et il en est de même des facteurs d'ordre spatial affectant l'orientation géographique des flux tel que le développement de l'offre de transport routière ou ferroviaire. Tous ces facteurs constituent dans les modèles de niveau national des paramètres inchangés dans le corps d'hypothèses " *toutes choses égales par ailleurs* ".

L'approche spatiale en modélisation des transports a donc comme objectif de s'intéresser à l'impact de la division spatiale des activités économiques sur l'évolution du fret c'est-à-dire aux effets que peut avoir l'évolution de l'organisation spatiale du système productif (répartition des emplois, de la valeur ajoutée, ...), des spécificités sectorielles régionales (spécialisations sectorielles ou fonctionnelles, ...) et de la structuration du territoire par l'offre de transport (distances, capacités routières entre les régions, ...) et des superstructures (implantation de plates-formes logistiques de groupage-dégroupage des produits, ...). La modélisation spatiale permet aussi de tenir compte d'effets propres au découpage géographique de l'espace national, pouvant affecter les volumes de transport générés ou échangés annuellement par les régions, tels que les effets d'autocorrélation spatiale. Le repérage des effets d'autocorrélation spatiale peut s'effectuer soit dans la phase de modélisation en tant que facteur affectant la qualité des résultats des régressions

soit dans une phase d'analyse exploratoire des données spatiales de transport. Une telle investigation préalable sur les données de transport présente l'avantage de s'assurer de l'indépendance des données exploitées, qui constitue une des hypothèses de base de la modélisation linéaire, et d'éviter des erreurs liées à une spécification inadaptée en présence d'effets d'autocorrélation spatiale.

XI-1. Fret régional et activité économique régionale : repérage statique des liens Production-Transport

XI-1-1. Analyse spatiale quantitative du fret

Si l'on se réfère à la définition de Denise Pumain et Thérèse Saint Julien (1997) de l'autocorrélation spatiale, "l*'autocorrélation spatiale mesure l'intensité de la relation entre la proximité des lieux et leur degré de ressemblance"*, l'analyse spatiale quantitative du fret interrégional et du fret intrarégional consiste alors à déceler l'existence d'un effet d'autocorrélation spatiale sur les tonnages générés par les régions du seul fait de leur position géographique mutuelle. Cette analyse a le double objectif de mettre en évidence l'existence d'un éventuel facteur explicatif des tonnages générés, qui est la prise en compte de l'espace par un découpage géographique particulier, et de garantir l'absence de biais statistique dans les liaisons statistiques établies ultérieurement entre les variables de transport et celles de croissance économique, qui serait lié à un effet d'autocorrélation spatiale.

Les effets d'autocorrélation spatiale sont des interactions entre variables de même nature (taux de croissance démographique régionaux, indicateurs économiques régionaux, volumes de fret régionaux, ...) sans intervention de variables extérieures. Ces effets se produisent du fait même de la proximité spatiale entre les zones d'étude qui favorise les interactions. Les effets d'autocorrélation spatiale font intervenir une nouvelle dimension dans l'analyse et la modélisation des paramètres économiques. Au volume et à la structure des observations s'ajoute l'effet de la position relative des observations : "*plus deux zones géographiques sont proches l'une de l'autre, plus leurs interactions sont susceptibles d'être importantes*" (Jayet, 1993) ou " *du fait du simple jeu de l'interaction spatiale, ce qui se passe en un lieu a de fortes probabilités de dépendre de ce qui se passe dans les lieux voisins ou proches*" (Pumain, Saint-Julien, 1997).

L'autocorrélation spatiale se décline selon deux types, positive et négative. L'autocorrélation positive signifie que les valeurs prises par une variable sont plus proches pour des lieux voisins ou contigus que pour des lieux éloignés géographiquement. L'autocorrélation négative a trait à la situation inverse, dans laquelle les valeurs prises par une variable sont plus différenciées pour des zones proches ou contiguës que pour des zones éloignées.

Le point de départ de notre analyse est l'observation de la structure régionale des tonnages émis, reçus et intrarégionaux. L'outil cartographique (Cf. figures VIII-1) fournit une première vision intuitive de l'existence d'autocorrélation spatiale : "*sur une carte, la présence d'autocorrélation spatiale se traduira par le regroupement d'observations voisines dans la même classe ; son absence apparaîtra sous la forme d'une dispersion des zones appartenant à une même classe sur tout le territoire*" (Jayet, 1993).

L'estimation statistique de la présence d'autocorrélation spatiale repose sur le calcul de coefficients d'autocorrélation et de tests de validité de la valeur de ces coefficients. Les deux coefficients les plus connus et employés pour déceler et exprimer l'autocorrélation spatiale sont les coefficients de Moran (1948) et de Geary (1954), dont l'utilisation a été fortement développée par Cliff et Ord (1971 ; 1973).

A. Coefficients d'autocorrélation spatiale et méthode d'analyse

Le coefficient de Moran, *M*, est un rapport entre la covariance des observations contiguës et la variance totale des observations de la série étudiée.

$$M = \frac{\sum_{i \neq j} Cij(x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{W} \Bigg/ \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n} \qquad \text{[XI-1]}$$

avec *i* et *j* : deux unités spatiales
n : total d'unités spatiales
Cij = lien entre *i* et *j*
(*Cij* = 1 si contiguïté ou =0 si non contiguïté, en contiguïté stricte)
$W = \sum_{i \neq j} C_{ij}$
x : l'observation étudiée (tonnages exportés, ...)
$\bar{x}$: moyenne des observations pour l'ensemble des unités spatiales.

L'interprétation du coefficient de Moran est très simple : la covariance est nulle en l'absence d'autocorrélation (M = 0), positive en présence d'autocorrélation positive (M>0) et négative en présence d'autocorrélation négative (M < 0).

La région d'acceptation des résultats des coefficients d'autocorrélation est définie à l'aide d'un test de qualité équivalent au test bilatéral de l'hypothèse nulle : H0 = 0 et H1# 0. L'intervalle d'acceptation de la valeur du coefficient est déterminé par la loi normale, au seuil de 5% :

$$[E(M) - 1{,}96\sqrt{nV(M)/(n-1)}; E(M) + 1{,}96\sqrt{nV(M)/(n-1)}]. \qquad \text{[XI-2]}$$

L'espérance mathématique et la variance du coefficient sont différentes selon que la distribution des observations suit une loi normale ou une répartition aléatoire. Dans l'hypothèse d'une répartition aléatoire (cas de nos observations) l'espérance mathématique et la variance du coefficient de Moran sont données par les expressions suivantes (Cliff et Ord, 1971) :

$$E(M) = -1 / [n*(n-1)] \qquad \text{[XI-3]}$$

$$V(M) = \left[\frac{n\left[(n^2 - 3n + 3)S_1 - nS_2 + 3W^2\right] - b\left[n(n-1)S_1 - 2nS_2 + 6W^2\right]}{(n-1)(n-2)(n-3)W^2} \right] - \frac{1}{(n-1)^2} \qquad \text{[XI-4]}$$

avec $Z_1 = \left[\sum_{i \neq j} \left(C_{ij} + C_{ji}\right)^2 \right] / 2$; $Z_2 = \left[\sum_i \left(C_{i.} + C_{.i}\right)^2 \right]$ avec : $C_{i.} = \sum_j C_{ij}$ et $C_{.i} = \sum_j C_{ji}$

$$b = \left[\sum_i \left(x_i + \bar{x}\right)^4 \right] / \left[\sum_i \left(x_i - \bar{x}\right)^2 \right]^2 \quad \text{(kurtosis empirique)}$$

Le coefficient de Geary, *G*, est, à un facteur 1/2 près, la variance pondérée des différences x_i-x_j entre observations contiguës. Cette variance est faible en présence d'autocorrélation spatiale positive et forte en présence d'autocorrélation spatiale négative. En l'absence d'autocorrélation, le coefficient est proche de l'unité.

$$G = \frac{\sum_{i \neq j} Cij(x_i - x_j)^2}{2W} \Bigg/ \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \qquad \text{[XI-5]}$$

A l'instar du coefficient de Moran, le test de qualité du résultat est un test bilatéral de l'hypothèse nulle : H0 = 0 et H1# 0 avec l'intervalle d'acceptation suivant :

$$[E(G) - 1{,}96\sqrt{nV(G)/(n-1)}; E(G) + 1{,}96\sqrt{nV(G)/(n-1)}] \qquad \text{[XI-6]}$$

Dans l'hypothèse d'une répartition aléatoire des observations, l'espérance mathématique et la variance se calculent de la façon suivante (Cliff et Ord, 1971) :

$$E(G) = -1 \qquad \text{[XI-7]}$$

$$V(G) = \frac{\left\{(n-1)\left[n^2 - 3n + 3 - (n-1)b\right]S_1 - (n-1/4)\left[n^2 + 3n - 6 - (n^2 - n + 2)b\right]S_2 + \left[n^2 - 3 - (n-1)^2 b\right]W^2\right\}}{\left[n(n-2)(n-3)W^2\right]} \qquad \text{[XI-8]}$$

Enfin, l'estimation d'effets d'autocorrélation spatiale nécessite de retenir une définition et une expression de la proximité spatiale entre les régions. Cette expression est généralement donnée par une matrice carrée de contiguïté, *Cij*, de format (n, n). Les différentes définitions de la proximité et par conséquent de la contiguïté peuvent avoir un impact différencié sur les résultats des tests d'autocorrélation spatiale. Ce problème a été illustré par Cliff et Ord dans le cas des déplacements des différentes pièces d'un échiquier, exemple repris par Jayet (1993).

B. Analyse quantitative sur les tonnages régionaux générés

L'observation des représentations cartographiques des tonnages régionaux générés (cf. figures VIII-1) ne fait pas ressortir *a priori* d'effets d'autocorrélation spatiale, autrement dit de similitude forte entre le fret des régions contiguës en comparaison de celui de régions géographiquement éloignées.

L'expression de la contiguïté retenue pour l'analyse exploratoire des effets d'autocorrélation spatiale sur les tonnages régionaux générés est la contiguïté stricte (0,1), qui correspond à la présence ou non d'une frontière commune (cf. annexe VI-4). La contiguïté stricte est considérée afin de tenir compte de l'impact important de la proximité spatiale exprimée par les niveaux élevés des coefficients structurels entre régions contiguës et les niveaux relativement plus faibles entre régions non contiguës (cf. section IX).

Après calcul des coefficients d'autocorrélation, aucune autocorrélation spatiale n'est détectée pour les trois catégories de tonnage (exporté, importé et intrarégional). La position géographique relative des régions n'interfère donc pas sur l'importance des tonnages générés par les régions en local, en émission ou en réception interrégionale.

Tableau XI-1. Tests d'autocorrélation spatiale sur les tonnages régionaux générés en 1994

Coefficients	Emission	Réception	Fret local
Moran	0,17	0,10	-0,16
Geary	0,94	1,04	1,25
	intervalle d'acceptation	*intervalle d'acceptation*	*intervalle d'acceptation*
Moran	[-0,27 ; 0,26]	[-0,21 ; 0,20]	[-0,26 ; 0,26]
Geary	[0,66 ; 1,34]	[0,45 ; 1,55]	[0,62 ; 1,38]

L'absence d'autocorrélation sur les niveaux des tonnages générés annuellement par les régions en 1994, en considérant une matrice de contiguïté stricte, est suffisamment nette pour ne pas développer une analyse complémentaire basée sur d'autres mesures de la contiguïté. Ces résultats autorisent en outre à utiliser la méthode de régression des moindres carrés ordinaires pour la modélisation de l'évolution du fret généré par les régions, cette méthode étant considérée comme statistiquement plus fiable en cas d'absence d'autocorrélation spatiale sur les variables à expliquer.

XI-1-2. Les déterminants économiques régionaux des volumes physiques générés

La modélisation statique consiste à mettre en relation les tonnages locaux, exportés ou importés annuellement par les différentes régions et des indicateurs socio-économiques régionaux. La phase de génération est développée de façon indépendante pour les trois types de trafic. Cette distinction systématique des importations et des exportations dans le fret interrégional est indispensable pour développer ultérieurement la phase de distribution spatiale du fret, et s'explique en termes économiques par le jeu de facteurs d'attraction ou d'émission distincts agissant sur les volumes importés d'un coté et sur les volumes exportés de l'autre. En effet, les volumes exportés sont davantage liés à des facteurs économiques de production et sont généralement mis en relation avec des agrégats de richesse économique tels que le Produit Intérieur Brut (P.I.B.). Les importations sont en revanche fonction à la fois de facteurs de la sphère de la consommation et par conséquent du bassin de consommation des lieux récepteurs (estimé par des indicateurs de population ou de revenu des ménages) et de facteurs de la sphère productive pour les biens intermédiaires utilisés dans le cadre de nouveaux processus de production.

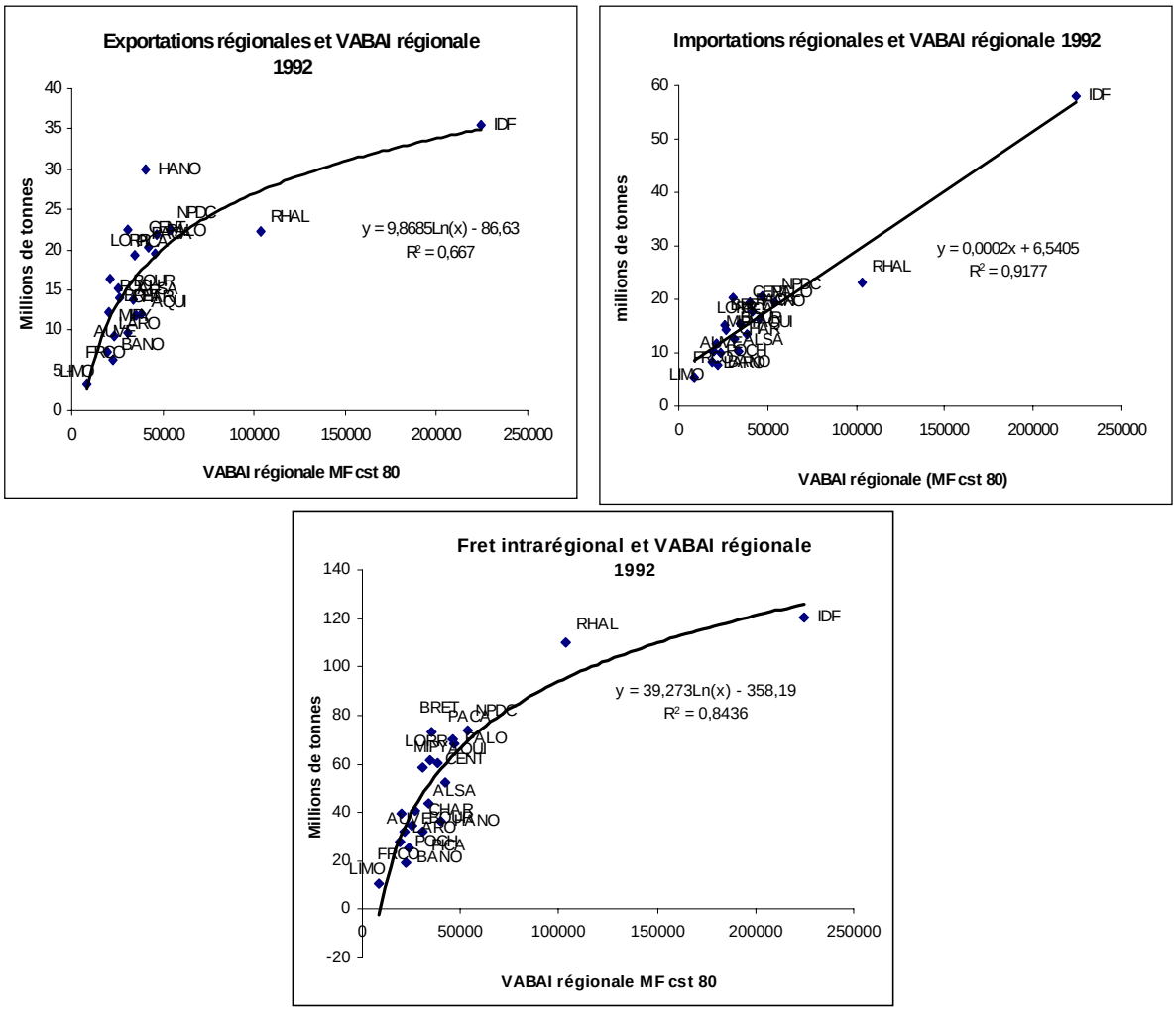
A. Echanges interrégionaux et structures socio-économiques régionales

La mise en relation des tonnages régionaux avec des variables socio-économiques régionales fait ressortir l'existence d'une liaison entre le niveau de tonnage transporté localement, émis ou reçu et la richesse économique régionale. Les tests sont effectués sur les statistiques de l'année 1992 qui constitue l'année la plus récente pour laquelle un plus grand nombre de statistiques économiques régionales est disponible.

Les fonctions d'ajustement sont croissantes et positives, généralement de type linéaire ou logarithmique. La spécification est pratiquement identique quelle que soit la variable exogène considérée (V.A.B., emploi, population ou R.D.B.). Les meilleurs ajustements sont généralement

obtenus avec la valeur ajoutée agricole et industrielle régionale comme variable explicative. On remarque toutefois que la qualité des relations (cf. graphiques XI-1) est fortement dépendante de la position excentrée de la région Ile de France tant par son activité économique que par ses tonnages générés.

Graphiques XI-1. Tonnages régionaux et VAB agricole et industrielle régionale (VABAI) -1992-



A-1. Les exportations régionales

Les premiers modèles obtenus sont de qualité statistique moyenne et présentent des résultats fortement liés à la position particulière de la région Ile de France et dans une moindre mesure de la région Haute-Normandie. La non prise en compte de ces régions, soit isolément soit conjointement, modifie en effet sensiblement la qualité des résultats.

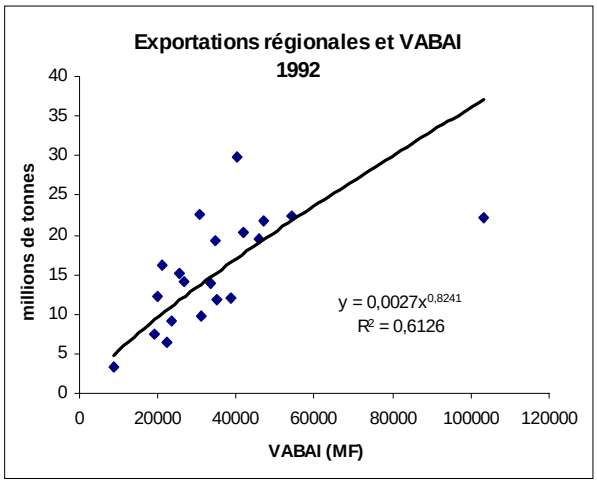
Tableau XI-2. Coefficients de corrélation - tonnages exportés -1992-

	toutes régions	sans IDF	Sans HANO	Sans HANO et IDF
VAB	0,67	0,53	0,76	0,65
VABAI (agri + indus)	0,71	0,60	0,78	0,66
population	0,70	0,51	0,80	0,66
emploi total salarié	0,68	0,52	0,78	0,66
emploi agri+indus	0,73	0,20	0,55	0,69
RDB	0,67	0,49	0,77	0,63
Emploi Transport	0,69	0,62	0,75	0,66

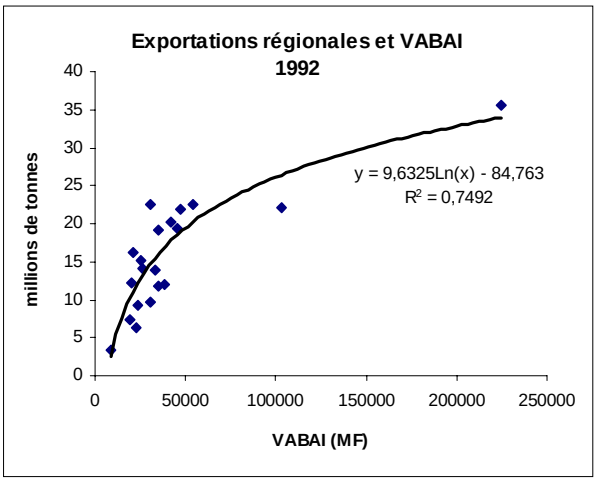
La région Ile de France, qui concentre une part importante de la richesse économique du pays, tend à favoriser la relation croissante entre le tonnage exporté et le potentiel économique régional et accroît ainsi fortement la variance de la distribution statistique d'ensemble, ce qui a pour conséquence d'améliorer sensiblement la relation économétrique. La position de la région Haute-Normandie joue un rôle tout à fait opposé ce qui peut s'expliquer par le fait que ses exportations nationales ne sont pas liées seulement à son activité économique mais aussi au commerce international réalisé *via* le port du Havre.

Graphique XI-2 Tonnages exportés et VAB agricoles et industrielles régionales (1992)

Sans Ile de France



Sans Haute-Normandie



L'existence d'une corrélation linéaire entre le fret exporté et l'activité économique régionale, mesurée par la valeur ajoutée brute ou l'emploi, est exprimée par une valeur relativement élevée du coefficient de détermination (R^2). Toutefois, les modèles obtenus ne permettent pas d'expliquer de façon satisfaisante le niveau des tonnages exportés par l'ensemble des régions pour une année donnée, puisqu'ils ne rendent compte au mieux que de 67% de la variance des niveaux de tonnages exportés (en conservant la région Ile de France). Le meilleur ajustement est obtenu avec la V.A.B. agricole et industrielle régionale (les ajustements sont présentés en annexe XI-1).

Tableau XI-3. Relations tonnage exporté et structure socio-économique régionale - 1992

Var. explicative	**spécification**	**R^2**	**test F**	**test t**
VAB agri.+indus.	Y=a ln(X) + b	0,67	F=38 - prob>F : < 0,0001	t=6,17 - prob>t : < 0,0001
Population	Y=a ln(X) + b	0,52	F=20,8 - prob>F : 0,0002	t=4,56 - prob>t : 0,0002
Emploi	Y=a ln(X) + b	0,56	F=24 - prob>F : 0,0001	t=4,90 - prob>t : 0,0001

Nous avons cherché à améliorer cette relation en décomposant les tonnages générés par catégorie de produits et les variables économiques par branche économique. La modélisation sectorielle a pour objectif de faire ressortir des sensibilités différentes selon les catégories de produits. La difficulté d'une modélisation désagrégée par catégorie de produits et branche économique est d'établir une table de correspondance pertinente entre les deux découpages sectoriels, l'un sur des biens transportés exprimés en tonnage (nomenclature N.S.T.) et l'autre sur la production de biens exprimée en valeur (Nomenclature N.A.P.). Différents rapprochements ont été réalisés par l'I.N.S.E.E. (INSEE-OEST, [1992]), le S.E.S. (Calzada, 1998) ou le L.E.T. (Latreille, 1997). Le rapprochement de l'I.N.S.E.E. repose sur des catégories fines de produits qui

fragilisent la fiabilité des données de transport, en particulier celles du trafic routier issues de sondages. La table de correspondance retenue est donc celle utilisée par Latreille, car elle est plus agrégée et correspond sensiblement au découpage sectoriel des flux de transport utilisé précédemment lors de l'analyse descriptive.

Tableau XI-4. Table de correspondance entre les nomenclatures statistiques de transport et de production économique présentée par le L.E.T.

N.S.T.	Produit	N.A.P.	Intitulé
0	produits agricoles et animaux vivants	***U01***	agriculture, sylviculture, pêche
1	denrées alimentaires et fourrages	***U02***	Industries agro-alimentaires
2	Combustibles minéraux solides	***T04***	Combustibles minéraux solides et produits de la cokéfaction
3	Produits pétroliers bruts et raffinés	***T05***	produits pétroliers bruts et raffinés, gaz naturel
4 + 5	Minerais et déchets pour la métallurgie et produits métallurgiques	***T07+T08+T13***	Minerais et métaux ferreux/Première transformation de l'acier/production de minerais et métaux non ferreux/ Fonderie et travail des métaux
6	Minéraux bruts ou manufacturés et matériaux de construction	***T09***	Matériaux de construction et minéraux divers
7	engrais	***T11***	Chimie de base
8	Produits chimiques	***T21+T12+T23***	Industrie du papier et carton/parachimie et industrie pharmaceutique/industries du caoutchouc et de la transformation des matières plastiques
9a	Matériel de transport et matériel agricole	***T16+T17***	Automobile et autres matériels de transport/ Construction navale et aéronautique
9b	Machines et articles métalliques	***T14+T15A+T05B***	Construction mécanique/Matériels électriques et électroniques professionnels/Biens d'équipement ménagers
9c+9d	Verre, faïence, porcelaine et autres articles manufacturés	***T10+T18+T19+T20 +T22***	Industrie du verre/Textile, habillement/cuirs, Chaussures/Bois, ameublement/Imprimerie, presse

source : Latreille, 1997, établi d'après I.N.S.E.E., O.E.S.T., Les comptes des transports en 1991, I.N.S.E.E..

La sensibilité propre à chaque catégorie de produits a été testée avec la variable explicative qui retranscrit le mieux la répartition du volume des tonnages exportés, c'est-à-dire la valeur ajoutée agricole et industrielle régionale (cf. graphiques en annexe XI-2).

Tableau XI-5. Relations entre tonnage exporté et VAB par catégorie sectorielle (1992)

catégorie	Var. explicative	spécification	R^2	test F
produits agricoles	VAB T01	$Y= b*X^a$	0,34	F=9,6 - prob>F : 0,006
produits agro-alimentaires	VAB T02	$Y= b*X^a$	0,68	F=40,8 prob>F : < 0,0001
combustibles solides	VAB T03	Y=a X + b	0,22	F=5,4 - prob>F : 0,03
produits pétroliers	VAB T04	$Y= b*X^a$	0,54	F=22,3 - prob>F : 0,0001
produits et déchets métallurgiques	VAB T05	$Y= b*X^a$	0,68	F=40 - prob>F : < 0,0001
matériaux de construction	VAB T09	$Y= b*X^a$	0,12	F=2,7 - prob>F : 0,12
engrais	VAB T11	Y=a ln(X) + b	0,29	F=7,6 - prob>F : 0,01
produits chimiques	VAB T12+21+23	$Y= b*X^a$	0,39	F=12 - prob>F : 0,0027
matériel de transport	VAB T16+17	Y=a X + b	0,74	F=54,2 prob>F : < 0,0001
machines et articles métalliques	VAB T14+15	Y=a ln(X) + b	0,55	F=23 - prob>F : 0,0001
produits manufacturés et verre	VAB T10+18+19+20+22	Y=a X + b	0,91	F=201 - prob>F : < 0,0001

Le principal enseignement de cette analyse est la mise en évidence de sensibilités différenciées selon la catégorie de produits entre le niveau du tonnage exporté et le niveau de l'activité économique régionale de la branche correspondante. Deux groupes de produits sont dégagés : ceux réagissant à la variation de la valeur ajoutée de la branche économique considérée dans la région d'émission et ceux indépendants au niveau de l'activité de la branche économique considérée dans

la région. En effet, deux catégories de produits, les matériels de transport (nst 9a) et les produits manufacturés (nst 9cd), présentent une liaison satisfaisante entre le tonnage d'un côté et la valeur ajoutée de la branche économique correspondante de l'autre, alors que d'autres catégories ne fournissent qu'une faible relation, notamment les combustibles minéraux solides, les matériaux de construction, les engrais ou les produits agricoles.

L'approche sectorielle met donc en exergue la sensibilité propre à chaque catégorie de produits et met en évidence les catégories de produits davantage déconnectées ou peu sensibles au niveau de l'activité régionale dans la branche économique correspondante.

A-2. Les importations régionales

Le volume régional de fret importé annuellement est assez fortement corrélé à l'activité économique régionale. Les relations obtenues en confrontant les tonnages régionaux importés aux agrégats économiques de chaque région (valeur ajoutée, emploi, ...) fournissent des corrélations et des ajustements statistiquement satisfaisants.

Tableau XI-6. Coefficients de corrélation – Tonnages importés - 1992

	toutes régions	sans IDF
VAB	0,95	0,71
VABAI	0,96	0,78
population	0,93	0,70
emploi total salarié	0,95	0,71
RDB	0,94	0,67
emploi Transport	0,95	0,74
emploi agri+indus	0,94	0,79

La qualité des coefficients de corrélation tient à nouveau à la position atypique de la région Ile de France et en particulier à son fort tonnage à l'importation. En effet, les tonnages importés par l'Ile de France sont près de 3 fois supérieurs à ceux des autres régions. L'ajustement linéaire entre les tonnages importés et les valeurs ajoutées agricoles et industrielles régionales, en conservant la région Ile de France, est statistiquement significatif.

Tableau XI-7. Relations tonnage importé et structure socio-économique régionale - 1992

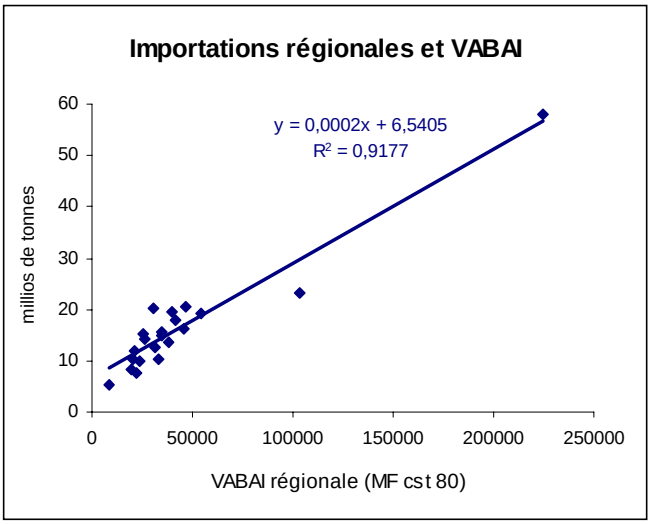
Var. explicative	spécification	R^2	test F	test t
VAB agri.+indus.	Y=a X + b	0,92	F=211 - prob>F : < 0,0001	t = 14,6 - prob>t : < 0,0001
Population	Y=a X + b	0,86	F=113 - prob>F : < 0,0001	t = 10,6 - prob>t : < 0,0001
Emploi	Y=a X + b	0,90	F=166 - prob>F : < 0,0001	t = 13 - prob>t : < 0,0001

Le meilleur ajustement est donc obtenu avec l'agrégat de valeur ajoutée agricole et industrielle. Les autres indicateurs socio-économiques régionaux fournissent aussi une bonne expression formalisée de la répartition du volume des importations (cf. annexe XI-1).

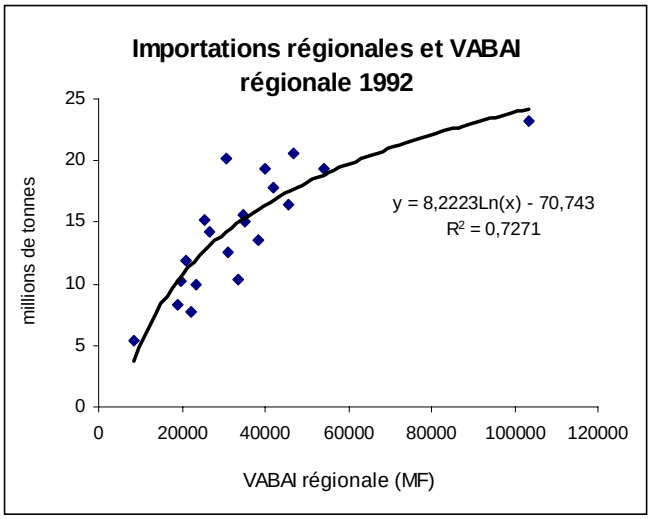
La région Ile de France a un double impact (cf. graphiques XI-3), d'un coté sur la qualité de la liaison statistique et d'un autre côté sur le choix de la spécification. Sans l'Ile de France, l'ajustement est de type logarithmique et est influencé par la position d'une autre grande région économique, la région Rhône-Alpes.

Graphiques XI-3. Importations régionales et VAB agricole et industrielle régionales - 1992

Avec Ile de France



Sans Ile de France



L'analyse plus détaillée par une segmentation en catégories de produits fait ressortir des élasticités différentes vis à vis de l'activité économique régionale selon les catégories de produits et branches économiques considérées (cf. annexe XI-2). La qualité des ajustements linéaires est dans la majorité des cas liée à la position excentrée de la région Ile de France. Sans cette région, les résultats sont de qualité nettement inférieure.

Tableau XI-8. Relations entre tonnage importé et VAB par catégorie sectorielle (1992)

catégorie	Var. explicative	spécification	R^2	test F
produits agricoles	VAB T01	$Y= b*X^a$	0,14	F=2,98 - prob>F : 0,01
produits agro-alimentaires	VAB T02	Y=a X + b	0,77	F=62 - prob>F : < 0,0001
combustibles solides	VAB T03	Y=a X + b	0	F=0,07 - prob>F : 0,79
produits pétroliers	VAB T04	Y=a X + b	0,09	F=1,9 - prob>F : 0,19
produits et déchets métallurgiques	VAB T05	$Y= b*X^a$	0,70	F=44 - prob>F : < 0,0001
matériaux de construction	VAB T09	Y=a X + b	0,65	F=36 - prob>F : < 0,0001
engrais	VAB T11	Y=a X + b	0,06	F=1,2 - prob>F : 0,3
produits chimiques	VAB T12+21+23	$Y= b*X^a$	0,57	F=25 - prob>F : < 0,0001
matériel de transport	VAB T16+17	Y=a X + b	0,87	F=128,7 - prob>F : < 0,0001
machines et articles métalliques	VAB T14+15	Y=a X + b	0,87	F=123 - prob>F : < 0,0001
produits manufacturés et verre	VAB T10+18+19+20+22	Y=a X + b	0,91	F=200,5 - prob>F : < 0,0001

Les résultats obtenus confirment les enseignements précédents relatifs à la sensibilité du tonnage à l'activité économique variable selon les catégories de produits. En effet, deux groupes de produits sont distingués à l'instar de ceux établis dans le cas des tonnages exportés. Les tonnages importés en produits agricoles (nst0), combustibles minéraux solides (nst2), produits pétroliers (nst3) et engrais (nst7) sont très peu sensibles au niveau de la valeur ajoutée régionale de la branche correspondante. En revanche, les tonnages importés dans les autres catégories de produits et principalement en produits finis ou de consommation courante (nst 9a, 9b et 9cd) sont bien retranscrits par des ajustements en fonction de la valeur ajoutée régionale de la branche économique correspondante.

B. Les flux locaux de marchandises et les structures socio-économiques régionales

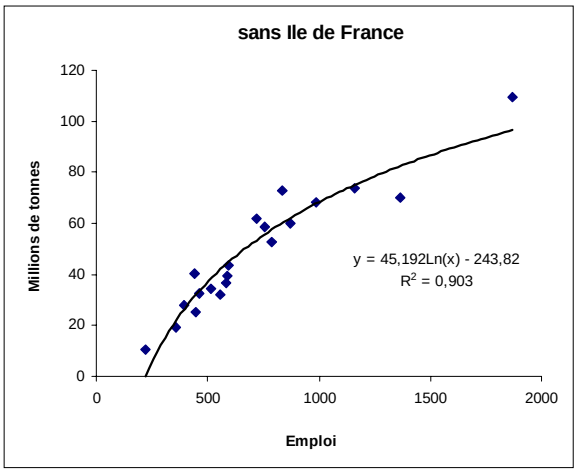
Le volume de fret transporté localement est bien corrélé à l'activité économique régionale. Les ajustements obtenus avec les indicateurs économiques de valeur ajoutée, de population ou d'emploi sont satisfaisants au regard des tests de qualité statistique. A la différence des exportations et des importations, on remarque que les indicateurs d'emploi et de population ont un impact plus important que les indicateurs de valeur ajoutée.

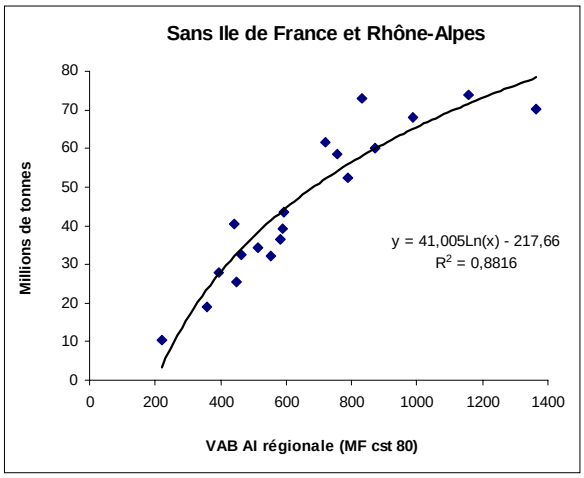
Tableau XI-9. Relations tonnage intrarégional et structure socio-économique régionale - 1992

Var. explicative	spécification	R^2	test F	test t
VAB agri.+indus.	$Y= b*X^a$	0,84	F=103 -prob>F :< 0,0001	t=10,1 - prob>t : < 0,0001
VAB.	$Y= b*X^a$	0,90	F=175 -prob>F :< 0,0001	t=13,2 - prob>t : < 0,0001
Population	$Y= b*X^a$	0,92	F=219 -prob>F :< 0,0001	t=14,8 - prob>t : < 0,0001
Emploi	$Y= b*X^a$	0,92	F=229 -prob>F :< 0,0001	t=15,1 - prob>t : < 0,0001

Ces ajustements sont également liés à la position particulière de la région Ile de France ainsi qu'à celle de Rhône-Alpes mais dans une moindre mesure (Cf. annexe XI-1). Cependant, les ajustements sans ces régions restent satisfaisants.

Graphique XI-4. Tonnage intrarégional et emploi salarié régional (1992)





La démarche de décomposition sectorielle du fret utilisée pour isoler la sensibilité propre à chaque catégorie de produits ne permet pas d'obtenir des ajustements de qualité supérieure voire de qualité égale à celle issue de l'approche agrégée.

En revanche, la sensibilité des tonnages par catégorie de produits présente une variance nettement moins élevée que dans les cas précédents avec les tonnages exportés ou importés. Une seule catégorie de produits fait exception, les tonnages d'engrais transportés localement n'apparaissent pas sensibles à la production de la branche économique de la chimie (cf. graphiques en annexe XI-2).

Tableau XI-10. Relations sectorielles entre tonnage local et VAB de la branche (1992)

catégorie	Var. explicative	spécification	R^2	test F
produits agricoles	VAB T01	$Y= b*X^a$	0,47	F=17 - prob>F : 0,0006
produits agro-alimentaires	VAB T02	$Y= b*X^a$	0,83	F=90 - prob>F : < 0,0001
combustibles solides	VAB T03	Y=a X + b	0,50	F=0,07 - prob>F : 0,79
produits pétroliers	VAB T04	Y=a ln(X) + b	0,72	F=1,9 - prob>F : 0,19
produits et déchets métallurgiques	VAB T05	Y=a X + b	0,50	F=44 - prob>F : < 0,0001
matériaux de construction	VAB T09	Y=a ln(X) + b	0,85	F=36 - prob>F : < 0,0001
engrais	VAB T11	Y=a X + b	0,1	F=1,2 - prob>F : 0,3
produits chimiques	VAB T12+21+23	$Y= b*X^a$	0,54	F=25 - prob>F : < 0,0001
matériel de transport	VAB T16+17	Y=a X + b	0,75	F=128,7 - prob>F : < 0,0001
machines et articles métalliques	VAB T14+15	Y=a X + b	0,82	F=123 - prob>F : < 0,0001
produits manufacturés et verre	VAB T10+18+19+20+22	Y=a X + b	0,83	F=200,5 - prob>F : < 0,0001

XI-1-3. Les principaux enseignements de l'approche en coupe transversale

Nous avons mis en évidence précédemment, à l'aide de modèles descriptifs simples, les liens existant entre la structure économique régionale et le niveau du fret échangé ou transporté localement par les régions. Ces liens sont plus ou moins forts selon les catégories de produits. Globalement, les tonnages des biens agricoles et énergétiques ne présentent pas ou peu de liens avec les structures économiques régionales alors que, à l'opposé, les biens de consommation (nst9A à 9CD) présentent de bonnes corrélations.

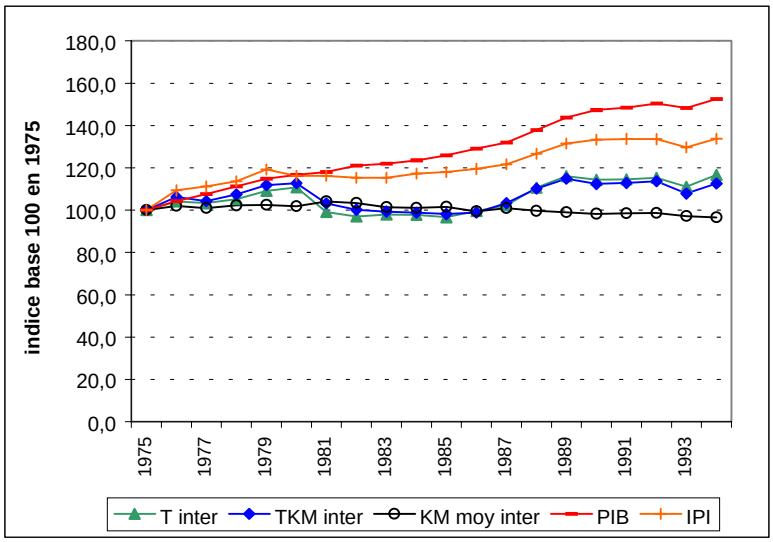
Cette phase de modélisation statique a permis également de distinguer les flux d'échange des flux intrarégionaux du point de vue de leur sensibilité à l'activité économique régionale. En effet, la répartition régionale des tonnages importés et exportés d'une part et celle des tonnages locaux d'autre part ne s'expliquent pas par les mêmes variables socio-économiques régionales. Le tonnage échangé est davantage lié à la valeur ajoutée brute agricole et industrielle alors que le fret local s'explique mieux par des indicateurs d'emploi ou de population. L'apport d'une décomposition sectorielle distingue également les tonnages des deux échelles spatiales. Cette décomposition a clairement mis en évidence la sensibilité différenciée par catégorie de produits pour les exportations et les importations, et beaucoup moins pour le fret intrarégional.

Le lien de causalité entre demande de transport et structure socio-économique régionale mis en évidence en coupe transversale constitue donc le point de départ pour la simulation à long terme du fret généré annuellement par les régions françaises. En tenant compte des enseignements précédents et des travaux existants en simulation du transport de marchandises, le module de génération consiste à établir une liaison formalisée entre les variations annuelles des tonnages régionaux et d'un indicateur socio-économique, en distinguant le fret local et le fret interrégional.

XI-2. La génération du fret interrégional

Le modèle de génération du fret interrégional consiste à déterminer l'élasticité des variations du tonnage transporté aux variations d'un indicateur économique. La démarche consiste à mettre en relation le tonnage transporté avec la conjoncture économique, à l'instar de la démarche suivie dans le modèle national Quinquin Fret, et non une relation directe entre tonnage-kilométrique et croissance économique. Ce choix s'explique par la volonté de prendre en compte les deux éléments constitutifs des flux de transport de marchandises, à savoir la production et l'espace. L'observation des évolutions passées du tonnage, du tonnage-kilométrique, de la croissance économique et de la production industrielle confirme la pertinence d'une différenciation des effets de l'activité économique et de la structuration spatiale du territoire, respectivement sur les tonnages transportés et sur la distance de transport parcourue, que l'on considère les flux nationaux, interrégionaux ou intrarégionaux[2].

Graphique XI-5. Evolution du transport interrégional, de la distance kilométrique et de la croissance économique



La phase de génération s'intéresse donc à la relation entre tonnage transporté et activité économique, autrement dit explique et mesure les variations du volume de transport imputable à la dimension conjoncturelle du fret. La phase de distribution spatiale examinera la relation entre les facteurs structurels de séparation spatiale et d'attraction et les indicateurs de structure spatiale du fret (les coefficients structurels) c'est-à-dire analysera les variations du potentiel de transport relevant de la dimension structurelle du fret.

Concernant le fret interrégional, la phase de génération est découpée en deux sous-modules, l'un relatif aux flux régionaux importés l'autre aux flux exportés. La distinction des deux sens de l'échange interrégional de marchandises est nécessaire pour estimer *in fine* les tonnages interrégionaux par la méthode des coefficients structurels (cf. section II).

[2] Concernant le cas du fret national, nous renvoyons le lecteur aux travaux effectués dans le thèse de C. LATREILLE (1997). Le cas du fret intrarégional sera abordé à la suite du fret interrégional.

XI-2-1. La modélisation directe des importations et exportations régionales par des variables économiques régionales

Divers indicateurs économiques régionaux ont été exploités pour modéliser l'évolution des flux de marchandises émis et reçus globalement par les différentes régions. Pour les tonnages exportés, les variables explicatives se rapportent *a priori* à la région d'émission et à son appareil productif. Pour les importations, les variables explicatives concernent *a priori* la région de destination et à la fois la sphère de production et la sphère de consommation. En effet, les biens importés peuvent être affectés soit à la consommation finale en tant que produits finis soit à la production d'autres biens en tant que produits intermédiaires.

Les variables socio-économiques considérées comme des variables exogènes susceptibles d'expliquer l'évolution des tonnages générés ont été présentées dans " la donne " en section V. La contrainte première de sélection des indicateurs a été la disponibilité sur une série temporelle relativement longue. Les indicateurs socio-économiques régionaux présentant cette caractéristique sont la valeur ajoutée brute agricole et industrielle, l'emploi total, agricole et industriel ou lié au transport et le revenu disponible brut des ménages.

Les formes fonctionnelles des relations causales et des variables ont également fait l'objet d'un choix méthodologique. En ce qui concerne la forme fonctionnelle des variables, deux expressions peuvent être utilisées, la mesure brute annuelle (tonnage, valeur ajoutée, effectif employé, …) et le taux de croissance annuel de ces variables. Ce choix est toutefois directement lié à la forme fonctionnelle de la relation causale, qui se répartit principalement entre fonction linéaire affine et fonction de type log-log.

Plusieurs modèles simples ont été testés, chacun ayant recours à une des deux formes fonctionnelles citées précédemment et à une des variables socio-économiques susceptibles d'expliquer l'évolution des tonnages importés d'une part et exportés d'autre part. Les résultats d'ajustement obtenus sont en général de qualité médiocre. Le tableau suivant présente les résultats de relations sur les taux de croissance annuels des tonnages exportés et des valeurs ajoutées agricoles et industrielles régionales et utilisant une fonction affine (cf. annexe XI-3 pour les tonnages importés et les relations après lissage).

Tableau XI-11. Relations de court terme entre tonnages exportés et V.A.B.A.I. régionale (taux sur données brutes)

régions	R^2	test t	régions	R^2	test t
NPDC	0,16	1,69	MIPY	0,02	-0,62
PICA	0,19	1,85	CHAR	0,20	1,96
IDF	0,12	1,45	LORR	0,1	1,29
CENT	0	0,15	ALSA	0	-0,03
HANO	0,02	-0,60	FRCO	0	0,23
BANO	0,15	1,64	BOUR	0	0,05
BRET	0	0,07	AUVE	0	0,25
PALO	0,02	-0,51	RHAL	0,23	2,13
POCH	0,13	1,51	LARO	0,14	1,57
LIMO	0	0,39	PACA*	0,10	1,30
AQUI	0,04	0,77			

* régression limitée à 1983-1991, statistiques de VABAI indisponibles avant 1982.

Ces résultats expriment une absence de corrélation entre les variations du fret régional émis ou reçu et les variations de la richesse économique régionale pour la majorité des régions. Dans quelques rares cas, les résultats attestent de l'existence d'une relation économétrique qui reste toutefois peu significative du point de vue statistique au regard du coefficient de détermination et du test de Student. La médiocre qualité des résultats peut en partie s'expliquer par la non compatibilité des unités des deux variables mises en relation (Favre, 1994 ; Latreille, 1997). La déconnexion entre des indicateurs en francs et des indicateurs de transport en tonnes ou tonnes-kilomètres s'explique notamment par une valorisation des effets de qualité intégrés aux produits dans la mesure en valeur et non dans la mesure physique : "*un changement de modèle automobile donne lieu à une augmentation de prix dont une part est la contrepartie d'améliorations qualitatives ; de ce fait, cette partie de la hausse du prix sera comptabilisée en augmentation du volume de la production. Cette hausse du volume de la production a peu de chance de générer un accroissement de trafic*" (Favre, 1994).

La déconnexion " valeur - volume physique " ne peut être contournée à l'échelle régionale car il n'existe pas ou très peu de statistiques régionales sur les productions physiques, à l'exception de celles relatives aux produits agricoles, agro-alimentaires (AGRESTE, 1995a, 1995b) et aux minéraux combustibles solides (INSEE, SIRF, 1995). Ainsi, nous nous heurtons rapidement en modélisation régionale du fret aux limites de la donne sur les statistiques économiques disponibles à l'échelle régionale en comparaison de l'information plus abondante et plus diversifiée existant à l'échelle nationale. En particulier, un indicateur de la production physique de biens marchands industriels et agricoles du type de l'Indice de Production Industrielle (I.P.I.) calculé à l'échelle nationale n'existe pas à l'échelle régionale.

Face à l'impossibilité de disposer d'un indicateur de la production physique régionale, le seul indicateur économique restant est l'indicateur d'emploi, indicateur dont le lien avec la production n'est pas sans faiblesse. La non prise en compte de la productivité technique s'avère une limite importante. L'intégration d'un indicateur de productivité combiné à celui de l'emploi (Calzada, 1998) ou en tant que variable exogène complémentaire a alors été envisagée. Cette intégration a pris la forme d'une variable complémentaire[3], mesurée par l'indicateur macro-économique régional de productivité présenté en section V. Les résultats obtenus avec le facteur d'emploi, considéré seul comme indicateur de l'activité économique régionale, n'ont toutefois pas été satisfaisants, ni même meilleurs que ceux obtenus avec les valeurs ajoutées.

Face à ces résultats décevants, le recours à plusieurs variables exogènes a été effectué, afin de considérer les effets des facteurs économiques et ceux des facteurs socio-économiques tels que la population ou le revenu disponible brut des ménages. Les résultats obtenus à partir de régressions multiples sont d'une qualité nettement supérieure. Ces résultats présentent toutefois une limite importante pour la construction d'un modèle macro-économique de transport. Aucune combinaison multiple de facteurs économique et socio-économique (VAB ou emploi/productivité et population ou RDB) n'a permis de retranscrire de façon satisfaisante les variations des tonnages émis ou reçus pour l'ensemble des régions ou au moins pour une majorité de régions.

[3] Une intégration combinée à l'indicateur d'emploi (CALZADA, 1998) n'a pu être menée à bien, à partir des statistiques dont nous disposions et des calculs effectués et donner un indicateur statistique pertinent.

Tableau XI-12. Relations multiples entre émissions / réceptions et variables socio-économiques régionales : taux de croissance annuels sur données lissées [4]

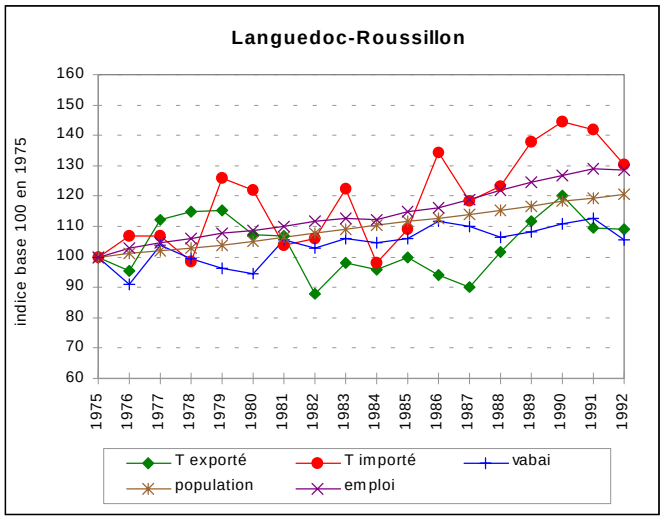
Importation			Exportation		
	variable exogène	**R^2 ajusté**		**variable exogène**	**R^2 ajusté**
NPDC	VABAI + RDB	0,995	**NPDC**	VABAI + RDB	0,91
PICA	VABAI + RDB	0,96	**PICA**	VABAI + RDB	0,97
IDF	VABAI + RDB	0,89	**IDF**	VABAI + RDB	0,97
CENT	VABAI + RDB	0,84	**CENT**	VABAI + RDB	0,77
HANO	EMPLOI total +RDB	0,63	**HANO**	EMPLOI total +RDB	0,92
BANO	EMPLOI total	0,83	**BANO**	EMPLOI total +RDB	0,91
BRET	EMPLOI total + RDB	0,47	**BRET**	VABAI + RDB	0,67
PALO	VABAI + RDB	0,76	**PALO**	VABAI + RDB	0,48
POCH	EMPLOI total	0,75	**POCH**	EMPLOI total +RDB	0,97
LIMO	VABAI + RDB	0,74	**LIMO**	aucune relation correcte	
AQUI	aucune relation correcte		**AQUI**	aucune relation correcte	
MIPY	EMPLOI total+Invest	0,78	**MIPY**	VABAI + RDB	0,50
CHAR	EMPLOI total	0,8	**CHAR**	EMPLOI total	0,56
LORR	POP+Emploi transport	0,80	**LORR**	EMPLOI total +RDB	0,73
ALSA	EMPLOI total + RDB	0,93	**ALSA**	EMPLOI total +RDB	0,81
FRCO	EMPLOI total+POP	0,93	**FRCO**	RDB	0,77
BOUR	VABAI+RDB	0,94	**BOUR**	POP	0,42
AUVE	EMPLOI total+RDB	0,95	**AUVE**	POP	0,58
RHAL	VABAI+RDB	0,91	**RHAL**	VABAI + RDB	0,84
LARO	VABAI + RDB	0,57	**LARO**	VABAI + RDB	0,64
PACA	aucune relation correcte		**PACA**	EMPLOI total	0,79

Le recours à des variables exogènes économiques différentes selon les régions pour expliquer les variations annuelles des tonnages générés, émis comme reçus, ne peut trouver aucune cohérence, ni une cohérence interne pour le modèle (Bonnafous, 1989) ni une cohérence par rapport à l'objet étudié. La cohérence interne est difficile à respecter avec des relations différentes selon les régions en raison de l'absence de coordination entre les niveaux ou taux de croissance des différentes variables économiques régionales au sein du modèle. La cohérence relative à l'objet étudié pose aussi problème par la difficulté à justifier économiquement le recours à l'une ou l'autre des variables économiques ou socio-économiques retenues pour certaines régions et non pour d'autres. Les structures socio-économiques régionales notamment ne sont pas suffisamment différenciées pour justifier ces choix. En effet, les systèmes socio-économiques régionaux français connaissent globalement au cours des décennies 70 et 80 les mêmes modes de production et de consommation et ont tendance à développer des appareils productifs proches (diversification des économies régionales, réduction des spécialisations mono-industrielles). Les structures économiques sont peu différenciées avec d'une part une domination du tertiaire dans toutes les régions et d'autre part des productions dominantes en valeur dans les branches agro-alimentaires et dans les produits manufacturés. Les spécificités et spécialisations sectorielles restent insuffisantes pour différencier significativement les structures économiques régionales et surtout ne présentent pas d'évolution significative sur le long terme pour agir sur les variations des tonnages régionaux générés.

[4] Les résultats avec une spécification log-log ne sont pas de meilleure qualité que ceux sur les taux de croissance et présentent aussi une hétérogénéité des variables explicatives retenues selon les régions.

La difficile construction de relations économétriques entre les variations du fret et celles de la conjoncture économique régionale tient non seulement à la déconnexion valeur - volume physique, à la difficile prise en compte de la productivité ou à l'absence d'indicateur de la production industrielle physique, mais aussi à la forte variabilité des tonnages régionaux générés (cf. graphique XI-6 pour la région Languedoc-Roussillon et annexe XI-4 pour les autres régions).

Graphique XI-6. Evolution des tonnages émis et reçus et des variables économiques régionales. Cas de la région Languedoc-Roussillon



Finalement, face aux résultats médiocres obtenus avec une modélisation directe à l'échelle régionale, nous avons choisi de considérer pleinement les régions comme des composantes géographiques et économiques d'un système global et les flux générés par ces régions, ainsi que leurs échanges interrégionaux, comme la dynamique de ce système. Les tonnages importés et exportés expriment alors la contribution de chaque composante régionale à l'activité globale du système économique national. Cette approche méthodologique des échanges de marchandises et de la structure spatiale de l'espace modifie l'échelle spatiale et la forme fonctionnelle des variables intégrées dans la modélisation. L'échelle spatiale rend maintenant compte du système économique global, le montant des interactions spatiales entre les régions étant porté par la dynamique économique nationale. La forme des variables traduit quant à elle l'appartenance à un système global. L'unité de mesure la plus appropriée est alors la part relative régionale dans le fret interrégional, à l'exportation comme à l'importation.

La mise en application de cette approche systémique de la modélisation du fret interrégional a porté dans un premier temps sur les relations entre les variations des parts relatives régionales à l'exportation et à l'importation et les variations de l'activité économique nationale, exprimée par le PIB, la valeur ajoutée brute agricole et industrielle ou l'Indice de Production Industrielle. La production de résultats encore insatisfaisants du point de vue économétrique (cf. annexe XI-5) nous a conduit à renforcer encore davantage l'approche systémique.

La démarche finalement considérée porte sur une modélisation en deux temps des volumes générés par les régions. Une première phase concerne l'établissement d'une liaison temporelle entre les variations du volume interrégional global généré et une seconde phase s'attache à la répartition spatiale de ce volume entre les régions en tenant compte de contributions relatives

régionales au fret généré. Dans cette perspective, le fret échangé en interrégional est considéré comme la résultante directe de l'activité économique globale du système et matérialise la dynamique intérieure du système global d'interaction spatiale alors que la répartition du fret global généré entre les régions est fonction de la tendance d'évolution des contributions relatives régionales.

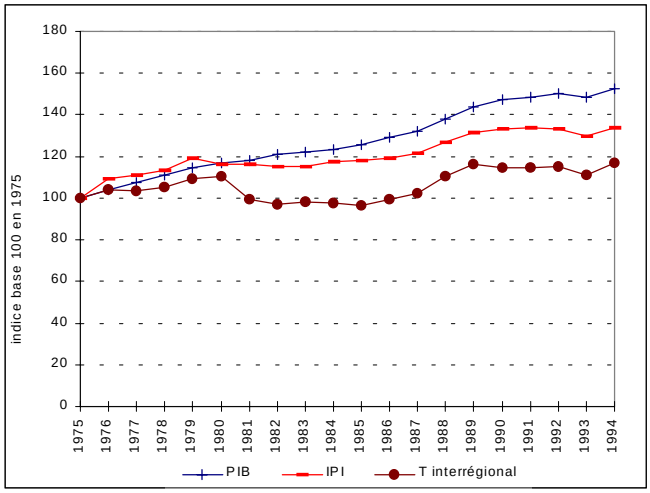
XI-2-2. La modélisation du fret interrégional en fonction d'un indicateur économique national

A. Le choix de la variable explicative

L'observation de l'évolution rétrospective du tonnage interrégional et de l'activité économique ou industrielle nationale met en évidence la sensibilité du transport de marchandises à la conjoncture industrielle (Latreille, 1997 ; Savy, 1994) à travers les fluctuations annuelles des indicateurs de transport et d'activité économique exprimés en indice.

L'observation de l'évolution des tonnages interrégionaux et des différents indicateurs économiques et industriels nationaux (P.I.B., I.P.I.) permet de repérer les éventuelles variations temporelles convergentes pouvant traduire des liens de causalité entre les variables économiques et de transport. A l'instar du tonnage national, le fret interrégional réagit plus particulièrement aux variations de la production industrielle, ce qui s'explique logiquement par le fait que les branches industrielles sont davantage génératrices de biens à transporter que les branches tertiaires.

Graphique XI-7. Evolution des indicateurs économiques nationaux et du tonnage interrégional

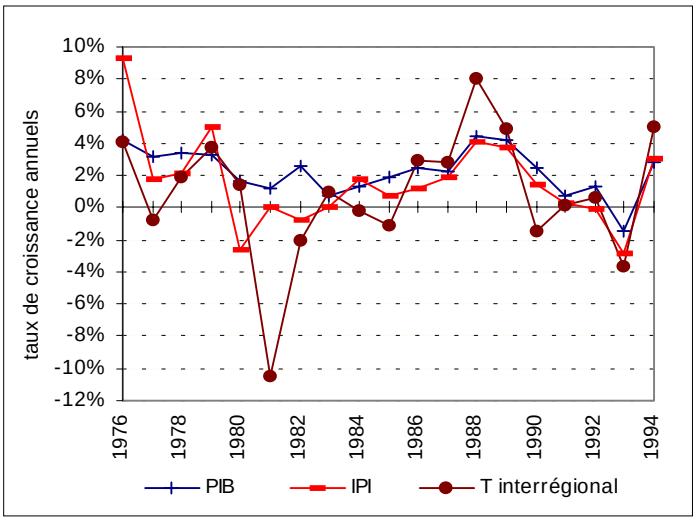


Les variations annuelles du P.I.B. et de l'I.P.I. diffèrent sur la période 1975-1994 par des fluctuations plus marquées pour l'I.P.I.. La production industrielle est affectée par le second choc pétrolier puis par la crise économique des années 80, ce qui se traduit par une baisse et une stagnation de son volume entre 1980 et 1986. Le P.I.B. suit en revanche une évolution assez régulière et ne subit pas de ralentissement important au milieu des années 80. Cette évolution régulière est imputable à l'activité soutenue des secteurs tertiaires moins affectés par la crise économique que les secteurs industriels. Le tonnage interrégional présente une évolution plus heurtée que l'I.P.I. et surtout que le P.I.B.. Il connaît une chute importante en 1981 et une stagnation de son volume entre 1981 et 1986, conduisant sur l'ensemble de la période à une

croissance est plus faible que celle du P.I.B. ou de l'I.P.I.. Ainsi, sur la période 1975-1994, la croissance annuelle moyenne du tonnage interrégional a été de 0,8% contre 2,3% pour le P.I.B. et 2,2% pour l'I.P.I.. En fin de période, on constate un alignement plus net des trois évolutions, avec une reproduction du profil d'évolution du P.I.B. par l'I.P.I. et par le tonnage interrégional. Ce rapprochement des variations annuelles traduit les fortes pressions subies par l'activité industrielle (forte crise à la fin de l'année 1992 et en 1993) qui se sont répercutées sur l'ensemble de l'économie et ont par conséquent affecté le transport de marchandises.

L'observation de ces évolutions en taux de croissance annuels fait davantage ressortir les variations annuelles plus fortes des tonnages transportés par rapport aux variations de la production industrielle et de surcroît de l'activité économique générale.

Graphique XI-8. Taux de croissance annuels du tonnage interrégional et de l'activité économique et industrielle nationale



Les variations en taux de croissance annuels font ressortir la forte sensibilité des tonnages transportés à la production industrielle. On remarque à plusieurs reprises qu'en période de croissance de la production industrielle, les tonnages connaissent une forte hausse, qu'en période de chute de la production industrielle, les tonnages s'effondrent (1981, 1993) avec parfois un décalage temporel plus ou moins long et enfin qu'en période de stabilité ou de très faible hausse de la production industrielle, les tonnages peuvent diminuer (1977 et 1985). Les réactions du tonnage à la conjoncture industrielle présentent donc un caractère d'amplification des fluctuations. Comme le souligne Céline Latreille (1997), ce phénomène peut être imputé à plusieurs facteurs : la réactivité particulière des différentes catégories de produits transportés aux variations de la conjoncture économique ou industrielle ou l'effet des phénomènes de stockage/déstockage fortement différenciés entre les périodes de crise et de croissance économique. En particulier, la crise industrielle de l'année 1993 et la reprise de 1994 sont fortement imputables aux effets de déstockage industriel massif en 1993 et à leur arrêt en 1994 avec une reprise technique inévitable (INSEE, 1995a). La réactivité du transport de marchandises aux variations de la production industrielle s'explique par l'existence de schémas d'organisation logistique et technique se différenciant en fonction des taux de remplissage des véhicules, de la constitution de stocks tampons ou du mode de gestion (flux tendus, …). La conséquence d'une telle réactivité du fret

conduit à des phénomènes d'amplification prononcée des fluctuations industrielles dans les périodes de crise économique marquée (1981) comme de reprise économique forte (1988).

B. Le choix de la nature et de la forme fonctionnelle de la variable explicative

Différents types d'indicateurs et différentes formes fonctionnelles des variables peuvent être considérés. Le premier choix porte sur une expression en valeur ou en volume physique de l'indicateur économique national. Concrètement, le choix revient à trancher entre l'indicateur de valeur ajoutée brute (ou le PIB) et l'Indice de Production Industrielle. Les premiers tests économétriques ont fortement contribué à effectuer ce choix. En effet, les premières relations testées avec comme variable explicative d'un côté la valeur ajoutée brute (ou le PIB) et de l'autre l'Indice de Production industrielle ont révélé une corrélation significativement meilleure avec l'indicateur de volume physique de production (I.P.I.).

Tableau XI-13. Relations affines entre les variations annuelles des indicateurs économiques nationaux et du tonnage interrégional (période 1975-1994)

Var. Explicative	Equation	R^2	t	F
PIB	Y=1,72X-0,03	0,40	3,36	11,28
PIB lissé	Y=1,754X-0,032	0,49	3,79	14,4
VAB	Y=1,49X-0,024	0,35	3,02	9,12
VAB lissée	Y=1,584X-0,0275	0,50	3,86	14,87
IPI	Y=0,821X-0,0041	0,33	2,87	8,22
IPI lissé	Y=1,343X-0,01	0,62	4,95	24,47

Les relations ont été effectuées avec une fonction affine sur les taux de croissance annuels des variables économiques et de transport afin de considérer des élasticités variables du tonnage à l'activité économique ou industrielle (cf. section II), ces élasticités rendant mieux compte des fluctuations de la conjoncture industrielle et permettant d'intégrer les phénomènes d'amplification par le tonnage transporté.

En outre, l'application d'un filtre sur la série chronologique, lissage simple par moyenne mobile d'ordre 3 (mm3), permet d'améliorer nettement la relation entre les variations de l'I.P.I. et celles du tonnage interrégional. Les tests de qualité et de significativité du modèle garantissent une signification statistique à la relation affine établie entre les variations de l'I.P.I. et celles du tonnage interrégional. Ces premiers tests confirment les observations précédentes relatives à une plus forte sensibilité du tonnage interrégional à la conjoncture industrielle plutôt qu'à la croissance économique globale.

C. Modélisation agrégée ou désagrégée par catégorie de produits

La relation causale obtenue entre les variations de l'I.P.I. et celles du tonnage interrégional reste de qualité insuffisante pour retranscrire de façon satisfaisante l'évolution du tonnage interrégional. Nous avons cherché à améliorer le pouvoir explicatif d'une liaison entre l'IPI et le tonnage interrégional en développant une modélisation désagrégée du point de vue sectoriel. Cette orientation a été impulsée par la déformation de la structure sectorielle du fret interrégional observée au cours des 20 dernières années (cf. graphique VII-7), caractérisée par un accroissement relatif des produits agro-alimentaires et des produits manufacturés (hausse des tonnages de 50% et

46% respectivement sur 20 ans) qui deviennent les principaux tonnages transportés en interrégional avec les matériaux de construction. Cette déformation suggère une sensibilité différente du tonnage à la croissance économique ou industrielle selon les catégories de produits. Cette sensibilité a de plus été formalisée en coupe transversale par des corrélations linéaires de qualité assez bonne entre les tonnages régionaux importés ou exportés et l'activité régionale de la branche économique correspondante (cf. tableaux XI-5 et XI-8).

Les relations sectorielles ont été développées sur les tonnages et les valeurs ajoutées brutes désagrégés selon les classes de produits établissant une correspondance entre les nomenclatures N.S.T. et N.A.P. (cf. tableau XI-4). Les relations testées sont des fonctions affines sur les taux de croissance des données de transport et économiques afin d'obtenir des élasticités variables du fret à la croissance industrielle. Les résultats obtenus sont de qualité médiocre pour une majorité de classes de produits[5].

Tableau XI-14. Tonnage interrégional et VAB nationale par classe de produits (fonction affine)

N.S.T.	N.A.P.	Equation	R²	t	F
NST0	U01	Y=0,051X+0,015	0,004	0,26	0,07
NST1	U02	Y=-0,206X+0,0335	0,03	-0,72	0,51
NST2	T04	Y=-0,231X-0,034	0,08	-1,22	1,49
NST3	T05	Y=-0,005X-0,013	0	-0,02	0
NST4+5	T07+T08+T13	Y=0,973X-0,019	0,43	3,56	12,7
NST6	T09	Y=1,288X+0,008	0,54	4,48	20,08
NST7	T11	Y=0,72X-0,024	0,32	2,85	8,14
NST8	T21+T12+T23	Y=1,022X-0,019	0,26	2,47	6,09
NST9A	T16+T17	Y=0,516X+0,014	0,07	1,10	1,21
NST 9B	T14+T15A+T15B	Y=0,925X-0,02	0,17	1,88	3,53
NST9CD	T10+T18+T19+T20+T22	Y=0,633X+0,029	0,13	1,59	2,54

On peut souligner à titre de comparaison les résultats sensiblement différents obtenus avec des ajustements log-log établissant une élasticité constante entre les tonnages et la croissance industrielle. Ces résultats légèrement meilleurs ne peuvent toutefois être conservés du fait que la spécification ne rend pas compte de façon satisfaisante de la réalité de la relation existant entre les variations du tonnage et la conjoncture industrielle.

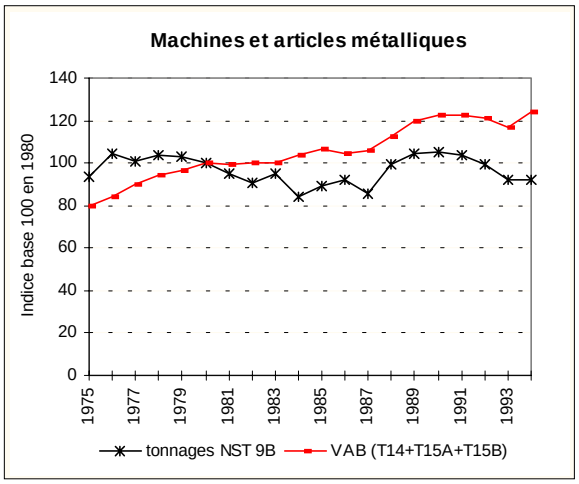
Tableau XI-15. Tonnage interrégional et VAB par classe de produits (fonction log-log)

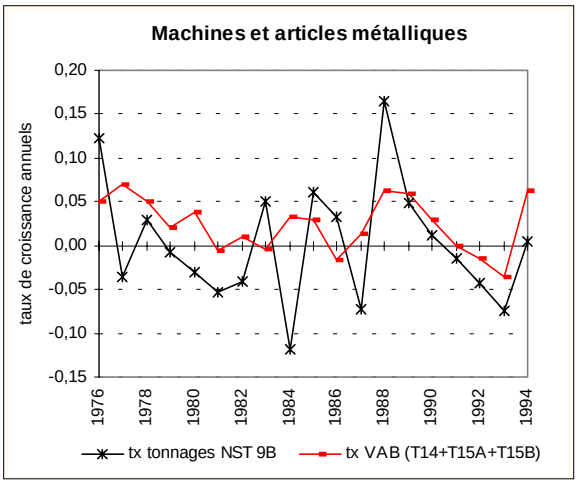
N.S.T.	N.A.P.	Equation	R²	t	F
NST0	U01	LnY=0,86 lnX+0,58	0,80	8,38	70,25
NST1	U02	LnY=2,71 lnX-7,88	0,69	6,27	39,27
NST2	T04	LnY=0,73 lnX+1,05	0,64	5,63	31,65
NST3	T05	LnY=0,70 lnX+1,24	0,15	1,81	3,27
NST4+5	T07+T08+T13	LnY=0,45 lnX+2,37	0,05	1,01	1,03
NST6	T09	LnY=1,14 lnX-0,63	0,43	3,70	13,71
NST7	T11	LnY=-0,43 lnX+6,46	0,26	-2,53	6,40
NST8	T21+T12+T23	LnY=0,20 lnX+3,61	0,32	2,92	8,50
NST9A	T16+T17	LnY=1,29 lnX-1,59	0,37	3,24	10,5
NST 9B	T14+T15A+T15B	LnY=0,007 lnX+4,53	0	0,06	0,003
NST9CD	T10+T18+T19+T20+T22	lnY=-0,7 lnX+7,81	0,03	-0,73	0,53

[5] Résultats comparables obtenus à l'échelle nationale avec la même méthode (LATREILLE, 1997, p. 68).

Ces résultats médiocres peuvent à nouveau être en partie expliqués par la déconnexion entre les valeurs monétaires mesurant l'activité économique et le volume physique des transports de marchandises. Des fluctuations conjoncturelles divergentes apparaissent nettement sur les représentations graphiques des variations annuelles des tonnages et de l'activité de la branche économique correspondante, que ce soit sur les données exprimées en indice ou en taux de croissance annuels (cf. graphiquesXI-9 et annexe XI-6).

Graphique XI-9. Variations annuelles des tonnages et de l'activité économique de la branche correspondante : NST 9B et VAB T14+T15AB





Même si les résultats sont encore de qualité peu satisfaisante, ils sont toutefois meilleurs que ceux obtenus avec une modélisation directe régionale. La recherche d'une corrélation linéaire significative est donc approfondie dans le cadre d'une modélisation indirecte nationale. La recherche s'appuie sur la forme fonctionnelle la plus adéquate des indicateurs nationaux de croissance économique et de production industrielle, P.I.B., VA.B. ou I.P.I. avec lesquels l'existence de liaisons temporelles a été mise en évidence précédemment (cf. tableau XI-13), et sur le degré de segmentation sectorielle du tonnage interrégional global à considérer, afin de tenir compte de la sensibilité du fret différente selon les catégories de produit.

D. L'Indice de Production Industrielle comme variable de sensibilité du tonnage interrégional

Les tentatives précédentes de formalisation des variations annuelles du tonnage interrégional à l'aide d'un indicateur économique national ont montré une corrélation linéaire de meilleure qualité statistique avec l'Indice de Production Industrielle qu'avec le Produit Intérieur Brut ou la Valeur Ajoutée. Cette sensibilité plus forte à la conjoncture industrielle qu'à la croissance économique globale a été affinée par une analyse désagrégée par catégorie sectorielle de produits. Certaines catégories de produits entretiennent une sensibilité assez importante aux fluctuations industrielles (matériaux de construction ou produits métallurgiques (cf. tableau XI-14)) alors que d'autres sont plutôt indifférentes (produits agricoles, pétroliers).

Ces différents résultats conduisent à considérer l'Indice de Production Industrielle comme la variable explicative la plus apte à expliquer et retranscrire l'évolution du tonnage interrégional. L'approche désagrégée par produit se présente également comme plus prometteuse que l'approche

agrégée pour comprendre et estimer les fluctuations du tonnage interrégional. Enfin, la prise en compte d'une spécification linéaire affine établissant une élasticité variable du tonnage transporté vis à vis de la croissance industrielle se présente comme une fonction adaptée faisant ressortir une corrélation correcte sur les taux de croissance des données brutes (tableaux XI-13 et 14).

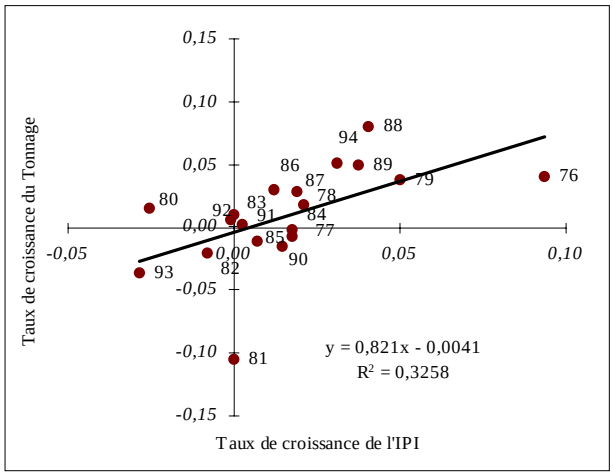
La liaison temporelle entre les évolutions du tonnage interrégional et de la production industrielle sera donc caractérisée par une élasticité variable du fret en fonction des taux de croissance de la production industrielle. Cette élasticité se définit comme une mesure de la réaction du fret à une variation de la production industrielle. En observant graphiquement les variations annuelles du tonnage et de la production industrielle au cours des deux dernières décennies, on remarque que la réactivité du tonnage interrégional n'est pas proportionnelle aux variations de la production industrielle. La présence d'une élasticité variable du tonnage à la production industrielle rend compte de ceci puisqu'elle signifie que le rapport des taux de croissance de la production et du tonnage n'est pas constant dans le temps, et en l'occurrence au cours de la période 1975-1994. L'ajustement linéaire par une fonction affine se présente alors comme la spécification la plus adéquate puisqu'elle fournit des élasticités variables et traduit ainsi les phénomènes d'amplification des fluctuations de la production industrielle par le tonnage transporté. Le modèle de génération est donc construit en ayant recours aux élasticités variables et de ce fait à une spécification linéaire affine.

E. L'estimation du tonnage interrégional total en fonction de l'I.P.I.

E-1. Approche agrégée

Le premier test effectué sur les taux de croissance annuels bruts du tonnage interrégional agrégé et de l'I.P.I. atteste de l'existence d'une liaison temporelle entre les deux évolutions. Cette relation repose sur une élasticité variable du tonnage aux variations de l'I.P.I. formalisée par un ajustement linéaire avec une fonction affine.

Graphique XI-10. Régression entre les variations annuelles du tonnage interrégional et de l'I.P.I.



Le modèle ainsi obtenu ne permet pas toutefois de décrire de façon satisfaisante l'évolution du tonnage interrégional au regard des tests de qualité statistique du modèle linéaire. En effet, l'ajustement n'explique que 33% de la variance totale. De plus, les significations statistiques de la

relation et de la variable explicative ne sont pas très élevées au regard des tests statistiques de Student et de Fisher.

Tableau XI-16. Relation affine de court terme entre Tonnage interrégional et I.P.I.

Variable expliquée	Variable explicative	Equation $\frac{\Delta T}{T} = a * \frac{\Delta IPI}{IPI} + b$	R^2	t	DW	Auto-corrélation
t.c.a. tonnage interrégional	t.c.a. de l'I.P.I.	Y=0,821X-0,0041	0,33	t = 2,87 prob>t : 0,01	2,06	non

*t.c.a. : taux de croissance annuel

La démarche choisie pour améliorer cette relation consiste à lisser les séries chronologiques du tonnage et de l'I.P.I. afin de les "corriger" de variations accidentelles[6]. L'application d'un filtre par moyenne mobile d'ordre 3 sur les deux séries des variables impliquées améliore sensiblement la qualité de l'ajustement (R^2 = 0,62) mais ne permet pas d'obtenir un modèle satisfaisant expliquant une part dominante de la variance du nuage de points. Le second filtre avec des moyennes mobiles pondérées d'ordre 4 donne un ajustement satisfaisant au regard de la part de la variance expliquée (R^2 = 0,82) et des tests statistiques positifs.

Tableau XI-17. Relation affine de court terme entre Tonnage interrégional et I.P.I. lissés

Variable expliquée	Variable explicative	Equation $\frac{\Delta T}{T} = a * \frac{\Delta IPI}{IPI} + b$	R^2	t	F	DW	Auto-corrélation
tca lissé mm3 tonnage inter.	tca lissé mm3 I.P.I.	Y=1,34X-0,01	0,62	4,95	24,5	0,99	oui
tca lissé mm4 tonnage inter.	tca lissé mm4 I.P.I.	Y=1,82X-0,015	0,82	7,80	60,80	0,61	oui

L'application de filtre présente en revanche une faiblesse méthodologique importante en modélisation, l'apparition d'une autocorrélation sérielle des résidus de l'ajustement[7]. La présence d'autocorrélation affecte la qualité statistique des résultats du modèle. Concrètement, cela signifie que les résidus d'estimation d'une année sont liés à ceux de l'année précédente par une relation, souvent linéaire. Dans ce cas, les estimations ne dépendent plus uniquement de la corrélation avec la variable explicative mais aussi d'une autorégression sur les résidus. Du point de vue théorique, la présence d'autocorrélation des résidus remet en cause les hypothèses du modèle théorique linéaire sur les propriétés de distribution gaussienne et d'indépendance des termes d'erreurs.

Les modèles obtenus présentent donc deux faiblesses. La première est la présence d'autocorrélation sérielle d'ordre 1 des résidus détectée par la statistique de Durbin-Watson[8]. Cette faiblesse peut toutefois être dépassée en corrigeant facilement cette autocorrélation[9]. La seconde

[6] Cf. section II et BOSQ, LECOUTRE, (1992) ; VATE (1993) ; WONNACOTT (1991) et BOURBONNAIS (1997).

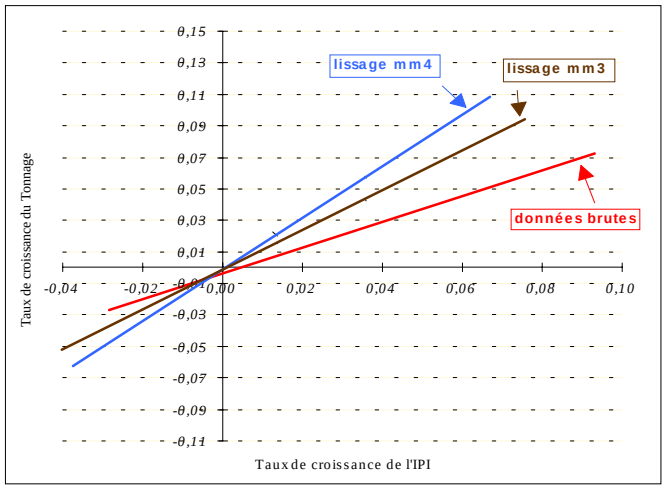
[7] Cet effet est identifié comme l'effet de Slutsky-Yule. Il provient de la prise en compte plusieurs fois d'une même donnée dans la série chronologique lissée par les moyennes mobiles. Sur ce point, voir VATE (1993).

[8] Cf. section II et JOHNSTON, 1988 ; WONNACOTT, 1991 ; BOURBONNAIS, 1997.

[9] Une des méthodes est la réécriture du modèle sur les différences premières des paramètres de l'équation. cf. TOMASSONE *et alii* (1992) et Bourbonnais (1997). Les logiciels actuels d'économétrie corrigent aussi très facilement cette autocorrélation (ex : LIMDEP).

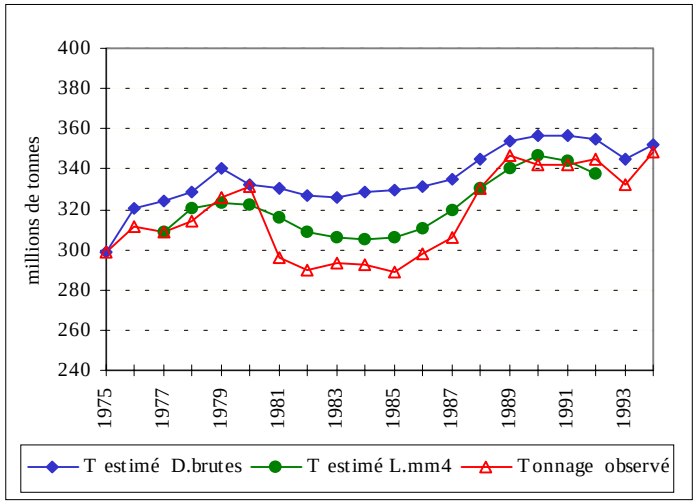
est une variation de la valeur des élasticités par rapport au modèle initial sur les taux de croissance bruts. En éliminant certaines fluctuations, le lissage modifie l'intensité de la relation entre les deux variables. L'élasticité du tonnage à la production industrielle est plus forte après lissage, ce que traduit approximativement une valeur supérieure du coefficient de régression de l'équation. La conséquence est une surestimation des simulations après lissage par rapport à celles données par le modèle initial. Par exemple, pour un taux de croissance annuel de l'I.P.I. de 2%, les modèles donnent des valeurs de plus en plus élevées pour l'élasticité moyenne, 1,33 avec le modèle brut, 1,63 avec le premier lissage et 1,75 avec le second lissage et trois estimations différentes du taux de croissance du tonnage : 1,23%, 1,63% et 2,07%.

Graphique XI-11. Droites d'ajustement selon le lissage des séries chronologiques



De plus, le calage sur la période 1975-1994 du modèle obtenu après un filtre important avec des moyennes mobiles d'ordre 4 reste encore de qualité médiocre même s'il est nettement meilleur que celui avec les estimations sur données brutes. En particulier, la période de contraction du tonnage entre 1981 et 1987 est très mal retranscrite. Cette faiblesse du calage conduit à rechercher un autre moyen d'amélioration de l'ajustement entre les variations des tonnages et de la production industrielle.

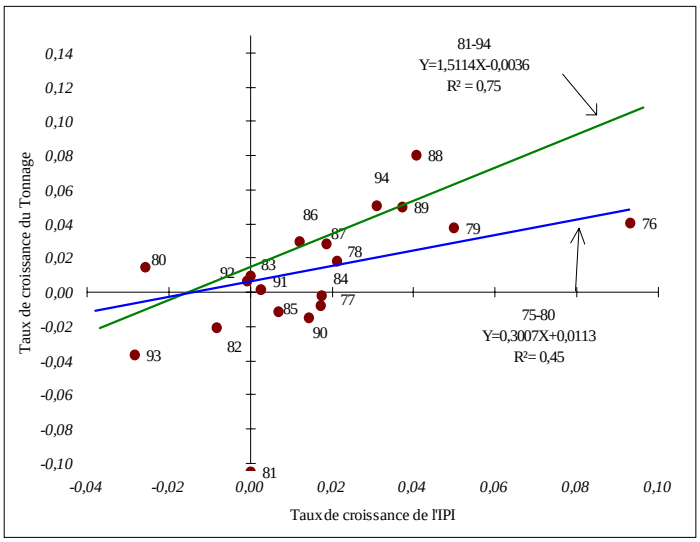
Graphique XI-12. Calages avec les modèles sur données brutes et lissées



La rupture dans la série chronologique du tonnage entre 1980 et 1981 est en effet difficile à intégrer dans un ajustement car elle ne relève pas uniquement de fluctuations de la conjoncture industrielle mais aussi d'un effet direct du second choc pétrolier. La baisse des tonnages interrégionaux en 1981 est en partie le fait des produits pétroliers qui connaissent une chute de -15%, représentant 14% de la baisse du tonnage total et des matériaux de construction, autrement dit du secteur du BTP, qui subissent de plein fouet la crise économique avec une baisse de 15% de leur tonnage qui compte pour 33% de la baisse du tonnage total interrégional. Enfin, les produits manufacturés sont également affectés (baisse de 11% qui équivaut à 21% de la baisse du tonnage total).

Dans la perspective de s'affranchir de cette rupture particulière, nous avons approfondi l'étude de l'élasticité du tonnage interrégional à la production industrielle en scindant en deux parties la période d'observation de part et d'autre de l'année 1981. Les ajustements obtenus avec les taux de croissance annuels des données brutes sur chaque sous-période sont forts différents. La fin des années 70 se caractérise par des fluctuations industrielles très heurtées, répercussions des deux chocs pétroliers et des crises économiques. L'élasticité du tonnage interrégional à la production industrielle est alors faible et l'ajustement de qualité peu satisfaisante, en raison de l'impact significatif d'autres facteurs sur les fluctuations du tonnage au cours de cette période. A l'opposé, l'élasticité obtenue au cours de la seconde sous-période est plus élevée et l'ajustement est de qualité bien meilleure.

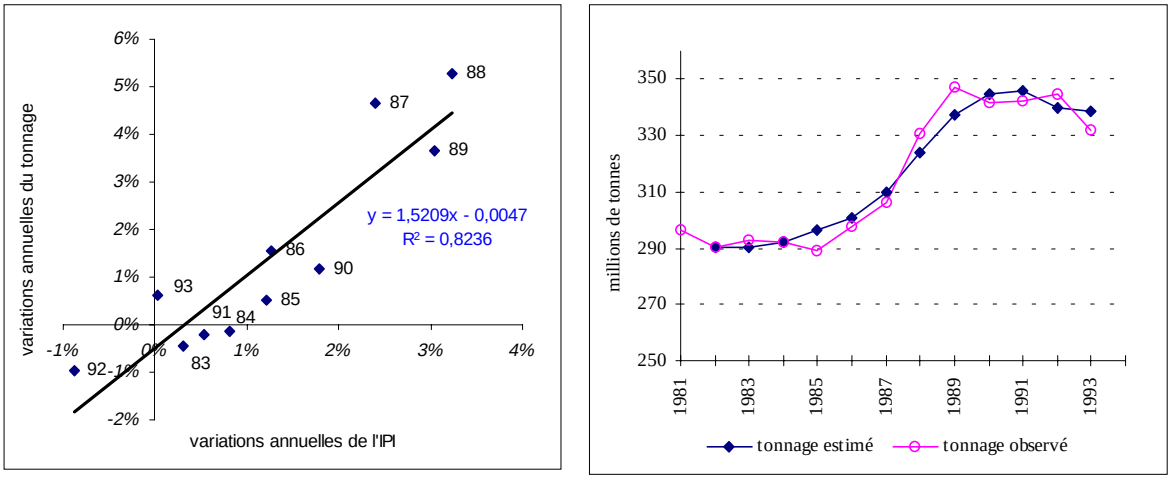
Graphique XI-13. Régressions à partir d'une segmentation temporelle 75-80 et 81-94



L'ajustement sur la période 80-94 est d'autant plus satisfaisant après l'application d'un lissage au moyen de moyennes mobile simples. Toutefois, cet ajustement comporte plusieurs faiblesses. La première est de reposer sur une période d'observation plus réduite (13 ans au lieu de 19 ans sans lissage), ce qui a tendance à réduire la fiabilité des ajustements. La seconde est que l'évolution du tonnage aux cours des années 70 est totalement évincée alors qu'elle ne peut être considérée dans son ensemble comme une période accidentelle et ne pouvant pas se reproduire. Il n'y a en effet aucune raison d'affirmer que de telles crises énergétiques et/ou économiques n'affecteront pas à plus ou moins long terme la production industrielle nationale et par voie de conséquence le transport de marchandises. Enfin, la fiabilité économique du modèle nécessite la prise en compte

de période de récession, c'est-à-dire des périodes où l'élasticité du fret à la production industrielle est négative, dans le but d'intégrer un éventail aussi large que possible de situations de variation du tonnage en fonction de la conjoncture industrielle.

Graphique XI-14. Ajustement linéaire sur la période 1980-1994 (taux lissés mm3)



Des facteurs structurels expliquent aussi la rupture au début des années 80 à la fois dans l'évolution des modes de production, des modes de consommation mais aussi dans les stratégies globales d'organisation logistique de la distribution spatiale du fret. En effet, les années 80 ont vu se développer les systèmes de distribution et d'approvisionnement en flux tendus et/ou en juste à temps. Cette période a connu aussi une transformation de la production industrielle avec une dématérialisation des produits marquée par le déclin des industries lourdes telles que la métallurgie et la sidérurgie et le développement des industries de produits à plus forte valeur ajoutée. Ces transformations dans l'organisation productive et logistique se sont répercutées dans la structure du fret par une croissance des échanges de produits manufacturés de consommation courante et d'électronique et une baisse des produits des industries lourdes (sidérurgie, ...) et des minerais et matériaux de construction.

Cette évolution à long terme de la structure sectorielle des échanges par catégories de produits se retrouve aussi très nettement dans les échanges mondiaux. Holcblat et Tavernier (1989) expliquent les modifications de structure dans les échanges par deux facteurs principaux : une substitution régulière dans le temps des nouveaux marchés aux anciens avec en particulier le poids croissant des produits électroniques qui surpassent les industries sidérurgiques et agro-alimentaires fortement présentes dans le commerce des années 70. Le second facteur est l'impact des chocs pétroliers entre 1975 et 1982, avec une demande importante en biens d'équipement lourds et en infrastructures en particulier par les pays producteurs de pétrole.

Pour Salais et Storper (1993), dans leur analyse sur *Les Mondes de Production*, les produits de masse qui relèvent d'une application devenue dominante dans les secteurs industriels de production "*ne peuvent plus être le support des échanges entre pays développés*". Les différentiels et avantages à l'échange sont plus la conséquence "*de processus dynamiques d'apprentissage collectif et d'innovation fondés sur l'évolution des produits existants et la création de nouveaux*".

Concernant la modélisation à long terme du fret, cette déformation de la structure sectorielle des échanges a des répercussions sur l'élasticité du tonnage transporté à la conjoncture industrielle en raison de la sensibilité particulière de chaque catégorie de produits à la croissance industrielle.

E-2. Approche désagrégée par catégorie de produits

La même modélisation que précédemment est testée sur les séries chronologiques des taux de croissance des tonnages de chaque classe N.S.T. de produits. La segmentation sectorielle du fret repose sur les classes en chapitres et en sections N.S.T. avec un regroupement des produits agricoles, agro-alimentaires et des engrais (NST 0+1+7). Ce regroupement a été décidé à la suite de premiers résultats d'ajustement convergents pour ces catégories et en raison des rapprochements de ces catégories faites dans diverses nomenclatures (table de correspondances NST-NAP établie par l'INSEE et l'OEST (INSEE-OEST, 1992) et table de correspondance du LET (Latreille, 1997).

Tableau XI-18. La décomposition sectorielle du fret interrégional (catégories N.S.T.)

Catégories N.S.T.	Intitulés
0+1+7	Produits agricoles (et animaux vivants), agro-alimentaires (denrées alimentaires et fourrages) et engrais
2	Combustibles minéraux solides
3	Produits pétroliers bruts et raffinés
4	Minerais et déchets pour la métallurgie
5	Produits métallurgiques
6	Minéraux bruts ou manufacturés et matériaux de construction
8	Produits chimiques
9a	Matériel de transport et matériel agricole
9b	Machines et articles métalliques
9cd	Verre (faïence, porcelaine) et autres articles manufacturés

Les corrélations sont établies entre les taux de croissance des tonnages de chaque classe sectorielle et les taux de croissance de l'I.P.I.. Dans l'ensemble, les ajustements obtenus sont de qualité moyenne mais attestent pour certains d'entre eux de l'existence d'une liaison temporelle.

Tableau XI-19. Relations à élasticité variable par catégorie N.S.T. de produits en fonction de l'I.P.I.

NST	Equation	R^2	t de Student	F Fisher	Durbin-Watson	autocorrélation des résidus
0+1+7	Y=0,371X+0,016	0,08	1,22	1,49	2,27	non
2	Y=1,625X-0,053	0,16	1,83	3,36	1,89	non
3	Y=1,085X-0,03	0,24	2,32	5,39	1,50	non
4	Y=0,176X-0,008	0	0,12	0,02	2,88	non
5	Y=2,362X-0,049	0,65	5,65	31,87	2,53	non
6	Y=0,37X-0,006	0,02	0,59	0,35	1,91	non
8	Y=1,511X-0,012	0,50	4,11	16,89	2,31	non
9a	Y=2,336X-0,021	0,27	2,50	6,26	2,71	non
9b	Y=1,449X-0,021	0,33	2,93	8,56	3,05	non
9cd	Y=1,186X+0,011	0,34	2,96	8,73	2,66	non

Une liaison temporelle est bien formalisée pour les produits métallurgiques (NST5) et les produits chimiques (NST8) avec un coefficient de détermination supérieur ou égal à 0,50. A l'opposé, les produits agricoles et agro-alimentaires, les produits pétroliers, les produits

métallurgiques et les matériaux de construction ne font apparaître aucune liaison entre les variations du tonnage et celles de l'I.P.I..

Les différentes évolutions conjointes des tonnages interrégionaux par produit et de l'I.P.I., exprimées soit en indice base 100 en 1985 soit en taux de croissance annuels (sur lesquels les ajustements ont été testés) sont présentées en annexe XI-6. Ces représentations graphiques mettent en évidence les variations à long terme très spécifiques à chaque catégorie de produits ainsi que des fluctuations et des divergences d'évolution par rapport à l'I.P.I. plus marquées au cours des années 70 qu'en fin de période. Les graphiques en taux de croissance annuels montrent également les phénomènes d'amplification des fluctuations de la production industrielle par le tonnage transporté.

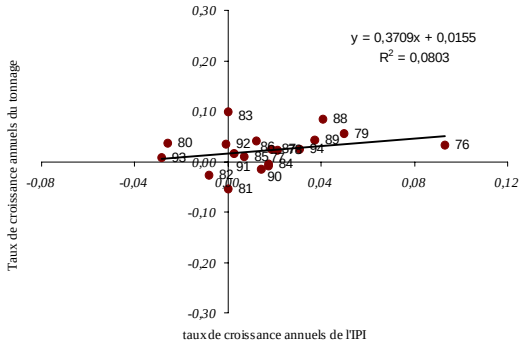
La déconnexion des tonnages de certains produits s'explique assez facilement. L'évolution déconnectée des tonnages des produits agricoles, agro-alimentaires, engrais (nst0+1+7) par rapport à la croissance industrielle s'explique par le jeu d'autres facteurs, en particulier l'évolution démographique et les variations climatiques qui interfèrent fortement sur l'évolution de ces produits. L'évolution des combustibles minéraux solides (nst2) est aussi totalement déconnectée de la conjoncture industrielle en raison de la tendance de déclin à long terme de cette branche industrielle, qui peut être imputée à une utilisation de plus en plus marginale de ces produits dans les systèmes productifs récents et en particulier dans le secteur énergétique (chauffage, électricité, …). La déconnexion des minerais et déchets pour la métallurgie (nst4) s'explique moins facilement. L'observation de l'évolution rétrospective des tonnages interrégionaux de ces produits montre des fluctuations très heurtées au cours des années de crise entre 1975 et 1981 qui ne peuvent être retranscrites par une formalisation mathématique. Cette évolution heurtée peut toutefois s'expliquer aussi par le déclin des industries sidérurgiques et métallurgiques, en France comme dans de nombreux pays industrialisés. L'évolution des matériaux de construction (nst 6) est marquée par de fortes fluctuations au cours des années 70. Cette catégorie de produits s'avère fortement affectée par les crises économiques en raison du rôle central du secteur du BTP dans les investissements publics. Ainsi, en période de crise, les grands chantiers immobiliers ou en infrastructures sont réduits alors qu'ils s'avèrent d'importants facteurs de relance lors des reprises économiques. Ce phénomène ressort à travers la baisse importante des tonnages en 1981 et la forte hausse en 1988.

Pour les autres catégories de produits (nst 3, nst 5, nst 8, nst 9a, 9b, 9cd) une liaison temporelle est présente entre l'évolution des tonnages et celle de la conjoncture industrielle, même si les liaisons économétriques nécessitent d'être améliorées.

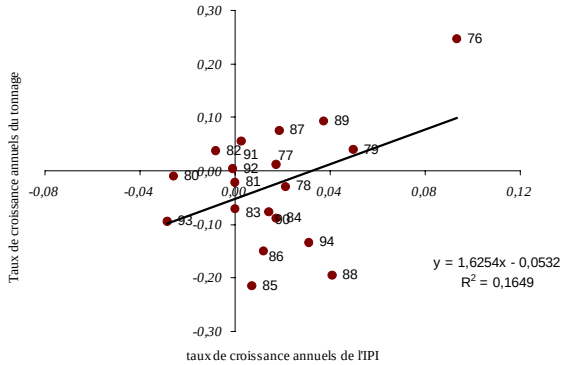
Les représentations croisées des taux de variation annuelle des tonnages et de l'I.P.I. (graphiques XI-15) font ressortir les catégories de produits pour lesquelles une relation avec l'I.P.I. existe et celles pour lesquelles les variations du tonnage sont plutôt déconnectées de la conjoncture industrielle.

Graphiques XI-15. Régressions tonnages par catégorie de produits et I.P.I. (taux bruts)

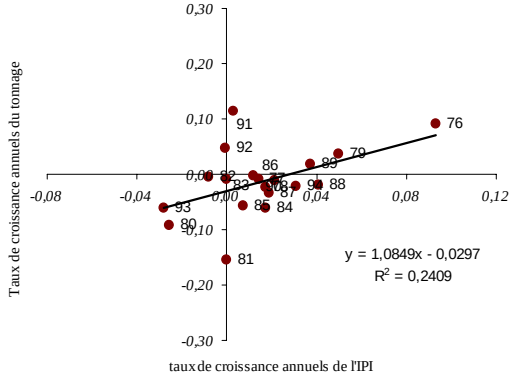
Tonnages des produits agricoles, agro-alimentaires et engrais (nst 0+1+7)



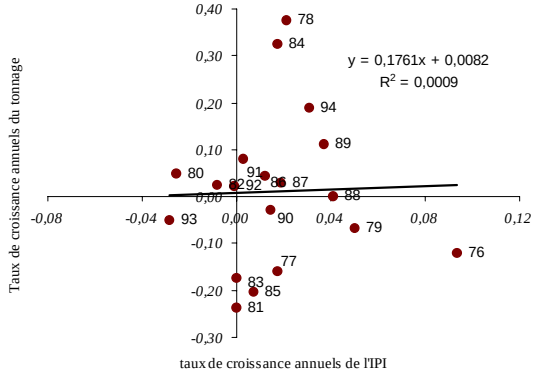
Tonnages des combustibles et minéraux solides (nst2)



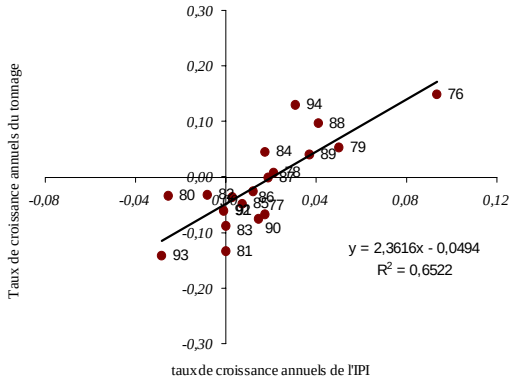
Tonnages des produits pétroliers (nst3)



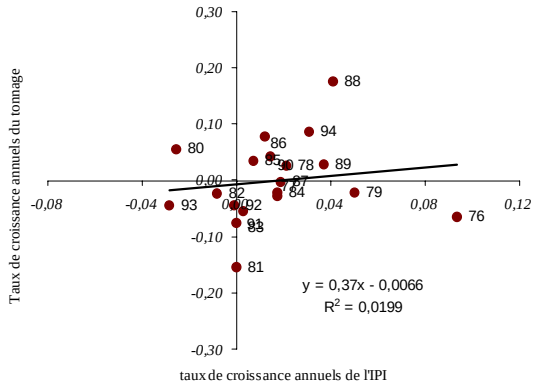
Tonnages de minerais pour la métalluegie et la sidérurgie (nst4)



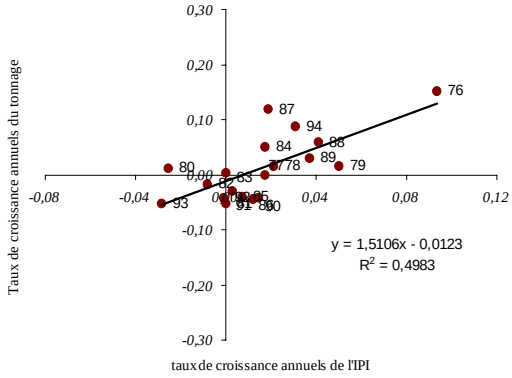
Tonnages de produits sidérurgiques et métallurgiques (nst5)



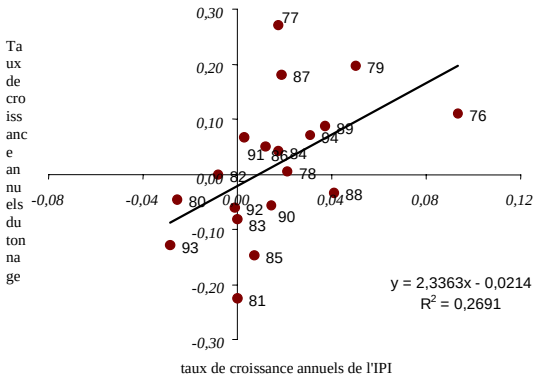
Tonnages de matériaux de construction et minéraux bruts (nst6)

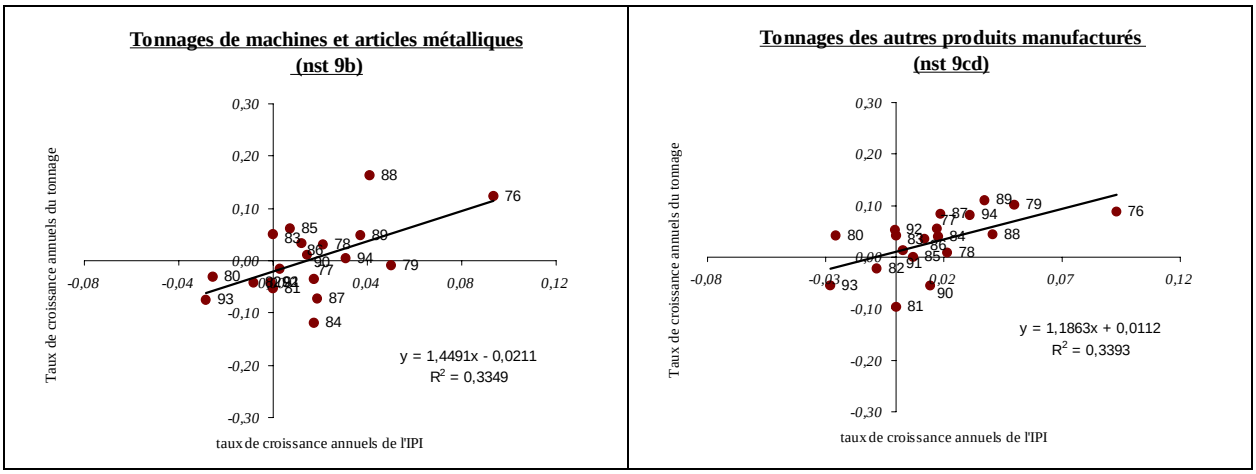


Tonnages de produits chimiques (nst 8)



Tonnages de matériel de transport (nst 9a)



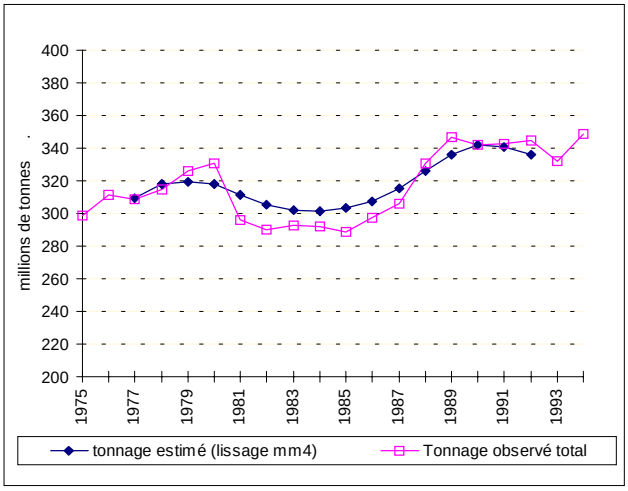


Les ajustements sont en majorité affectés par les évolutions particulières du fret entre 1979 et 1981. La position de l'année 1980 est atypique pour plusieurs catégories de produits car elle combine une décroissance de l'activité industrielle et une croissance des tonnages générés (nst 0+1+7, nst 4, nst 6, nst 8, nst 9cd). La position de 1981 présente au contraire un profil commun à tous les produits avec une baisse des tonnages et une stabilité de la production industrielle. Les années 1980 et 1981 présentent deux situations difficiles à retranscrire par un ajustement.

Outre ce problème du début des années 80, certaines évolutions des tonnages ne sont pas en phase avec la conjoncture industrielle (produits agricoles et agro-alimentaires, combustibles minéraux solides et déchets pour la métallurgie) et conduisent donc à des droites d'ajustement peu inclinées voire horizontales n'apportant aucune information supplémentaire par rapport à un ajustement à la valeur moyenne des observations. De ce fait, l'évolution du tonnage interrégional de ces catégories de produits ne peut être expliquée par la croissance industrielle. Pour les autres catégories faisant ressortir une liaison temporelle assez significative (nst 5, 8, 9a, 9b et 9cd) ou connaissant des évolutions différenciées entre le début et la fin de la période d'observation (nst 3 et nst 6), la recherche d'un ajustement avec la conjoncture industrielle est poursuivie par une analyse et une correction des variations accidentelles de court terme.

La démarche engagée consiste à lisser les séries chronologiques et donc à passer d'une modélisation de court terme à une modélisation de moyen terme de la sensibilité du tonnage interrégional à la croissance industrielle. Le lissage par moyenne mobile d'ordre 3 sur l'ensemble de la période n'améliore pas beaucoup les relations. Seule la relation avec les produits métallurgiques (nst 5) est plus satisfaisante (R^2 =0,79). Le recours à un lissage plus fort, avec des moyennes mobiles pondérées d'ordre 4, améliore de façon significative la qualité des ajustements au regard des coefficients de détermination : produits métallurgiques (nst5 ; R^2 = 0,94), matériel de transport (nst 9a ; R^2=0,84), machines et articles métalliques (nst 9b ; R^2=0,79), produits manufacturés (nst 9cd ; R^2 = 0,88), produits chimiques (nst 8 ; R^2 = 0,71) et matériaux de construction (nst 6 ; R^2 = 0,69). Cependant, le calage de ces modèles sur la période d'observation 75-94 reste peu satisfaisant pour chaque catégorie de produits (cf. annexe XI-8) comme pour l'ensemble du tonnage interrégional (graphique XI-16), même s'il est amélioré par rapport au calage du modèle agrégé.

Graphique XI-16. Calage du modèle de génération (lissage par moyennes mobiles d'ordre 4)



Afin d'obtenir un calage de meilleure qualité, nous avons testé une autre méthode de lissage des séries chronologiques portant sur des taux de croissance et appliquée par C. Latreille dans le modèle Quinquin Fret. Cette méthode consiste à calculer des taux de croissance moyens annuels[10] sur des segments pluriannuels et à rechercher un ajustement entre les variations de moyen terme du tonnage en fonction des variations de moyen terme de l'I.P.I.. Ce type de lissage s'interprète comme le passage d'une relation de court terme à une relation de moyen terme entre les variables expliquées et explicatives.

Les taux de croissance moyens annuels sont calculés simultanément sur les deux séries chronologiques des tonnages et de la production industrielle. Les relations affines sont alors établies sur les séries des taux moyens mesurés sur des segments pluriannuels de 2 ou 3 ans. Afin de mieux restituer les évolutions des différentes catégories de produits, les segments pluriannuels ne sont pas toujours identiques d'une catégorie à l'autre. Toutefois, dans la majorité des cas, des segments d'une durée de deux ans ont été appliqués entre 1975-1979 et 1988-1990 et des segments d'une durée de trois ans entre 1979-1988 et entre 1990-1993. Pour les produits chimiques (nst 8) le lissage diffère légèrement, avec des segments de deux ans pour 1986-1987 et de trois ans pour 1988-1990[11].

Le passage à une modélisation de moyen terme confirme l'absence ou la faiblesse de liaison entre les tonnages interrégionaux et la production industrielle pour les produits agricoles et agro-alimentaires, les combustibles minéraux solides, les minerais et déchets pour la métallurgie ainsi que les produits pétroliers. Il atteste en revanche de l'existence de relations satisfaisantes pour 5 catégories de produits, les produits métallurgiques, le matériel de transport, les produits chimiques, les machines et articles métalliques et les produits manufacturés-verre (cf. représentations graphiques en annexe XI-10).

[10] Le recours à des taux de croissance moyens annuels permet de s'affranchir des fluctuations conjoncturelles annuelles en faisant reposer la relation sur des élasticités de moyen terme. Cf. LATREILLE (1997), p. 80.

[11] Les séries lissées et les séries brutes des taux de croissance sont présentées en annexe XI-9.

Tableau XI-20. Variations de moyen terme entre le tonnage interrégional et l'I.P.I. par catégorie de produits

NST	Equation	R^2	t de Student	F Fisher	DW	autocorrélation des résidus
0+1+7	Y=0,398 X+0,015	0,17	1,81	3,28	0,91	oui
2	Y=1,306X-0,044	0,15	1,66	2,75	0,56	oui
3	Y=0,966X-0,027	0,26	2,35	5,51	0,33	oui
4	Y=0,077X-0,009	0	0,09	0,008	1,21	incertain
5	Y=1,889X-0,05	0,87	10,45	109,14	0,85	oui
6	Y=0,794X-0,019	0,13	1,56	2,45	0,51	oui
8	Y=1,336X-0,013	0,78	7,64	58,39	0,9	oui
9a	Y=3,939X-0,05	0,89	11,17	124	0,96	oui
9b	Y=1,42X-0,0212	0,82	8,5	72,18	0,37	oui
9cd	Y=1,349X+0,006	0,84	9,08	82	0,97	oui

Pour les produits agricoles et agro-alimentaires, les combustibles minéraux solides, les produits pétroliers et les minerais et déchets pour la métallurgie, l'ajustement est fonction du temps et la simulation à long terme est ramenée à une projection en fonction du trend passé. Le trend est alors déterminé par un ajustement après lissage par moyennes mobiles ou par la moyenne arithmétique des observations. Les produits pétroliers sont modélisés par une fonction semi-logarithmique, les déchets pour la métallurgie font l'objet d'un simple ajustement à la valeur moyenne des observations passées et les deux autres catégories de produits (nst0+1+7, nst2) d'un ajustement linéaire.

Les matériaux de construction font l'objet d'un traitement économétrique particulier. L'évolution antérieure de leur tonnage présente une forte déconnexion vis à vis de la croissance industrielle à la fin des années 70 (cf. annexe XI-7). Cette forte rupture interdit tout ajustement correct sur l'ensemble de la période d'observation. De ce fait, l'ajustement a été établi sur une période restreinte aux années 80 et 90. Avec un lissage par taux de croissance moyens annuels, l'évolution des tonnages interrégionaux de matériaux de construction est assez bien décrite par les variations de la production industrielle nationale sur la période 1981-1994.

Tableau XI-21. Relations de moyen terme entre les tonnages interrégionaux et l'I.P.I.

NST	Variable exogène	Equation	R^2	t de Student	F Fisher	Durbin-Watson	autocorrélation des résidus
0+1+7	trend	Y=2,389t-4633,8	0,94	-	262,8	0,30	oui
2	trend	Y=-0,357t+716,49	0,86	-	101,2	0,34	oui
3	trend	Y=-6,137 ln(t)+41,12	0,81	-	70	0,41	oui
4	moyenne	Y=4,1508	-	-	-	-	-
5	IPI	Y=1,889X-0,05	0,87	10,45	109,14	0,85	oui
6	IPI	Y=2,685X-0,018	0,86	8,29	68,7	1,05	oui
8	IPI	Y=1,336X-0,014	0,78	7,64	58,39	0,9	oui
9a	IPI	Y=3,939X-0,05	0,89	11,17	124	0,96	oui
9b	IPI	Y=1,42X-0,0212	0,82	8,5	72,18	0,37	oui
9cd	IPI	Y=1,349X+0,006	0,84	9,08	82	0,97	oui

Les ajustements obtenus ne sont toutefois pas satisfaisants pour l'ensemble des tests statistiques du modèle linéaire théorique. Une autocorrélation des résidus d'ordre 1 est en effet mise en évidence par la statistique de Durbin-Watson. Cette autocorrélation est directement le fait du lissage. Afin d'éviter un biais sur la qualité des estimations, cette autocorrélation est corrigée à l'aide du logiciel LIMDEP. Les nouveaux ajustements obtenus après correction de l'autocorrélation sont présentés dans les tableaux suivants, avec et sans le paramètre

d'autocorrélation exprimé par le résidu décalé, *e(t-1)*, et la valeur associée du coefficient d'autocorrélation.

Tableau XI-22. Relations avec le terme correctif de l'autocorrélation des résidus

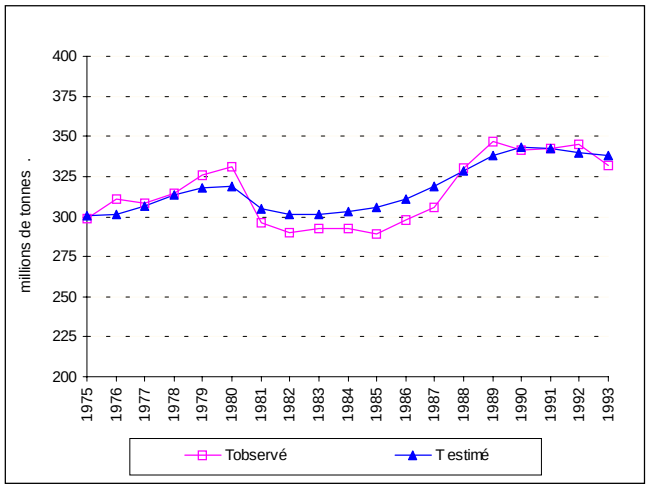
NST	Variable exogène	Equation Y= a' X + b' +ρ e(t-1)	NST	Variable exogène	Equation Y= a' X + b' +ρ e(t-1)
0+1+7	temps	Y=2,31 X-4475+0,872 e(t-1)	6	IPI	Y=2,78X-0,02+0,53 e(t-1)
2	temps	Y=-0,267X-536,78+0,896 e(t-1)	8	IPI	Y=1,25X-0,01+0,57 e(t-1)
3	temps	Y=-3,465lnX+35,86+0,91 e(t-1)	9a	IPI	Y=3,69X-0,04+0,56 e(t-1)
4	moyenne	Y=4,1508	9b	IPI	Y=1,56X-0,03+0,86 e(t-1)
5	IPI	Y=1,856X-0,05+0,58 e(t-1)	9cd	IPI	Y=1,36X+0,006+0,52 e(t-1)

Tableau XI-23. Relations de moyen terme corrigées de l'autocorrélation (retenues)

NST	Variable exogène	Equation Y= a' X + b'	t de Student	Durbin-Watson	autocorrélation des résidus d'ordre 2
0+1+7	temps	Y=2,31 X-4475	t=8,4 ; prob>t : 0,0000	0,86	oui
2	temps	Y=-0,267X-536,78	t=-3,62 ; prob>t : 0,0003	0,35	oui
3	temps	Y=-3,465lnX+35,86	t=-2,54 ; prob>t : 0,01	0,31	oui
4	moyenne	Y=4,1508	-	-	-
5	IPI	Y=1,856X-0,05	t=9,06 ; prob>t : 0,0000	1,75	non
6	IPI	Y=2,78X-0,02	t=7,35 ; prob>t : 0,0000	1,88	non
8	IPI	Y=1,25X-0,01	t=6,34 ; prob>t : 0,0000	1,74	non
9a	IPI	Y=3,69X-0,04	t=9 ; prob>t : 0,0000	1,73	non
9b	IPI	Y=1,56X-0,03	t=11,61 ; prob>t : 0,0000	1,93	non
9cd	IPI	Y=1,36X+0,006	t=7,99 ; prob>t : 0,0000	1,7	non

Les équations sans le paramètre d'autocorrélation, *ρ * e(t-1)*, constituent les ajustements du modèle de génération. La qualité de chaque ajustement en termes d'estimation des tonnages est confirmée par le calage sur la période d'observation 1975-1994 (calages présentés en annexe XI-11). Le calage global concernant l'ensemble des tonnages tous produits confondus est relativement satisfaisant et rend compte de la période de contraction du trafic entre 1981 et 1986 et en particulier de la chute des tonnages entre 1980 et 1981.

Graphique XI-17. Calage du tonnage interrégional total estimé sur la période 1975-1994



La comparaison des calages obtenus avec les différents types de lissage et d'ajustement, avant et après correction de l'autocorrélation des résidus est également présentée en annexe XI-11. Le calage final obtenu par un lissage avec le calcul de taux de croissance moyens annuels sur les tonnages par produit et après correction de l'autocorrélation des résidus est le calage le plus

satisfaisant. Il diffère toutefois très peu du calage obtenu avant la correction de l'autocorrélation des résidus.

Le modèle de génération du fret interrégional total se définit donc comme un modèle macro-économique désagrégé par catégorie de produits, à élasticité variable et fonction des variations de moyen terme de la production industrielle nationale mesurée par l'Indice de Production Industrielle. Le modèle comporte autant d'ajustements que de catégories de produits qui présentent chacune une sensibilité à la conjoncture industrielle bien distincte.

XI-3. La génération du fret intrarégional

La phase de génération du fret intrarégional est réalisée selon une démarche d'analyse et de modélisation similaire à celle développée pour la génération du fret interrégional. L'investigation a été facilitée par les enseignements de la modélisation du fret interrégional et en particulier des choix décisifs effectués sur la nature et la forme fonctionnelle des variables et des spécifications, sur la méthode de lissage et sur les tests statistiques de validation et de correction des fonctions d'ajustement.

XI-3-1. Nouvel échec de l'approche directe régionale

Les tentatives de formalisation d'une liaison temporelle à l'échelle régionale entre les variations du tonnage intrarégional et celles d'une variable économique régionale se heurtent à nouveau aux contraintes statistiques d'indisponibilité de nombreuses données à l'échelle régionale en série chronologique longue et au problème de la déconnexion valeur - volume physique.

Plusieurs indicateurs socio-économiques régionaux ont donc été exploités pour modéliser l'évolution du tonnage intrarégional généré annuellement par chaque région. La variable explicative retenue se rapporte à l'appareil productif (valeur ajoutée brute ou emploi total ou des branches industrielles et agricoles). La prise en compte de la population régionale comme un indicateur socio-économique relatif à la sphère de consommation a également été testée.

Les formes fonctionnelles des variables et des relations causales ont été choisies en fonction des résultats obtenus lors de la modélisation du fret interrégional. De ce fait, les tests ont été effectués de façon préférentielle sur les taux de croissance annuels des variables expliquées et explicatives confrontées et avec des fonctions linéaires affines qui donnent des élasticités variables. Les séries chronologiques ont fait l'objet de lissage en vue de ne conserver que la tendance d'évolution. Le premier lissage appliqué est celui par moyenne mobile dans le but de tester le degré d'amélioration possible imputable au lissage des séries chronologiques. Dans le cas d'une amélioration significative mais non suffisante statistiquement de la part de la variance expliquée avec les moyennes mobiles, un lissage par taux de croissance moyens annuels est envisagé. En revanche, un faible impact du lissage par moyenne mobile ne donne pas lieu à un approfondissement avec un autre lissage.

Les résultats obtenus avec chacun des indicateurs économiques ou socio-économiques cités, à savoir, valeur ajoutée brute industrielle et agricole, emploi et population, à l'aide d'une spécification linéaire affine sur les taux de croissance annuels des variables, sont de qualité très

médiocre et ne font pas ressortir de véritables corrélations. Le tableau suivant présente les résultats issus de régressions linéaires sur les taux de croissance annuels du tonnage intrarégional et de la valeur ajoutée brute industrielle et agricole pour chacune des régions à l'aide d'une spécification affine et à partir des observations de la période 1975-1992.

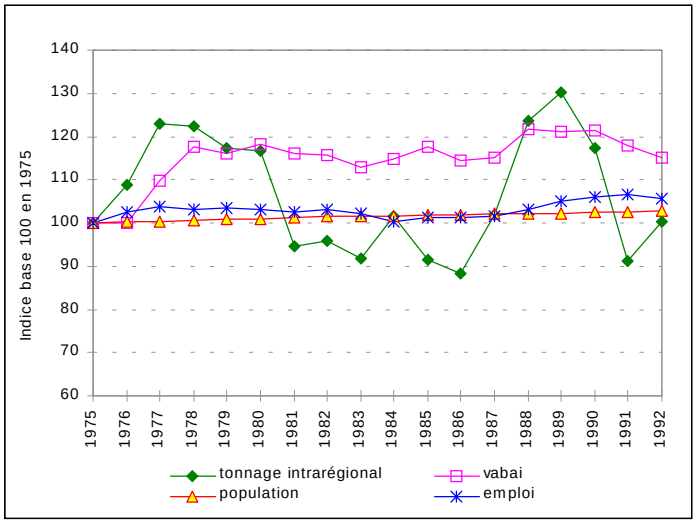
Tableau XI-24. Relations de court terme - tonnage intrarégional et VABAI régionale

région	équation	R^2	t de Student	Test F
NPDC	Y=-0,74X-0,008	0,08	1,18	1,39
PICA	y=-0,11X-0,012	0	-0,09	0,009
IDF	Y = 896X-0,02	0,08	1,14	1,30
CENT	Y=-0,324X+0,017	0,007	-0,33	0,11
HANO	Y=-0,48X-0,014	0,16	1,71	2,92
BANO	Y=-0,304X+0,004	0,01	-0,39	0,16
BRET	Y=0,987X+0,01	0,07	1,08	1,17
PALO	Y=1,20X+0,003	0,13	1,47	2,17
POCH	Y=-0,207X+0,008	0,002	-0,19	0,04
LIMO	Y=1,565X+0,017	0,05	0,92	0,84
AQUI	Y=-0,10X+0,008	0,005	0,28	0,08
MIPY	Y = -0,588X+0,029	0,04	-0,81	0,66
CHAR	Y=0,158X-0,007	0,01	0,47	0,22
LORR	Y=-0,22X-0,034	0,02	0,50	0,25
ALSA	Y=-0,37X+0,018	0,009	-0,38	0,14
FRCO	Y=1,182X-0,02	0,16	1,70	2,90
BOUR	Y=1,528X-0,006	0,22	2,05	4,20
AUVE	Y=2,004X-0,001	0,18	1,79	3,19
RHAL	Y=-0,13X-0,004	0,002	-0,18	0,03
LARO	Y =-1,22X+0,02	0,17	-1,79	3,21
PACA	Y = 0,597X-0,002	0,03	0,49	0,24

Le lissage des séries chronologiques avec des moyennes mobiles d'ordre 3 ne permet pas d'améliorer de façon significative la qualité des ajustements (cf. annexe XI-12), à l'exception de deux relations seulement qui offrent un coefficient de détermination légèrement plus élevé et pouvant attester de l'existence d'une relation causale : Franche-Comté (R^2=0,52) et Bourgogne (R^2=0,39). Les relations testées avec l'emploi comme variable explicative ne sont guère plus prometteuses et ne traduisent pas de corrélation entre les tonnages transportés et les effectifs salariés par région (cf. résultats statistiques en annexe XI-12).

La médiocrité générale des résultats s'explique en partie par les très fortes fluctuations des tonnages intrarégionaux et par le sens souvent divergent de ces fluctuations par rapport à celui des fluctuations de l'indicateur économique. Les évolutions des deux types de variables, transport et indicateur économique, exprimées en données brutes indicées en base 100 en 1975 font ressortir les fluctuations des tonnages intrarégionaux intenses et souvent divergentes par rapport à celles des variables économiques et montrent par conséquent la difficulté de faire ressortir une liaison temporelle entre ces variables (Cf. graphique XI-18 et annexe XI-13).

Graphique XI-18. Evolution du tonnage intrarégional et des variables socio-économiques régionales pour la région Bourgogne



Les résultats de médiocre qualité issus de relations impliquant des facteurs régionaux en tant que variables explicatives apportent deux enseignements méthodologiques importants. Le premier est que les indicateurs économiques régionaux ne constituent pas en l'état actuel de la donne statistique régionale des facteurs explicatifs statistiquement pertinents de l'évolution du fret généré localement. Le second est que la forte variabilité des données de transport du fret intrarégional réalisé uniquement par des véhicules de 3 tonnes et plus de charge utile n'exprime qu'une partie des mouvements de marchandises et non l'ensemble du fret intérieur aux régions. En effet, les tonnages transportés dans des véhicules de charge utile inférieure à 3 tonnes ne sont pas pris en compte dans les données SITRAM alors que ces tonnages représentent la majorité des trafics réalisés en milieu urbain, qui eux-mêmes constituent une part non négligeable du tonnage local régional[12]. Enfin, cette forte variabilité tient peut être aussi à des modifications dans l'organisation logistique de la distribution du fret en bout de chaîne, notamment entre les plates-formes de dégroupage ou entrepôts régionaux et les lieux de destination finale. Or, cet effet organisationnel reste difficile à quantifier et ne peut être intégré dans un modèle macro-économique agrégé.

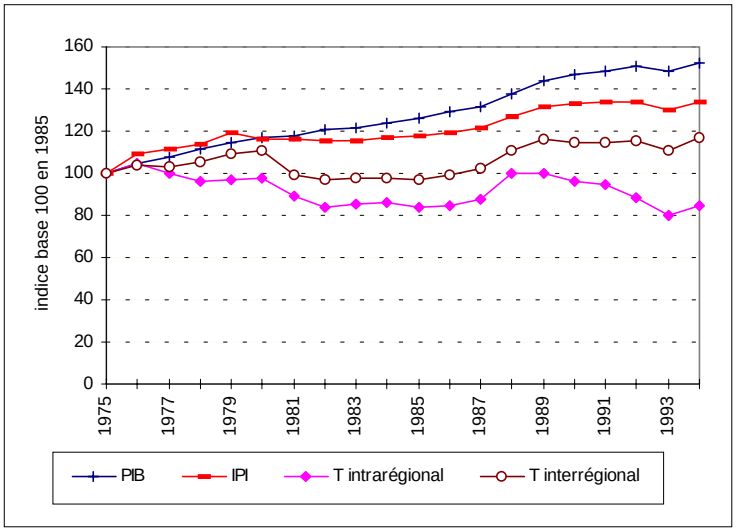
XI-3-2. Recours à l'approche indirecte nationale

A. Observation de l'évolution rétrospective

L'évolution rétrospective entre 1975 et 1994 des tonnages intrarégional et interrégional, de la croissance économique et de la conjoncture industrielle nationale fait apparaître des fluctuations du tonnage intrarégional proches de celles du tonnage interrégional et donc des inflexions plus en phase avec la conjoncture industrielle qu'avec la croissance économique nationale.

[12] Cette part est difficile à estimer à partir des statistiques de transport publiées et des diverses enquêtes effectuées sur le transport par des véhicules de moins de 3 tonnes de charge utile (enquête sur le transport de marchandises par véhicules utilitaires, S.E.S. et enquêtes sur les transports de marchandises en ville du programme national " TMV " (AMBROSINI *et alii*, LET, 1997)).

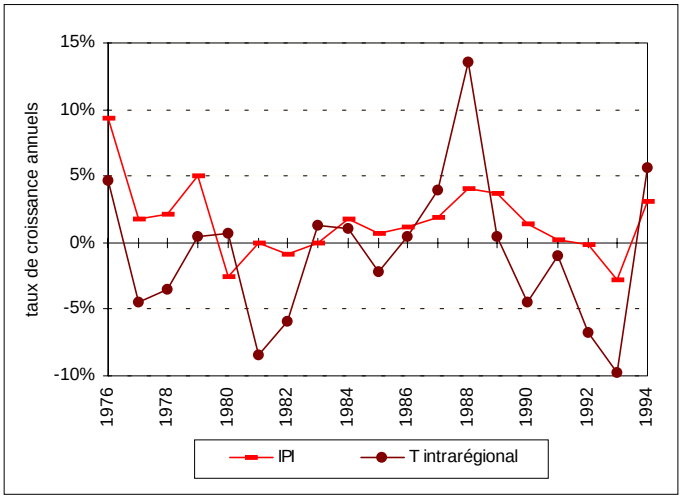
Graphique XI-19. Croissance économique et industrielle nationale et tonnages intrarégional et interrégional



Le tonnage intrarégional global présente une contraction de son volume en 1981 moins intense que celle du tonnage interrégional mais qui s'étale jusqu'en 1982. La période de stagnation s'étend jusqu'en 1986 en lien avec la stabilité de la conjoncture industrielle puis la hausse des tonnages en 1987 est directement en phase avec la reprise industrielle et économique. L'évolution se démarque alors de celle du tonnage interrégional à partir de 1989 avec une baisse continue du tonnage intrarégional jusqu'à la reprise de 1994 tandis qu'en interrégional le tonnage se maintient. Ces variations annuelles montrent donc que le tonnage intrarégional est davantage en phase avec la croissance industrielle qu'avec la croissance économique, malgré la tendance continue à la baisse en fin de période.

Exprimées en taux de croissance annuels, les variations du tonnage intrarégional sont elles aussi, à l'instar de celles du fret interrégional, plus intenses que les variations de la production industrielle nationale. Les variations du tonnage intrarégional tendent donc aussi à amplifier les fluctuations de la production industrielle, en particulier lors des fortes reprises de 1988 et 1994 et lors des crises industrielles marquées de 1980 (avec un décalage d'une année) et de 1993.

Graphique XI-20. Taux de croissance annuels du tonnage intrarégional et de l'I.P.I.



B. La sensibilité du tonnage intrarégional à la production industrielle nationale

Suite aux développements effectués lors de la génération du tonnage interrégional, l'approche désagrégée par catégorie de produits entre le tonnage et l'Indice de Production Industrielle nationale a été testée pour le tonnage intrarégional. La méthode de modélisation est inchangée, à savoir une relation linéaire affine sur les taux de croissances annuels des variables expliquées et explicatives, et une même segmentation sectorielle du tonnage.

Dans l'ensemble, les résultats des ajustements linéaires sur les taux de croissance annuels bruts ne sont pas très bons, avec des coefficients de détermination inférieurs à 0,40 et voisins dans la majorité des cas de 0,10.

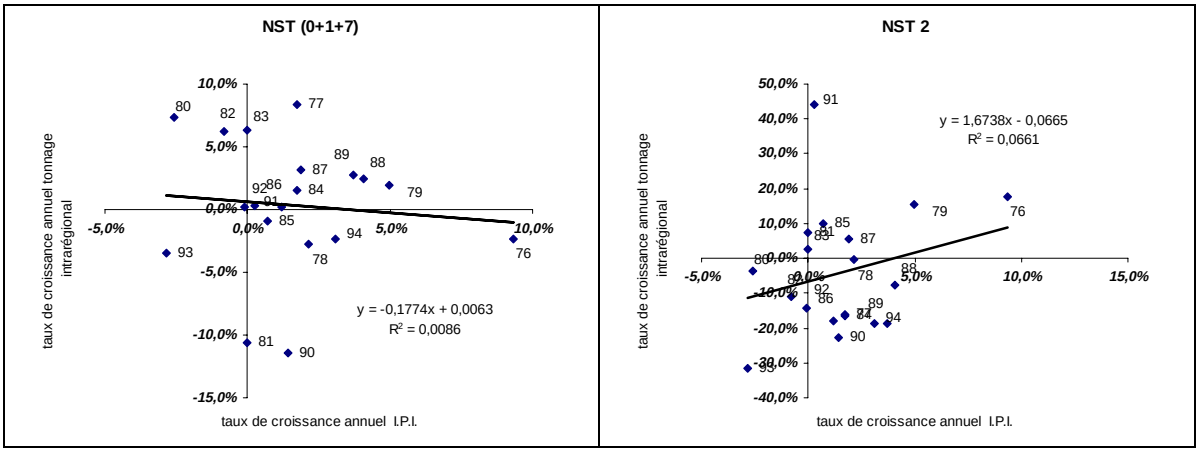
Tableau XI-25. Relations de court terme par catégorie de produits entre le tonnage intrarégional et l'I.P.I. national

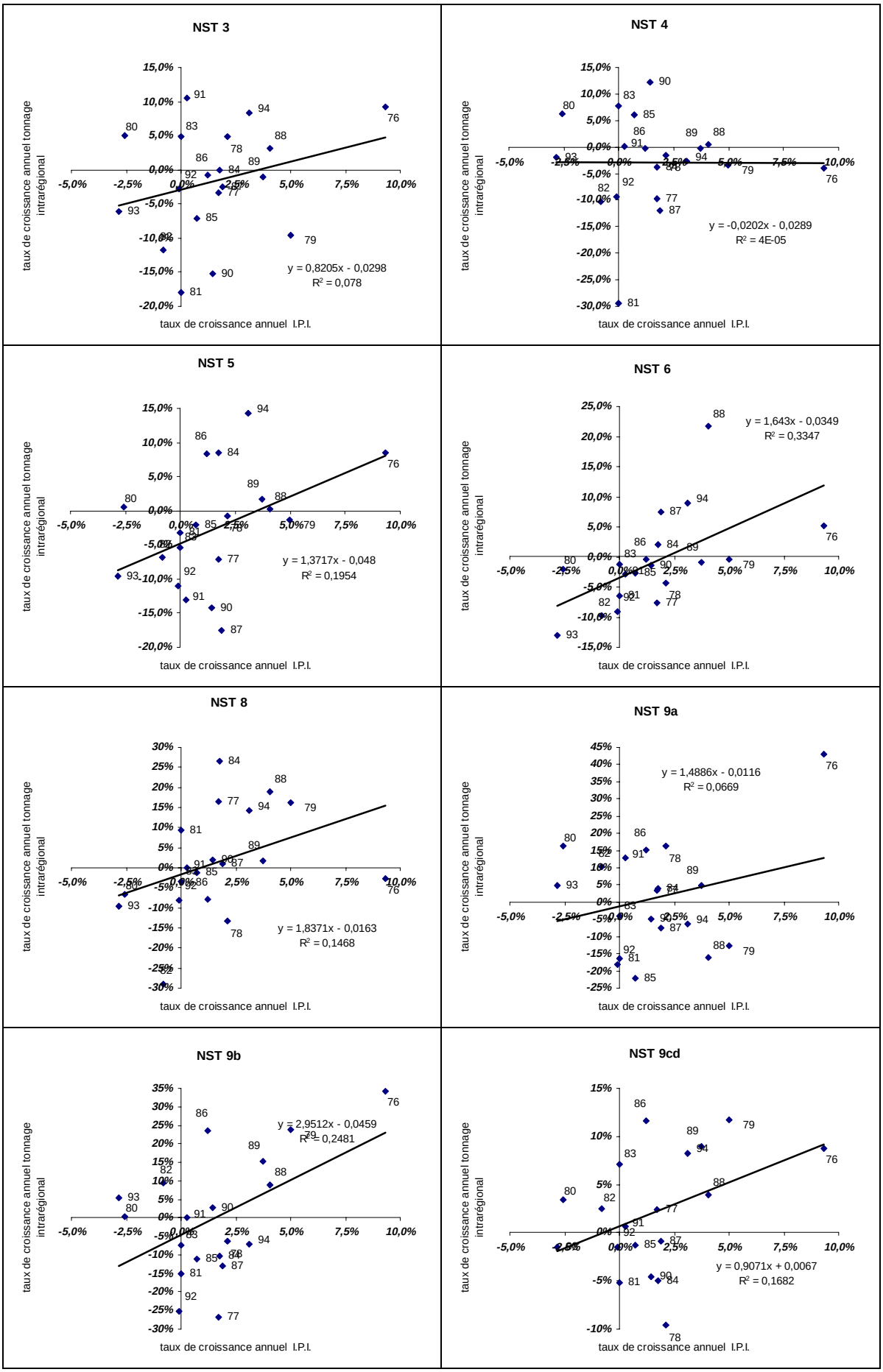
NST	Equation	R^2	t de Student	Durbin-Watson	autocorrélation
0+1+7	Y=-0,1774 X+0,0063	0,009	-0,38	2,49	non
2	Y=1,6774 X -0,0665	0,07	1,10	2,3	non
3	Y=0,8205X-0,03	0,08	1,20	2,74	non
4	Y=-0,0202X-0,029	0	-0,03	2,15	non
5	Y=1,3717X-0,048	0,2	2,03	1,89	non
6	Y=1,6430X-0,035	0,33	2,92	1,48	non
8	Y=1,8371X-0,0163	0,15	1,71	2,59	non
9a	Y=1,4886X-0,012	0,07	1,10	2,73	non
9b	Y=2,9512X-0,046	0,25	2,37	2,72	non
9cd	Y=0,9071 X+0,0067	0,17	1,85	2,65	non

Quelques résultats traduisent tout de même l'existence d'une relation entre les tonnages intrarégionaux et la conjoncture industrielle nationale. Il s'agit des relations concernant les matériaux de construction (nst 6), les produits métallurgiques (nst 5) et les machines et articles métalliques (nst 9b).

Les représentations graphiques croisées des taux de croissance du tonnage et de la production industrielle nationale distinguent nettement les catégories de produits pour lesquelles une liaison temporelle avec l'I.P.I. existe et les catégories qui génèrent un tonnage plutôt déconnecté des variations de la production industrielle.

Graphiques XI-21. Régressions - tonnage intrarégional et I.P.I. (par catégorie de produits)




NST 3
y = 0,8205x - 0,0298
R² = 0,078
NST 4
y = -0,0202x - 0,0289
R² = 4E-05
NST 5
y = 1,3717x - 0,048
R² = 0,1954
NST 6
y = 1,643x - 0,0349
R² = 0,3347
NST 8
y = 1,8371x - 0,0163
R² = 0,1468
NST 9a
y = 1,4886x - 0,0116
R² = 0,0669
NST 9b
y = 2,9512x - 0,0459
R² = 0,2481
NST 9cd
y = 0,9071x + 0,0067
R² = 0,1682
taux de croissance annuel tonnage intrarégional
taux de croissance annuel I.P.I.

Le lissage des séries chronologiques par moyennes mobiles ou par taux de croissance moyens annuels n'améliore pas de façon satisfaisante les relations (cf. annexe XI-14). Les principales améliorations concernent les matériaux de construction (nst6), les produits chimiques (nst8) et les produits manufacturés (nst9cd), sans toutefois offrir des relations statistiquement satisfaisantes.

La position atypique de l'année 1980, liée à des variations divergentes de la production industrielle et des tonnages intrarégionaux, nous a conduit à tester une relation économétrique sur des sous-périodes temporelles en segmentant la série globale de part et d'autre de la rupture de 1980-1981. Les investigations menées sur la sous-période 1981-1994 aboutissent à des relations de qualité statistique sensiblement supérieure dans l'ensemble et en particulier pour les matériaux de construction. Ces investigations supplémentaires permettent également de consolider la pertinence du choix de l'I.P.I. comme variable explicative de l'évolution des tonnages intrarégionaux.

Tableau XI-26. Relations de court terme à élasticité variable entre le fret intrarégional et l'I.P.I. (période 81-94, taux bruts)

NST	Equation	R^2	t de Student
0+1+7	Y= -1,023X-0,008	0,001	0,12
2	Y= 1,538X -0,1044	0,000	-0,04
3	Y= 0,524X-0,0238	0,11	1,14
4	Y= -0,964X-0,002	0,01	0,32
5	Y= -0,79X-0,03	0,21	1,73
6	Y= 4,247X-0,0498	0,70	5,02
8	Y= 3,071X-0,038	0,45	2,98
9a	Y= -2,12X-0,004	0,06	-0,83
9b	Y= 2,252X-0,0387	0,02	0,47
9cd	Y= 0,90X+0,011	0,12	1,21

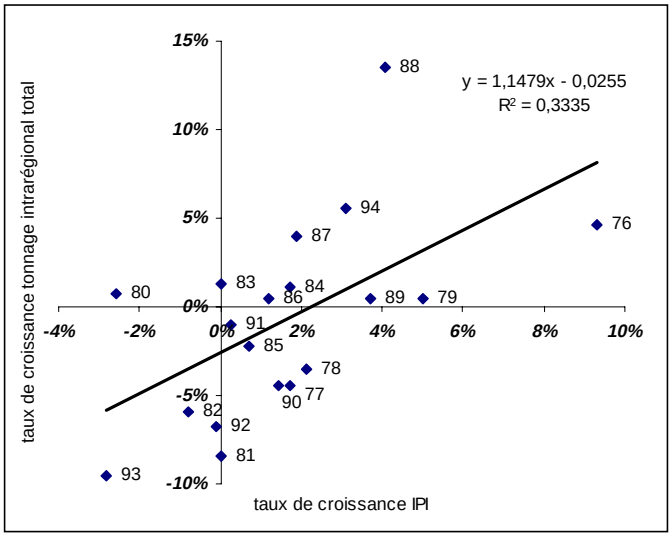
Le lissage des séries chronologiques par le calcul de taux de croissance moyens annuels permet d'aboutir à des relations de qualité correcte, voire satisfaisante (R^2=0,95) pour les tonnages des matériaux de construction (cf. annexe XI-14).

Ces résultats n'offrent finalement pas de relations suffisamment robustes du point de vue statistique pour établir un modèle de génération du tonnage intrarégional. Toutefois, ils apportent une information importante qui va orienter la démarche de modélisation à venir. Les différentes relations testées ont en commun certes de ne pas être de qualité très satisfaisante, mais aussi d'isoler les matériaux de construction par une relation systématiquement meilleure que celles des autres produits. Les matériaux de construction tiennent donc une place particulière dans la modélisation de l'évolution du tonnage intrarégional total et présentent une évolution qui peut être retranscrite par la conjoncture industrielle nationale. Cette place particulière peut s'expliquer très logiquement par le poids dominant en tonnage de cette catégorie de produit dans le fret intrarégional (cf. graphique VII-2). Le tonnage intrarégional est largement dominé par les matériaux de construction et son évolution est donc directement modelée par les variations annuelles du tonnage de cette catégorie. Le revers de la médaille de cette structure sectorielle très déséquilibrée dans une optique de modélisation est que la sensibilité des autres catégories de produits à la conjoncture industrielle ne peut être mise en évidence et que l'approche désagrégée par catégorie de produits n'aboutit pas à l'élaboration d'un modèle de génération plus satisfaisant.

Les résultats décevants selon l'approche désagrégée nous conduisent à revenir à une approche agrégée. La relation testée, de type linéaire affine, porte donc sur les taux de croissance du tonnage intrarégional agrégé et de l'Indice de Production Industrielle calculés soit sur l'ensemble de la période 1975-1994 soit sur la sous-période 1981-1994 si nécessaire.

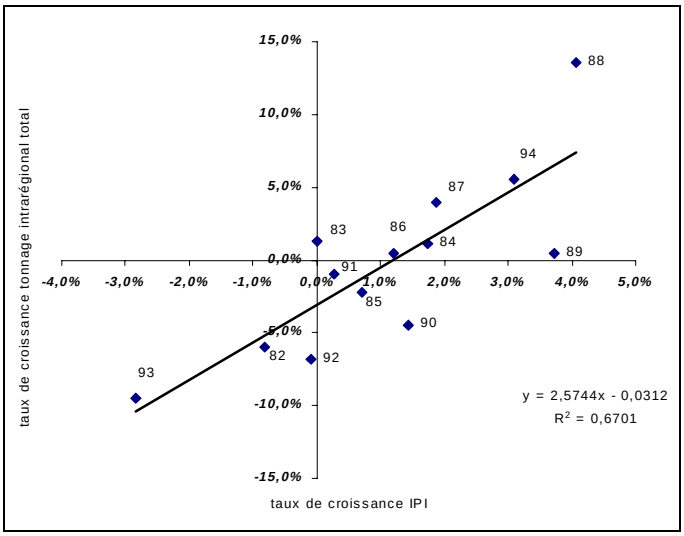
L'ajustement obtenu sur les taux de croissance annuels bruts calculés sur l'ensemble de la période est encourageant car il met en évidence l'existence d'une liaison temporelle entre les deux variables.

Graphique XI-22. Variations annuelles du tonnage intrarégional global et de l'I.P.I.(75-94)



Le même exercice appliqué à la sous-période 1981-1994 offre des résultats de qualité statistique supérieure mettant nettement en évidence une liaison temporelle entre l'évolution du tonnage intrarégional et celle de l'I.P.I..

Graphique XI-23. Variations annuelles du tonnage intrarégional global et de l'I.P.I. (81-94)

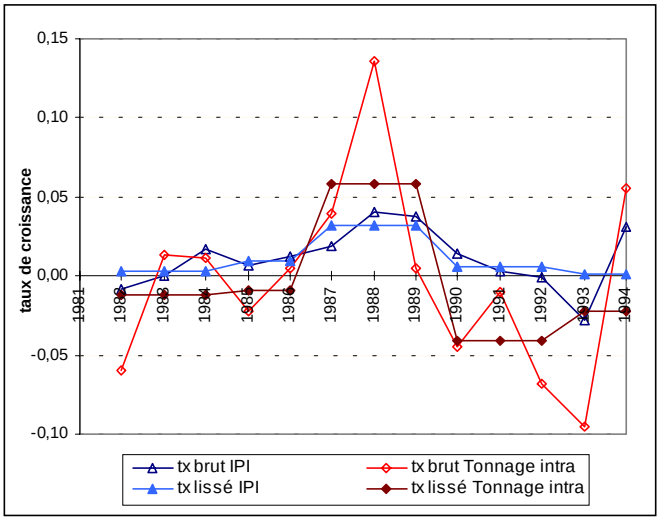


La différence de qualité des ajustements effectués soit sur toute la période soit sur la seconde sous-période tient aux variations divergentes du tonnage intrarégional et de l'I.P.I. au cours des années 1977-1978 et 1978-1979. La période très perturbée de la fin des années 70 rend donc difficile l'établissement d'un modèle à élasticité variable. Le rétrécissement de la période

d'observation s'est avéré la seule solution positive. Le modèle de génération du tonnage intrarégional repose de ce fait sur les variations à moyen terme ayant eu lieu au cours des années 80 et au début des années 90.

Un lissage des deux séries chronologiques 1981-1994 permet d'améliorer la qualité du modèle. Le calcul de taux de croissance moyens annuels offre les meilleurs résultats, avec un ajustement qui explique 87% de la variance totale de la distribution.

Graphique XI-24. Lissage par TCMA des variations du tonnage intrarégional et de l'I.P.I.



Les résultats statistiques sont satisfaisants au regard des différents tests, à l'exception de la statistique Durbin-Watson qui met en évidence une autocorrélation d'ordre 1 des résidus.

Tableau XI-27. Relation de moyen terme entre le tonnage intrarégional et l'I.P.I.

spécification	équation	R^2	t de Student	F Fisher	DW	autocorrélation
linéaire	Y= 2,8187 X-0,0348	0,87	t_{ipi} = 8,64	75	0,82	oui

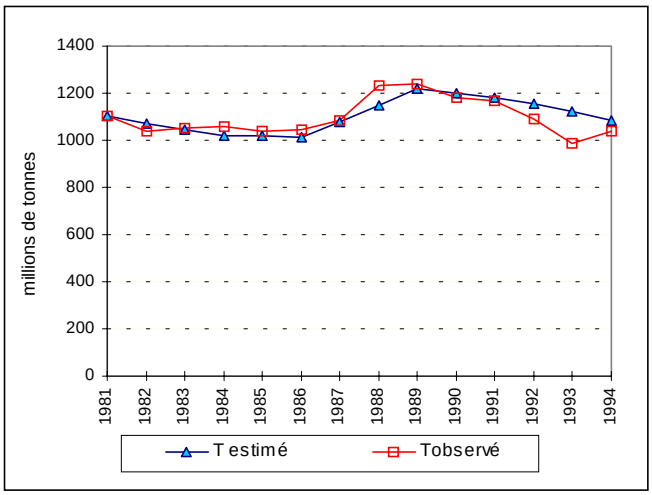
La correction de l'autocorrélation des résidus est effectuée selon la même méthode que celle appliquée dans le cas du tonnage interrégional. Les résultats après correction de l'autocorrélation sont de qualité sensiblement meilleure.

Tableau XI-28. Relation de moyen terme corrigée de l'autocorrélation des résidus

spécification	équation	t de Student	DW	autocorrélation
linéaire terme d'autocorrélation	Y= 3,076 X-0,0342 + 0,672 e(t-1)	t_{ipi}= 9,11 Prob >t : 0,0000	1,80	non

Le calage du modèle corrigé de l'autocorrélation sur la période d'observation est relativement bon au sens où il retrace les principales "vagues" de la tendance d'évolution du tonnage intrarégional de 1981 à 1994 et en particulier les fortes variations à la hausse de la fin des années 80.

Graphique XI-25. Calage du modèle de génération du tonnage intrarégional



L'évolution à long terme du tonnage intrarégional est donc simulée en fonction des variations annuelles de l'I.P.I. par un modèle linéaire à élasticité variable. Cette modélisation ne présente pas de décomposition sectorielle du fait que les variations annuelles du tonnage intrarégional sont essentiellement dues à une seule catégorie de produits, les matériaux de construction. La sensibilité propre à chaque catégorie de produits est en conséquence difficile à mettre en évidence et à formaliser et n'apporte pas d'information supplémentaire pouvant améliorer la qualité du modèle de génération.

XI-4. La répartition des tonnages globaux par région d'émission et d'attraction

Suite à la modélisation des tonnages globalement générés localement, à l'importation ou à l'exportation, la seconde phase des deux modules de génération consiste à répartir ces volumes globaux entre les différentes régions. Cette répartition entre les régions génératrices est effectuée à l'aide d'une estimation à long terme de contributions relatives de chaque région dans les tonnages intrarégionaux et interrégionaux émis et reçus. Les parts régionales alors estimées seront ensuite appliquées aux tonnages globaux estimés.

XI-4-1. La prévision des contributions relatives régionales à l'échange

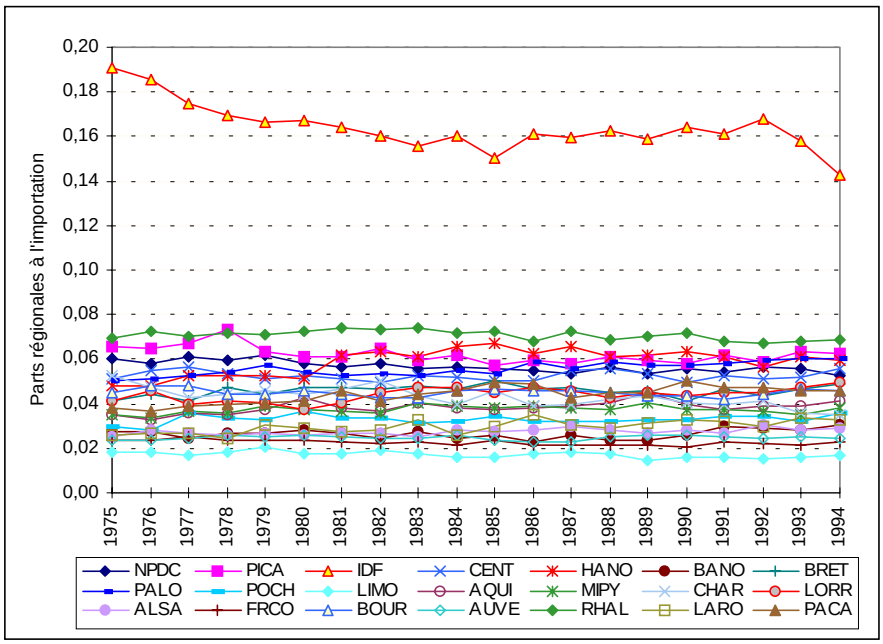
La modélisation de l'évolution des parts régionales a fait l'objet d'une analyse chronologique des contributions relatives entre 1975 et 1994 puis d'une prévision par régression multiple. L'analyse chronologique consiste à isoler le trend et à ajuster celui-ci à l'aide d'un modèle temporel linéaire. La formalisation est réalisée par l'ajustement d'un modèle linéaire ou log-linéaire dans le cas d'une évolution significative des parts relatives régionales à long terme et par la valeur moyenne des observations dans le cas d'une stabilité. L'identification des tendances d'évolution, entre inflexion significative ou stabilité, repose sur l'observation des séries chronologiques et sur les tests statistiques du modèle linéaire en particulier la valeur du coefficient de détermination. Une faible valeur pour ce coefficient (inférieure à 0,70) peut traduire l'existence d'une liaison temporelle mais ne fournit pas un ajustement statistiquement significatif pour donner

des prévisions de meilleure qualité que celles issues d'un simple ajustement par la moyenne des observations. Une valeur assez élevée (supérieure à 0,70 et surtout supérieure à 0,77) confirme l'existence d'une liaison temporelle et fournit des prévisions de meilleure qualité que la moyenne des observations. La présence d'autocorrélation sérielle des résidus est repérée à l'aide de la statistique de Durbin-Watson, et modélisée par un modèle autorégressif.

A. Projection des contributions relatives régionales à l'importation

Les contributions relatives régionales à l'importation sont très hétérogènes, avec une forte participation de la région Ile de France (16% en moyenne sur 1975-1994) et une faible participation des régions Alsace (2,7%), Auvergne (2,5%), Franche-Comté (2,3%), et Limousin (1,7%). En revanche, leur évolution diffère peu et se caractérise surtout par une stabilité temporelle (cf. graphique XI-26). En effet, 7 régions conservent une participation régionale à l'importation sensiblement identique entre 1975-1994 (taux de croissance inférieur à 10%). Cette stabilité traduit une pérennité de la participation de chaque région dans le niveau global du tonnage d'importation et exprime également la lenteur des dynamiques spatiales.

Graphique XI-26. Evolution de 1975 à 1994 des parts régionales à l'importation



La stabilité à long terme du niveau relatif des importations régionales permet de recourir à la méthode de projection temporelle pour estimer les parts régionales à long terme. Dans le cas d'absence de tendance ou d'ajustement linéaire de mauvaise qualité, les parts régionales sont posées comme stables et égales à la valeur moyenne des observations passées. Dans le cas d'une tendance significative, les parts régionales sont projetées selon un ajustement linéaire du trend. Sur la période de prévision (1995-2015), la contrainte d'égalité à l'unité de la somme des parts régionales n'est pas *a priori* respectée puisque les ajustements sont établis de façon indépendante. Cette contrainte est alors garantie par l'application d'un coefficient correcteur calculé comme le rapport du total observé sur le total estimé des parts régionales.

Tableau XI-29. Ajustements des parts régionales à l'importation[13]

région	**spécification**	**équation (ou valeur moyenne)**	**R^2**	**t**	**DW**	**autocorrélation des résidus (α=0,05)**
NPDC	logarithmique	Y=-0,003 lnt+0,063	0,85	-9,48	0,89	oui
PICA	logarithmique	Y=-0,003 lnt+0,07	0,74	-6,69	0,75	oui
IDF	logarithmique	Y=-0,0094 lnt+0,184	0,68	-5,84	0,42	oui
CENT	moyenne	Y = 0,053				
HANO	moyenne	Y = 0,059				
BANO	moyenne	Y = 0,026				
BRET	moyenne	Y = 0,046				
PALO	linéaire	Y=0,00042 t -0,77	0,80	8,02	0,75	oui
POCH	moyenne	Y = 0,033				
LIMO	linéaire	Y=-0,00013 t+0,266	0,67	-5,66	0,80	oui
AQUI	logarithmique	Y=0,0019lnt+0,034	0,88	10,6	1,35	incertain
MIPY	moyenne	Y = 0,037				
CHAR	linéaire	Y=-0,00043 t+0,9012	0,84	-9,18	1,21	incertain
LORR	moyenne	Y = 0,044				
ALSA	moyenne	Y=0,027				
FRCO	logarithmique	Y=-0,001 lnt+0,025	0,71	-6,31	0,69	oui
BOUR	moyenne	Y = 0,045				
AUVE	moyenne	Y = 0,025				
RHAL	moyenne	Y = 0,071				
LARO	linéaire	Y=0,00035 t-0,664	0,90	12,18	1,58	non
PACA	logarithmique	Y=0,0045 lnt+0,034	0,86	10,1	1,16	oui

La forte stabilité des parts régionales à l'importation sur les vingt années d'observation conduit à un faible nombre d'ajustements linéaires statistiquement satisfaisants. De ce fait, les parts régionales à l'importation de 11 régions sont projetées à la valeur moyenne des observations passées. En outre, pour les parts régionales connaissant une évolution, plus de la moitié présentent une tendance qui s'amortit au fil du temps, formalisée par un ajustement semi-logarithmique.

Les ajustements statistiquement satisfaisants retenus (R^2 proche ou supérieur à 0,70 et test *t* correct) présentent presque systématiquement une autocorrélation sérielle des résidus. Dans le cadre de la prévision temporelle par la régression multiple, l'autocorrélation des résidus constitue une composante qui, si elle est importante, participe au modèle de prévision par l'ajustement d'un modèle autorégressif des résidus.

La composante de corrélation sérielle a été déterminée par l'ajustement d'un modèle autorégressif entre les résidus de l'ajustement du trend et les résidus décalés d'une année :

$$\hat{e}_t = r * \hat{e}_{t-1} \qquad \text{[II-33]}$$

[13] Les représentations graphiques des ajustements sont présentées en annexe XI-15.

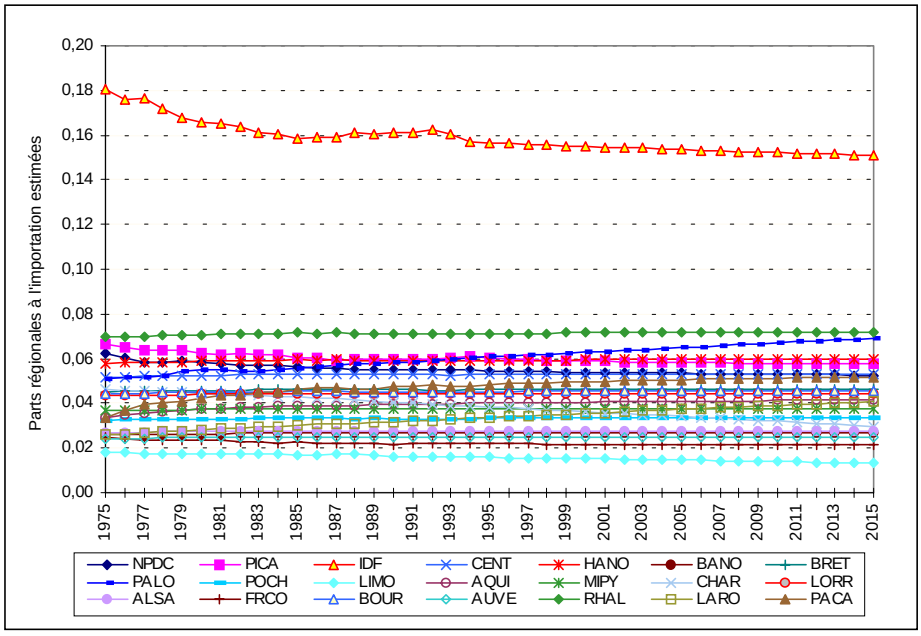
Tableau XI-30. Régressions multiples ou valeurs moyennes pour la prévision des parts régionales à l'importation à un horizon de 20 ans

régions	Spécification (moyenne ou ajustement)	régions	Spécification (moyenne ou ajustement)
NPDC	Y=-0,003 lnt+0,063 + 0,478 e(t-1)	MIPY	Y = 0,037
PICA	Y=-0,003 lnt+0,07 + 0,672 e(t-1)	CHAR	Y=-0,00041 t +0,8481
IDF	Y=-0,0094 lnt+0,184 + 0,721 e(t-1)	LORR	Y = 0,044
CENT	Y = 0,053	ALSA	Y=0,027
HANO	Y = 0,059	FRCO	Y=-0,001 lnt+0,025 + 0,664 e(t-1)
BANO	Y = 0,026	BOUR	Y = 0,045
BRET	Y = 0,046	AUVE	Y = 0,025
PALO	Y=0,00042 t -0,77+ 0,614 e(t-1)	RHAL	Y = 0,071
POCH	Y = 0,033	LARO	Y=0,00035 t -0,664
LIMO	Y=-0,00013 t +0,266 + 0,583 e(t-1)	PACA	Y=0,0045 lnt+0,034 + 0,388 e(t-1)
AQUI	Y=0,0019lnt+0,034		

La prévision à l'aide des deux composantes, trend et autocorrélation des résidus, dans le cas des évolutions marquées des parts régionales, ne diffère que très sensiblement de la prévision ne tenant compte que du trend. Une différence n'est remarquée que sur la prévision à court terme alors qu'à plus long terme, la composante d'autocorrélation des résidus ne modifie en rien la prévision issue de la seule composante du trend, du fait que les résidus estimés se rapprochent très rapidement de zéro (cf. en annexe XI-16).

Si l'analyse de ces prévisions sera développée lors des scénarios de simulation du modèle, on peut d'ores et déjà souligner la stabilité à long terme de la structure d'ensemble des contributions relatives régionales à l'importation. La région Ile de France conserve une part largement dominante et rares sont les autres régions qui accroissent ou diminuent leur contribution relative. La région Pays de Loire fait exception avec une hausse de sa part relative dans le tonnage importé qui avoisine la part de la région Rhône-Alpes en fin de période de prévision.

Graphique XI-27. Parts régionales à l'importation estimées (1975-2015)

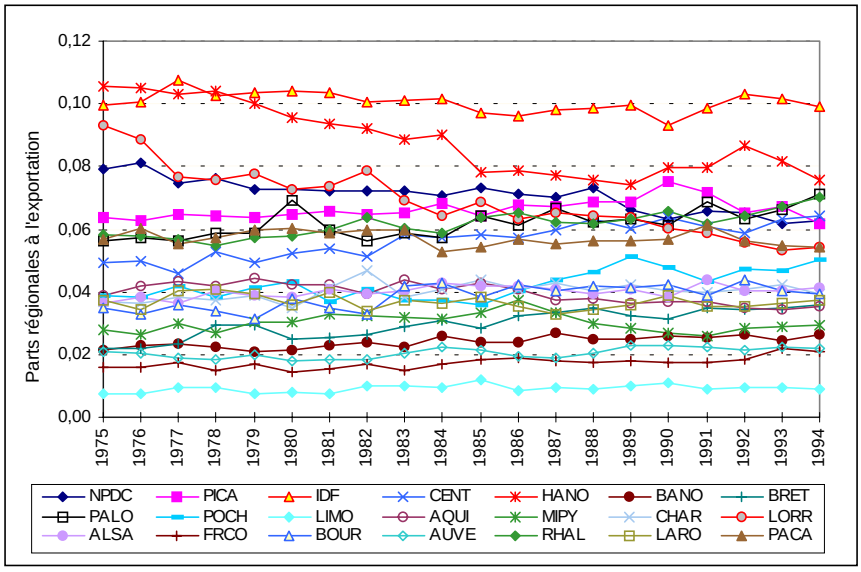


La méthode d'analyse et de prévision qui vient d'être développée est également exploitée pour les parts régionales à l'exportation et en intrarégional.

B. Parts régionales à l'exportation

A la différence des importations, les évolutions des parts régionales à l'exportation observées entre 1975 et 1994 sont beaucoup plus contrastées.

Graphique XI-28. Evolution de 1975 à 1994 des parts régionales à l'exportation



Ainsi, les projections temporelles à long terme reposent davantage sur des ajustements linéaires que sur la moyenne des observations qui ne concerne que 8 régions[14].

Tableau XI-31. Ajustements des parts régionales à l'exportation

région	spécification	équation	t	R^2	DW	autocorrélation (α=0,05)
NPDC	linéaire	Y=-0,0008 t+1,588	-12,06	0,90	0,49	oui
PICA	moyenne	Y=0,066				
IDF	moyenne	Y = 0,1005				
CENT	linéaire	Y=0,00089 t -1,717	14,9	0,93	0,53	oui
HANO	logarithmique	Y=-0,0144lnt+0,119	-10,12	0,86	0,40	oui
BANO	linéaire	Y=0,00024 t - 0,457	10,56	0,87	0,70	oui
BRET	linéaire	Y=0,00066 t - 1,285	12,16	0,90	0,91	oui
PALO	linéaire	Y=0,00058 t- 1,095	10,60	0,88	1,16	oui
POCH	moyenne	Y=0,0424				
LIMO	moyenne	Y=0,009				
AQUI	linéaire	Y=-0,00047 t+0,975	-8,40	0,82	0,54	oui
MIPY	moyenne	Y = 0,03				
CHAR	logarithmique	Y=0,002 lnt+0,035	6,51	0,73	0,79	oui
LORR	linéaire	Y=-0,0015 t+3,0609	-24,23	0,98	0,99	oui
ALSA	logarithmique	Y=0,0016 lnt+0,037	5,81	0,68	0,74	oui
FRCO	linéaire	Y=0,00019 t - 0,365	5,95	0,69	0,66	oui
BOUR	logarithmique	Y=0,004 lnt+0,0299	8,80	0,83	0,79	oui
AUVE	moyenne	Y=0,02				
RHAL	linéaire	Y=0,00056 t - 1,0578	11,51	0,89	0,98	oui
LARO	moyenne	Y = 0,037				
PACA	moyenne	Y = 0,057				

[14] Ajustements présentés en annexe XI-15.

Pour les parts régionales faisant l'objet d'un ajustement en fonction du temps, 43% sont ajustées par une fonction linéaire affine qui traduit une évolution plus marquée que celle exprimée par une fonction semi-logarithmique. Les parts régionales à l'exportation connaissent davantage d'inflexions à long terme que les parts à l'importation.

De la même façon que pour les parts à l'importation, la composante de corrélation sérielle des termes de la chronique est modélisée par un modèle autorégressif sur les résidus décalés d'une année (cf. équation [II-34]).

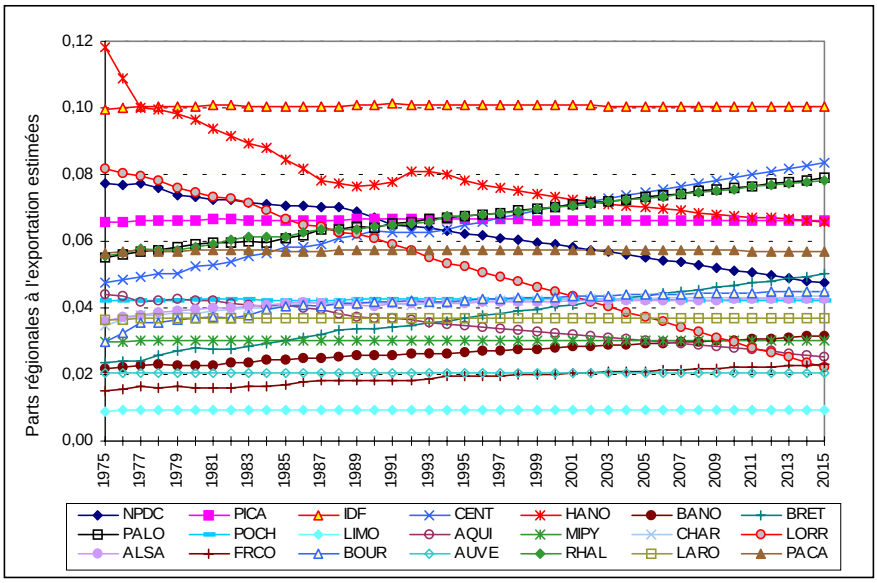
Le tableau suivant synthétise les modèles de projection temporelle retenus dans le modèle général QuinQuin Fret Multirégional, avec la prise en compte du trend et de l'autocorrélation sérielle dans le cas des ajustements temporels.

Tableau XI-32. Régressions multiples ou valeurs moyennes pour la prévision des parts régionales à l'exportation à un horizon de 20 ans

régions	Spécification (moyenne ou ajustement)	régions	Spécification (moyenne ou ajustement)
NPDC	Y=-0,0008 t+1,588+0,742 e(t-1)	MIPY	Y = 0,03
PICA	Y=0,066	CHAR	Y=0,002 lnt+0,035+0,597 e(t-1)
IDF	Y = 0,1005	LORR	Y=-0,0015 t+3,0609+0,490 e(t-1)
CENT	Y=0,00089 t -1,717+0,767 e(t-1)	ALSA	Y=0,0016 lnt+0,037+0,610 e(t-1)
HANO	Y=-0,0144lnt+0,119+0,773 e(t-1)	FRCO	Y=0,00019 t - 0,365+0,620 e(t-1)
BANO	Y=0,00024 t - 0,457+0,630 e(t-1)	BOUR	Y=0,004 lnt+0,0299+0,536 e(t-1)
BRET	Y=0,00066 t - 1,285+0,477 e(t-1)	AUVE	Y=0,02
PALO	Y=0,00058 t- 1,095+0,418 e(t-1)	RHAL	Y=0,00056 t - 1,0578+0,479 e(t-1)
POCH	Y=0,0424	LARO	Y = 0,037
LIMO	Y=0,009	PACA	Y = 0,057
AQUI	Y=-0,00047 t+0,975+0,585 e(t-1)		

A nouveau, la prise en compte de la composante d'autocorrélation sérielle ne modifie pas les prévisions à long terme en raison d'une valeur rapidement égale à zéro pour les résidus mais améliore l'estimation à court terme (sur la période d'observation essentiellement).

Graphique XI-29. Parts régionales à l'exportation estimées (1975 à 2015)

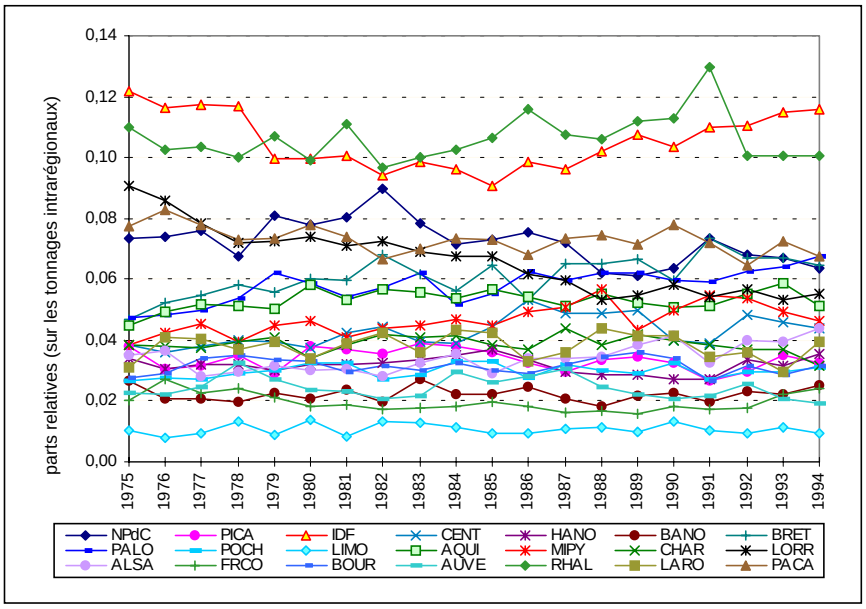


L'évolution à long terme des parts régionales à l'exportation, qui sera approfondie lors des simulations développées en partie III, présente de fortes variations pour un petit nombre de régions, à l'image de celles observées entre 1975 et 1994. Entre 1994 et 2015, les régions industrielles du Nord, principalement Nord-Pas-de-Calais, Haute-Normandie et Lorraine, perdraient de fortes parts, respectivement -25%, -18% et -59%. A l'opposé, les régions Bretagne, Pays de Loire et Rhône-Alpes renforceraient leur position respectivement de 39%, 17% et 16%.

XI-4-2. La prévision des contributions relatives en intrarégional

La tendance d'évolution 75-94 des parts relatives régionales à l'intrarégional connaît quelques variations significatives qui ne laissent pas la structure d'ensemble invariante. En effet, les parts relatives des régions Pays de Loire et Bretagne s'accroissent respectivement de 43% et de 39% sur vingt ans et celle de la région Lorraine se contracte de 39%. Ainsi en 1994, les régions Bretagne et Pays de Loire présentent des parts relatives équivalentes ou légèrement supérieures à celles des régions Nord-Pas-de-Calais et PACA, alors que la région Lorraine se situe en dessous de ces trois régions qu'elle surpassait largement en début de période. Pour les autres régions, les parts relatives sont assez stables.

Graphique XI-30. Evolution de 1975 à 1994 des parts régionales dans le tonnage intrarégional



La projection des parts relatives à l'intrarégional sur le long terme se fait essentiellement en fonction de la valeur moyenne des observations passées (pour 15 régions)[15] du fait d'une grande stabilité des parts relatives au cours de la période 1975-1994. Les rares parts régionales connaissant un trend significatif sont projetées selon un ajustement temporel soit linéaire soit logarithmique.

[15] Ajustements regroupés en annexe XI-17.

Tableau XI-33. Spécifications pour la projection des parts régionales dans le fret intrarégional

région	spécification	équation (ou moyenne)	R^2	t	DW	autocorrélation (α=0,05)
NPDC	moyenne	Y= 0,072				
PICA	moyenne	y= 0,0337				
IDF	moyenne	Y = 0,1056				
CENT	logarithmique	Y= 0,0043 lnt+0,033	0,66	5,57	0,70	oui
HANO	moyenne	Y= 0,032				
BANO	moyenne	Y= 0,022				
BRET	logarithmique	Y= 0,0066 lnt+0,047	0,82	8,48	1,14	oui
PALO	logarithmique	Y= 0,0056 lnt+0,046	0,82	8,68	0,84	oui
POCH	moyenne	Y= 0,0298				
LIMO	moyenne	Y= 0,011				
AQUI	moyenne	Y= 0,053				
MIPY	linéaire	Y = 0,00065t-1,2365	0,86		1,37	incertain
CHAR	moyenne	Y= 0,039				
LORR	logarithmique	Y= -0,0128lnt+0,094	0,91	-13,61	0,92	oui
ALSA	linéaire	Y= 0,00055 t - 1,0617	0,76	7,03	0,70	oui
FRCO	moyenne	Y= 0,020				
BOUR	moyenne	Y= 0,032				
AUVE	moyenne	Y= 0,024				
RHAL	moyenne	Y= 0,106				
LARO	moyenne	Y = 0,038				
PACA	moyenne	Y = 0,073				

Pour les rares ajustements linéaires ou logarithmiques, la composante d'autocorrélation sérielle des termes de la chronique ressort presque systématiquement et est intégrée dans la régression multiple. Cette composante est ajustée par un modèle autorégressif d'ordre 1 sur les résidus décalés d'une année.

Les modèles de projection des parts régionales dans le tonnage intrarégional retenus dans le modèle général QuinQuin Fret Multirégional sont regroupés dans le tableau suivant.

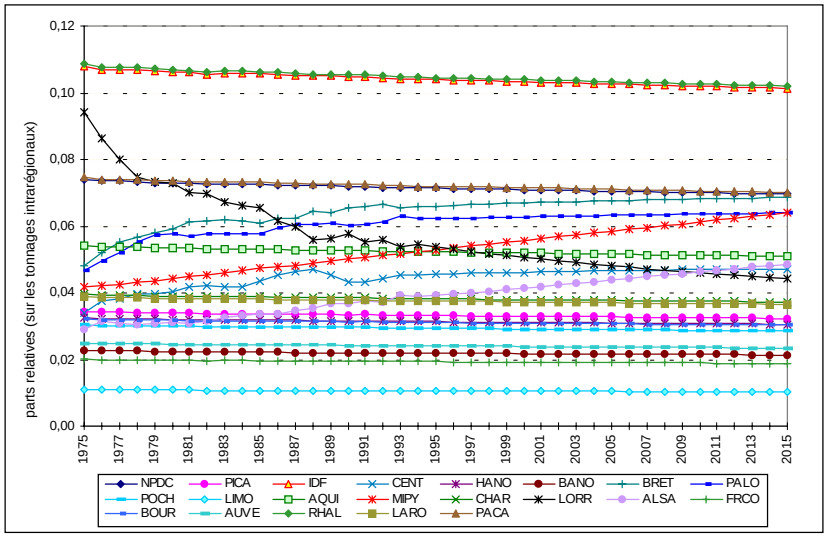
Tableau XI-34. Régressions multiples ou valeurs moyennes pour la prévision des parts régionales en intrarégional

régions	**Spécification (moyenne ou ajustement)**	**régions**	**Spécification (moyenne ou ajustement)**
NPDC	Y= 0,072	MIPY	Y = 0,00065t-1,2365
PICA	y= 0,0337	CHAR	Y= 0,039
IDF	Y = 0,1056	LORR	Y= -0,0128lnt+0,094+ 0,517 e(t-1)
CENT	Y= 0,0043 lnt+0,033 + 0,640 e(t-1)	ALSA	Y= 0,00055 t - 1,0617+ 0,468 e(t-1)
HANO	Y= 0,032	FRCO	Y= 0,020
BANO	Y= 0,022	BOUR	Y= 0,032
BRET	Y= 0,0066 lnt+0,047+ 0,430 e(t-1)	AUVE	Y= 0,024
PALO	Y= 0,0056 lnt+0,046+ 0,569 e(t-1)	RHAL	Y= 0,106
POCH	Y= 0,0298	LARO	Y = 0,038
LIMO	Y= 0,011	PACA	Y = 0,073
AQUI	Y= 0,053		

La prise en compte de la composante d'autocorrélation des termes de la série permet à nouveau d'améliorer la qualité des prévisions à court terme, notamment le calage sur la période 1975-1994, mais ne modifie pas les prévisions à plus long terme (cf. annexe XI-18).

Les prévisions obtenues à long terme rendent compte des principales variations repérées lors de la période d'observation, notamment la hausse des parts des régions Bretagne et Pays de Loire mais aussi de la région Midi-Pyrénées et la baisse de la part de la région Lorraine. En revanche certaines hausses ou baisses moins soutenues qui étaient observées entre 1975 et 1994 sont amorties à long terme voire annulées par les ajustements logarithmiques ou les prolongements à la valeur moyenne. Il s'agit surtout de la baisse concernant la région Nord-Pas-de-Calais.

Graphique XI-31. Parts régionales en intrarégional estimées (1975 à 2015)



La modélisation des variations à long terme des parts relatives régionales dans les tonnages générés localement, émis et reçus, constitue la seconde étape dans la phase de génération des tonnages régionaux. Cette seconde étape est donc maintenant combinée avec la première étape qui consistait à simuler les tonnages intrarégional et interrégional globaux pour estimer les tonnages générés annuellement par chaque région.

XI-5. Génération des tonnages régionaux locaux, émis et reçus

Les tonnages générés annuellement par les régions sont obtenus en faisant le produit des tonnages globalement simulés et des parts régionales projetées par prolongement de tendance.

$$T_{i.} = PR_{i.} * T_{..} \quad \text{et} \quad T_{.j} = PR_{.j} * T_{..} \qquad \text{[XI-9]}$$

Les estimations de tonnages régionaux générés sont donc fonction à la fois des tendances d'évolution des parts relatives régionales et de la sensibilité des tonnages à la conjoncture industrielle. Les simulations obtenues, étant issues de modélisations indépendantes, doivent donc respecter la contrainte aux marges, dans les cas des tonnages globaux émis et reçus, car ces derniers constituent les marges des matrices annuelles origine-destination des échanges interrégionaux. Cette contrainte est respectée par l'application d'un coefficient correcteur sur les parts relatives régionales estimées. De ce fait, on a bien pour chaque année de simulation l'égalité [II-7] :

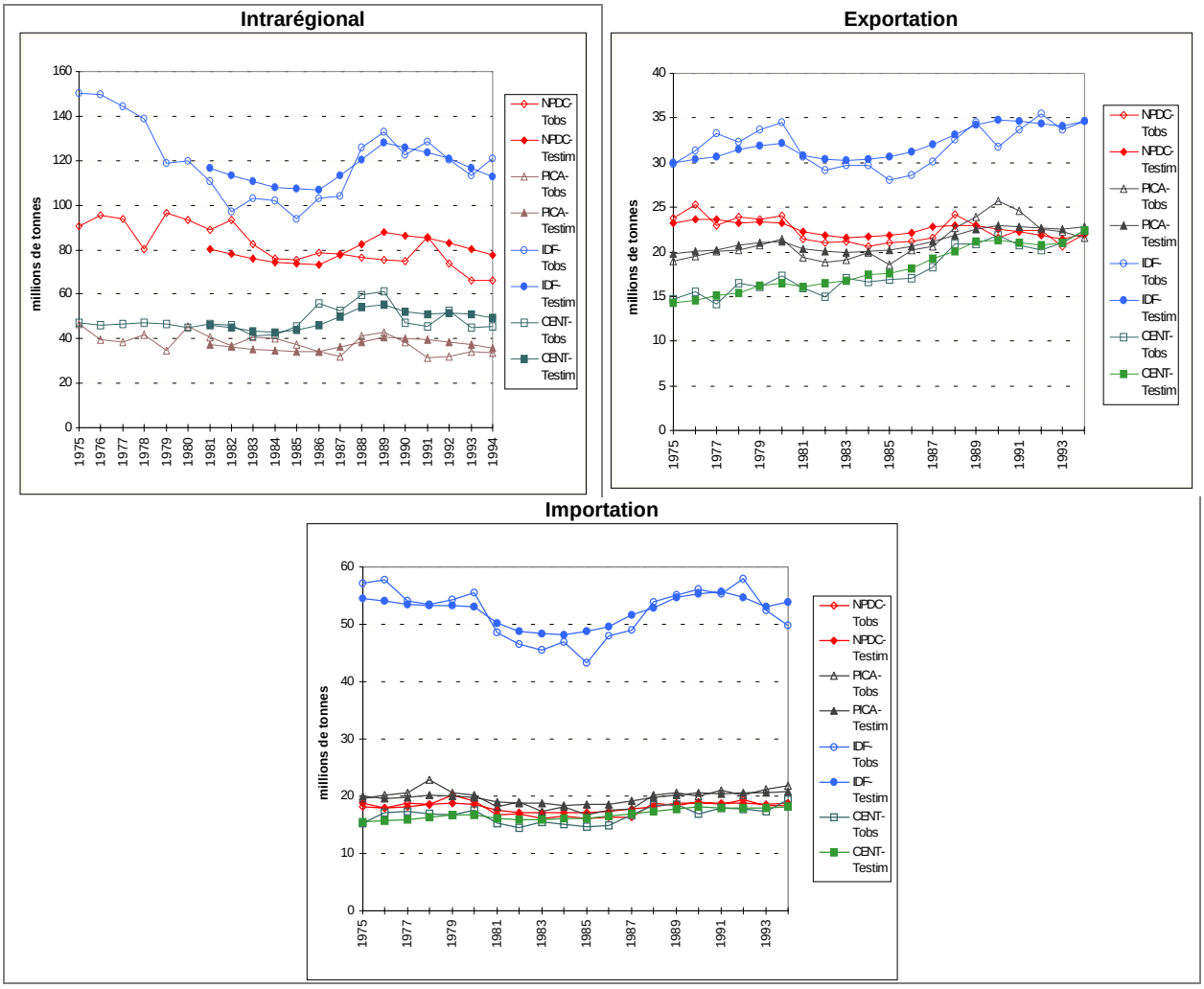
$$\sum T_{i.} = \sum T_{.j} = \sum T_{..} \qquad \text{[II-7]}$$

Cette égalité est également respectée dans le cas du fret intrarégional, par l'application des mêmes coefficients correcteurs. Pour chaque année de simulation on a bien :

$$\sum T_{ii} = T \text{ intrarégional total} \qquad \text{[XI-10]}$$

La qualité des simulations et prévisions est fournie par le calage des tonnages locaux, émis et reçus annuellement par les régions sur la période d'observation 1975-1994.

Graphique XI-32. Calage des modèles de génération des tonnages régionaux locaux, importés et exportés[16]



Le calage des modèles de génération des tonnages locaux, émis et reçus par chaque région est relativement satisfaisant dans l'ensemble. Pour le tonnage intrarégional, la période de calage est réduite aux années 1981-1994 qui correspond à la période sur laquelle l'ajustement entre les variations du tonnage intrarégional total et celles de l'I.P.I. a été établi.

On peut remarquer que les variations de moyen terme sont assez bien retranscrites par les modèles de génération établis qui reposent sur des lissages des séries chronologiques, de type taux de croissance moyen annuel pour la simulation du volume total généré et de type moyenne mobile pour la prévision des parts relatives régionales.

[16] Les représentations graphiques du calage pour les autres régions sont rassemblées en annexe XI-19.

La construction des modules de génération des tonnages intrarégionaux et interrégionaux émis et reçus annuellement par les différentes régions est riche d'enseignements méthodologiques. Les enseignements concernant la prospective du fret spatialisé seront abordés dans le dernier chapitre.

Ce travail a en effet mis en évidence la qualité très relative des statistiques économiques à l'échelle régionale et la difficulté, avec une méthode de modélisation relativement simple fondée sur la régression, d'établir des corrélations et des ajustements statistiquement satisfaisants. Le recours à une approche systémique exploitant des variables nationales apporte toutefois des résultats de qualité correcte, permettant de retranscrire dans ses grandes lignes les fluctuations des tonnages régionaux générés localement, émis ou reçus en interrégional, au cours des années 1975-1994.

Section XII.

Les relations structurelles et la distribution spatiale du fret

La phase de distribution spatiale s'inscrit pleinement dans le champ des modèles d'interaction spatiale. La démarche d'analyse et de modélisation de la distribution spatiale, consiste à formaliser les liens de causalité pouvant exister entre les variables "explicatives" constituées par les facteurs structurels géographiques ou socio-économiques et les variables dépendantes formées par les coefficients structurels qui expriment l'intensité des interactions spatiales interrégionales.

L'expression formalisée du module de distribution est proche des modèles d'interaction spatiale qui mettent en relation les valeurs de la matrice d'échanges F(*i*,*j*) avec les valeurs de vecteurs de dimension *i* relative aux capacités d'émission et de dimension *j* relative aux capacités d'attraction et les valeurs d'une matrice de dimension (*i*,*j*) décrivant le degré de séparation des lieux *i* et *j* (Fotheringham et O'Kelly, 1989).

$$F_{i,j} = f\,(E_i, R_j, I_{i,j}) \qquad \text{[XII-1]}$$

La principale différence du module de distribution spatiale développée dans la thèse tient à la nature des paramètres constitutifs de la matrice d'échange F(*i*,*j*). Ces paramètres, les coefficients structurels, sont des indicateurs de l'intensité structurelle à l'échange et non du volume d'échange (tonnes, nombre de déplacements, …). Le module de distribution spatiale permet donc de modéliser la dimension structurelle des échanges qui est ensuite combinée à la dimension conjoncturelle pour donner une estimation en tonnage des interactions spatiales ou échanges de marchandises entre les régions d'origine et de destination (cf. schéma III-1).

$$\hat{T}_{ij} = \underbrace{T_{i.} * T_{.j} / T_{..}}_{part\ conjoncturelle} * \underbrace{CS_{ij}}_{part\ structurelle} \qquad \text{[II-1]}$$

L'investigation est développée dans un premier temps sur l'ensemble des interactions spatiales de transport de marchandises effectuées au cours d'une année, autrement dit en coupe transversale. Cette première phase a pour objectif de mettre en évidence les facteurs structurels déterminant la distribution spatiale du fret interrégional.

En s'appuyant sur les résultats et enseignements de l'analyse en coupe transversale, la distribution spatiale est ensuite modélisée selon une approche chronologique en vue de formaliser une liaison temporelle entre les variations annuelles des variables structurelles socio-économiques et spatiales et les variations de l'intensité structurelle des échanges, c'est-à-dire des coefficients structurels.

XII-1. Détermination des facteurs explicatifs de la distribution spatiale du fret interrégional

La modélisation de la distribution spatiale du fret interrégional est effectuée en ayant recours à la méthode des coefficients structurels (cf. chapitre I) qui distingue une dimension structurelle des échanges et une dimension conjoncturelle, traitée lors de la génération des flux globaux à l'émission et à l'attraction. La dimension structurelle fait donc l'objet de la phase de distribution spatiale du fret. L'objectif de cette phase est de déterminer les facteurs socio-économiques et spatiaux caractérisant les lieux d'origine et de destination ou les axes d'échange, autrement dit participant à la structuration économique et spatiale du territoire national, et qui façonnent alors une structure spatiale des échanges interrégionaux de marchandises.

La démarche concrète de modélisation consiste à confronter les coefficients structurels exprimant l'intensité structurelle des échanges interrégionaux et les facteurs socio-économiques et spatiaux caractérisant les axes d'échange ou les lieux d'origine et de destination. Deux types de facteurs explicatifs de la distribution spatiale sont recherchés, en référence aux modèles d'interactions spatiale ou à la loi de distribution des déplacements (Koenig, 1973), les effets de séparation spatiale et les effets d'attraction socio-économique. Dans le cadre de l'analyse de la distribution de marchandises, qui est également dépendante de relations industrielles interentreprises et d'organisations logistiques, ces effets intègrent aussi des facteurs de proximité territoriale et organisationnelle.

XII-1-1. Les effets de séparation spatiale et de proximité spatiale

Dans la littérature anglo-saxonne, les interactions spatiales sont souvent réduites au phénomène de décroissance des flux avec la distance. Cette position a généré les lois empiriques bien connues développées par Ravenstein puis les premiers modèles gravitaires faisant intervenir la masse des lieux d'émission et de réception et l'inverse du carré de la distance qui les séparent comme facteurs explicatifs du volume d'interaction entre deux lieux. Le rôle de l'espace à travers la " distance " exprimée en kilomètres parcourus, en temps ou en coût de transport, est donc abordé dans un premier temps.

La prise en compte de l'espace par un indicateur de distance reste en effet incontournable en raison des effets de la séparation spatiale sur les choix de localisation des activités et sur leur mode de fonctionnement par les répercussions amont de la logistique de distribution des produits sur la production et la conception. L'espace n'est donc pas économiquement neutre (Ponsard, 1988) et modifie les calculs de coûts des acteurs économiques et les stratégies d'entreprise.

La prise en compte de l'espace ne se limite cependant pas à la dimension de séparation et de proximité spatiale. Ainsi dans un second temps, nous aborderons le rôle de l'espace sur la distribution spatiale du fret à travers la structuration économique et sociale du territoire qui constitue des opportunités de production ou des débouchés de consommation différenciés selon les sous-espaces et notamment les régions composant le territoire national.

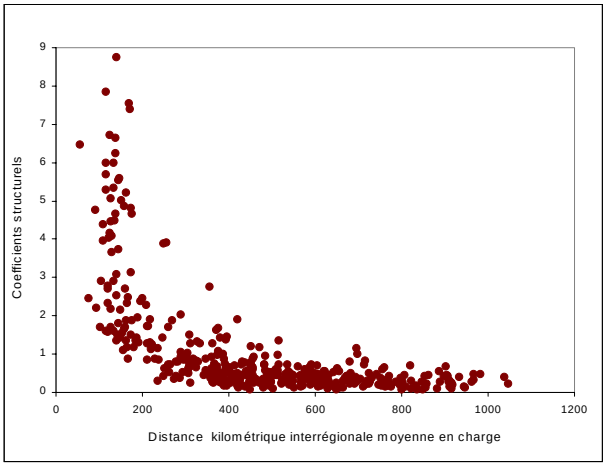
A. L'impact de la séparation spatiale mesurée par un indicateur de distance continue

La séparation spatiale entendue au sens de séparation physique entre deux lieux peut être exprimée par des mesures de *distance continue* entre les principaux centres urbains démographiques et économiques régionaux considérés comme les centroïdes de région. Les trois indicateurs de distance présentés en section VI, la distance kilométrique, le temps de transport et le coût de transport, sont successivement pris en compte comme variable explicative de la distribution spatiale des tonnages interrégionaux.

A-1. Coefficients structurels et distance kilométrique

La distance kilométrique que nous considérons est définie soit par les kilomètres du réseau routier et autoroutier entre les villes centroïdes de région soit par le kilométrage moyen en charge observé et mesuré par le rapport des tonnes-kilomètres réalisées et des tonnes transportées issues de la base de données SITRAM. La mise en relation de ces indicateurs de distance géographique avec les coefficients structurels conduit à une distribution classique de l'intensité des interactions spatiales, exprimée en coefficients structurels, en fonction de la distance. Cette distribution se caractérise par une augmentation de l'intensité structurelle à l'échange avec la décroissance de la distance.

Graphique XII-1. Coefficients structurels et distance kilométrique (1994)



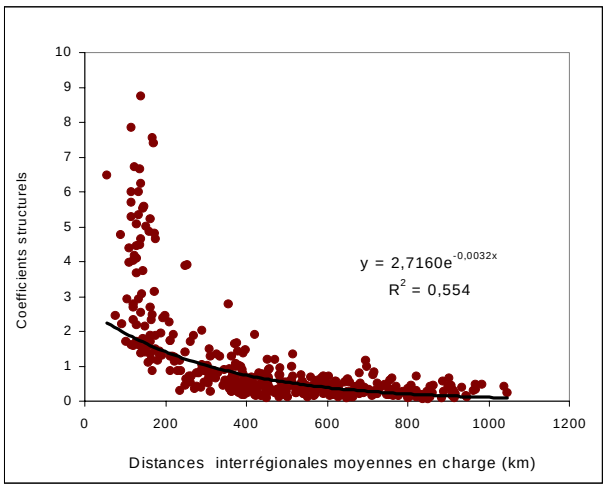
La distribution de l'intensité structurelle à l'échange en fonction de la distance kilométrique se différencie selon les courtes et longues distances. Sur les courtes distances, inférieures ou égales à 200 km, la distribution présente une forte variance du niveau des coefficients structurels. Sur ces segments de distances interrégionales, les coefficients structurels atteignent des niveaux très élevés et des niveaux assez faibles tout en restant supérieurs à l'unité. Cela signifie que pour une distance moyenne oscillant entre 50 et 200 kilomètres, la dimension structurelle des échanges peut être très forte et influer positivement sur le volume des échanges comme elle peut être assez faible, ne favorisant pas ou peu les échanges. Sur de courtes distances, la dimension structurelle des échanges a donc plutôt tendance à être élevée et à privilégier les interactions spatiales, mais avec des degrés très variables.

Sur des distances plus élevées, la variance comme le niveau des coefficients structurels sont plus faibles, ces derniers étant davantage inférieurs que supérieurs à l'unité et ceci d'autant plus

que la séparation spatiale est grande. Les relations d'échange ne sont donc pas ou peu privilégiées par les facteurs structurels caractérisant les liaisons d'échange à grande distance. Au-delà d'une distance moyenne en charge de 400 kilomètres, les relations d'échange sont presque systématiquement désavantagées, c'est-à-dire supportant des tonnages observés plus faibles que les tonnages potentiels théoriques.

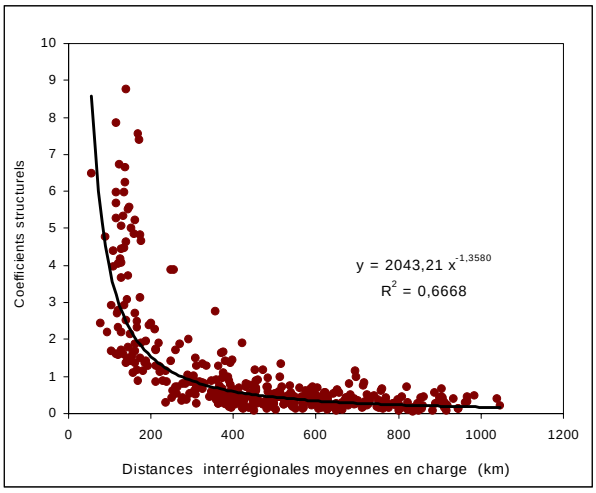
La relation causale entre distance kilométrique et intensité structurelle à l'échange est formalisée par une fonction puissance négative (dite de *Pareto*). Cette fonction est couramment utilisée dans les modèles d'interaction spatiale (Pini, 1990) au même titre que la fonction exponentielle négative. Cette seconde fonction n'offre toutefois pas un ajustement de la distribution spatiale des coefficients structurels aussi bon que celui avec une fonction puissance négative et en particulier ne rend pas compte des coefficients structurels de valeur élevée.

Graphique XII-2. Régression coefficients structurels – distance kilométrique : Ajustement par une fonction exponentielle



La fonction puissance en revanche rend compte de l'ensemble des valeurs prises par les coefficients structurels, y compris des valeurs fortement élevées. Cette fonction offre un meilleur ajustement que les fonctions exponentielles, du fait de sa tangence à l'axe des abscisses comme à l'axe des ordonnées, ce que ne peut apporter une fonction exponentielle.

Graphique XII-3. Régression coefficients structurels – distance kilométrique : Ajustement par une fonction puissance négative



La relation obtenue est un modèle à élasticité constante[1] avec un coefficient de friction spatiale élevée, d'une valeur supérieure à l'unité (β = 1,3580) qui traduit une inhibition des échanges par le facteur distance, en particulier pour les transports effectués sur une distance de plus de 400 km.

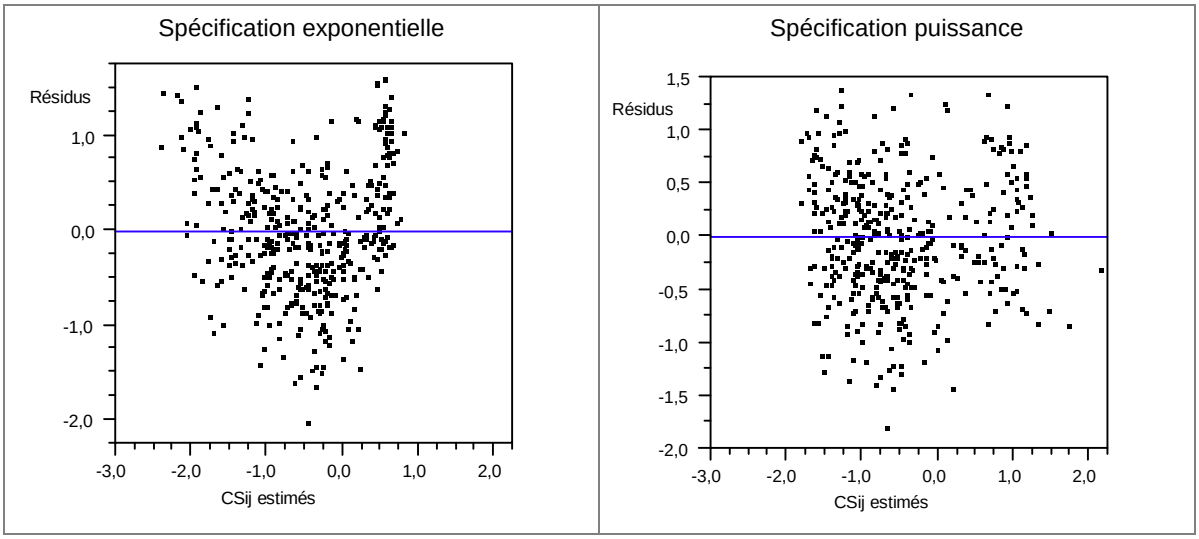
L'ajustement est satisfaisant au regard des tests statistiques du modèle linéaire et positionne la distance kilométrique comme une variable explicative statistiquement significative de la distribution des coefficients structurels.

Tableau XII-1. Relation économétrique coefficients structurels et distance kilométrique

variable expliquée	variable explicative	spécification	R^2	variance	test F	test t
CSij	Dij	puissance	0,6668	expliquée : 280,77 résiduelle : 140,29	F : 836,61 prob : <0,0001	t : -28,92 prob : 0,0001

L'ajustement est également correct du point de vue de la distribution des résidus qui ne présente pas de forme particulière. Ce résultat confirme la meilleure adéquation de la spécification puissance face à la spécification exponentielle, car cette dernière conduit à une forme particulière des résidus, révélatrice d'une structure cachée ou non prise en compte la fonction d'ajustement.

Graphique XII-4. Résidus des ajustements des coefficients structurels par la distance kilométrique



L'ajustement des coefficients structurels en fonction de la distance géographique fournit donc deux enseignements intéressants. Premièrement, l'indicateur de distance kilométrique explique plus de 65% de la variance des coefficients structurels et par conséquent de la distribution spatiale du fret interrégional. Deuxièmement, l'indicateur de la distance kilométrique rend mieux compte de la distribution spatiale réalisée sur moyennes et longues distances que sur courtes distances. Sur les courtes distances justement, les coefficients structurels présentent une forte variance qui n'est pas totalement prise en compte par la fonction puissance négative même si elle l'intègre davantage que la fonction exponentielle. Ce second point a une signification précise qui est corroborée par la

[1] La fonction étant linéaire après passage aux logarithmes (fonction log-log), l'élasticité est constante, cf. JOHNSTON (1988), méthodes économétriques, tome1, annexe pp. 318-321. La démonstration directe sans les logarithmes aboutit au même résultat (cf. section II).

valeur du coefficient de détermination, à savoir que l'ajustement des coefficients structurels en fonction de la distance kilométrique est statistiquement correct mais n'explique pas *complètement*, ou suffisamment, la distribution spatiale du fret interrégional et doit pouvoir être amélioré par la prise en compte d'autres facteurs structurels qui influeraient plus particulièrement sur les interactions spatiales de courtes distances.

Ces résultats obtenus à partir des échanges réalisés au cours de l'année 1994 ont été consolidés par des tests similaires sur d'autres années. Ces tests sont concluants au sens où les résultats sont sensiblement équivalents quelle que soit l'année considérée entre 1975 et 1994[2]. Les fluctuations conjoncturelles propres à chaque année ne remettent pas en cause la spécification choisie.

La distance kilométrique apparaissant comme un facteur explicatif important mais non exclusif de la distribution spatiale du fret, la modélisation de celle-ci peut donc être améliorée. Les améliorations sont recherchées dans deux directions. La première porte sur une autre expression de la distance, notamment une mesure intégrant une dimension économique de la distance telle que le temps de transport ou le coût de transport. Ces mesures interviennent directement dans les calculs des coûts de revient et de prix de vente des marchandises et rendent mieux compte de l'impact de la séparation spatiale sur le fonctionnement concret des organisations logistiques de transport de marchandises.

La seconde voie d'amélioration porte sur l'introduction de variables explicatives complémentaires à l'indicateur de distance continue finalement retenu. L'introduction de nouveaux facteurs structurels s'attachera notamment à dépasser l'effet isolé de la distance sur les interactions spatiales en rattachant cet effet au jeu simultané de facteurs plus territoriaux comme la proximité spatiale, ou de facteurs économiques tels que des effets émissifs ou attractifs des capacités de production ou de consommation respectivement des lieux d'émission et de destination ou encore des effets de proximité de nature organisationnelle (relations interentreprises, intra- ou intersectorielles).

A-2. Coefficients structurels et distance-temps

La mesure de la séparation spatiale en temps de transport, qui est considérée comme une distance plus fonctionnelle par rapport à la mesure kilométrique, est empiriquement estimée par le temps minima d'acheminement routier des marchandises en 1994 entre les villes centroïdes régionales (ORT des Pays de Loire, 1995).

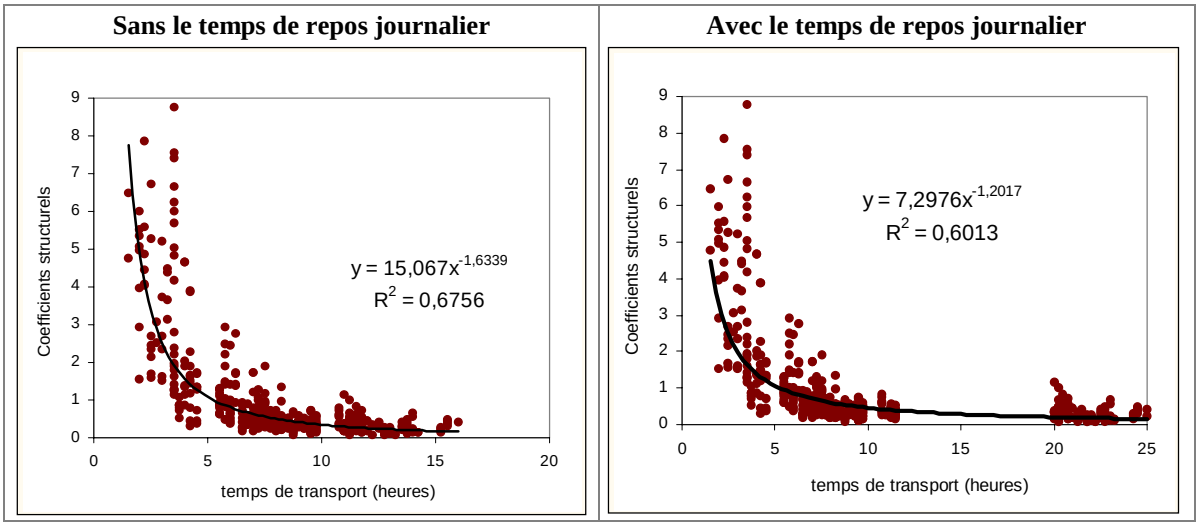
Le recours à un facteur structurel relatif au seul mode routier est pertinent du point de vue méthodologique en raison de l'influence centrale des flux routiers dans la distribution spatiale du fret interrégional global. En effet, la distribution obtenue avec les coefficients structurels calculés sur les tonnages transportés par les trois modes de transport terrestres (fer, route, fluvial) est essentiellement imputable aux transports effectués par route, en raison de leur poids dominant en tonnage. La confrontation des coefficients structurels par mode avec la distance moyenne en charge du mode de transport correspondant confirme l'influence déterminante des flux routiers sur la structure spatiale du fret interrégional global. La structure spatiale des échanges ferroviaires

[2] Les ajustements obtenus sur d'autres années sont présentés en annexe XII-1.

comme celle des échanges fluviaux ne présente aucune liaison particulière avec la distance (cf. annexe XII-2). Ainsi, on a pu vérifier que le recours à la distance kilométrique tous modes ou à la distance routière pour expliquer la distribution des coefficients structurels issus des tonnages tous modes ne modifie pratiquement pas l'ajustement obtenu.

La distribution des coefficients structurels en fonction des temps interrégionaux de transport est comparable à celle observée avec la distance kilométrique. Le temps de transport introduit toutefois une distinction entre des relations pouvant être réalisées en une traite (inférieurs à 8 ou 9 heures de transport) et celles effectuées en deux jours en raison d'un repos journalier. On remarque que les trajets directs coïncident avec des liaisons d'échange structurellement privilégiées, et les autres sont plutôt des liaisons désavantagées. Le temps de repos journalier peut toutefois être évincé en considérant les possibilités de continuité du transport sur longue distance grâce au passage par les plates-formes logistiques de groupage/dégroupage et au changement de conducteur et de véhicule. En effet, les transports interurbains nationaux à longue distance sont couramment scindés au minimum en deux courses avec un trajet d'approche nationale puis un trajet de distribution régionale, départementale et/ou urbaine après passage par une plate-forme logistique. En revanche, les périodes de pause après 4h30 de route ne sont pas écartées même avec ce type d'organisation logistique du transport, dans le cadre du respect de la réglementation du transport routier.

Graphique XII-5. Régression des coefficients structurels en fonction de la distance fonctionnelle - 1994



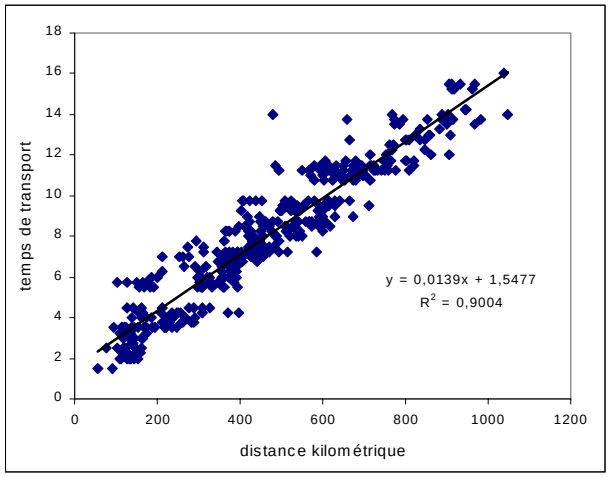
L'ajustement obtenu avec le temps de transport (sans le temps de repos journalier) est de qualité légèrement supérieure mais tout à fait comparable à l'ajustement obtenu avec la distance kilométrique. Les tests de fiabilité statistique du modèle et de la variable explicative sont également positifs. Le test *t* de Student confère au temps de transport davantage de signification statistique qu'à la distance kilométrique. Enfin, l'analyse des résidus donne une structure quelconque similaire à celle obtenue avec la distance kilométrique.

Tableau XII-2. Relation économétrique Coefficients structurels / temps de transport

Variable expliquée	variable explicative	spécification	R^2	variance	test F	test t
CSij	Tij	puissance	0,676	expliquée : 284,47 résiduelle : 136,59	F : 870,55 prob >F : <0,0001	t : -29,51 prob > t : 0,0001

La proximité des résultats obtenus avec les deux mesures de distance s'explique très logiquement par la forte corrélation entre ces deux facteurs.

Graphique XII-6. Corrélation distance kilométrique moyenne et temps de transport (1994)



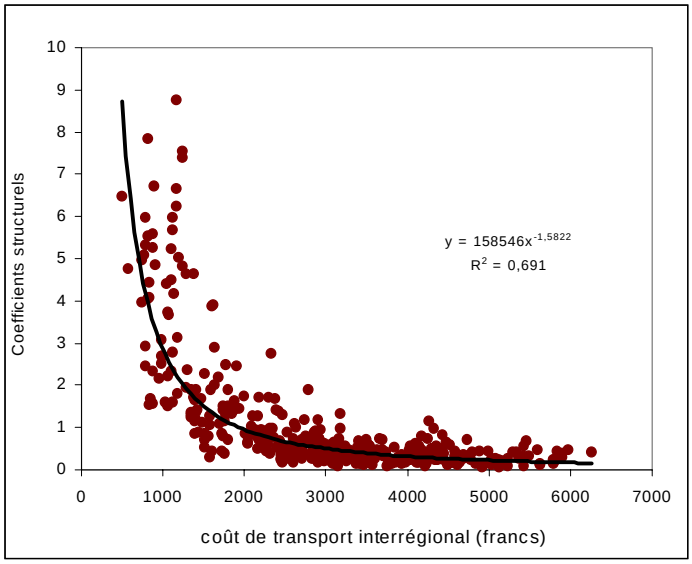
A-3. Coefficients structurels et coût de transport

L'expression de la séparation spatiale par une estimation du coût de transport permet d'intégrer davantage d'éléments économiques entrant en ligne de compte dans les choix stratégiques de l'organisation spatiale du transport de marchandises. Le coût de transport engendre une déformation supplémentaire de l'espace par rapport au temps de transport par l'intégration de la valeur de ce temps de transport selon les catégories de produits, de l'immobilisation des produits et plus globalement de l'exploitation du service de transport.

La valorisation monétaire des effets de séparation spatiale qui est considérée dans le cadre du modèle est un coût d'exploitation moyen du transport routier de marchandises calculé par le CNR. Sous l'hypothèse de similarité des deux structures spatiales des échanges effectués soit tous modes confondus soit avec le seul mode routier (cf. annexe XII-2), le coût d'exploitation unitaire du transport routier a été appliqué aux kilomètres parcourus tous modes confondus et a été considéré comme une estimation du coût de transport pour l'ensemble des échanges interrégionaux.

La mise en relation des coefficients structurels avec un indicateur de coût de transport aboutit à un ajustement sensiblement équivalent à ceux obtenus avec la distance kilométrique et le temps de transport. L'ajustement présente tout de même une qualité statistique plus élevée, et permet d'expliquer une part plus importante de la variance des coefficients structurels.

Graphique XII-7. Régression des coefficients structurels en fonction du coût de transport -1994



La qualité de l'ajustement est donc sensiblement améliorée avec le coût de transport qui se présente comme le facteur de séparation spatiale le plus fiable statistiquement pour retranscrire la distribution des coefficients structurels et par conséquent la distribution spatiale des tonnages interrégionaux.

Tableau XII-3. Résultats économétriques coefficients structurels et coût de transport (1994)

variable explicative	variable expliquée	spécification	R^2	variance	test F	test t
CTij	CSij	puissance	0,691	expliquée : 290,9 résiduelle : 130,1	F : 934,69 prob>F : <0,0001	t : -30,57 prob>t : 0,0001

Les ajustements avec différents indicateurs de distance continue apportent tous les mêmes enseignements. Premièrement, la séparation spatiale a un fort rôle modulateur sur les interactions de moyenne et surtout de longue distance. Deuxièmement, la forte variance des coefficients structurels sur les courtes distances n'est pas bien retranscrite par les indicateurs de distance continue et fait pressentir le jeu d'autres facteurs structurels dans la distribution spatiale du fret interrégional. Ces premières régressions révèlent donc que la distance est un déterminant important de la structure spatiale des échanges de marchandises mais non exclusif. Troisièmement, la scission qui ressort entre la distribution à forte variance des coefficients structurels sur courtes distances (inférieures à 200 kilomètres) et celle à faible variance pour les coefficients structurels sur moyennes et longues distances rejoint la distinction des relations structurelles entre régions limitrophes et régions non limitrophes observée lors de l'analyse descriptive de la structure spatiale du fret interrégional (cf. section IX). Ainsi, les relations structurelles privilégiées (CS>1) correspondent pour 77% d'entre elles à des interactions entre régions limitrophes et les relations les plus privilégiées, avec un coefficient structurel supérieur à 2, sont pour 98% effectuées entre régions limitrophes.

Ce constat conduit à s'interroger sur l'existence d'effets d'autocorrélation spatiale et sur le rôle éventuel de facteurs de contiguïté sur la distribution spatiale du fret interrégional. Les tests d'autocorrélation spatiale, identiques à ceux développés en analyse préalable de la phase de génération, n'ont pu être effectués pour des raisons de dimensionnement des logiciels informatiques de calcul et d'économétrie dont nous disposions, dans lesquels il est en effet impossible de traiter une matrice de contiguïté 420 x 420, correspondant aux 420 liaisons d'échange interrégionales. Cependant, les premiers résultats descriptifs mais aussi économétriques nous confortent dans l'idée d'introduire un facteur de proximité spatiale qui peut être considéré comme une mesure qui privilégie les effets de proximité territoriale ou d'appartenance territoriale par rapport à ceux de séparation.

B. Les effets de proximité territoriale

La proximité territoriale est mesurée par un indicateur de contiguïté interrégionale. L'intégration d'un facteur de contiguïté peut permettre de tenir compte dans le modèle des effets de dépendance spatiale ou d'autocorrélation spatiale, expression de réseaux territoriaux de transport s'étendant sur deux ou plusieurs régions contiguës sans subir un effet de barrière imputable aux limites administratives régionales. Ce schéma apparaît notamment dans le cas d'une région urbaine située à proximité d'une frontière régionale et dépassant les limites administratives, telle que la région urbaine de Paris et, avec une moindre ampleur, la région urbaine de Reims. En outre, les transports via les plates-formes logistiques multimodales nationales ou régionales contribuent à l'accroissement de trafics entre régions contiguës en raison d'aires d'influence multirégionale de nombreuses plates-formes. Enfin, aux franges des limites administratives régionales, les flux de marchandises entre deux villes ou deux zones industrielles se développent aussi librement qu'entre des villes ou zones industrielles d'une même région, toutes choses étant égales par ailleurs. Aucune contrainte administrative ou juridique ne freine les échanges entre régions contiguës d'une même nation. Ainsi, la proximité territoriale favorise les échanges interrégionaux de marchandises et ceci d'autant plus que la région a une superficie plus réduite.

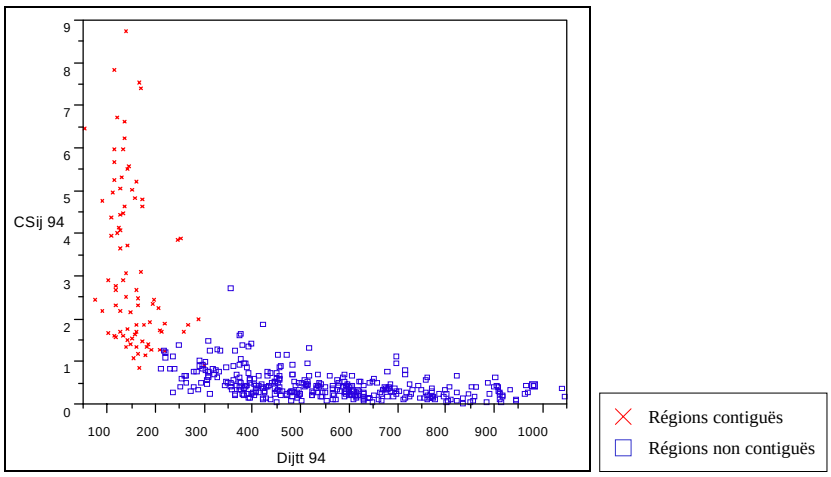
Plusieurs indicateurs de contiguïté existent et ont été calculés dans le cadre d'analyses d'économétrie spatiale et de modèles empiriques d'interactions spatiales. Les principales formulations (cf. section VI) se distinguent par le degré de finesse qui définit la proximité spatiale entre deux zones d'échange et par la définition donnée à la dépendance spatiale entre différents lieux. La définition de la dépendance spatiale et la nature de l'indicateur de mesure de la contiguïté sont déterminants du fait qu'ils ont des conséquences directes sur les résultats des modèles intégrant de telles variables. La structure territoriale est en effet déterminée par le graphe de contiguïté.

En partant du plus simple indicateur de contiguïté (contiguïté stricte binaire) et en enrichissant ses propriétés territoriales (présence et capacités de voies de communication , ...), nous testons l'introduction de la proximité territoriale en tant que variable révélatrice de maillages territoriaux de transport et d'une hiérarchie des réseaux de transport interrégional entre, d'une part, des relations interrégionales proches d'une logique de distribution du fret et, d'autre part, des relations interrégionales de massification des flux et d'approche nationale.

B-1. Des coefficients structurels fortement différenciés par la proximité territoriale

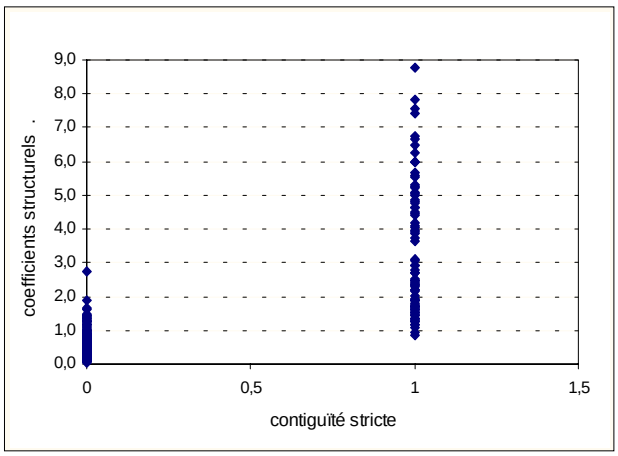
Le marquage des coefficients structurels, distribués en fonction de la distance continue interrégionale, selon le critère de contiguïté interrégionale stricte distingue les liaisons d'échange structurellement privilégiées des liaisons désavantagées.

Graphique XII-8. Identification des coefficients structurels par le critère de contiguïté stricte



Les liaisons d'échange structurelles entre régions contiguës et entre régions non contiguës se distinguent également par la variance du niveau des coefficients structurels. La variance est très élevée pour les liaisons entre régions contiguës (var=3,64 en 1994) et très faible pour les liaisons entre régions non contiguës (var=0,11).

Graphique XII-9. Distribution des coefficients structurels en fonction d'un indicateur de contiguïté interrégionale stricte (1994)



La distribution des coefficients structurels en fonction d'un indicateur de contiguïté interrégionale stricte a un effet discriminant sur la nature structurelle de la liaison d'échange mais ne peut rendre compte de la forte variance des coefficients structurels relatifs aux liaisons d'échange entre régions contiguës.

Le pouvoir explicatif de la contiguïté stricte interrégionale sur la distribution spatiale des coefficients structurels est formalisé par l'introduction de cette variable dans la régression entre coefficients structurels et distance continue interrégionale, en tant que facteur explicatif complémentaire à la séparation spatiale.

B-2. Introduction de la proximité territoriale dans le modèle de distribution spatiale

L'introduction de l'indicateur de contiguïté stricte dans le modèle de distribution spatiale confrontant les coefficients structurels à un indicateur continu de séparation spatiale a pour objet de conjuguer les effets de séparation spatiale et de proximité.

La procédure choisie a été d'introduire les deux facteurs comme variables explicatives individuelles et de tester leur impact sur la distribution des coefficients structurels par le recours à une régression multiple. Afin de conserver la forme de la fonction traduisant l'effet de la distance continue, une linéarisation par transformation en logarithmes a été opérée.

L'ajustement multiple est donc une combinaison de deux fonctions puissances négatives :

$$CS_{ij} = CTij^{a_1} * Cij^{a_2} * A \qquad \text{[XII-2]}$$

avec : $CTij$: coût de transport moyen entre *i* et *j*
Cij : indicateur de contiguïté
A : constante

La formalisation avec les logarithmes est la suivante :

$$\ln CS_{ij} = a_1 \ln CTij + a_2 \ln Cij + \xi \qquad \text{avec } \xi = \ln A \text{ (résidus)} \qquad \text{[XII-3]}$$

Les résultats de la régression multiple sont statistiquement satisfaisants avec des tests de fiabilité corrects pour les deux variables explicatives et un coefficient de détermination amélioré par rapport au modèle simple relatif uniquement à la séparation spatiale.

Tableau XII-4. Régression multiple : coefficients structurels en fonction du coût de transport et de la contiguïté stricte (1994)

variables explicatives	spécification	$\hat{R}^2$	test F	test t	Colinéarité
CT_{ij} C_{ij}	$\ln CS_{ij} = -1{,}096 \ln CTij + 0{,}79 \ln Cij + 7{,}97$	0,73	F : 565,66 prob >F:<0,0001	t / CT_{ij} : 14,22 t / C_{ij} : 7,83	0,78

L'ajustement ne présente pas de forme particulière quant aux résidus, en revanche il comporte un effet de colinéarité entre les deux variables explicatives. Cet effet est toutefois limité du fait que sa valeur (0,78) n'est pas trop élevée et reste inférieure à 0,95, niveau qui peut remettre en cause la fiabilité statistique du modèle. En deçà, la colinéarité traduit bien l'existence de liens entre les variables explicatives mais ne constitue pas un obstacle intangible à la validité globale du modèle (Judge, Griffith et Hill, 1997). Le modèle ainsi obtenu ne permet pas de faire clairement la part du pouvoir explicatif de chaque variable exogène mais la présence de ces deux facteurs rend mieux compte de la distribution des coefficients structurels.

L'amélioration de ce modèle et le dépassement de ses faiblesses économétriques ont alors été recherchés dans une expression plus générale de la contiguïté. Les tentatives de généralisation du concept de contiguïté ont de ce fait été exploitées. L'objectif a été d'établir une mesure aussi globale que possible du potentiel d'interaction entre deux régions imputable à leur *proximité territoriale*. Les indicateurs de contiguïté générale ont porté sur une hiérarchie des niveaux de contiguïté interrégionale d'une part, et sur une pondération de la contiguïté stricte en fonction de la

longueur des frontières communes ou en fonction des capacités des voies de communication d'autre part.

L'introduction d'un indicateur de distances de contiguïté d'ordre 5 comme variable explicative additionnelle au coût de transport n'est pas significative au regard de l'ensemble des tests statistiques et présente une colinéarité plus élevée entre les deux variables explicatives que celle obtenue avec l'indicateur de contiguïté stricte.

Tableau XII-5. Régression multiple : coefficients structurels en fonction du coût de transport et des distances de contiguïté d'ordre 5 (1994)

variables explicatives	spécification	$\hat{R}^2$	test F	test t	Colinéarité
CT_{ij} DC_{ij}	$CS_{ij} = -1{,}60CT_{ij} + 0{,}017DC_{ij} + 12{,}0$	0,69	F : 466 prob >F:<0,0001	t / CT_{ij} : 16,6 t / C_{ij} : 0,37	0,85

Parmi les autres indicateurs de contiguïté pondérée testés, la contiguïté pondérée seulement par les capacités des voies de communication[3] ou par la longueur des frontières interrégionales communes, n'améliore pas l'estimation par rapport à l'indicateur de contiguïté stricte. En revanche, la contiguïté doublement pondérée par la longueur des frontières et par l'aire relative de la région émettrice apporte des résultats satisfaisants. Cet indicateur, noté W_{ij}, comprenant une double pondération (aire relative de l'unité spatiale émettrice et part de la longueur de la frontière commune *ij* dans la frontière totale de la région émettrice) et connu sous le nom d'indicateur de Dacey (1968)[4], se présente comme la variable de proximité la plus significative pour expliquer, conjointement au coût de transport, la distribution des coefficients structurels[5].

Les tests statistiques du modèle considérant le coût de transport et la contiguïté de Dacey comme facteurs explicatifs sont positifs, la répartition des résidus est aléatoire et le niveau de colinéarité est plus faible que celui issu des modèles de régression multiples testés précédemment. Ces résultats corrects attestent donc de la signification statistique de la variable de contiguïté générale W_{ij} comme expression de la proximité territoriale influant sur la distribution spatiale des flux de transport de marchandises interrégionaux.

Tableau XII-6. Régression multiple : coefficients structurels en fonction du coût de transport et de la contiguïté pondérée de Dacey (Wij)

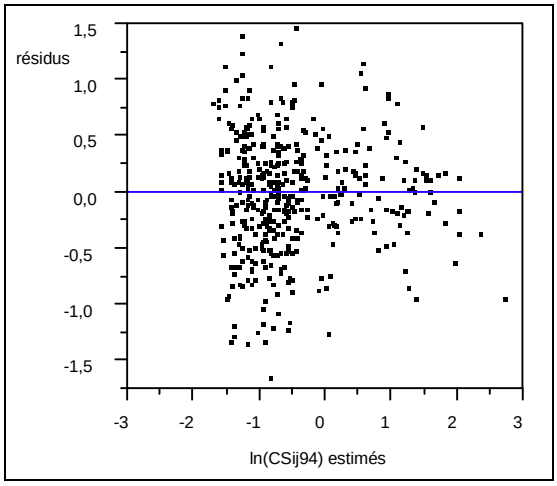
variables explicatives	spécification	$\hat{R}^2$	test F	test t	Colinéarité
CT_{ij} W_{ij}	$\ln CS_{ij} = -1{,}24 \ln CTij + 45{,}26 \ln Wij + 9{,}18$	0,74	F : 592,17 prob >F: <0,0001	t /CT_{ij} : 20,74 t / W_{ij} : 8,81	0,62

[3] Cet indicateur considère la part des voies de communication routière entre deux régions contiguës dans la totalité des capacités de communication de la région émettrice (Cf. section VI).

[4] Travaux cités dans ANSELIN (1988), p. 20.

[5] Des résultats similaires ont été obtenus avec une autre pondération dans l'indicateur de contiguïté générale de type Dacey, qui portait sur la part des capacités de communication routières à la place de la part de la longueur de la frontière commune *ij*.

Graphique XII-10. Résidus de l'ajustement multiple avec le coût de transport et la contiguïté générale de Dacey (1994)



Le modèle de distribution spatiale intégrant des facteurs spatiaux comme variables explicatives permet donc d'expliquer 74% de la variance de la distribution des coefficients structurels, résultat statistiquement correct mais méritant encore quelques améliorations afin d'obtenir des estimations plus robustes. En référence à la logique des modèles d'interaction spatiale, nous avons donc cherché à intégrer dans le modèle de distribution spatiale des facteurs d'émission et d'attraction socio-économique du fret exprimant les capacités à la production ou les débouchés à la consommation qu'offrent les différentes régions.

XII-1-2. Les effets d'attraction socio-économique

Le rôle des facteurs d'attraction est recherché à la fois dans la sphère de production et dans la sphère de consommation. L'objectif consiste à établir une liaison entre le niveau des coefficients structurels et l'importance des débouchés régionaux offerts aux marchandises soit comme produits de consommation soit comme biens intermédiaires, tout en tenant compte du rôle de frein de la séparation spatiale et du jeu permissif sur les échanges de la contiguïté. Les facteurs d'attraction sont scindés en deux catégories : les facteurs de masse à travers les niveaux globaux de production, de consommation ou de population et des facteurs de spécificité sectorielle exprimant les avantages comparatifs des régions à l'échange.

Ainsi, la population des régions de destination intervient comme indicateur de la consommation finale et est donc apparentée au bassin de consommation. La valeur ajoutée brute ou le produit intérieur brut des régions de destination est assimilé à un indicateur des débouchés productifs pour les marchandises reçues en tant que biens intermédiaires. L'emploi dans la branche transport est exploité pour estimer l'importance des plates-formes logistiques et autres lieux de traitement des marchandises intervenant dans le volume des marchandises déchargées dans une région. Les facteurs socio-économiques relatifs aux régions d'origine, population et valeur ajoutée, ont également été considérés en tant qu'indicateurs du pouvoir d'émission socio-économique de la région.

A. L'impact des variables d'attraction à la destination

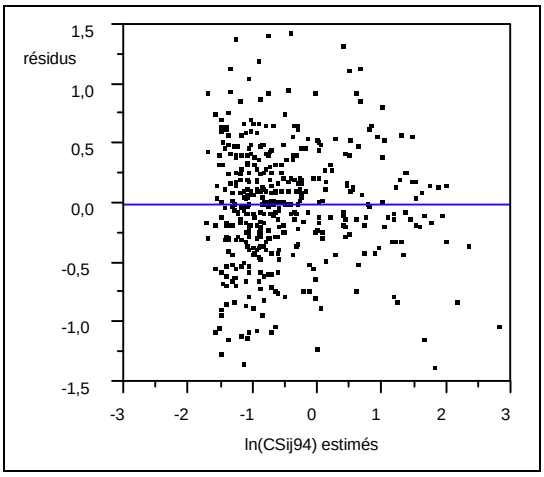
L'intégration d'un facteur d'attraction des régions de destination conduit à un net accroissement du pouvoir explicatif du modèle de distribution spatiale. L'amélioration est équivalente que l'on introduise la variable population ou une variable traduisant l'activité productive à savoir le P.I.B. ou la V.A.B.. Les résultats sont satisfaisants, la distribution des coefficients structurels est en effet expliquée à hauteur de 76% et les tests statistiques sont significativement positifs.

Tableau XII-7. Régression multiple : coefficients structurels en fonction du coût de transport, de la contiguïté de Dacey et de la population ou du P.I.B. des régions de destination (1994)

variables explicatives	spécification	$\hat{R}^2$	test F	test t	colinéarité
CTij Wij POPj	$\ln CS_{ij} = -1{,}26 \ln CTij + 44{,}1 \ln Wij + 0{,}26 \ln POP_j + 5{,}46$	0,763	F : 449,5 prob >F: <0,0001	t_{CTij} : 22,10 t_{Wij} : 9,01 t_{POPj} : 6,59	W_{ij}/CT_{ij} : 0,62 CT_{ij}/POP_j : -0,05 W_{ij}/POP_j : -0,036
CTij Wij PIBj	$\ln CS_{ij} = -1{,}25 \ln CTij + 45{,}18 \ln Wij + 0{,}21 \ln PIB_j + 6{,}65$	0,76	F : 438,6 prob >F: <0,0001	t_{CTij} : 21,65 t_{Wij} : 9,15 t_{PIBj} : 5,91	W_{ij}/CT_{ij} : 0,62 CT_{ij}/PIB_j : -0,01 W_{ij}/PIB_j : -0,003

L'analyse des résidus ne fait pas ressortir de forme particulière, confortant ainsi la spécification du modèle.

Graphique XII-11. Résidus de l'ajustement CSij = f(CTij;Wij;POPj)



L'introduction d'un indicateur de l'emploi dans la branche transport n'apporte pas d'information supplémentaire, la variable n'étant pas statistiquement significative au regard des tests d'adéquation et présentant de plus une forte colinéarité avec la population.

B. L'introduction des variables socio-économiques à l'émission

La prise en compte d'un facteur socio-économique à l'émission apporte à nouveau une amélioration du pouvoir explicatif du modèle de distribution spatiale. Bien que l'indicateur de population régionale présente les meilleurs résultats statistiques, l'indicateur d'activité économique de la région qu'est le PIB régional[6] est préféré car il s'avère plus pertinent du point de vue économique pour exprimer les capacités d'émission en transport de marchandises des régions

[6] Les tests avec l'indicateur de VAB totale ou agricole et industrielle sont de moins bonne qualité statistique.

d'origine. Le modèle ainsi obtenu permet d'expliquer 77% des écarts au modèle de répartition homogène des flux.

Tableau XII-8. Régression multiple : coefficients structurels en fonction du coût de transport, de la contiguïté de Dacey, de la population des régions de destination et d'une variable socio-économique à l'émission (1994)

variables explicatives	spécification	$\hat{R}^2$	test F	test t	colinéarité
CTij Wij POPi POPj	$\ln CS_{ij} = -1{,}28 \ln CTij + 42{,}5 \ln Wij$ $+ 0{,}27 \ln POP_j + 0{,}17 \ln POPi + 2{,}87$	0,773	F : 358 prob >F: <0,0001	t_{CTij} : 22,9 t_{Wij} : 8,85 t_{POPj} : 6,98 t_{POPi} : 4,52	W_{ij}/CT_{ij} : 0,62 POP_i /POP_j : -0,05
CTij Wij PIBi POPj	$\ln CS_{ij} = -1{,}27 \ln CT_{ij} + 43{,}39 \ln W_{ij}$ $+ 0{,}27 \ln POP_j + 0{,}15 \ln PIB_i + 3{,}58$	0,772	F : 356 prob >F: <0,0001	t_{CTij} : 22,7 t_{Wij} : 9,04 t_{POPj} : 6,94 t_{PIBi} : 4,32	W_{ij}/CT_{ij} : 0,62 PIBi /POP_j : 0,05

Enfin, nous avons testé l'impact que pouvaient avoir les spécificités productives régionales en tant que facteur d'attraction marquant un savoir-faire territorial particulier ou une concentration spatiale forte de certaines activités.

C. La difficile mise en évidence du jeu des spécificités productives régionales

L'introduction des spécificités régionales dans le module de distribution spatiale consiste à s'interroger sur l'influence des avantages comparatifs sectoriels des régions, d'émission comme de réception, sur la structure spatiale des échanges interrégionaux de marchandises. L'interrogation économique sous-jacente est de savoir si une région plus spécialisée dans son activité productive aurait une structure spatiale à l'échange différente de celle d'une région économiquement diversifiée.

L'ajout d'un indice de spécificité industrielle [V-3a] ou d'un coefficient de spécialisation [V-4b] relatif aux régions de destination comme aux régions d'origine n'a pas permis d'accroître la qualité et le pouvoir explicatif du modèle de distribution spatiale. En effet, les indices considérés ne sont pas très significatifs statistiquement. En outre, leur impact est de signe négatif, s'avérant opposé à l'effet logiquement attendu du point de vue économique, puisque les spécialisations sont reconnues à la fois dans les travaux théoriques d'analyse régionale (Catin, 1994) et dans les études empiriques (Fines, 1992), comme des facteurs favorables aux échanges.

Tableau XII-9. Introduction des variables de spécificités sectorielles (1992)

variables explicatives	**spécification**	$\hat{R}^2$	**test F**	**test t**	**colinéarité**
CTij Wij PIBi POPj IS_i^{AI} IS_j^{AI}	$\ln CS_{ij} = -1{,}31 \ln CTij + 39 \ln Wij$ $+ 0{,}17 \ln POP_j + 0{,}11 \ln PIBi$ $- 0{,}39 IS_i^{AI} - 0{,}56 IS_j^{AI} + 10{,}31$	0,76	F : 222 prob >F: <0,0001	t_{CTij} : 21,7 t_{Wij} : 7,8 t_{POPj} : 3,87 t_{PIBi} : 2,92 t_{Isi} : 2,65 p>t : 0,008 t_{Isj} : 3,72 p>t : 0,0002	W_{ij}/CT_{ij} : 0,62 PIB_i /POP_j : 0,05 IS_i /IS_j : 0,11 IS_i /PIBi : 0,39 POP_j /IS_j : 0,45

L'analyse du rôle éventuel des spécialisations sectorielles régionales a également fait l'objet d'une investigation plus poussée par une décomposition sectorielle des tonnages échangés, et par conséquent des coefficients structurels, et une décomposition des valeurs ajoutées brutes régionales en branches industrielles et agricoles. Toutefois, ce travail n'a pas abouti à des résultats satisfaisants en raison principalement de la déconnexion valeur-volume physique qui s'opère à nouveau entre des données de transport exprimées en tonnes et les spécialisations régionales calculées à partir des productions régionales en valeur (Durand, 1997).

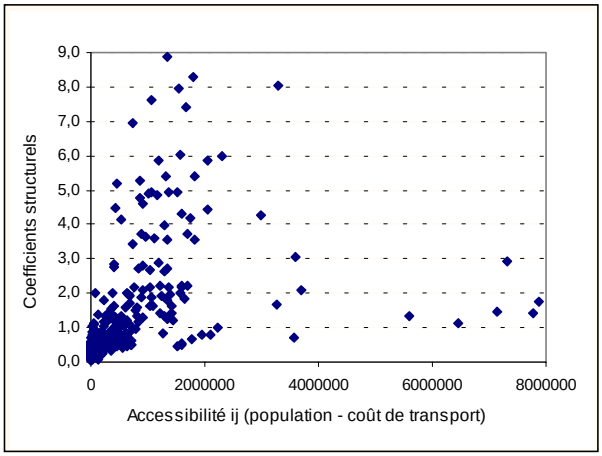
D. L'introduction d'un indicateur d'accessibilité interrégionale comme variable explicative unique

En parallèle des tests réalisés selon une démarche répétitive d'introduction de nouvelles variables explicatives, nous avons cherché à combiner au sein d'un unique indicateur les effets de séparation spatiale et d'attraction économique, en référence aux travaux effectués sur l'accessibilité urbaine en transport de personnes (Koenig, 1973 ; Poulit, 1974) et sur l'accessibilité interrégionale en transport de marchandises (Chatelus, 1997).

L'indicateur d'accessibilité interrégionale exploité est de type gravitaire (cf.[VI-11]) en prenant en compte comme paramètres les populations des régions de destination et le coût de transport interrégional. Un indice d'utilité du déplacement a également été testé (cf. [VI-12]), avec les mêmes paramètres.

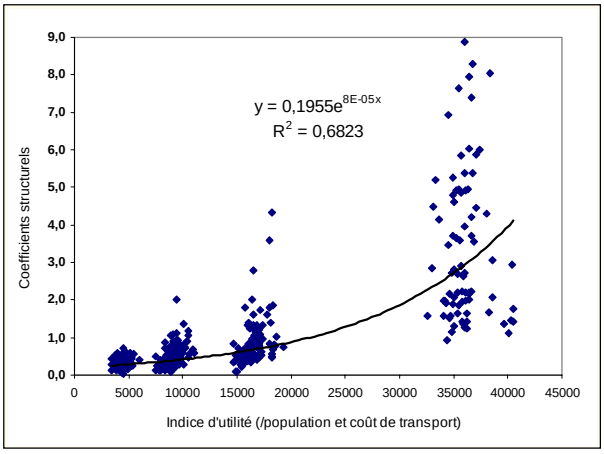
La confrontation des coefficients structurels avec un indicateur d'accessibilité interrégionale combinant coût de transport interrégional et population de la région de destination n'a pas permis d'obtenir une distribution particulière des coefficients structurels et de surcroît un ajustement et des résultats statistiques satisfaisants.

Graphique XII-12. Coefficients structurels et accessibilité interrégionale (1992)



En revanche, l'indice d'utilité fait ressortir une certaine corrélation. Toutefois, l'ajustement obtenu ne permet pas de rendre compte des niveaux élevés de coefficients structurels et reste donc de moins bonne qualité, statistique mais aussi explicative, que la régression linéaire multiple comprenant des facteurs de séparation et de proximité spatiale et des facteurs d'attraction économique.

Graphique XII-13. Coefficients structurels et indice d'utilité[7]



XII-1-3. Les enseignements de la modélisation en phase statique

Les différents tests économétriques réalisés pour la construction du modèle de distribution spatiale des tonnages interrégionaux ont mis en évidence le rôle central des facteurs spatiaux et le rôle non négligeable des facteurs d'émission et d'attraction socio-économique. La variable explicative principale est le coût de transport en tant qu'indicateur de la séparation spatiale et frein à l'échange. Le rôle d'un autre facteur spatial a également été isolé, celui de la proximité territoriale, qui traduit notamment l'existence de réseaux territoriaux d'organisation logistique du transport de marchandises dépassant les limites régionales. Enfin, les facteurs d'émission et d'attraction régionale ont affiché une signification statistique.

La phase de modélisation en coupe transversale a ainsi permis de faire ressortir les variables structurelles déterminantes de la distribution spatiale du fret interrégional sur lesquelles il est maintenant possible de s'appuyer pour construire le modèle spatial de simulation du fret.

XII-2. La modélisation de la dynamique structurelle des échanges interrégionaux de marchandises

XII-2-1. Application du modèle statique en série chronologique

A. La nécessaire disponibilité de séries chronologiques longues et homogènes

Le premier élément préalable à la modélisation de la dynamique structurelle des échanges est de disposer de séries chronologiques longues et homogènes des différentes variables, à expliquer comme explicatives. Pour les variables à expliquer, la série chronologique est homogène et couvre une période 20 ans, puisque les coefficients structurels sont construits à partir des tonnages issus de la banque de données SITRAM.

[7] La forme particulière du nuage de points tient aux valeurs données au coefficient de l'effet atténuateur de la distance sur l'effet d'attraction, intégré dans l'indicateur d'accessibilité gravitaire (POULIT, 1974). Les valeurs sont de type discret et différenciées par classe de distances.

Les séries chronologiques relatives aux variables explicatives ont été moins faciles à construire[8]. Concernant le coût de transport, la série chronologique a été établie à partir de l'évolution de la distance kilométrique moyenne en charge calculée par le rapport des tonnages transportés et des tonnes-kilomètres réalisées entre 1975 et 1994 sur chaque liaison origine-destination d'une part, et de la chronique des coûts routiers unitaires annuels par véhicule/kilomètre effectuée par la Direction des Transports Terrestres entre 1973 et 1992 d'autre part. Les coûts unitaires routiers sont assimilés aux coûts globaux tous modes et sont appliqués aux distances kilométriques moyennes parcourues avec tous les modes terrestres en raison de l'équivalence entre la structure spatiale des échanges routiers et des échanges tous modes (cf. section IX).

Concernant les facteurs d'attraction socio-économique, les séries chronologiques utilisées sont celles construites par l'I.N.S.E.E.. Pour la population régionale, les séries chronologiques sont établies à partir des recensements généraux de la population et des estimations annuelles effectuées par l'I.N.S.E.E. (Lincot et Lutinier, INSEE, 1998). Pour les indicateurs d'activité économique, P.I.B. et V.A.B., les séries chronologiques restent peu développées. Ainsi, les P.I.B. régionaux n'ont fait pas l'objet d'une harmonisation temporelle des estimations publiées dans les " *Statistiques et Indicateurs des Régions Françaises* " (SIRF) ou dans " *La France et ses régions* " (INSEE, 1997). La V.A.B. régionale est diffusée en série chronologique homogène sur la période 1982-1992 et la V.A.B. industrielle est disponible sur une période plus longue, 1975-1992[9]. Enfin, la V.A.B. de la branche agriculture est diffusée dans les publications AGRESTE des directions régionales du Ministère de l'Agriculture.

B. La tentative de construction du modèle de distribution à partir des séries chronologiques

Le modèle de distribution spatiale établi en statique (en 1992 ou en 1994), qui explique la distribution des coefficients structurels à l'aide du coût de transport, de la proximité territoriale, du P.I.B. des régions d'origine et de la population des régions de destination, est adapté dans l'approche dynamique par la prise en compte des seules variables connaissant une évolution temporelle. De ce fait, la variable de proximité territoriale n'est pas conservée puisqu'elle repose sur les frontières régionales et la superficie des régions qui n'ont subi aucune variation au cours de la période d'observation et ne devraient pas *a priori* en subir dans les 20 ans à venir[10]. Par ailleurs, l'absence de série chronologique longue et homogène pour les P.I.B. régionaux interdit de considérer cette variable dans le modèle chronologique.

Le premier modèle testé cherche à établir une relation entre l'évolution des coefficients structurels d'une part et l'évolution du coût de transport et de la population des régions de destination d'autre part. Le modèle est appliqué au 420 liaisons origine-destination interrégionales.

---

[8] La construction des séries chronologiques des variables spatiales est détaillée en sections V et VI.

[9] A l'exception des données relatives à la région PACA pour laquelle les valeurs ajoutées de nombreuses branches industrielles ne sont pas renseignées avant 1982.

[10] Même la contiguïté pondérée par les capacités des voies de communication ne connaît pas une évolution très sensible au cours des 20 dernières années en raison de la réalisation très avancée du schéma directeur routier et autoroutier dès la fin des années 70.

La spécification utilisée est toujours de type fonction puissance :

$$CS_{ij} = CTij^{a_1} * POP_j^{a_2} * C \qquad \text{[XII-4]}$$

avec : $CTij$: coût moyen de transport entre *i* et *j*

POP_j : population de la région de destination

C : constante

Chaque variable représente une chronique de 16 années (1975-1991) ayant fait l'objet d'une analyse chronologique consistant à filtrer les valeurs aberrantes ou accidentelles et à lisser la chronique par le calcul de moyennes mobiles d'ordre 3 pour isoler la tendance d'évolution (principalement pour les coefficients structurels et la distance kilométrique moyenne parcourue).

Les ajustements obtenus pour l'ensemble des 420 liaisons d'échange ne sont pas très satisfaisants statistiquement. En particulier, les tests de signification statistique des variables explicatives introduites sont plutôt faibles et ne peuvent garantir une robustesse statistique au modèle, même quand celui-ci présente un coefficient de détermination élevé.

De façon synthétique, les résultats ne sont satisfaisants que pour 44 liaisons origine-destination (soit seulement 10% de l'ensemble des liaisons interrégionales) selon les critères suivants : un coefficient de détermination supérieur à 0,76 et des tests de Student associés à une probabilité critique inférieure à 1%. Ces résultats sont à la fois encourageants et décevants. Encourageants, car sur les 44 liaisons temporelles satisfaisantes obtenues avec cette modélisation, 77% se rapportent à des liaisons d'échange ayant connu une évolution au cours de la période 1975-1994, en variation absolue des coefficients structurels. Mais décevants, car sur les 45 liaisons interrégionales d'échange présentant une évolution absolue significative du niveau moyen des coefficients structurels (supérieure à 0,5 ou inférieure à -0,5)[11], seulement 13% sont expliquées de façon satisfaisante par le modèle multiple incluant le coût de transport et la population des régions de destination comme variables explicatives (cf. annexe XII-3).

Face à ces résultats mitigés mais globalement non satisfaisants pour garantir une fiabilité statistique au modèle et aux simulations, nous avons tenté d'améliorer les ajustements en introduisant une variable d'attraction économique relative aux régions d'origine. La variable économique introduite est la valeur ajoutée brute industrielle et agricole des régions de destination. Le modèle testé pour chaque liaisons origine-destination est de la forme suivante :

$$CS_{ij} = CTij^{a_1} * POP_j^{a_2} * VABAI_i^{a_3} * C \qquad \text{[XII-5]}$$

L'introduction d'une variable socio-économique à l'émission, n'apporte pas d'amélioration sensible sur l'ensemble des ajustements. Globalement, le nombre d'ajustements statistiquement satisfaisant reste inchangé (41 liaisons), sans que ce soient les mêmes liaisons O/D concernées. Enfin, l'introduction d'une variable de trend n'engendre pas non plus d'amélioration notable et s'avère rarement fiable sur le plan statistique.

$$CS_{ij} = CTij^{a_1} * POP_j^{a_2} * VABAI_i^{a_3} * t^{a_4} * C \qquad \text{[XII-6]}$$

[11] Cf. analyse descriptive de l'évolution structurelle des échanges en section X.

L'ajout de plusieurs variables explicatives a également des effets néfastes sur la qualité statistique du modèle par le développement d'effets de multicolinéarité entre les variables explicatives. La présence de collinéarité élevée (proche ou supérieure à 0,95) affecte dans de nombreux cas la fiabilité statistique du modèle, en particulier le *t* de Student.

L'établissement d'une liaison temporelle entre l'évolution des coefficients structurels et l'évolution de facteurs spatiaux et socio-économiques exprimés par le coût de transport moyen sur chaque liaison interrégionale, la population des régions de destination et la valeur ajoutée brute industrielle et agricole des régions d'origine ne fournit donc pas de résultats satisfaisants pour l'ensemble des liaisons interrégionales, bien que cette configuration soit satisfaisante en coupe croisée pour les interactions spatiales réalisées en 1992 et en 1994.

Ces résultats nous ont amenés à nous interroger sur les capacités des modèles macro-économiques et sur les choix méthodologiques effectués jusqu'à présent pour modéliser la distribution spatiale du transport de marchandises. Notre interrogation s'est rapidement portée sur la place des facteurs structurels classiques tels que la distance, le coût de transport ou des facteurs économiques très globaux dits d'attraction ou d'émission face au rôle grandissant de facteurs plus informationnels et organisationnels en pleine expansion dans la dynamique actuelle de globalisation économique.

C. Quelle place pour les facteurs spatiaux face aux stratégies d'entreprises et aux relations interindustrielles ?

Outre le fait que la nature des indicateurs et la qualité des statistiques puissent être modifiées et améliorées, en particulier le coût de revient du transport routier ou la distance kilométrique moyenne en charge, la non prise en compte de facteurs informationnels ou organisationnels orientant les stratégies d'entreprises et les logistiques de transport peut expliquer dans une certaine mesure les résultats médiocres de la modélisation de l'évolution de la distribution spatiale à long terme.

En référence aux travaux de Krugman (1991) sur l'importance décroissante du coût de transport face aux coûts de gestion et de redistribution des produits dans le modèle "centre-périphérie" ou aux travaux sur l'évolution de la logistique et de son importance dans les stratégies d'entreprises industrielles comme de transport (Savy et Veltz, 1989), l'analyse de la distribution spatiale du transport de marchandises devrait de plus en plus tenir compte des phénomènes d'organisation logistique de la production et de la distribution des produits. Au cours des deux dernières décennies et depuis les crises économiques et pétrolières des années 70, la géographie des flux a été transformée par trois grands phénomènes qui concernent les relations " Production-Espace " et " Production-Transport ".

Le premier phénomène est le mouvement croissant de spécialisation fonctionnelle des unités productives et son corollaire, la spécialisation spatiale de la production. Le mouvement de spécialisation des unités de production a agrandi les aires d'approvisionnement et de distribution des activités et a abouti à un éclatement géographique de l'appareil productif, autrement dit à une division spatiale des activités accrue. Cette tendance suit les phénomènes de globalisation financière et économique du système productif qui constituent le modèle industriel dominant qui se renforce au cours du temps : " *Le modèle qui peu à peu s'impose aujourd'hui, […] est celui*

d'unités de production spécialisées dans un seul produit , la gamme complète étant ainsi produite dans diverse localisations […]. La localisation de la production tend donc à se diffuser dans l'espace " (Bonnafous, 1990). Cette division spatiale des activités a alors modifié la géographie des flux de transport de marchandises en transformant l'articulation " Production–Espace " par le biais des localisations dans l'espace.

Le second phénomène tient aux progrès de productivité dans les transports et à la concurrence intersectorielle et surtout intrasectorielle au mode routier, impulsée par la déréglementation du transport routier, qui ont engendré une diminution des prix de transport. La baisse des coûts de transport s'est répercutée en partie dans la valeur ou le coût de revient global des produits. Le coût de transport tend de ce fait à moins peser dans la valeur du produit à coté des coûts de gestion et de la valeur ajoutée propre au produit. Cette évolution a donc affecté l'articulation " Production-Espace "par une moindre contrainte du coût de la séparation spatiale sur la valeur globale de la production.

Ces deux premiers phénomènes sont liés et ont tendance à se renforcer mutuellement comme le souligne Bonnafous (1995), " *la baisse des coûts et des temps de transport se traduit par une abolition relative des distances et favorise la division spatiale du travail "* et comme le formalise Krugman (1991) dans son modèle " centre-périphérie " en géographie économique, dans lequel le rôle des distances s'estompe face aux choix de localisation qui jouent directement sur les rendements d'échelle de la production.

Enfin, le troisième phénomène est l'évolution de la structure économique sur la nature des produits. Les produits manufacturés à forte valeur ajoutée et sans contrainte spatiale envers leurs matières premières non directement liées à des ressources naturelles constituent une part croissante de la structure sectorielle du fret face aux produits pondéreux en retrait. Cette déformation sectorielle du fret oriente de plus en plus l'organisation logistique de distribution des produits. Les entreprises tendent en effet à fonctionner davantage en systèmes de flux tendus et/ou de juste à temps dans le but de réduire les coûts de stockage de produits à forte valeur et dans une optique d'organisation de la production plus flexible face à une demande de consommation plus diversifiée, autrement dit avec une logistique de production et de distribution pilotée par l'aval.

De ces trois phénomènes, nous avons pris en compte l'évolution du coût de transport à travers un indicateur global reposant sur l'évolution du coût unitaire du transport routier et sur l'évolution de la distance kilométrique moyenne en charge parcourue sur les liaisons d'échange interrégionales. L'impact déterminant de ce facteur sur la distribution du fret interrégional en coupe transversale s'est avéré beaucoup moins net en série chronologique. Nous avons également tenté de considérer le phénomène de spécialisation et de concentration spatiale à travers des coefficients de spécialisation et de localisation et plus généralement des indices de spécificité sans toutefois obtenir des résultats marquants en termes d'impact sur l'évolution des échanges interrégionaux. En revanche, nous n'avons pas pu intégrer le phénomène d'évolution de la logistique de transport en flux tendus, en particulier du fait de la difficulté à quantifier ce phénomène dans un indicateur.

Les analyses précédentes ont montré que la séparation spatiale mesurée par le coût de transport et les facteurs socio-économiques caractérisant les zones d'échange affectent la distribution

spatiale des échanges interrégionaux en coupe transversale mais pas son évolution à long terme. L'évolution de la distribution spatiale du fret ne peut être retranscrite par un modèle d'interaction spatiale n'intégrant pas les transformations de la division spatiale des activités et de l'organisation logistique de la production et de la distribution, et en particulier les relations industrielles interentreprises. Or ces phénomènes qualitatifs restent difficiles à formaliser et d'autant plus dans un modèle macro-économique.

La difficile prise en compte de ces facteurs qualitatifs qui influent sur la géographie des trafics renvoie finalement à une question méthodologique. Le choix du type de modèle de transport devient central. Un modèle macro-économique dont l'objectif est de rendre compte des grandes tendances d'évolution et de simuler les tendances à venir n'est pas un outil adapter pour intégrer des facteurs organisationnels et informationnels. En revanche, les modèles de type input-output, davantage désagrégés, s'attachent à intégrer les relations interindustrielles et les évolutions logistiques, non sans difficultés et hypothèses de travail réduisant la complexité de ces phénomènes. Comme nous l'avons souligné en section I, ce type de modèles nécessite des bases de données importantes pour l'élaboration des coefficients input-output et en particulier des informations sur les échanges commerciaux à l'intérieur et entre les régions du type tableau d'échanges industriels (T.E.I.). L'absence de tels tableaux pour un système interrégional d'échange conduit souvent au développement d'hypothèses théoriques pour estimer la proportion d'inputs en provenance des différentes régions. Plus récemment, des modèles macroscopiques de simulation du fret mais présentant une désagrégation par branche économique et catégorie de produit, comme le modèle FRET (Gaudry et alii, 1988) ou le modèle SMILE (Tavasszy et alii, 1998), essaient également d'intégrer plus ou moins directement des facteurs organisationnels et industriels.

Un travail exploratoire sur la construction d'un indicateur de proximité organisationnelle et sur son intégration dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional en tant que facteur explicatif structurel a été engagé, sans fournir des résultats satisfaisants ou prometteurs (Durand, 1997). L'obstacle majeur dans la construction de l'indicateur a été le choix de l'expression mathématique pouvant rendre compte de proximités organisationnelles entre deux lieux, à l'instar de la distance kilométrique qui rend compte de la séparation spatiale entre ces lieux. Ce champ de recherche sur la formalisation de phénomènes socio-économiques, organisationnels ou informationnels s'inscrivant dans l'espace et donnant lieu à des proximités autres que spatiales (organisationnelles, fonctionnelles, …) est également exploré par Olivier Thomas qui s'intéresse à la quantification des éléments spatiaux, des variables liées à la proximité. Ses travaux portent notamment sur la construction *" d'un indicateur de distance [non métrique] entre la structure productive fonctionnelle de chaque ville et celle de Paris, afin de montrer dans quelles mesure la proximité […] plutôt organisationnelle entre une ville et la capitale, du fait des interrelations dont elle facilite théoriquement la survenance, est susceptible de stimuler la croissance de cette ville"* (Thomas, 1998).

A défaut de pouvoir intégrer de tels phénomènes dans le modèle et face aux résultats très mitigés et plutôt décevants obtenus sur les séries chronologiques avec des indicateurs spatiaux et socio-économiques plus traditionnels, nous avons choisi de recentrer l'analyse sur les caractéristiques fortes de l'évolution de la distribution spatiale du fret interrégional entre 1975-

1994. Ces caractéristiques sont principalement centrées sur la forte inertie du niveau moyen des coefficients structurels, mise en évidence lors de l'analyse descriptive des échanges interrégionaux (cf. section X) et imputable pour une part non négligeable à l'invariance de la proximité territoriale interrégionale.

XII-2-2. Modélisation de la distribution spatiale par projection temporelle

La forte inertie de la dimension structurelle du fret interrégional est double. Tout d'abord, elle concerne la répartition des relations structurelles d'échange entre relations privilégiées et relations désavantagées pour chaque région d'émission. Cette première dimension de la stabilité structurelle des échanges signifie que les relations interrégionales conservent leur position de relations privilégiées dominantes ou de relations désavantagées sur le long terme. Ensuite, la stabilité des relations structurelles d'échange se traduit sur la valeur moyenne très stable des coefficients structurels d'un grand nombre de liaisons d'échange. En résumé, les relations structurelles qui connaissent une évolution relativement marquée en 20 ans sont minoritaires et offrent encore plus rarement un basculement du statut privilégié/désavantagé. Le point crucial de cette inertie à long terme de l'intensité structurelle des échanges est qu'elle présuppose une faible probabilité d'évolution significative de la distribution spatiale du fret interrégional et justifie le recours à la projection temporelle comme méthode de prévision à long terme.

A. Validation de l'hypothèse de stabilité temporelle des coefficients structurels

La méthode de projection dans le temps en fonction des observations passées est utilisée en prévision dans les modèles autorégressifs. C'est le cas de la prévision par lissage exponentiel développée et complexifiée dans les modèles de prévision de Box et Jenkins de type ARMA et ARIMA[12].

La projection temporelle de la structure spatiale des échanges interrégionaux de marchandises nécessite la validation économétrique d'une hypothèse de stabilité. Cette validation est effectuée grâce à l'ajustement d'un modèle autorégressif exprimant les coefficients structurels d'une année en fonction de ceux des années antérieures. Le test a été réalisé avec un nombre plus ou moins important de termes explicatifs, c'est-à-dire de décalages temporels. Les coefficients structurels de l'année *n* sont estimés soit par ceux de l'année *n-1*, soit par ceux des années *n-k* (avec k=n-1).

Le type de modèle autorégressif complet utilisé est de la forme :

$$Y_t = \beta_1 Y_{t-1} + \beta_2 Y_{t-2} + ... + \beta_p Y_{t-p} + u_t \qquad \text{[XII-7]}$$

avec *p* nombre total de décalages temporels entre les termes autorégressifs explicatifs.

Le modèle autorégressif d'ordre 1 s'écrit de la façon suivante :

$$Y_t = \beta\, Y_{t-1} + u_t \qquad \text{[XII-8]}$$

[12] Un exposé rapide de ces modèles est donné notamment dans WONNACOTT (1991) ; HILL, GRIFFITHS, JUDGE (1997) ; KENNEDY (1992) ; BOSQ, LECOUTRE (1992) et BOURBONNAIS (1997).

Le coefficient de régression β est approché par son estimateur r calculé par la méthode des moindres carrés ordinaires (ou généralisés dans le cas de plusieurs décalages temporels).

Le modèle ajusté est de la forme :

$$Y_t = r\, Y_{t-1}\,. \qquad \text{[XII-9]}$$

Le test repose sur l'hypothèse que si le coefficient de d'autorégression r, qui est aussi dans le cas des modèles autorégressifs le coefficient de corrélation entre Y_t et Y_{t-1}[13], est égal à 1 ou proche de 1, alors les observations en t sont totalement ou fortement dépendantes des observations en $t-1$ et invariantes ou pratiquement invariantes, à quelques erreurs près exprimées par l'erreur u_t. Si l'hypothèse d'invariance des coefficients est acceptée alors l'estimation à long terme de la structure spatiale du fret peut être effectuée par une projection temporelle des observations passées.

Le test de l'hypothèse de stabilité des coefficients structurels a aussi pour objectif de démontrer statistiquement la similitude ou au contraire la différence d'évolution des relations considérées comme stables et de celles considérées comme évolutives dans l'analyse descriptive des échanges interrégionaux de marchandises (section X). Cette seconde justification statistique s'avère importante dans la perspective de prévision à long terme des coefficients structurels. Dans le cas d'un test positif concluant à une similitude de la tendance d'évolution des deux catégories de relations, alors une même méthode de projection peut être utilisée. Dans le cas contraire, une méthode adaptée à chaque catégorie est nécessaire.

Le test de validation a été appliqué d'une part à l'ensemble des liaisons interrégionales et d'autre part aux deux sous-groupes des relations structurelles (cf. section X), l'un regroupant les relations connaissant de fortes évolutions en niveau absolu (45 liaisons) et l'autre les liaisons stables ou à très faible évolution (375 liaisons).

Les résultats mettent en évidence une forte corrélation entre les coefficients structurels d'une année et ceux de l'année précédente pour les trois groupes de relations structurelles. Les coefficients d'autorégression, sont élevés, proches de l'unité et peu différents entre les trois groupes. L'inertie des coefficients structurels est moins bien retranscrite par un modèle autorégressif multiple intégrant plusieurs décalages temporels, au regard des tests statistiques (t de Student), bien que les coefficients de détermination soient très élevés (supérieurs à 0,95).

Tableau XII-10. Résultats des modèles autorégressifs d'ordre 1 sur les coefficients structurels de 1994 et 1993[14]

Spécification	Ensemble des liaisons	Liaisons stables et peu évolutives	Liaisons fortement évolutives
autorégressif d'ordre 1	CS94=0,982*CS93	CS94=1,012*CS93	CS94=0,957*CS93

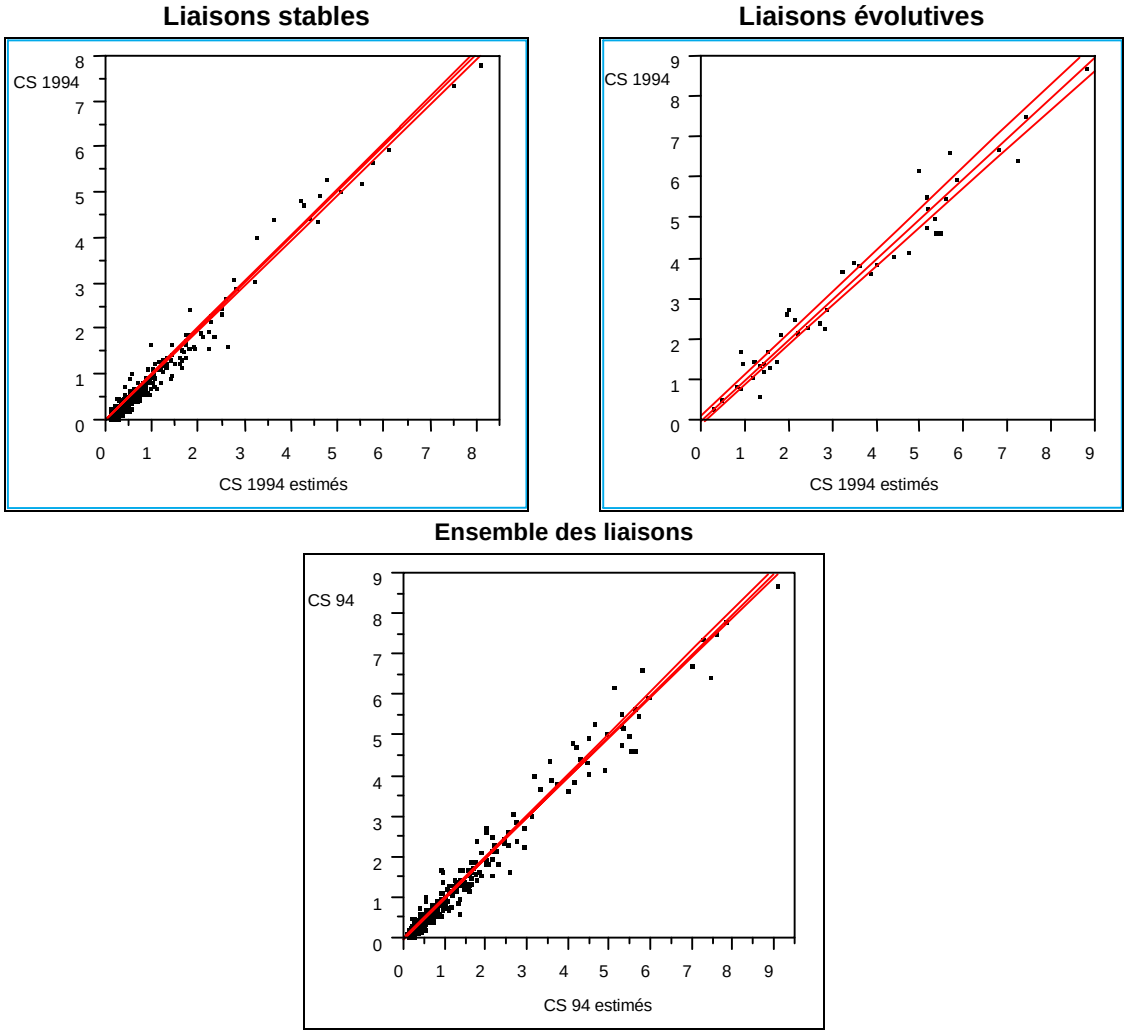
Ainsi, ces tests mettent en évidence le fait que la structure spatiale des flux d'une année, en l'occurrence 1994, est fortement dépendante de celle de l'année précédente, avec une reproduction

[13] Cf. WONNACOTT (1991), p. 794 et appendice pp. 861-862.

[14] Les résultats sont sensiblement identiques quelles que soient les années considérées de la période 75-94.

à l'identique pour les liaisons stables et une reproduction très légèrement variable pour les liaisons fortement évolutives.

Graphique XII-14. Calage des coefficients structurels 1994 estimés par un modèle autorégressifs en fonction des coefficients structurels 1993



L'hypothèse de stabilité temporelle des coefficients structurels d'une part et celle d'une tendance d'évolution fortement dépendante des valeurs passées pour les relations structurelles stables comme évolutives sont donc validées par l'application d'un modèle autorégressif d'ordre 1. Ces résultats suggèrent par ailleurs une autocorrélation sérielle d'ordre 1 des résidus des séries chronologiques des coefficients structurels du fait d'une forte dépendance des coefficients structurels d'une année par rapport à ceux de l'année précédente.

Ainsi, le test d'inertie temporelle des coefficients structurels par un modèle autorégressif traduit bien le fait que la structure spatiale des échanges est globalement stable dans le temps et que la valeur moyenne des coefficients structurels d'une liaison origine-destination varie peu sur une vingtaine d'années.

B. Projection temporelle des coefficients structurels

Deux méthodes de prévision des séries chronologiques ont été testées. D'un côté, la prévision par un modèle autorégressif d'ordre 1 a été appliquée à l'ensemble des coefficients structurels en se basant sur l'hypothèse de forte stabilité temporelle des coefficients structurels. De l'autre coté, la prévision par la régression (trend et autocorrélation des résidus) a été exploitée afin de conserver la distinction entre les liaisons stables et les liaisons évolutives. Cette seconde optique présente l'intérêt de ne pas totalement homogénéiser l'évolution à long terme de la structure spatiale du fret mais de prolonger les quelques inflexions significatives engagées entre 1975 et 1994 dont on peut supposer qu'elles traduisent une lente mutation de l'organisation spatiale du système productif national et/ou de l'organisation logistique spatiale d'approvisionnement et de distribution du fret.

B-1. La prévision par un modèle autorégressif

La modélisation par un modèle autorégressif a recours au type de modèle précédemment utilisé lors du test de validation de l'hypothèse de stabilité de la structure spatiale d'échange. L'application porte, cette fois, sur la série chronologique des coefficients structurels de chaque liaison d'échange et non sur l'ensemble des coefficients structurels d'une année. Ainsi, dans le cas de l'ajustement d'un modèle autorégressif d'ordre 1, la série temporelle des coefficients structurels observés sur une liaison d'échange est mise en relation avec pratiquement la même série avec pour seule différence un décalage d'une année.

La prévision par un modèle autorégressif a été testée avec le modèle autorégressif d'ordre 1 car l'estimation d'un modèle autorégressif plus complexe, intégrant plusieurs décalages ou de type ARMA s'est avérée trop complexe techniquement à réaliser avec les outils informatiques dont nous disposions. Le modèle utilisé est le modèle autorégressif d'ordre 1 :

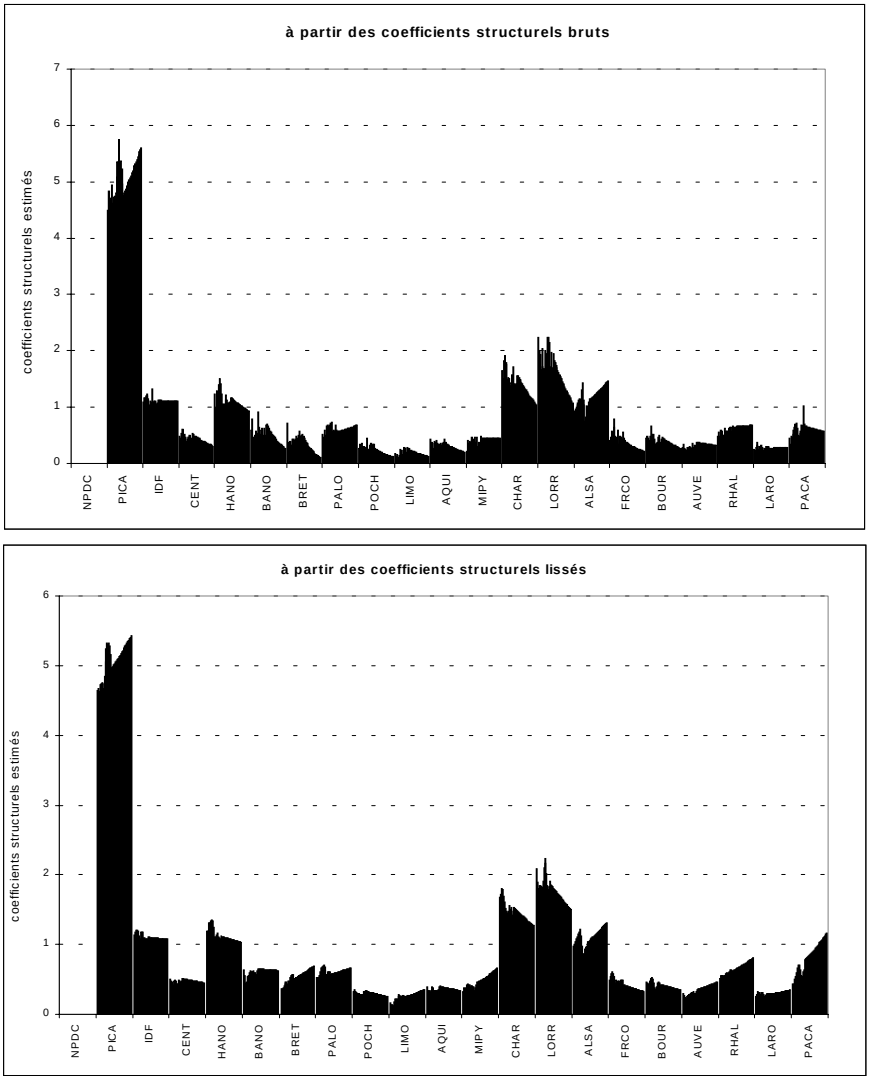
$$Y_t = r\, Y_{t-1} \,. \qquad \text{[XII-8]}$$

Pour chaque liaison d'échange interrégionale, l'ajustement $Y_t = r\, Y_{t-1}$ donne le coefficient d'autorégression r qui exprime le lien entre les coefficients structurels décalés d'une année. Les coefficients d'autorégression sont très élevés pour l'ensemble des liaisons d'échange (supérieurs à 0,95 dans la majorité des cas) attestant à nouveau de la grande stabilité du niveau des coefficients structurels pour de nombreuses liaisons interrégionales.

La qualité de la prévision à long terme à l'aide d'un modèle autorégressif d'ordre 1 ne nous apparaît toutefois pas très satisfaisante du fait que la valeur et le signe du coefficient d'autorégression dépendent très fortement des valeurs des deux derniers coefficients structurels des séries chronologiques, intégrés dans le modèle autorégressifs d'ordre 1. Ainsi, les valeurs des coefficients d'autorégression obtenus avant et après lissage des séries chronologiques sont parfois fort différentes. La principale conséquence est une modification de la tendance d'évolution lors de la période de prévision. Les deux représentations graphiques suivantes, exposant les prévisions des coefficients structurels à l'origine de la région Nord-Pas-de-Calais, avec dans le premier cas des coefficients structurels bruts et dans le second cas des coefficients structurels lissés, font en effet

ressortir des tendances d'évolution opposées pour un nombre non négligeable de liaisons (vers la région Bretagne ou la région Auvergne notamment)[15].

Graphique XII-15. Projection temporelle par un modèle autorégressif d'ordre 1 des coefficients structurels à l'origine de Nord-Pas-de-Calais



L'impossibilité de pouvoir contrôler le sens de la tendance d'évolution à long terme lors du recours au modèle autorégressif d'ordre 1 après le lissage de la série chronologique, est fortement problématique et a constitué la première raison de l'abandon de cette méthode pour l'estimation à long terme de la tendance d'évolution des coefficients structurels. Une seconde raison nous a confortés dans ce choix. Il s'agit de la forme de la tendance d'évolution estimée par ce type de modèle. En effet, dans de nombreux cas, la tendance est explosive, de type exponentiel ou puissance, et pose donc problème à long terme dans le cadre de la prévision d'une structure spatiale qui présente de façon globale une stabilité marquée.

[15] Nous renvoyons sur ce point à l'analyse descriptive développée en section X et à l'annexe X-1 qui présente les représentations graphiques des coefficients structurels sur la période 1975-1994 pour l'ensemble des liaisons regroupées par même région d'origine, soit avec les valeurs brutes soit avec les valeurs lissées des coefficients structurels.

B-2. La prévision par la régression : détermination du "trend" et de l'autocorrélation des résidus

La prévision par la régression repose sur l'analyse des séries chronologiques qui consiste à isoler deux composantes principales, le trend et l'autocorrélation des résidus. Cette méthode est appliquée à la prévision des contributions relatives régionales dans les tonnages globaux exportés, importés et locaux.

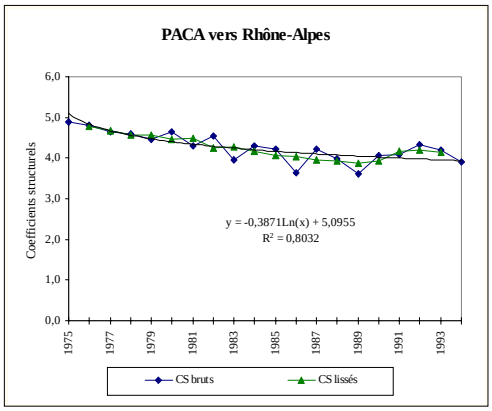
La méthode retenue pour isoler le trend comprend le lissage des points aberrants et des fluctuations conjoncturelles par moyenne arithmétique dans le premier cas et moyenne mobile d'ordre 3 dans le second. L'ajustement du trend se fait par la méthode de régression linéaire. Les ajustements sont conservés s'ils permettent d'expliquer au minimum 70% de la variance de la distribution des coefficients structurels. Dans le cas contraire, on considère une absence de tendance significative d'évolution et la projection temporelle est réalisée à partir de la moyenne des observations passées, calculées la série temporelle uniquement nettoyée des points aberrants. Le repérage de l'autocorrélation des résidus est donné par le test de Durbin-Watson et la prévision de cette composante est fournie par l'ajustement d'un modèle autorégressif d'ordre 1 sur les résidus de l'ajustement (cf. [II-33]).

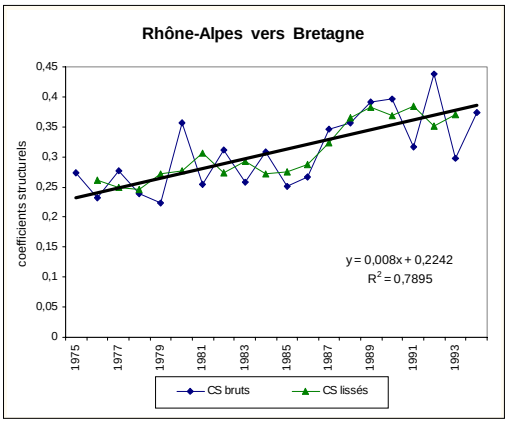
La prévision des coefficients structurels repose donc soit sur des ajustements linéaires (ou log-linéaires, …) du trend et des ajustements autorégressifs des résidus dans le cas d'autocorrélation observée, soit sur la moyenne des observations passées entre 1975 et 1994 en cas d'absence de tendance d'évolution pouvant être correctement ajustée.

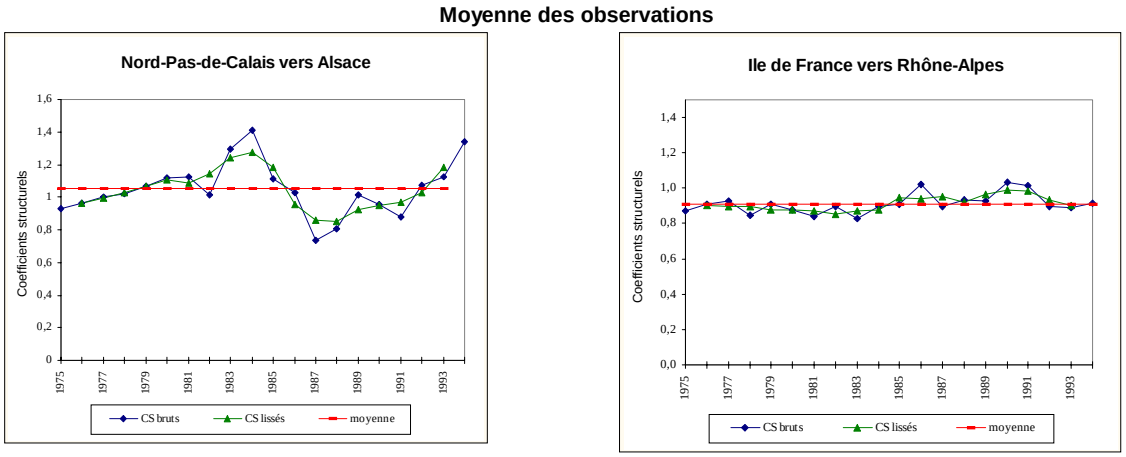
Ce type de prévision fait nettement ressortir la caractéristique centrale de l'évolution des coefficients structurels sur la période d'observation, à savoir la forte inertie de la structure spatiale des échanges. Cette inertie se traduit par un grand nombre d'ajustements à la valeur moyenne : 80% des relations structurelles interrégionales sont en effet projetées selon la valeur moyenne des observations passées et seulement 20 %, soit 83 relations, sont modélisées par un ajustement linéaire ou log-linéaire (cf. annexe XII-4).

Graphique XII-16. Exemples d'ajustements pour la projection des coefficients structurels

Ajustement linéaire ou logarithmique

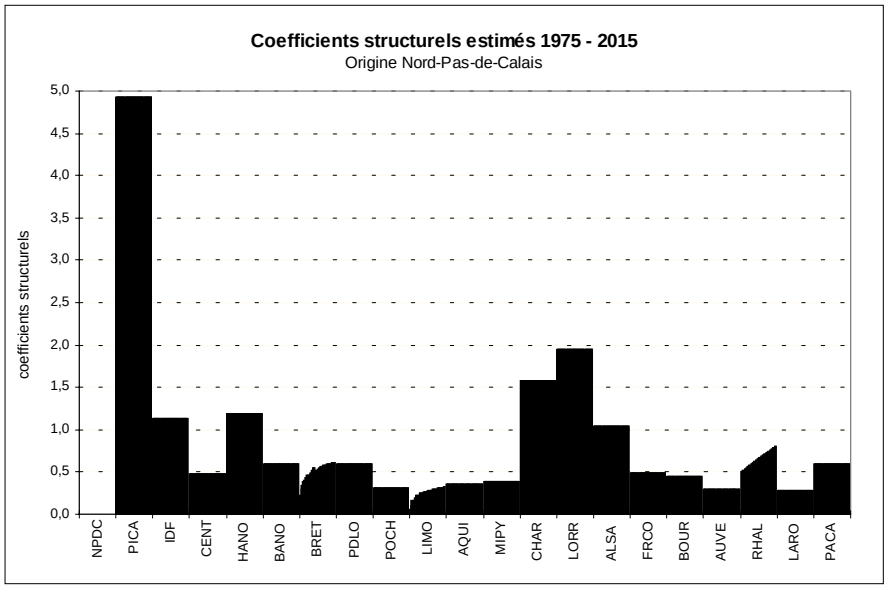






Les résultats obtenus avec cette méthode de prévision sont de meilleure qualité que ceux issus d'un modèle autorégressif d'ordre 1 au regard du calage sur la période d'observation mais aussi du point de vue des tendances de prévision à long terme (cf. graphique XII-17 et annexe XII-5).

Graphique XII-17. Exemple de projection temporelle des coefficients structurels



XII-2-3. Estimation des tonnages interrégionaux : combinaison des dimensions structurelles et conjoncturelles du fret

L'estimation des tonnages échangés est obtenue pour chaque liaison origine-destination interrégionale par la combinaison de la dimension conjoncturelle du fret, issue de la phase de génération, et de la dimension structurelle, effectuée dans la phase de distribution spatiale du fret.

$$\hat{T}_{ij} = \underbrace{\hat{T}_{i.} * \hat{T}_{.j} / \hat{T}_{..}}_{part\ conjoncturelle} * \underbrace{\hat{CS}_{ij}}_{part\ structurelle} \qquad \text{[II-1]}$$

L'estimation des volumes totaux importés et exportés annuellement par les régions et du volume total interrégional donne la part conjoncturelle du fret et l'estimation des coefficients structurels détermine la part structurelle du fret. L'intensité structurelle de chaque liaison origine-destination

rend compte des contraintes ou avantages d'ordre spatial ou socio-économique qui caractérisent la liaison d'échange (la présence de voies autoroutières, …).

L'estimation des tonnages par la méthode des coefficients structurels revient à déduire la part relative de chaque liaison d'échange interrégionale dans le tonnage total généré à partir des parts relatives à l'exportation et à l'importation de chaque région et du coefficient structurel :

$$\frac{T_{ij}}{T_{..}} = CS_{ij} \times \frac{T_{i.}}{T_{..}} \times \frac{T_{.j}}{T_{..}} \qquad \text{[XII-10]}$$

L'estimation des tonnages croisés entre régions d'origine et de destination doit respecter les contraintes d'égalité aux marges (cf.[II-7]) de la matrice d'échange $F(ij)$.

Les marges de la matrice, c'est-à-dire les tonnages régionaux globaux émis et reçus, ont été estimés de façon indépendante dans le modèle de génération. De ce fait, il n'y a aucune raison *a priori* pour que les estimations internes à la matrice et les marges de la matrice s'égalisent. Afin de respecter ces contraintes mathématiques, il est nécessaire de procéder à un redressement d'une des catégories des estimations en fonction d'une autre, jugée statistiquement plus fiable.

A. Redressement des estimations des tonnages croisés par un processus itératif

Le redressement des différentes estimations de la matrice d'échange est effectué grâce à un processus itératif permettant de caler les flux internes de la matrice sur les estimations des marges. La méthode de redressement utilisée pour respecter les contraintes aux marges est une méthode de correction par itération successive du type de celle de Furness (1965). La méthode consiste à redresser successivement les flux croisés internes de la matrice sur la somme des flux émis et sur la somme des flux reçus en appliquant des coefficients de correction. Les coefficients de correction sont calculés comme le rapport de la somme des flux croisés sur le total des flux reçus estimés par ailleurs pour le redressement en colonne sur les flux reçus, et comme le rapport de la somme des flux croisés sur le total des flux émis estimés par ailleurs pour le redressement en ligne sur les flux émis. La procédure itérative est menée jusqu'à ce que les écarts entre la somme des flux croisés et les marges estimées par ailleurs soient minimums. Cette méthode est facile d'application mais devient rapidement fastidieuse à partir d'un nombre élevé de zones d'échange et d'années de simulation.

Tableau XII-11. Redressement d'une matrice à double contrainte

Oi \ Dj	1	… j …	21	$\sum_i$	*Total émission estimée*
1	-	T_{1-i}	T_{1-21}	$T_{1.}$	$\hat{T}_{1.}$
i	T_{i-1}	T_{i-j}	T_{i-21}	$T_{i.}$	$\hat{T}_{i.}$
21	T_{1-1}	T_{1-j}	-	$T_{21.}$	$\hat{T}_{21.}$
$\sum_i$	$T_{.1}$	$T_{.j}$	$T_{.21}$	$T_{..}$	
Total réception estimée	$\hat{T}_{.1}$	$\hat{T}_{.j}$	$\hat{T}_{.21}$		$\hat{T}_{..}$

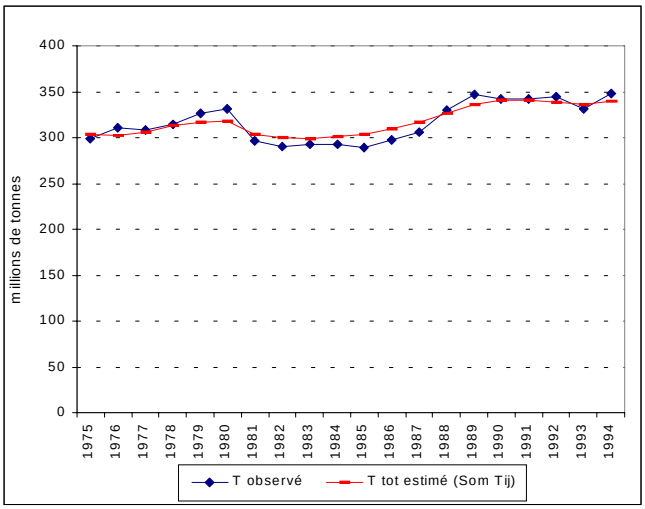
B. Calage des estimations des tonnages interrégionaux sur la période d'observation

La dernière phase de contrôle de la qualité du modèle réside dans le calage des estimations sur les données observées. En raison du nombre élevé de liaisons d'échange (420), nous ne listons que quelques exemples de calages (cf. graphiques XII-18) représentatifs des différents types d'ajustement appliqués (ajustement temporel ou projection à la moyenne des observations, pour les contributions régionales relatives et les coefficients structurels) ou de situations contrastées d'évolution des échanges (cf. annexe XII-6).

Graphique XII-18. Exemples de calages des tonnages interrégionaux estimés sur la période d'observation 1975-1994

Enfin, un dernier exercice permet de rendre compte de façon synthétique de la qualité des estimations du modèle de simulation du fret, le calage du tonnage interrégional total obtenu par la somme des tonnages interrégionaux estimés. Le graphique suivant met en exergue la sensibilité du modèle par la très grande proximité des deux courbes.

Graphique XII-19. Calage du tonnage interrégional (somme des tonnages par liaison O-D)



XII-3. L'intégration du facteur distance dans l'estimation du fret en tonnes-kilomètres

La construction du module de distribution spatiale a confirmé l'inertie de la structure spatiale des échanges interrégionaux en lien avec l'invariance de certains facteurs explicatifs (la contiguïté interrégionale) et une progression peu soutenue des autres facteurs structurels (distance moyenne de transport parcourue, population régionale). L'inertie de la structure spatiale des échanges est aussi fortement dépendante d'une lente mutation de la division spatiale des activités et de l'organisation logistique du transport depuis la fin des années 70'. Même si des mutations importantes se développent à l'échelle internationale avec les phénomènes de globalisation économique et de spécialisation sectorielle, cette mutation n'a pas de répercussions fortes sur la structure spatiale des échanges interrégionaux de marchandises en France, tout du moins à un niveau macroscopique d'étude du fret. L'évolution de la division spatiale des activités à l'échelle interrégionale et de la distance des transports de marchandises est prise en compte dans le modèle à travers l'évolution des coefficients structurels. La relative stabilité de la structure spatiale des échanges pèse donc directement sur l'évolution du potentiel de transport de marchandises exprimé en tonnes-kilomètres via les distances moyennes interrégionales de transport.

Le potentiel de fret en tonnes-kilomètres est donc mesuré d'une part avec les tonnages transportés fonction de la conjoncture industrielle et d'autre part, avec les distances kilométriques moyennes en charge parcourues, qui participent à la structure spatiale des échanges interrégionaux et donc à la distribution des coefficients structurels.

XII-3-1. Tentative de modélisation de l'évolution de la distance de transport en fonction d'indicateurs de la division spatiale des activités

La distance moyenne de transport est définie comme une moyenne pondérée des kilomètres par les volumes transportés annuellement. Ce calcul peut être détaillé par catégorie N.S.T. de marchandises permettant d'isoler la distance moyenne de transport pour chaque grand type de produit et le poids relatif du tonnage de chaque catégorie de produit dans le fret total. Ce calcul

peut être effectué soit globalement, c'est-à-dire sur le fret total national ou interrégional, soit selon une approche spatialisée sur chaque liaison interrégionale.

- Distance moyenne globale (nationale, interrégionale ou intrarégionale) :

$$KM_{total} = \frac{TKM_{total}}{T_{total}} = \frac{\sum_{nst=1}^{9cd} TKM_{nst}}{\sum_{nst=1}^{9cd} T_{nst}} = \sum_{nst=1}^{9cd} \left(\frac{T_{nst}}{T_{total}} \times KM_{nst}\right) \qquad \text{[VII-1 / XII-11]}$$

- Distance moyenne par liaison d'échange interrégionale :

$$KM_{total}^{ij} = \frac{TKM_{total}^{ij}}{T_{total}^{ij}} = \frac{\sum_{nst=1}^{9cd} TKM_{nst}^{ij}}{\sum_{nst=1}^{9cd} T_{nst}^{ij}} = \sum_{nst=1}^{9cd} \left(\frac{T_{nst}^{ij}}{T_{total}^{ij}} \times KM_{nst}^{ij}\right) \qquad \text{[XII-12]}$$

L'estimation directe de la distance moyenne en charge sur chaque liaison est donc calculée par le rapport entre les tonnes-kilomètres parcourues et les tonnes transportées. L'évolution à long terme de cette distance est donnée par la série chronologique des distances moyennes observées annuellement entre 1975 et 1994.

A. Recherche des facteurs explicatifs de l'évolution de la distance moyenne en charge

La distance de transport est fonction de la division spatiale des activités et de l'organisation logistique du transport. La formalisation de cette relation renvoie donc à la problématique de la localisation des activités économiques et aux relations interindustrielles entre activités de production et/ou de distribution. Cette problématique fait l'objet de travaux empiriques sur le lien entre localisation des activités et mobilité des personnes (Aguilera-Belanger *et alii*, 1999), mais plus rarement sur celui entre localisation des activités productives ou distributives et distance de transport en charge. A l'échelle urbaine, des travaux récents de modélisation du fret développent une approche novatrice de la modélisation du transport de marchandises en considérant comme porte d'entrée l'organisation économique des activités et l'organisation logistique de la distribution urbaine du fret (Aubert et Routhier, 1998). En revanche, à l'échelle interurbaine et selon une approche macroscopique, cette problématique est à notre connaissance peu développée. Dans certains cas, ce problème est implicitement écarté par le recours à une modélisation directe des tonnes-kilomètres à l'aide d'un modèle d'interaction spatiale intégrant des facteurs spatiaux de frein à l'échange et des facteurs d'émission et d'attraction économique.

Outre ces considérations méthodologiques, l'établissement d'une relation explicative de l'évolution de la distance moyenne en charge par liaison interrégionale, dans un modèle macroscopique de transport, nécessite de disposer d'une part d'indicateurs traduisant la division spatiale des activités et l'organisation logistique du transport et d'autre part, d'une estimation des taux de remplissage et des parcours à vide pour estimer la part de la distance en charge par rapport à la distance totale. Enfin, l'explication de l'évolution à long terme de la distance de transport nécessite de disposer de séries chronologiques relativement longues et homogènes des facteurs explicatifs.

B. Tentative de modélisation de l'évolution de la distance de transport en fonction du nombre d'établissements et de l'emploi régional dans la branche transport

Le respect des contraintes statistiques relatives aux bases de données des variables explicatives nous a conduit à retenir deux indicateurs pouvant donner une approximation indirecte et relativement grossière de la division spatiale des activités et de l'organisation logistique de la distribution du fret. Il s'agit du nombre d'établissements industriels régionaux et de l'emploi régional dans la branche transport. Ce second indicateur a été considéré en tant qu'estimation de l'importance des structures de traitement des marchandises transportées, telles que les plates-formes logistiques.

Les tests de mise en relation des variations annuelles de la distance moyenne en charge sur chaque liaison interrégionale en fonction des variations du nombre d'établissements industriels régionaux ou des variations de l'emploi dans la branche transport n'aboutissent pas à des résultats très satisfaisants.

La mise en relation des distances par origine-destination de la période 1975-1994 avec le nombre d'emplois salariés dans la branche transport des régions concernées ne permet pas d'expliquer les variations de la distance. Les résultats statistiques sont de mauvaise qualité. En termes de variance expliquée, 2% seulement des liaisons interrégionales conduisent à un résultat satisfaisant ($R^2 \geq 0,70$) et 72% des liaisons n'aboutissent qu'à une part relative de la variance expliquée inférieure à 30%.

La confrontation avec le nombre d'établissements industriels (SESSI, 1988, 1996 ; INSEE, 1995c) fournit des résultats sensiblement meilleurs quant à la part de la variance expliquée mais avec une fiabilité statistique limitée du fait que les données ne sont renseignées que sur une période d'observation très restreinte, 1988 à 1992. Les variations de la distance moyenne interrégionale sont mieux expliquées et pour un plus grand nombre de liaisons, puisque 35% des liaisons offrent un coefficient de détermination supérieur à 0,70. Ces résultats restent cependant de qualité statistique très faible et ne peuvent permettre d'établir une liaison temporelle cohérente et robuste pour être intégrée dans un modèle de simulation de transport.

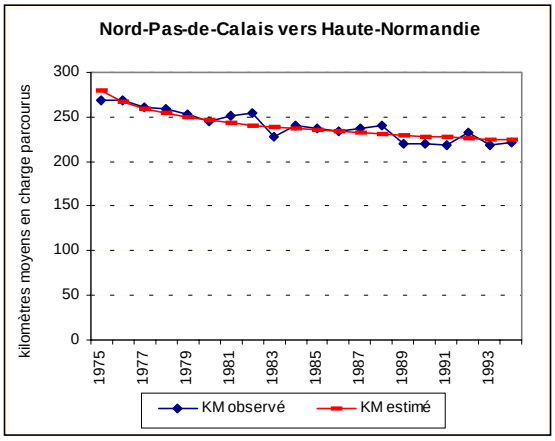
Cette approche reste trop grossière et ne peut rendre compte des liens complexes existant entre la division spatiale des activités et l'évolution des distances moyennes de transport. Des informations plus nombreuses et plus détaillées sur les établissements régionaux de production et de distribution du fret seraient nécessaires. Il serait également intéressant de connaître d'une part, le nombre moyen de chargements annuels des véhicules effectuant des trajets interrégionaux, pour un échantillon d'établissements régionaux représentatif par branche économique et d'autre part, les principales chaînes d'organisation et de distribution spatiale du transport interrégional de marchandises, notamment le passage par les plates-formes logistiques situées dans différentes régions. Ce type d'information n'est cependant pas disponible actuellement à l'échelle interrégionale et pour l'ensemble du territoire, et encore moins en série chronologique. En effet, les informations qualitatives issues des enquêtes chargeurs se heurtent au problème de suivi temporel pour intervenir dans un modèle de simulation basé sur des séries chronologiques longues. Nous avons donc choisi de considérer la tendance d'évolution de la distance de transport en charge sur chaque liaison interrégionale afin d'estimer par la suite le potentiel global de transport en tonnes-kilomètres.

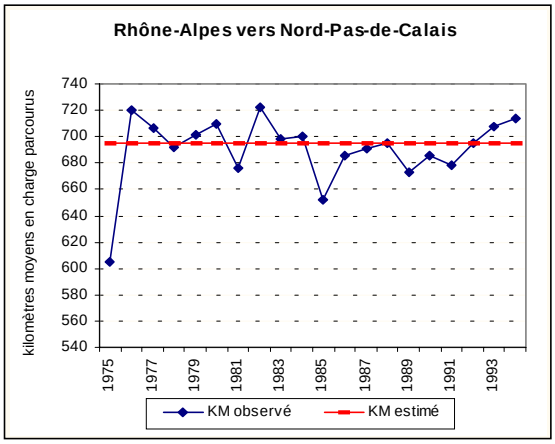
XII-3-2. La prévision de la distance moyenne interrégionale par projection de tendance

La prévision temporelle à long terme de la distance de transport est fournie par l'analyse des séries chronologiques des distances moyennes par origine-destination interrégionale. Cette analyse met en évidence une très forte stabilité des distances en charge sur chaque liaison d'échange. L'absence de tendance d'évolution marquée et correctement ajustée (83,8% des liaisons O/D) nous a conduit à modéliser l'évolution des distances moyennes interrégionales en considérant la valeur moyenne pluriannuelle de la distance interrégionale sur la période 1975-1994 comme estimation moyenne à long terme (jusqu'à l'horizon 2015). Dans de rares cas, 68 liaisons interrégionales, une tendance d'évolution a été détectée et ajustée correctement par une fonction logarithmique (part de la variance expliquée supérieure ou égale à 0,70).

L'absence de tendance d'évolution marquée et de variables explicatives quantifiées des distances moyennes annuelles par liaison d'échange fait que la division spatiale des activités et l'organisation logistique des transports sont supposées ne pas évoluer explicitement dans le modèle et relèvent donc de l'hypothèse " *toutes choses égales par ailleurs* ". Leur évolution au " fil de l'eau ", c'est-à-dire selon les tendances passées, est implicitement intégrée dans l'évolution des coefficients structurels.

Graphique XII-20. Prévision de la distance moyenne par liaison O/D (ajustement logarithmique ou moyenne des observations)





XII-3-3. L'estimation des tonnes-kilomètres interrégionales

Le volume de trafic de marchandises mesuré en tonnes-kilomètres est reconstitué d'une part, grâce à la simulation des tonnages en fonction de la conjoncture industrielle nationale et d'autre part, en fonction du prolongement tendanciel de l'évolution des distances moyennes de transport par liaison interrégionale.

Les tonnes-kilomètres par liaison d'échange sont estimées de la façon suivante :

$$TKM_{ij} = T_{ij} \times KM_{ij} \qquad \text{[XII-13]}$$

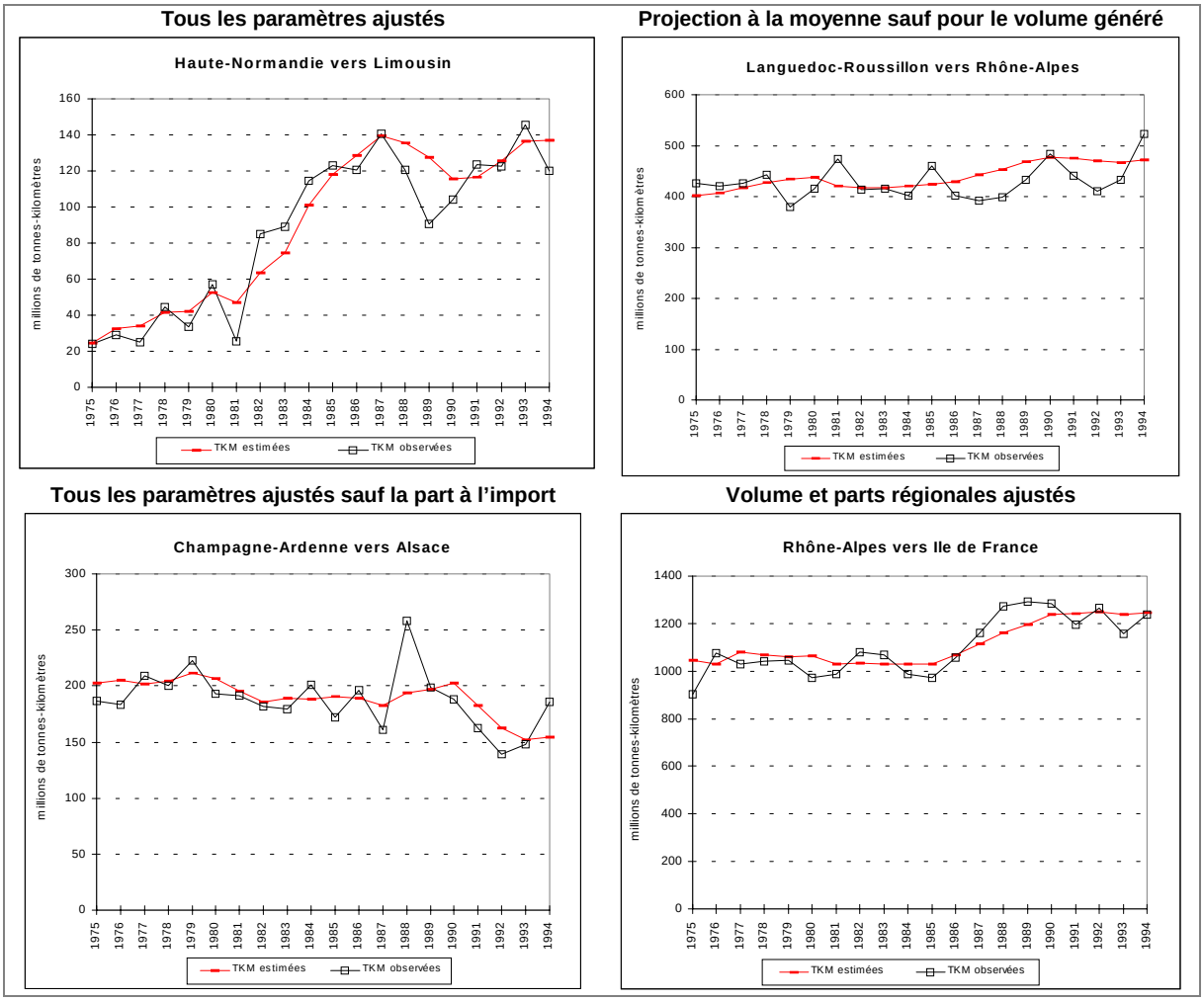
avec - $T_{ij} = CS_{ij} \times T_{i.} \times T_{.j} / T_{..}$

- $CS_{ij} = f(temps)$
- $T_{i.}, T_{.j} = f(IPI, temps)$
- $T_{..} = f(IPI)$

- $KM_{ij} = f(temps)$

L'évolution des tonnes-kilomètres sur chaque liaison origine-destination suit une progression similaire à celle des tonnes dans la majorité des cas, à l'exception de 68 liaisons (soit 16%) qui présentent une évolution marquée et correctement ajustée de la distance de transport. Les fluctuations des volumes de transport s'avèrent assez fortement lissées en raison des prévisions par prolongement de tendance ou par la moyenne des observations pour les parts régionales, les coefficients structurels et la distance moyenne de transport. Les liaisons interrégionales ayant fait l'objet d'ajustements pour chacun des paramètres participant à la modélisation des tonnes-kilomètres à savoir, volume généré, contributions régionales relatives à l'exportation et à l'importation, coefficients structurels et distance moyenne de transport, présentent des calages de bonne qualité sur la période 1975-1994 (cf. graphiques XII-21 et annexe XII-6). A l'inverse, les liaisons ayant fait l'objet de projections à la valeur moyenne pour tous les paramètres à l'exception des volumes générés (fonction de l'I.P.I.) fournissent des calages de moins bonne qualité.

Graphique XII-21. Exemples de calages des estimations des tonnes-kilomètres

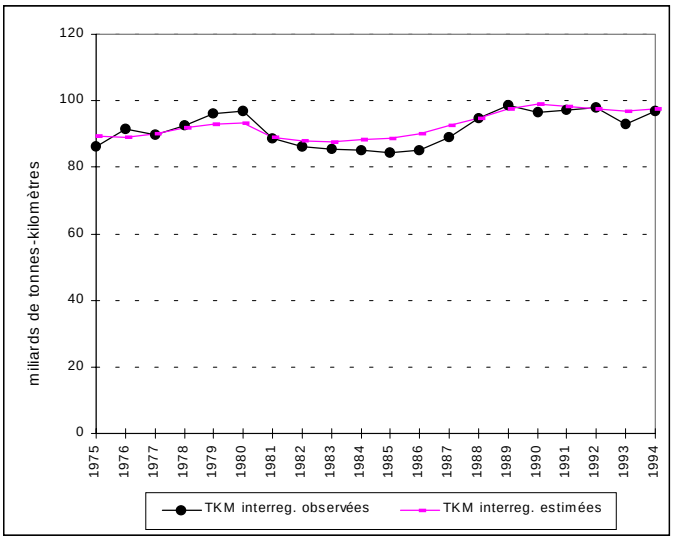


La simulation du potentiel global de transport à l'échelle interrégionale est obtenue soit par la somme des tonnes-kilomètres estimées pour chaque liaison interrégionale soit par l'estimation des distances moyennes interrégionales globales par catégorie de produits, qui seront ensuite multipliées au tonnage interrégional total estimé :

$$TKM_{nst} = T_{nst} \times KM_{nst} \qquad \text{[XII-14]}$$

En considérant la première option, nous obtenons des estimations assez satisfaisantes du potentiel de transport en tonnes-kilomètres réalisées, au regard du graphique ci-dessous qui présente le calage des tonnes-kilomètres estimées sur la période d'observation 1975-1994.

Graphique XII-22. Calage du potentiel global de transport interrégional en tonnes-kilomètres



La modélisation à long terme des tonnes-kilomètres est donc effectuée à partir de facteurs conjoncturels, avec les variations pluriannuelles de l'Indice de Production Industrielle nationale, et des facteurs structurels, avec la structure spatiale du fret exprimée par les coefficients structurels. En revanche, l'évolution de la division spatiale des activités et de l'organisation logistique du transport ne joue pas directement et explicitement sur l'évolution de la distance de transport mais est implicitement prise en compte dans l'évolution des coefficients structurels.

Ainsi, si la division spatiale des activités n'intervient pas en tant que déterminant de la distance moyenne de transport, elle intervient sur le niveau et l'évolution des coefficients structurels qui expriment l'impact des facteurs structurels spatiaux et socio-économiques sur l'intensité des échanges interrégionaux.

Conclusion

Chapitre V

La modélisation spatiale du fret national repose dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional sur deux modules traitant respectivement de la dimension conjoncturelle et de la dimension structurelle du fret.

Le premier module est constitué par la phase de génération des tonnages transportés en fonction d'une variable de sensibilité économique, l'Indice de Production Industrielle, et par une phase de projection temporelle des parts régionales dans ces tonnages, en intrarégional et en émission et réception interrégionales.

Le second module correspond à la phase de distribution spatiale des tonnages transportés entre les différentes régions françaises sur la base d'un prolongement de tendance de la structure spatiale des échanges exprimée par les coefficients structurels. Il comprend également une phase de projection temporelle des distances kilométriques moyennes interrégionales de transport. Ces deux dimensions du fret aboutissent *in fine* à une estimation des tonnages transportés et des tonnages-kilométriques parcourus annuellement jusqu'en 2015.

La construction du modèle QuinQuin Fret Multirégional a mis en évidence des systèmes de causalité statistiquement robustes et des tendances lourdes d'évolution tant pour les capacités génératrices des régions que pour la structure spatiale du fret de longue distance.

Le premier enseignement porte sur le choix du facteur de sensibilité économique permettant de retranscrire l'évolution des transports de marchandises intrarégionaux (hors véhicules utilitaires de moins de 3 tonnes de charge utile, donc hors trafic urbain dans sa grande majorité) et interrégionaux. La modélisation indirecte à l'échelle nationale de la génération des tonnages s'est avérée de meilleure qualité que l'approche directe à l'échelle régionale. La première raison tient à la fiabilité relative des statistiques économiques régionales, en particulier du point de vue chronologique. La seconde raison porte sur une grande variabilité des statistiques de transport à cette échelle. L'indice de production industrielle s'est présenté comme le meilleur indicateur économique pour rendre compte des variations annuelles du transport de marchandises, interrégional comme intrarégional. L'évolution des tonnages transportés a été formalisée par des fonctions à élasticités variables afin de rendre compte du phénomène d'amplification des fluctuations de la production industrielle par les tonnages transportés, que ce soit en phase de stagnation économique, de croissance ou au contraire de récession. La sensibilité des tonnages transportés à la croissance industrielle a révélé une variabilité différente selon les catégories de produits, particulièrement pour le fret interrégional.

Le deuxième enseignement porte sur la forte inertie temporelle de la structure spatiale des échanges, qui a pu être estimée par projection temporelle sur la base de la moyenne de l'intensité structurelle observée au cours des vingt dernières années, pour la grande majorité des liaisons d'échange. La présence d'une lente mutation de la structure spatiale des échanges, à travers

l'évolution marquée de certains coefficients structurels a conduit à rechercher les facteurs explicatifs de la dynamique structurelle de la distribution spatiale du fret.

La recherche de ces facteurs explicatifs structurels a permis de comprendre la distribution spatiale du fret à un moment donné mais n'a pu déboucher sur une modélisation de l'évolution de long terme de la structure spatiale du fret. Les principaux déterminants structurels de la distribution interrégionale du fret mis en évidence sont le coût de transport, la proximité territoriale, et les capacités de production des lieux d'origine et la population des régions de destination, en tant que facteurs attractifs de l'échange.

La phase de construction du modèle ayant été décrite, nous allons traiter dans le chapitre VI des prévisions et des simulations à l'horizon 2015 que permet le modèle QuinQuin Fret Multirégional.

Chapitre VI

Prévisions et simulations par le modèle QuinQuin Fret Multirégional

Les prévisions et simulations de trafics constituent des éléments d'aide à la décision pour les évaluations socio-économiques des projets d'investissement de transport et plus généralement des schémas de services collectifs en transport et en aménagement du territoire. Les relations explicatives constitutives du modèle QuinQuin Fret Multirégional sont donc exploitées pour balayer des avenirs possibles du fret national et surtout de sa distribution spatiale à travers le territoire national.

Les enseignements en prospective des transports de marchandises du modèle QuinQuin Fret Multirégional sont développés à partir de plusieurs scénarios de simulation de long terme, l'horizon de simulation étant fixé à 2015.

Les différents scénarios testés avec le modèle QuinQuin Fret Multirégional sont décrits en section XIII. Ils reposent sur trois hypothèses contrastées de sensibilité économique et deux hypothèses divergentes d'aménagement du territoire.

Les simulations issues de ces différents scénarios sont présentées en section XIV suivant une approche comparative par rapport aux estimations de trafic des années de référence du modèle (1993 et 1994) et par rapport aux simulations à l'horizon 2015 du scénario de référence " fil de l'eau ". Les résultats des simulations portent principalement sur les estimations de tonnages transportés et de tonnes-kilomètres réalisées, sur les évolutions différenciées des contributions régionales selon les contextes d'aménagement du territoire, ainsi que sur la distribution spatiale du fret interrégional, en approfondissant l'estimation du potentiel de transport de marchandises susceptible d'emprunter un axe de circulation stratégique, le tronçon Lyon-Avignon du corridor Nord-Sud.

Section XIII.

Des contextes économiques et d'aménagement du territoire contrastés à l'horizon 2015

Les prévisions et simulations auxquelles conduit le modèle QuinQuin Fret Multirégional sont considérées à l'aide de deux types de scénarios, le premier axé sur des évolutions différenciées de la production industrielle nationale, et le second portant sur des contextes différenciés d'aménagement du territoire.

Le choix des scénarios de sensibilité économique repose sur l'examen des diverses hypothèses de croissance économique retenues par le Bureau d'Informations et de Prévisions Economiques (BIPE) et utilisées dans de nombreux modèles de prévision et de simulation des transports de personnes et de marchandises, principalement par le Service Economique et Statistique (S.E.S.) du Ministère des transports (Bouton et Girault, 1994 ; Girault et Puig, 1996), mais aussi par des groupes d'experts tels que le Conseil National des Transports (C.N.T., 1994).

La détermination des scénarios d'aménagement du territoire s'appuie sur les derniers textes de loi en aménagement du territoire (Loi 95-115 du 4 février 1995 et Loi 99-533 du 25 juin 1999, Journal Officiel, 1999), sur les travaux de prospective régionale élaborés à l'échelle nationale par la Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale (Ascher et alii, 1993 ; Leclerc, Paris, Wachter, 1996 ; Guigou, 1993, 1995 ; DATAR, 2000), sur les projections macro-économiques régionalisées du BIPE (BIPE, 1999), sur des travaux théoriques en économie industrielle et spatiale (Jayet, Puig et Thisse, 1996) et sur les documents de prospective spatiale menée à l'échelle européenne (Europe 2000 ; SDEC, Commission Européenne, 1991, 1999).

XIII-1. Définition des scénarios de croissance économique

Les scénarios de sensibilité économique ont été définis à partir des hypothèses retenues dans différentes études de prévision économique et de transport. Dans la majorité des études, une hypothèse médiane est déterminée à partir de laquelle sont dérivées des hypothèses basses et hautes de croissance économique nationale et de production industrielle.

XIII-1-1. Les hypothèses macro-économiques

Le principal organisme présentant des scénarios de croissance économique utilisés pour des prévisions de trafics est le Bureau d'Informations et de Prévisions Economiques (BIPE). A l'occasion de l'exercice DIVA de prospective de transport (BIPE, 1990, cité par Latreille, 1997), différents scénarios d'évolution du contexte économique à long terme ont été déterminés :

- **Un scénario de persistance de la crise économique**. La croissance économique à long terme est faible et irrégulière. Les taux de croissance annuels moyens du PIB et de la production industrielle sont à l'horizon de 2010 respectivement de 1,5% et de 0,8%.

- **Un scénario de croissance duale de l'économie**. Ce scénario traduit l'existence d'activités innovantes et le maintien d'activités traditionnelles organisées selon le mode de production fordiste. Les taux de croissance annuels moyens du PIB et de la production industrielle sont de 3% et de 2%.
- **Un scénario de sortie de crise**. Ce scénario exprime l'émergence de nouvelles activités économiques dynamiques. Les croissances moyennes annuelles sont de 5% pour le PIB et la production industrielle.

Les scénarios proposés par le BIPE constituent la référence en matière d'hypothèses macro-économiques pour les travaux de prévision des transports développés par l'O.E.S.T. (S.E.S.). En 1994, les prévisions de trafics à l'horizon 2010 reposent sur trois scénarios de croissance économique, " central ", " bas de crise " et " haut " (Bouton et Girault, 1994), définis en cohérence avec ceux du BIPE.

- **Le scénario " bas de crise "** s'inscrit dans un contexte de forte concurrence économique entre les Etats-Unis, le Japon et l'Europe, qui restreint le développement d'activités innovantes dans des domaines étroits, affectant alors la productivité et les débouchés économiques. La croissance économique moyenne annuelle est estimée à 1,6% pour le PIB et 1,2% pour la production industrielle.
- **Le scénario " central "** renvoie à un contexte de dynamique de la construction européenne. Les variations annuelles moyennes du PIB et de la production industrielle sont fixées à 2,7% et 2,4%.
- **Le scénario " haut "** correspond à une évolution économique favorable à la diffusion des nouvelles technologies porteuses de fortes productivités et de revenus. Le PIB connaît une croissance moyenne annuelle de 3,8% et la production industrielle de 3,6%.

Ces hypothèses d'évolution du contexte économique national ont été révisées par la suite lors de nouvelles prévisions à l'horizon 2015 (Girault et Puig, 1996 ; Commissariat général du plan, 1998) établies dans le cadre de la préparation des schémas directeurs d'infrastructures prévus dans la loi d'aménagement du territoire du 4 février 1995. Dans ce contexte, un scénario " médian " a été déterminé à partir duquel cinq autres scénarios sont dérivés, intégrant d'une part, des hypothèses faibles ou fortes de croissance économique et d'autre part, des hypothèses contrastées de régulation des transports ou d'offre en infrastructures.

- **Le scénario " médian "** correspond à une croissance moyenne de long terme de 2,4% par an du PIB et de 2,2% par an de la production industrielle.
- **Le scénario de " croissance faible "** présente une croissance du PIB de 1,9% par an et de la production industrielle de 1,3% par an.
- **Le scénario de " croissance forte "** repose sur une évolution moyenne annuelle de 2,9% pour le PIB et de 2,8% pour la production industrielle.

Les trois autres scénarios sont définis à partir de critères de régulation des transports et d'offre en infrastructures. Le détail des différentes hypothèses et de leur chiffrage est synthétisé dans l'étude comparative des simulations du SES et du LET, effectuée pour le compte du Commissariat Général du Plan (Aubert *et alii*, 1998).

- **Le scénario de " régulation libérale "** est défini par de faibles prix du transport et en particulier par un abaissement du prix du transport routier en lien direct avec la progression de la déréglementation des transports (absence de mise en place du contrat de progrès en transport routier et passage du PTAC à 44 tonnes) et l'absence d'augmentation de la taxe intérieure sur les produits pétroliers (TIPP) sur le gazole et de la taxe à l'essieu. Ce scénario est testé avec des hypothèses basse et médiane de croissance économique.
- **Le scénario de " régulation volontariste "** traduit une évolution plus marquée des prix du transport, principalement routier, en raison d'une hausse de la TIPP sur le gazole et de la taxe à l'essieu, d'une déréglementation plus progressive (PTAC limité à 40 tonnes) et enfin d'une mise en application plus intense du contrat de progrès en transport routier, ce qui accroît le prix du transport routier. Ce scénario est testé avec l'hypothèse haute de croissance économique.
- **Le scénario de " politique d'offre en infrastructures "** renvoie à la réalisation de grands chantiers d'infrastructures : le tunnel sous la Manche, la ligne TGV fret entre Barcelone et Perpignan, les canaux Rhin-Rhône et Seine-Nord et la réalisation de tronçons autoroutiers à un rythme moyen de 350 km par an entre 1992 et 2015 dans le volet haut (hypothèse haute de croissance économique) et de 350 km par an jusqu'en 2006 puis 180 km par an jusqu'en 2015 dans un volet médian (hypothèse médiane de croissance économique).

En référence au cadre prévisionnel des scénarios DIVA du BIPE, deux hypothèses de croissance économique ont également été retenues dans le modèle Quinquin Fret (Latreille, 1997) :

- **Une hypothèse basse** définie par un taux de croissance moyen annuel de 0% de l'Indice de Production Industrielle entre 1992 et 2015. Cette hypothèse correspond au scénario de persistance de la crise économique du BIPE.
- **Une hypothèse haute** de 2% par an de la production industrielle entre 1992 et 2015. Cette hypothèse s'apparente au rythme moyen annuel de la croissance industrielle observé au cours de la période 1971-1991, qui était de 1,9% par an. Cette hypothèse correspond également au scénario intermédiaire de " croissance duale de l'économie " du BIPE.

Tableau XIII-1.Les principales hypothèses de croissance économique

	Hypothèse basse	**Hypothèse médiane**	**Hypothèse haute**
	BIPE (1990) à l'horizon 2010		
	Persistance de la crise	*Croissance duale de l'économie*	*Sortie de crise*
PIB	1,5%	3%	5%
Production industrielle	0,8%	2%	5%
	BIPE et du SES (1996) à l'horizon 2015		
	Croissance faible	*Croissance médiane*	*Croissance haute*
PIB	1,9%	2,4%	2,9%
Production industrielle	1,3%	2,2%	2,8%
	LET (1997) à l'horizon 2015		
	Hypothèse basse	*Hypothèse haute*	
Production industrielle	0%	2%	-

XIII-1-2. Les scénarios de croissance économique dans QuinQuin Fret Multirégional

Les scénarios de croissance économique sont de détermination classique, c'est-à-dire qu'ils renvoient à des hypothèses contrastées de croissance de la production industrielle à long terme : basse, médiane, haute. La variable de sensibilité économique est le taux de croissance annuel de l'Indice de Production Industrielle nationale, variable explicative des variations annuelles du tonnage transporté en interrégional et en intrarégional. Trois scénarios de croissance économique sont testés :

- **Un scénario de " crise "** qui traduit une contraction relativement forte et durable de la production industrielle par rapport à la période d'observation 1975-1994. Ce scénario se définit par un taux de croissance moyen annuel de l'I.P.I. de 0% sur la période 1995-2015. Ce scénario bas est plus marqué que ceux du BIPE et du SES et est équivalent à celui testé dans Quinquin Fret par le LET.

- **Un scénario au " fil de l'eau "** qui exprime une certaine continuité de la conjoncture industrielle par rapport aux 20-25 dernières années (tcma : 1,8% entre 1971-1994). Ce scénario constitue donc l'hypothèse *médiane*, ou " scénario de référence ", avec un taux de croissance moyen annuel de l'I.P.I. de 2% sur la période 1995-2015. Ce scénario se situe tout à fait dans les hypothèses intermédiaires retenues par le BIPE, le SES et le LET.

- **Un scénario de " croissance retrouvée "** qui exprime une croissance forte, régulière et durable de la production industrielle. Il s'agit de l'hypothèse haute de croissance économique, elle est définie par un taux de croissance moyen annuel de l'I.P.I. de 4% sur la période 1995-2015. Cette hypothèse de croissance renvoie notamment aux périodes 1971-1973 et 1988-1989.

XIII-2. Définition des scénarios d'aménagement du territoire

Les scénarios d'aménagement du territoire ont pour objectif de mettre en évidence les impacts de modifications à long terme dans la répartition régionale de l'activité économique sur les transports interrégionaux et intrarégionaux de marchandises, du point de vue des volumes régionaux de fret généré comme de la distribution spatiale des échanges. Dans ces scénarios, la notion d'aménagement du territoire renvoie à l'idée d'organisation spatiale des activités socio-économiques et de réflexion prospective sur les futurs possibles à long terme de cette organisation à travers le territoire national. Plus largement, elle fait référence à une " *mise en ordre, sur le terrain, des initiatives des acteurs économiques et sociaux ainsi que des collectivités, de façon à faire prévaloir conjointement une démarche de long terme et une logique de l'intérêt général, de l'intérêt national* " (Damette, 2000).

Les hypothèses d'aménagement du territoire sont retranscrites dans le modèle par des modifications de la croissance à long terme des contributions relatives régionales au fret interrégional et intrarégional généré. Ces modifications sont fixées de façon exogène, elles ne relèvent pas de relations explicatives internes au modèle. Enfin, ces scénarios sont développés sous une seule hypothèse de croissance économique et industrielle, l'hypothèse au " fil de l'eau " exprimée par un taux de croissance moyen annuel de l'IPI de 2% jusqu'en 2015.

Comme nous l'avons mentionné précédemment, le choix des hypothèses d'aménagement du territoire a tenu compte des travaux de prospective spatiale réalisés à l'échelle nationale et à l'échelle européenne. Les orientations et recommandations des dernières lois sur l'aménagement du territoire et des recherches théoriques en économie industrielle et spatiale ont également guidé ou renforcé certains choix. Afin de situer les scénarios que nous avons établis par rapport aux réflexions existantes, nous présentons les images régionales de la France à long terme envisagées par la DATAR, et les documents de travail et d'orientation politique élaborés au niveau européen offrant une " *conception globale et transversale* " (Taulelle, 2000) de l'aménagement et présentant un cadre de référence pour les politiques et actions nationales en aménagement du territoire.

XIII-2-1. Les travaux nationaux et européens de prospective régionale

Les réflexions de prospective en aménagement du territoire sont menées à l'échelle nationale par la Délégation à l'Aménagement du Territoire et à l'Action Régionale (DATAR) et à l'échelle européenne par le conseil informel des ministres responsables de l'aménagement du territoire et par le Comité de Développement Spatial (C.D.S.).

A. Prospective et territoires : les études et scénarios de la DATAR

La mission générale de la DATAR consiste en l'élaboration et la coordination des décisions relatives à l'aménagement du territoire prises par le gouvernement. Ses diverses activités suivent l'objectif de cohésion économique et sociale dans le développement du territoire national. Dans ce cadre, la DATAR est amenée à émettre des propositions et à établir des scénarios de prospective territoriale.

A-1. Les grands chantiers d'aménagement du territoire

Les réflexions menées par la DATAR ont été accomplies dans le cadre du programme " Prospective et territoires ", lancé par le Comité Interministériel à l'Aménagement du Territoire (CIAT) du 5 novembre 1990. Un travail d'analyse territoriale en 7 grands chantiers d'aménagement du territoire[1] est alors lancé. De façon synthétique, les 7 chantiers se répartissent comme suit :

- Le bassin parisien intègre l'Ile de France et les régions subissant une influence francilienne forte : Picardie, Champagne-Ardenne, Haute-Normandie, Basse-Normandie et Centre,
- Le Nord correspond à la région Nord-Pas-de-Calais qui se distingue par l'importance de ses échanges nord-européens,
- Le Grand Est regroupe les régions Alsace, Lorraine et Franche-Comté,
- Le couloir Saône-Rhône inclut les régions Rhône-Alpes et Bourgogne,
- Le Massif Central comprend les régions Auvergne et Limousin,
- Le Midi-Méditerranée rassemble PACA, Languedoc-Roussillon et Midi-Pyrénées,
- La Façade Atlantique intègre l'Aquitaine, le Poitou-Charentes, les Pays de Loire et la Bretagne.

[1] Leclerc, Paris, Wachter (1996), pp 34-84.

Ces grands chantiers sont interprétés comme des exercices d'interrégionalité dont un des objectifs est de mener une réflexion sur la constitution d'espaces économiques et géographiques de taille européenne afin de bâtir des régions françaises compétitives à l'échelle européenne au même titre que les länders allemands ou les régions italiennes, en particulier en termes de ressources financières et de compétences.

La comparaison des principaux budgets régionaux dans la Communauté Européenne présentée par Leclerc, Paris et Wachter (1996) montre en effet combien les régions françaises sont très en deçà des grandes régions européennes et sont handicapées de ce point de vue dans un contexte d'intégration européenne fondée sur une dynamique et des coopérations interrégionales.

Tableau XIII-2. Principaux budgets régionaux européens et français

Régions françaises	**Budget** [1]	**PIB** [2]
Ile de France	10,621	291 607
Rhône-Alpes	4,074	97 003
Provence-Alpes-Côte-d'Azur	3,640	70 844
Nord-Pas-de-Calais	3,590	59 477
Aquitaine	2,400	47 514
Régions européennes	**Budget**	**PIB**
Nord-Westphalie	200,686	321 846
Flandre	65,260	101 371
Catalogne	65,000	97 076
Lombardie	54,280	212 960
Ile de France	10,621	291 607

1 Budget 1991, en milliards de francs
2 En millions de SPA (1989) : standard de pouvoir d'achat. 1 SPA=5,66 francs.
Source bibliographique : Leclerc, Paris, Wachter (1996) ; source statistique : EUROSTAT

Les compétences institutionnelles des régions françaises sont donc fortement limitées du fait d'une répartition des compétences entre plusieurs niveaux de collectivités territoriales : communes, départements et régions. Cet handicap pose problème dans le cadre des initiatives européennes voire internationales des régions. Le développement d'interrégions est donc envisagé doublement, à la fois du fait de l'influence des métropoles qui déborde déjà les frontières des régions, mais aussi en raison des possibilités de coopérations transfrontalières.

A partir de ces analyses, plusieurs catégories de scénarios d'aménagement du territoire ont été développées à la DATAR. Certains scénarios, tels les " images de la France en 2015 " proposées par Leclerc et alii (1996), sont développés à l'échelle européenne et s'intéressent aux différents types de régulation politique et économique de l'espace national en lien avec ceux de l'espace européen et à leurs conséquences sur les structures territoriales. D'autres scénarios se limitent davantage au cadre national, tels les " six images contrastées d'aménagement du territoire " présentées par Ascher *et alii* (1993), et présentent les différentes structures du territoire national obtenues par la conjonction d'organisations spatiales des activités et de politiques économiques et d'aménagement contrastées.

Ces derniers scénarios ont été plus particulièrement étudiés que les précédents pour les structures territoriales et les relations interrégionales qu'ils proposaient et qui pouvaient être adaptées à la conception des scénarios d'aménagement du territoire de notre modèle. Nous

présentons de ce fait les principales “ images ” ayant inspiré les scénarios d’aménagement du territoire testés dans notre modèle.

A-2. Les images prospectives contrastées de l’aménagement du territoire

Dans leur ouvrage “ Les Territoires au Futur ”, Ascher *et alii* (1993) proposent six images de la France à l’horizon 2015 fondées sur des structurations du territoire divergentes et des politiques d’aménagement du territoire soit libérales soit volontaristes.

Tableau XIII-3. Les six images contrastées d’aménagement du territoire (2015)

Structuration de l’espace **Politiques d’aménagement**	**Tendance à la concentration et à la dualisation de l’espace**	**Tendance à la dispersion des activités et de l’habitat**
Libéralisme	Métropolis	Suburbia
“ Régulation ” à l’échelle européenne	Un système urbain équilibré	Fédération européenne de régions
Régulation à l’échelle nationale	Un territoire à deux vitesses	Territoire patrimonial

Source bibliographique : Ascher et alii, 1993.

Nous présentons brièvement les grandes lignes des trois scénarios relatifs à une structuration de l’espace fondée sur une tendance de concentration. Ces scénarios ont constitué une base de réflexion pour la construction des scénarios d’aménagement du territoire du modèle QuinQuin Fret Multirégional.

- *Métropolis*

L’image “ Métropolis ” se situe dans un contexte politique libéral, du point de vue économique comme d’aménagement du territoire. Ce contexte politique a pour effets principaux, d’une part, une internationalisation croissante de l’économie portée par les grandes entreprises multinationales et par le fonctionnement du marché européen, et d’autre part, une intervention publique, en particulier de l’Etat, limitée et guidée par l’application du principe de subsidiarité.

La conséquence dominante sur la structuration de l’espace est une forte tendance à la concentration conduisant à l’émergence de grandes zones métropolitaines d’une part, et à des milieux ruraux “ asséchés ” sur les plans économique et démographique et axés sur la valorisation de leur patrimoine architectural et naturel d’autre part. L’image “ Métropolis ” engendre des disparités géographiques importantes entre les régions et entre différents milieux locaux, mais ces déséquilibres ne font pas l’objet de politiques de rattrapage ou de cohésion car ils sont considérés comme une partie intégrante et inévitable du système politique et économique libéral. Ces zones moins développées doivent toutefois dans la logique de “ Métropolis ” bénéficier d’une partie de la dynamique générale relativement forte. Les problèmes sectoriels locaux sont alors traités par les pouvoirs publics mais uniquement dans un cadre d’assistance.

Cette image de la France se caractérise alors par de grandes zones métropolitaines économiquement dominantes (avec la position hégémonique de la région parisienne), des villes métropoles isolées moins dynamiques et des espaces ruraux peu privilégiés économiquement et dépendants de la “ manne touristique ”(cf. carte en annexe XIII-1) :

- La région parisienne connaît un fort développement économique et diffuse son dynamisme dans un grand bassin parisien qui englobe les villes capitales des régions voisines, telles que Amiens, Rouen, Reims, et Tours.
- Les autres zones métropolitaines se développent autour de Lyon, qui constitue le second pôle économique de taille européenne en France, de Lille, qui bénéficie de la dynamique économique nord-européenne, de Toulouse, Nice et Montpellier, qui consolident leurs spécificités dans les nouvelles technologies et de Strasbourg et Metz-Nancy qui bénéficient de la dynamique allemande.
- Les autres métropoles régionales restent isolées et ont du mal à émerger, comme Nantes, Bordeaux ou Rennes.
- Les villes des autres régions économiquement moins développées s'enlisent dans un milieu rural peu privilégié et ne bénéficient au mieux que de mécanismes d'entraînement par le biais du tourisme, qui ne fonctionnent que sous la condition d'une croissance économique forte.

➢ *Un système urbain équilibré*

Cette image de la France s'oppose à l'image " Métropolis " par une politique d'aménagement du territoire plus volontariste et qui s'inscrit dans une optique d'intégration européenne. La politique d'aménagement du territoire est pilotée par l'Etat et repose sur le principe de redistribution des richesses et de cohésion économique et sociale du territoire. La conséquence en termes de structuration du territoire est un espace " *plus équilibré et plus fonctionnel* " (cf. carte en annexe XIII-1). L'objectif affiché est de limiter l'hégémonie de la région parisienne et son statut de point de passage incontournable. La démarche consiste à rendre plus compétitives certaines métropoles de province, ayant fait l'objet d'une sélection préalable rigoureuse, par le développement de leurs activités de pointe, de recherche et de leur cadre de vie général, social comme culturel. La politique menée est de type " *déconcentration polarisée* ", elle vise à la constitution d'interrégions européennes et cherche à éviter les pertes et les concurrences vaines entre les diverses métropoles régionales existantes et à concentrer les moyens seulement sur certaines d'entre elles. Dans ce scénario, on retrouve sensiblement la configuration des grands chantiers d'aménagement.

La principale interrégion est constituée par la région parisienne et son aire d'influence qui s'étend jusqu'en Haute-Normandie, Bourgogne, Pays de Loire, Picardie, Champagne-Ardenne et Centre.

Cinq autres interrégions voient le jour, tournées vers l'Europe :

- Rhône-Alpes (Lyon-Grenoble-St Etienne),
- Le Sud-Est (Montpellier – Marseille-Nice),
- Le Nord (Lille-Roubaix-Tourcoing),
- Le Sud–Ouest atlantique autour de Bordeaux,
- Le Sud-Ouest intérieur autour de Toulouse.

Deux autres interrégions se dessinent sans parvenir à se doter de métropoles multipolaires de taille européenne :

- le Nord-Est (Strasbourg, Nancy, Metz),
- le Grand Ouest (Nantes, Angers, Rennes).

Les autres régions connaissent un dynamisme plus modeste en raison de leur isolement par rapport aux grandes métropoles de taille européenne (Auvergne, Limousin).

- *Une France à deux vitesses*

Le scénario " Une France à deux vitesses " se situe dans une conjoncture économique défavorable. Ce contexte s'étend à l'échelle européenne et freine tout développement significatif de la construction européenne. Les Etats entrent davantage dans une phase de repli sur eux-mêmes et perdent de ce fait tous les bénéfices économiques que pourrait apporter un grand marché européen. Les répercussions en termes d'aménagement du territoire sont déterminantes et façonnent une image de la France fortement déséquilibrée entre de rares zones à fort dynamisme économique et de larges zones en déclin (cf. annexe XIII-1).

Trois niveaux de répercussions territoriales se dessinent dans ce contexte de crise. Le premier concerne les situations de reconversion industrielle et tertiaire qui frappent plus fortement les zones économiques peu diversifiées. Le second porte sur une contraction de la dynamique des métropoles de province et de leur aire d'influence. Le troisième niveau porte sur le renforcement de l'hégémonie parisienne, la capitale demeurant le seul grand pôle économique en raison d'un phénomène de recentrage des activités ayant quitté les métropoles régionales fragilisées. Toutefois, ce pôle parisien connaît une situation d'hypertrophie et un nombre croissant d'effets externes négatifs tels que des problèmes aigus de congestion dans la circulation des biens et des personnes.

La région parisienne étend son aire d'influence matérialisée par une ligne Nantes - Genève. Les métropoles régionales situées au nord de cette ligne n'ont plus les moyens financiers et économiques de leur propre dynamique et entrent dans l'influence directe parisienne. Au sud de cette ligne, le principal secteur d'activités qui se développe est l'agriculture. Une certaine dynamique s'observe ainsi dans l'ouest de la France dans les secteurs agricoles et agro-alimentaires. Dans le centre de la France, une certaine dynamique se développe à partir des ressources naturelles du milieu montagnard. Ces dynamiques reposent sur un tissu de petites et moyennes villes réparties de façon équilibrée à travers le territoire. Les grandes métropoles perdent de leur importance dans la partie sud-ouest du pays, la dynamique ne provenant que d'un renouveau de l'espace rural lié aux activités rurales et aux ressources naturelles. Seule la région Rhône-Alpes conserve un certain niveau d'activité porté non pas par sa métropole lyonnaise déclinante mais par un réseau de villes moyennes et de PME, qui offre une activité économique relativement diversifiée.

B. La politique régionale européenne et les documents prospectifs européens

A l'échelle européenne, les réflexions menées par la Direction Générale des politiques régionales (DGXVI), conjointement à d'autres organes européens, aux Etats membres et aux collectivités territoriales, constituent un cadre de référence pour repenser un découpage de la France en interrégions dans une logique de " développement durable européen ". Ces réflexions visent à coordonner les politiques sectorielles communautaires ayant un impact spatial, les aides européennes des fonds de cohésion et fonds structurels, principalement le Fonds Européen de Développement Régional (F.E.D.E.R), et les programmes d'initiatives communautaires de coopération multirégionale (INTERREG).

La politique régionale européenne a vu le jour avec la création de la Direction Générale des politiques régionales en 1967 et plus encore avec le FEDER, institué en 1975, dont l'objectif est de réduire les déséquilibres socio-économiques régionaux au sein de l'Union Européenne. La prise en compte des problèmes territoriaux au niveau européen s'est accrue et a abouti à la réalisation de documents d'orientation politique dans le champ de l'aménagement du territoire, intitulés " Europe 2000 " et " Europe 2000+ " (Commission Européenne, 1991, 1994). Ces documents ont eu un rôle essentiel pour les travaux futurs en aménagement du territoire en fournissant un cadrage global à l'échelle européenne des problèmes territoriaux aux responsables de questions d'aménagement du territoire des différents Etats membres (Damette, 2000). En effet, l'élaboration d'un document de référence sur l'espace européen, et de ce fait sur les différents territoires nationaux et infra-nationaux et sur leurs interrelations effectives ou potentielles, a ainsi été lancée. Dans ce cadre, le Conseil européen a créé en 1991 le Comité de Développement Spatial (C.D.S.), chargé d'élaborer le document intitulé " Schéma de Développement de l'Espace Communautaire " (S.D.E.C.). La réalisation du SDEC a été progressive, alimentée par les conseils informels des ministres de l'aménagement du territoire. La version définitive du SDEC a été entérinée à Postdam en mai 1999 (Commission Européenne, 1999).

Le SDEC est un document juridiquement non contraignant laissant aux Etats Membres la responsabilité de l'aménagement du territoire. Ce document est un cadre politique visant à améliorer la coopération des politiques sectorielles communautaires ayant des effets spatiaux. Face aux déséquilibres socio-économiques spatiaux, le SDEC présente un cadrage de la situation générale du territoire européen ainsi que les potentialités de développement des différentes régions. Le SDEC " *constitue un cadre d'orientation approprié pour les politiques sectorielles à impact spatial de la Communauté des Etats membres, ainsi que pour les collectivités régionales et locales, en vue de parvenir à un développement équilibré et durable du territoire européen* "[2].

A partir de ce travail, trois objectifs fondamentaux sont poursuivis pour la politique communautaire régionale :
- la cohésion économique et sociale,
- la préservation des bases naturelles de la vie et du patrimoine culturel,
- une compétitivité plus équilibrée du territoire européen.

Pour atteindre ces objectifs très généraux, trois principes directeurs de politique de développement durable ont été émis dès 1994 par les ministres de l'aménagement du territoire :

- le développement d'un système urbain équilibré et polycentrique et une nouvelle relation ville-campagne,
- l'assurance d'une parité d'accès aux infrastructures et au savoir,
- le développement durable, la gestion intelligente et la préservation de la nature et du patrimoine culturel.

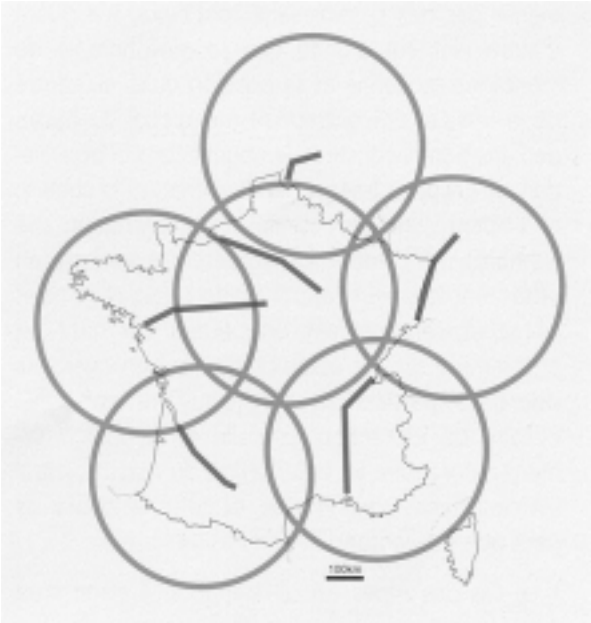
[2] Extrait des conclusions de la présidence allemande du Conseil européen, Postdam, 10-11 mai 1999.

Dans ce cadre de réflexion et d'orientation, la notion de " développement durable " est définie comme " un développement respectueux de l'environnement et qui préserve les ressources actuelles pour les générations futures, mais aussi un développement spatial équilibré "[3].

Le SDEC émet également des propositions de coopération afin de coordonner les différentes politiques et sélectionne des programmes opérationnels de coopération ayant un impact territorial, au sein des initiatives communautaires INTERREG. Ces politiques communautaires intégrées et multisectorielles à forte dimension spatiale établissent un découpage spatial en zones éligibles ou en espaces de coopération. De 1994 à 1999, l'initiative Interreg IIc de coopération transnationale a été développée et est poursuivie sur la période 2000-2006 par Interreg III, initiative comprenant trois volets de coopération : transfrontalière, transnationale et interrégionale.

Dans ces programmes d'initiatives, l'espace européen est découpé en grandes zones interrégionales. Les programmes Interreg IIc présentent un découpage en 7 zones (cf. cartes en annexe XIII-2). Ces découpages restent relativement grossiers et constituent, d'après Taulelle, un point faible du SDEC mais mettent en évidence la difficulté d'établir un découpage d'ordre interrégional à l'échelle européenne (Taulelle, 2000) mais aussi à l'échelle nationale (Frémont, 2000). Ainsi, le territoire français est découpé dans ces documents et programmes d'initiative communautaire en 4 ensembles interrégionaux : le grand bassin parisien, l'Est et le Sud-Est, le Massif Central et le Sud-Ouest, et une large façade atlantique (cf. annexe XIII-2). Le découpage d'une France polycentrique proposé par Frémont (2000) diffère sensiblement par la difficile partition de l'Ouest et du Sud-Ouest et par l'éclatement du Massif Central (cf. figure XIII-1).

Figure XIII-1. La France polycentrique, polarisée sur les axes fluviaux



Source : DATAR, 2000.

[3] Extrait du SDEC selon la définition donnée dans le rapport Brundtland des Nations Unies : World Commission on Environment and Development: our Common Future. New York: Oxford University Press, 1987.

XIII-2-2. Les scénarios d'aménagement du territoire dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional

Deux scénarios d'aménagement du territoire sont considérés : un scénario " France polarisée ", qui présente un territoire déséquilibré entre des pôles économiques relativement dynamiques et des zones moins privilégiées, et un scénario de " développement durable européen ", qui propose une structuration territoriale plus équilibrée, avec le renforcement des rôles économiques et politiques d'un certain nombre de métropoles de province et l'établissement d'interrégions de taille européenne.

A. Le scénario " France polarisée "

Le scénario " France polarisée " s'inspire des travaux de la DATAR (surtout de l'image " Métropolis " et dans une moindre mesure de l'image " Une France à deux vitesses "), des réflexions sur les enjeux économiques de l'organisation du territoire menées par Jayet, Puig et Thisse (1996) ainsi que des découpages de la France vus de l'Europe à travers le Schéma de Développement de l'Espace Communautaire (SDEC).

Le principe fondamental de ce scénario est que dans un contexte de croissance relativement soutenue et de construction européenne engagée, l'importante dynamique économique et le rayonnement international de Paris et de la région parisienne doivent être maintenus pour concurrencer les pôles que sont Londres, Bruxelles ou Amsterdam. Le bassin parisien est sans aucun doute la grande " interrégion " de taille européenne. Il se retrouve d'ailleurs comme le grand ensemble du découpage de la France dans le programme d'actions Interreg IIIb développé dans le cadre du S.D.E.C. (Frémont, 2000).

Le second point fort de ce scénario est la constitution d'un réseau secondaire de villes et de régions de taille européenne. Ce réseau repose sur le renforcement des performances économiques de certaines métropoles de province, toutes ne pouvant atteindre ensemble un statut européen voire international. La politique d'aménagement du territoire est donc considérée dans ce scénario comme " *sélective* " pour être efficace (Jayet, Puig et Thisse, 1996).

Cette option est expliquée par le fait que si la faiblesse de la France réside en partie dans l'absence d'une armature urbaine de second rang, la politique d'aménagement du territoire doit alors veiller à aider les grandes métropoles régionales à se constituer en pôles d'excellence mais une sélection est nécessaire " *afin d'éviter un saupoudrage inefficace* ". La justification d'une telle politique porte sur l'existence d'un seuil minimum pour faire émerger la dynamique liée à la polarisation : " *une politique d'aménagement du territoire visant à modifier les formes de polarisation du système urbain doit donc être consciente que, pour avoir quelques chances de succès, elle doit concentrer les moyens mis en œuvre pour que ceux-ci puissent atteindre un seuil suffisant leur permettant de faire apparaître ou de développer des dynamiques de polarisation* " (Jayet, Puig et Thisse, 1996).

Le découpage de la “ France polarisée ” repose sur trois ensembles d’interrégions :

- l’Ile de France et les régions voisines directement sous influence (Haute-Normandie, Picardie, Champagne-Ardenne, Centre),
- les régions dynamiques de province (hors influence francilienne) appuyées sur une métropole de taille européenne (Nord-Pas-de-Calais, Alsace, Rhône-Alpes, PACA, Midi-Pyrénées),
- les régions délaissées en phase de ralentissement économique et de dépeuplement, n’étant pas parvenues à valoriser leurs atouts socio-économiques (Bretagne, Pays de Loire, Basse-Normandie, Lorraine, Franche-Comté, Bourgogne, Auvergne, Limousin, Poitou-Charentes, Aquitaine et Languedoc-Roussillon).

Cette image de la France est donc fortement axée sur le bassin parisien et sur l’axe nord-sud, depuis la région Nord-Pas-de-Calais jusqu’à la Provence Alpes Côte d’Azur. La région Midi-Pyrénées fait exception dans cette structure en constituant le grand pôle économique de l’ouest et sud-ouest de la France. Cette situation se justifie par l’éloignement de la région Midi-Pyrénées du bassin parisien et de “ l’Europe moyenne ” très dynamique (Frémont, 2000).

La transcription de ces principes d’aménagement du territoire dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional se fait à partir des contributions régionales aux tonnages annuels exportés, importés et intrarégionaux. Dans les scénarios de sensibilité économique, les contributions régionales sont projetées en fonction de la tendance passée. Dans les scénarios d’aménagement du territoire, ces contributions sont modifiées de manière exogène au modèle. L’objectif de chacun des scénarios est de révéler les changements que peut subir la distribution spatiale du fret du fait de nouvelles contributions régionales au fret local, et aux exportations et importations interrégionales.

Les modifications apportées aux contributions régionales dans le scénario “ France polarisée ” se scindent en trois catégories :

1. Forte hausse des contributions relatives à l’exportation, à l’importation et en intrarégional de la région Ile de France et des régions sous influence francilienne (Picardie, Haute-Normandie, Centre, Champagne-Ardenne) ;

2. Hausse des contributions des régions dynamiques de province :

- Nord-Pas-de-Calais, qui bénéficie de la dynamique économique nord-européenne,
- Rhône-Alpes, qui se présente comme le second grand pôle économique,
- Alsace, qui développe des coopérations transfrontalières avec l’Allemagne,
- PACA qui renforce sa position portuaire au sein de la Méditerranée,
- Midi-Pyrénées qui consolide ses spécificités dans la haute technologie.

3. Baisse des contributions des autres régions, sous l’hypothèse d’une difficile intégration dans la dynamique européenne et d’une trop faible valorisation de leurs atouts : Bretagne, Pays de Loire, Basse-Normandie, Lorraine, Franche-Comté, Bourgogne, Auvergne, Limousin, Poitou-Charentes, Aquitaine et Languedoc-Roussillon.

B. Le scénario de “ Développement durable européen ”

Les risques d’une dualisation de l’espace sont pluriels et concernent différents domaines, en premier lieu le secteur économique, mais aussi le domaine socioculturel. Le principal risque d’un laisser-aller des tendances actuelles de structuration non organisée du territoire ou d’une évolution trop polarisée est le développement d’un processus cumulatif de crise dans certaines villes et régions à partir de problèmes locaux et sectoriels pointus, comme la difficile restructuration d’une région mono-industrielle. Ces espaces vont nécessiter des ressources de plus en plus importantes sans en générer et vont engendrer un phénomène d’exode des activités et des personnes vers les grandes métropoles qui risqueront à leur tour des phénomènes d’asphyxie.

Le scénario de “ développement durable européen ” s’inscrit dans une approche opposée à celle du libéralisme en politique d’aménagement du territoire, en donnant aux pouvoirs publics des moyens politiques et financiers pour assurer un développement plus équilibré et plus fonctionnel du territoire. La politique d’aménagement du territoire est donc plus volontariste et cherche à éviter une polarisation, voire une dualisation avec une France à deux vitesses.

La dénomination de “ développement durable européen ” fait référence à la notion de coopération entre les différentes régions, dans le sens d’une confrontation, d’un rapprochement et d’une harmonisation des problématiques spatiales des régions voisines. La notion de développement est donc entendue au sens large, comme une progression appuyée sur la concertation des différents acteurs participant à la dynamique spatiale et économique des différentes régions afin d’approcher ou de maintenir une cohérence spatiale sur de larges parties du territoire national et au-delà de l’espace économique européen. Le concept de développement durable renvoie à la définition donnée dans la Loi du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l’environnement : “ […] *l’objectif de développement durable* […] *vise à satisfaire les besoins de développement des générations présentes sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs* ” (Journal Officiel, 1995)

Ce scénario se rapproche donc de l’image “ Un système urbain équilibré ” de la DATAR en considérant l’optique de développement d’interrégions françaises voire d’euro-régions reposant sur des coopérations entre régions de différents Etats membres de l’Union Européenne. Les regroupements interrégionaux considérés sont aussi inspirés des découpages géographiques de l’image prospective d’une “ fédération européenne de régions ” (Ascher et alii, 1993 ; cf. annexe XIII-1), de l’image d’une “ France maillée ” (Leclerc et alii, 1996), du scénario de “ polycentrisme maillé ” (DATAR, 2000) ou du découpage géographique du programme d’initiative communautaire Interreg IIc (cf. annexe XIII-2).

Dans ce scénario, les évolutions des contributions régionales au fret interrégional ou intrarégional sont modifiées de façon à renforcer les coopérations interrégionales dans l’optique de bâtir des régions de taille européenne sans laisser de côté les régions rurales ou en difficile reconversion économique. La philosophie globale du scénario s’insère pleinement dans les orientations du S.D.E.C. au niveau européen et dans les recommandations de la Loi d’orientation pour l’aménagement et le développement durable du territoire au niveau national. Les interrégions ont été construites avec le souci d’associer les atouts socio-économiques et géographiques de

chacune des régions au sein “ d’euro-régions ” et de réduire les écarts régionaux de développement économique à l’horizon 2015.

Les modifications apportées aux contributions relatives régionales au fret généré dans le scénario “ développement durable européen ” reposent donc sur un découpage géographique en six “ interrégions ” :

1. Le Grand Bassin Francilien : Ile de France, Haute-Normandie, Picardie, Champagne-Ardenne et Centre,
2. Le Nord avec la région Nord-Pas-de-Calais,
3. Le Grand-Est avec les régions Alsace, Lorraine et Franche-Comté,
4. Le couloir Saône-Rhône avec les régions Rhône-Alpes, Bourgogne et Auvergne,
5. Le Midi-Méditerranée avec les régions Midi-Pyrénées, Languedoc-Roussillon et PACA,
6. Le Grand Arc Atlantique avec les régions Basse-Normandie, Bretagne, Pays de Loire, Poitou-Charentes, Limousin et Aquitaine.

Ces blocs interrégionaux ont été établis avec le souci de regrouper des régions économiques faibles avec des régions plus puissantes afin d’arrimer les premières à la dynamique des secondes. C’est notamment ce qui explique l’absence d’interrégion dans le massif central car celui-ci ne contient pas de métropole économique suffisamment puissante. Nous rejoignons sur ce point la position de Frémont, pour qui “ *la polarisation du Massif Central est centrifuge, et non l’inverse, et cette tendance ne peut que s’accentuer* ” (Frémont, 2000). Cette situation tient à l’absence d’éléments unificateurs au sein du Massif Central, qu’ils soient économiques, culturels ou historiques, mais aussi à la nécessité de préserver l’environnement naturel et les particularités des divers pays du Massif Central.

L’évolution des contributions régionales relatives au fret généré est modifiée de façon à réduire les déséquilibres interrégionaux. Les modifications apportées demeurent toutefois dans le domaine des “ possibles ” par l’application de taux de variation de l’ordre de ceux observés au cours des deux dernières décennies. L’hypothèse de développement durable poursuit un double objectif dans la correction des écarts des contributions régionales au fret généré : (1) améliorer significativement les positions des régions les moins génératrices de fret, (2) maintenir un niveau de transport légèrement supérieur dans les grandes régions économiques, expression de leur rôle moteur sur le plan économique. Les contributions relatives des régions les plus dynamiques (Ile de France, Rhône-Alpes, PACA, Pays de Loire) connaissent donc des taux de croissance négatifs mais pas trop forts, assurant encore à ces régions une position centrale dans la dynamique des interactions spatiales en matière de fret. L’optique de développement durable impliquant une diffusion de la croissance aux régions voisines des grandes régions économiques, les contributions relatives des autres régions, moins dynamiques économiquement ou en matière de fret généré, sont alors augmentées de façon à harmoniser les contributions régionales autant que possible au sein de chaque interrégion.

XIII-2-3. Les avenirs du fret dans le couloir rhodanien

Dans un souci d'analyse prospective des difficultés de circulation sur certains grands corridors nationaux ou européens, nous avons approfondi l'analyse spatiale des simulations sur un axe de circulation fortement emprunté, le couloir rhodanien entre Lyon et Avignon. Le choix de cet axe a été en partie conditionné par la construction d'un outil de modélisation " spatialisé " du fret sur cet axe, dans lequel certains modules et éléments du modèle QuinQuin Fret Multirégional ont été utilisés (Bonnafous [ss. Dir.], Durand et Latreille, 1999).

L'analyse spatiale délimitée à un axe de circulation est utile pour répondre à plusieurs objectifs économiques. Ces objectifs sont principalement d'estimer l'importance à long terme du transport de marchandises sur un grand axe de circulation, de fournir des éléments quantifiés de l'évolution du fret sur un axe utilisé pour les choix stratégiques en matière d'investissements ferroviaires ou routiers à réaliser, et d'évaluer la réactivité du transport de marchandises d'un axe de transport à la croissance industrielle et aux modifications de la division spatiale des activités.

La définition du potentiel de transport sur l'axe rhodanien Lyon-Avignon est effectuée de façon relativement sommaire du fait de l'absence d'information en termes de chaîne logistique du transport national de marchandises. Les données statistiques sur lesquelles le modèle est développé (cf. section IV) ne fournissent que les régions de chargement et de déchargement de la marchandise, le mode de transport utilisé et la nature du fret en grandes catégories N.S.T. de produits. A partir de ces informations, une sélection des flux passant par l'axe Lyon-Avignon a été réalisée en fonction de la position des régions d'origine et de destination des marchandises par rapport à l'axe considéré, de la connaissance des infrastructures routières et ferroviaires existantes, d'études sur la structure du trafic sur le réseau routier national et de comptages autoroutiers (Cros et Dumartin, 1995 ; SETRA, DTT et Direction des routes, 1992 ; Rambeau, 1999) et enfin d'estimations de temps et de coûts de transport comparés des liaisons interrégionales à l'aide du logiciel " Autoroute Express ".

Du fait de la difficulté à définir avec certitude le potentiel de transport de l'axe, nous avons retenu deux fourchettes du potentiel de transport sur l'axe. Une fourchette haute comprend les origines-destinations interrégionales dont les transports de marchandises ont une probabilité élevée de passage (passage certain) comme très faible (passage incertain). Une fourchette basse ne comprend que les flux certains de passer par ce tronçon. Les liaisons interrégionales retenues sont présentées dans le tableau suivant, avec les deux sens de circulation et les deux niveaux de probabilité de passage distingués.

Tableau XIII-4. Sélection des flux interrégionaux passant par l'axe Lyon-Avignon

	NPDC	PICA	IDF	CENT	HANO	BANO	BRET	PALO	POCH	LIMO	AQUI	MIPY	CHAR	LORR	ALSA	FRCO	BOUR	AUVE	RHAL	LARO	PACA
NPDC																				XX	XX
PICA																				XX	XX
IDF																				XX	XX
CENT																				X	X
HANO																				XX	XX
BANO																				XX	XX
BRET																				X	X
PALO																				X	X
POCH																				X	X
LIMO																				X	X
AQUI																					
MIPY													X	X	X	X	X		X		
CHAR												X								XX	XX
LORR												X								XX	XX
ALSA												X								XX	XX
FRCO												X								XX	XX
BOUR												X								XX	XX
AUVE																				X	X
RHAL												X								XX	XX
LARO	XX	XX	XX	X	XX	XX	X	X	X	X			XX	XX	XX	XX	XX	X	XX		
PACA	XX	XX	XX	X	XX	XX	X	X	X	X			XX	XX	XX	XX	XX	X	XX		

X : passage incertain
XX : passage certain

Section XIV.

Les simulations à long terme du fret

Le modèle développé est un modèle de simulation c'est-à-dire qu'il fournit des estimations du fret sous différentes hypothèses de croissance économique et d'aménagement du territoire. Le modèle s'apparente en ce sens à un outil d'aide à la décision et non à un instrument de prévision de l'évolution future des transports de marchandises. Cette modélisation s'inscrit donc dans un cadre prospectif et en cela elle ne fournit que des estimations du fret en fonction d'hypothèses posées sur l'évolution des variables intégrées dans le modèle et de l'hypothèse *ceteris paribus* pour les variables non considérées dans le modèle.

Les prévisions et simulations à l'horizon 2015 sont présentées en comparaison avec la période d'observation 1975-1994 et de façon préférentielle avec les valeurs estimées par le modèle pour l'année 1993. Le choix relatif à des données estimées de la période d'observation tient à la volonté de considérer les tendances issues du modèle nécessairement moins fluctuantes et d'écarter ainsi les fluctuations d'échantillonnage des données observées obtenues par enquête. Le choix relatif à l'année 1993 s'explique par le lissage des séries chronologiques lors de la construction du modèle qui écarte de fait la dernière année, 1994, des séries explicatives utilisées pour les ajustements.

XIV-1. La sensibilité du fret à la croissance industrielle

Les volumes simulés à l'horizon 2015 sont exprimés en tonnes transportées et en tonnes-kilomètres parcourues. Les simulations des tonnages transportés reposent sur la relation économétrique entre les variations du tonnage interrégional ou intrarégional et la production industrielle nationale.

XIV-1-1. La réactivité des tonnages transportés intra- et interrégionaux

Les simulations des tonnages intra-, interrégionaux et nationaux ont été déclinées selon un éventail étendu d'hypothèses de croissance industrielle. L'objectif est de mettre en évidence les caractéristiques de la sensibilité des tonnages aux évolutions fortes ou faibles, positives ou négatives, de la croissance industrielle.

Tableau XIV-1. Simulations des tonnages globaux transportés de 1993 à 2015

		Taux de croissance moyen annuel de la production industrielle nationale					
Millions de tonnes	1993 Estimé	IPI= -1%/an	IPI= 0%/an	IPI= 1%/an	IPI= 2%/an	IPI= 3%/an	IPI= 4%/an
Tonnage interrégional	337,9	296	341,7	413,7	528,4	713	1011,5
Evolution 1993-2015		-12,4%	1,11%	22,4%	56,4%	111%	199,4%
Taux moyen annuel		-0,60%	0,05%	0,92%	2,05%	3,45%	5,11%
Tonnage intrarégional	1121,5	265,3	523,5	1011,3	1915	3558,3	6495,5
Evolution 1993-2015		-76,4%	-53,3%	-9,8%	70,7%	217,3%	479,2%
Taux moyen annuel		-6,34%	-3,40%	-0,47%	2,46%	5,39%	8,31%
Tonnage national	1459,4	561,3	865	1425	2443	4271	7507
Evolution 1993-2015		-61,5%	-40,7%	-2,4%	67,4%	192,7%	414,4%
Taux moyen annuel		-4,25%	-2,35%	-0,11%	2,37%	5,00%	7,73%

Les simulations des tonnages globaux transportés font ressortir la sensibilité variable du tonnage aux variations de la conjoncture industrielle, mise en évidence lors de l'analyse rétrospective des variations des tonnages entre 1975 et 1994. Deux points importants dans ces simulations méritent d'être soulignés. On remarque en premier lieu que la réactivité des tonnages globaux transportés diffère selon l'intensité et le sens des variations de la conjoncture industrielle (croissance, stabilité, décroissance). Ces sensibilités variables se différencient ensuite selon l'échelle géographique de transport. En effet, le tonnage intrarégional est beaucoup plus réactif aux variations de la production industrielle que le fret interrégional, que ce soit aux variations négatives ou aux fortes variations positives. A l'opposé, le tonnage interrégional est globalement moins réactif mais est plus sensible aux variations positives qu'aux variations négatives.

La différence de sensibilité entre le fret interrégional et le fret intrarégional s'explique par la construction même des deux modèles de génération des tonnages. Pour l'interrégional, la période de calibrage du modèle est plus longue que celle retenue pour l'intrarégional. Dans le premier cas, elle porte sur 20 ans (1975-1994) alors que dans le second cas, elle est restreinte à 15 ans (1981-1994). Cette différence a des conséquences importantes du fait que la sous-période 1981-1994 présente une élasticité des tonnages à la production industrielle plus élevée en raison d'une plus grande stabilité économique alors que la période globale intègre les années de forte crise économique et de chocs pétroliers des années 70.

La prise en compte d'une période plus courte pour le fret intrarégional s'explique par la difficile retranscription économétrique des fortes variations du tonnage des matériaux de construction liées elles-mêmes aux fluctuations du secteur de l'immobilier dans les années 70.

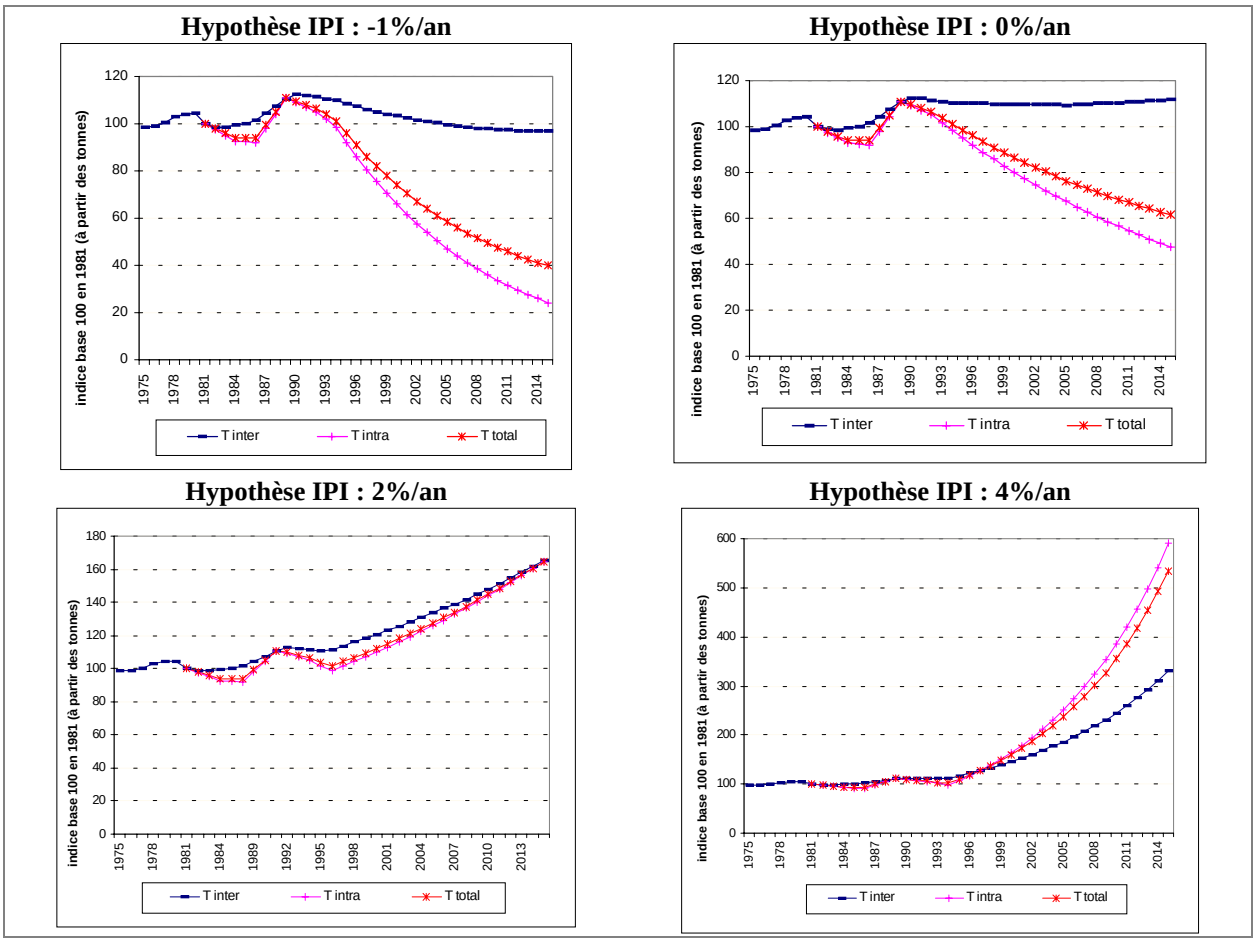
Les sensibilités différentes des tonnages aux variations, positives ou négatives, fortes ou faibles, de la production industrielle, tiennent aussi à la prise en compte d'élasticités variables dans le modèle de génération. Ces élasticités permettent de rendre compte des phénomènes de contraction du tonnage transporté lors de périodes de stagnation de la production industrielle (1981), et de forte dynamique du fret lors de croissances économiques et industrielles soutenues (1988).

Les simulations du tonnage national combinent donc la forte sensibilité du fret intrarégional et la moindre réactivité du fret interrégional. En période de récession économique importante, le

tonnage intrarégional présente une décroissance nettement plus prononcée que le tonnage interrégional.

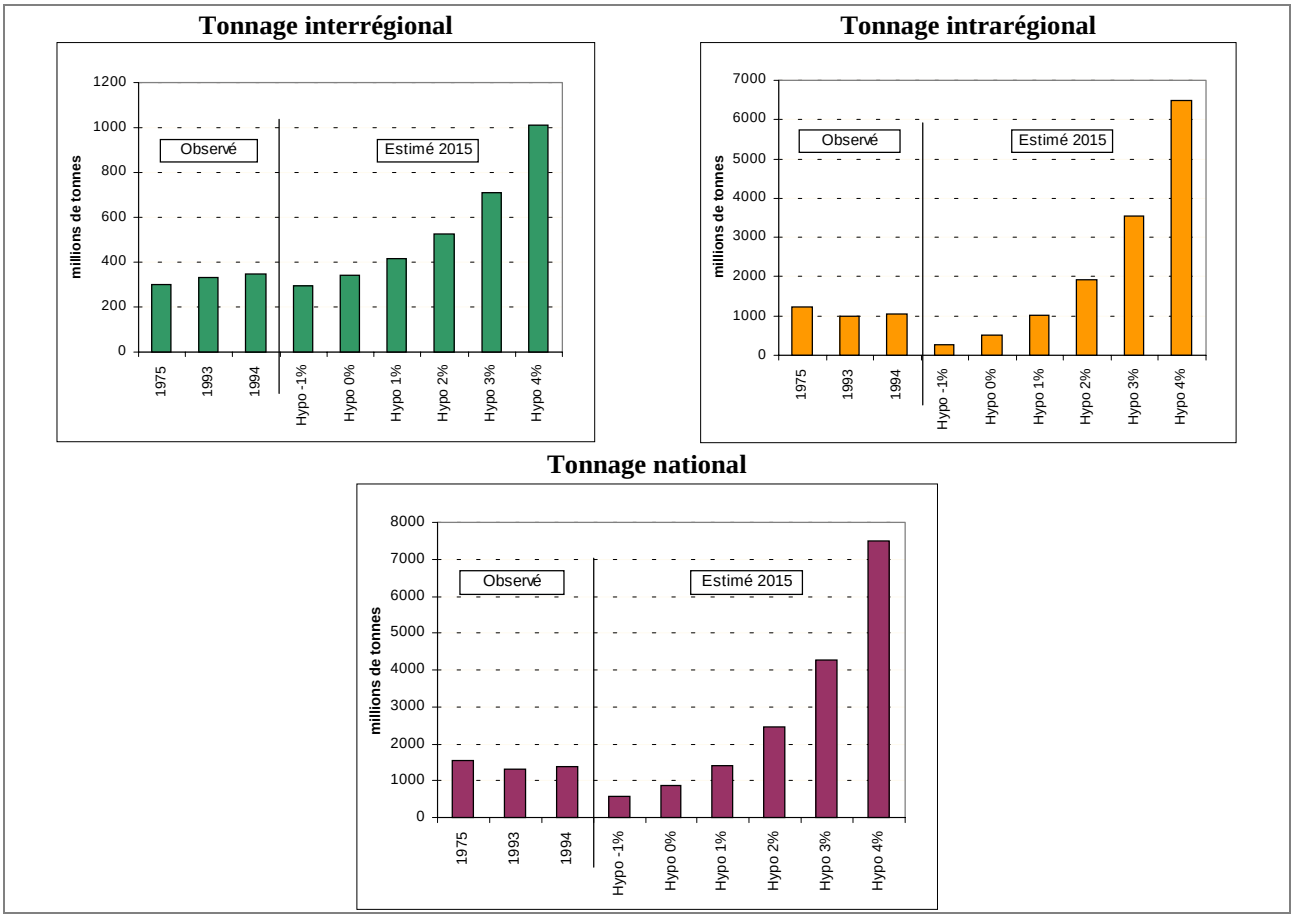
Cette décroissance est encore présente pour le tonnage intrarégional, même si fortement amortie, dans une hypothèse de stagnation de la production industrielle, alors que le fret interrégional connaît déjà une légère tendance à la hausse. Dans une hypothèse de croissance médiane, les tonnages des deux échelles géographiques de trafic connaissent une croissance relativement proche et dans une hypothèse de forte croissance économique, le tonnage intrarégional croît plus fortement que le tonnage interrégional.

Graphique XIV-1. Variations annuelles des tonnages transportés selon diverses hypothèses contrastées de croissance industrielle entre 1995 et 2015



Quelle que soit l'échelle géographique, les variations du tonnage liées à une évolution positive de la conjoncture industrielle sont nettement plus importantes que celles en réponse à des variations négatives. Cette différence est davantage prononcée en intrarégional qu'en interrégional (cf. graphique XIV-2). Les hausses des volumes transportés sont plus que proportionnelles aux écarts des taux de croissance moyens annuels de l'indice de production industrielle.

Graphique XIV-2. Observations passées et estimations 2015 comparées des tonnages



XIV-1-2. La réactivité du tonnage-kilométrique

Les simulations du tonnage-kilométrique sont fonction de deux composantes : les simulations du tonnage et les projections de la distance moyenne de transport en charge. En raison de la relative stabilité des distances moyennes de transport dans le modèle, les simulations des tonnes-kilomètres ne présentent pas des évolutions très différentes de celles des tonnes transportées.

Les simulations des tonnes-kilomètres en fonction d'hypothèses contrastées de croissance de la production industrielle soulignent de nouveau la réactivité plus forte du fret intrarégional. Cette réactivité est plus prononcée que celle relative aux tonnes transportées pour les variations positives de la conjoncture industrielle et moins marquée pour les variations négatives. La situation opposée se produit pour le fret interrégional, à savoir plus de sensibilité des tonnes-kilomètres que des tonnes aux variations négatives et moins de sensibilité aux variations positives.

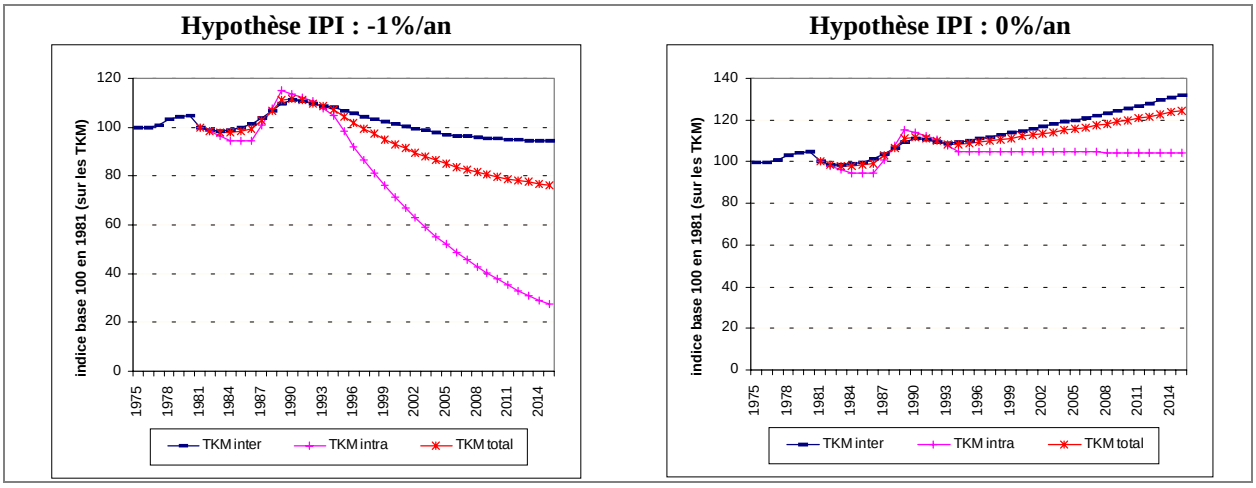
Tableau XIV-2. Simulations des tonnes-kilomètres globales réalisées de 1994 à 2015

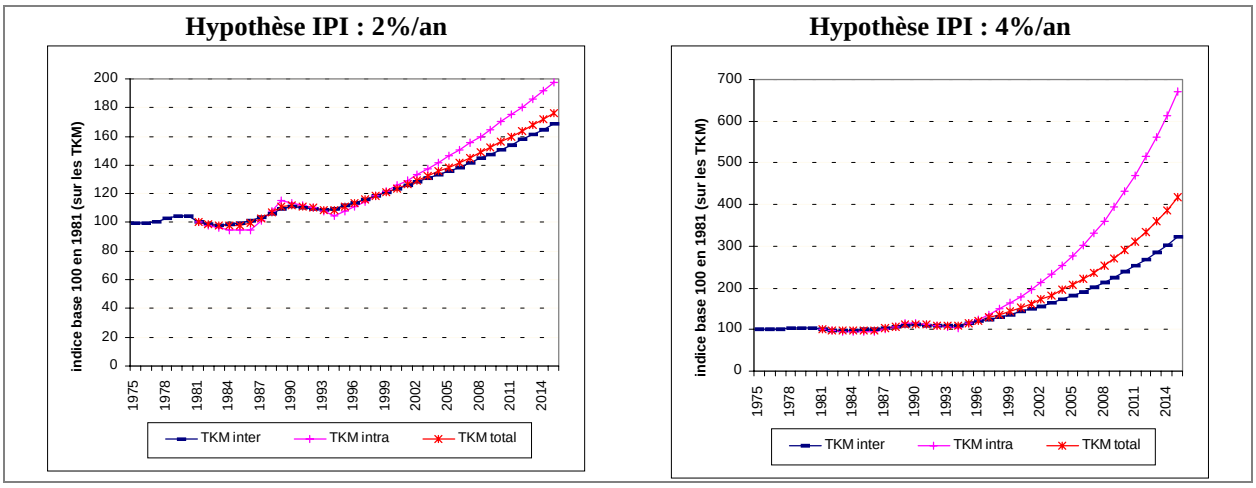
Données redressées		**Taux de croissance moyen annuel de la production industrielle nationale**					
Milliards de TKM	Estimé 1993	IPI= -1%/an	IPI= 0%/an	IPI= 1%/an	IPI= 2%/an	IPI= 3%/an	IPI= 4%/an
TKM interrégional	97,09	82,99	95,79	115,98	148,16	199,91	283,62
Evolution 1993-2015		-14,5%	-1,3%	19,5%	52,6%	105,9%	192,1%
Taux moyen annuel		-0,71%	-0,06%	0,81%	1,94%	3,34%	4,99%
TKM intrarégional	35,38	9,00	17,77	34,32	64,99	120,76	220,44
Evolution 1993-2015		-74,6%	-49,8%	-3%	83,7%	241,3%	523,1%
Taux moyen annuel		-6,03%	-3,08%	-0,14%	2,80%	5,74%	8,67%
TKM national	132,47	91,99	113,56	150,30	213,15	320,66	504,05
Evolution 1993-2015		-30,6%	-14,3%	13,5%	60,9%	142,1%	280,5%
Taux moyen annuel		-1,64%	-0,70%	0,58%	2,19%	4,10%	6,26%

Les simulations des tonnes-kilomètres se distinguent donc des simulations des tonnages transportés par l'impact plus important de la réactivité du fret interrégional dans le potentiel national. Ceci s'explique par des distances moyennes de transport plus élevées en interrégional qu'en intrarégional. Ainsi, les fortes variations des tonnes-kilomètres intrarégionales sont nettement amorties par celles des tonnes-kilomètres interrégionales. Les variations globales des tonnes-kilomètres nationales sont donc moins sensibles aux fluctuations de la conjoncture industrielle que ne le sont les variations du tonnage, en raison de l'effet stabilisant des distances moyennes de transport.

A la différence des tonnages transportés, les tonnes-kilomètres présentent davantage une tendance à la hausse du fait de l'allongement ou de la stabilisation de la majorité des distances moyennes de transport. Le jeu des distances rend le tonnage-kilométrique moins sensible aux variations basses ou négatives de la conjoncture économique, ce qui ressort particulièrement dans l'hypothèse de stabilité de la production industrielle (tcma IPI : 0%). Le tonnage-kilométrique interrégional connaît une hausse et le tonnage-kilométrique intrarégional une légère tendance à la baisse, alors que sous cette même hypothèse de croissance industrielle, les tonnages respectifs présentaient une stabilisation et une décroissance assez marquée.

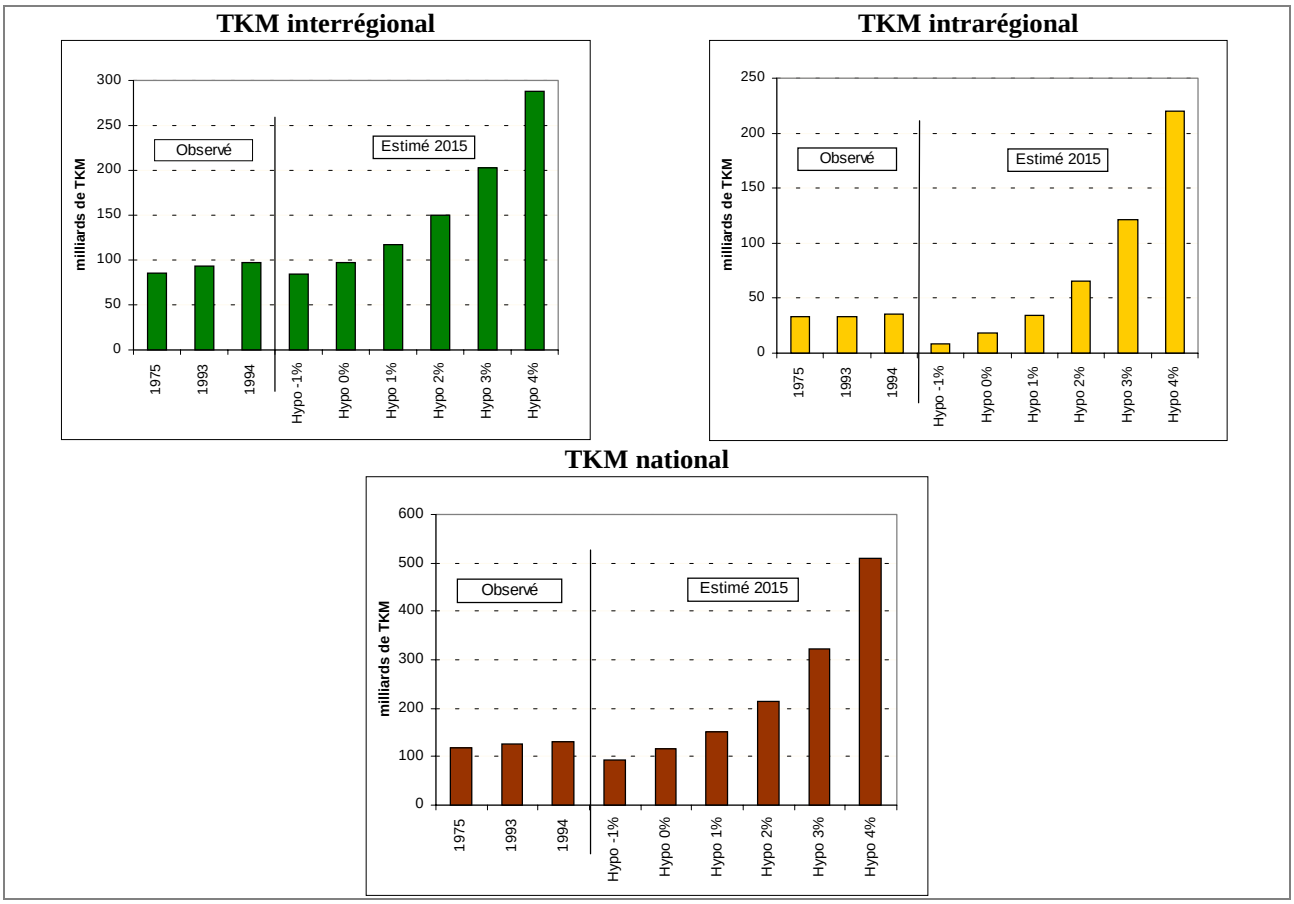
Graphique XIV-3. Variations annuelles des tonnes-kilomètres selon diverses hypothèses contrastées de croissance industrielle entre 1995 et 2015





L'élasticité du tonnage-kilométrique à la conjoncture industrielle est toujours plus élevée pour l'intrarégional que pour l'interrégional. Ces élasticités sont toutefois plus faibles que celles relatives aux tonnes transportées.

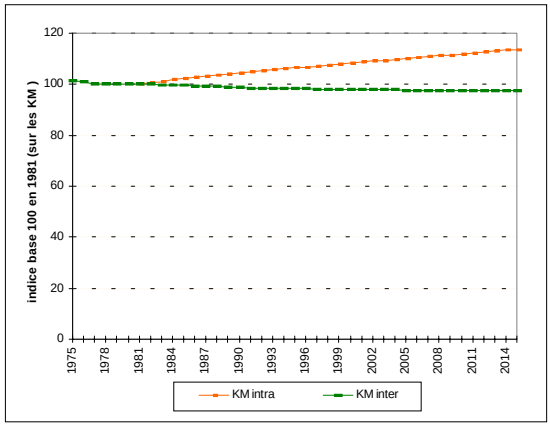
Graphique XIV-4. Observations et estimations 2015 comparées des tonnes-kilomètres globales



L'élasticité différente des tonnes-kilomètres par rapport aux tonnes transportées tient à aux évolutions différenciées des distances moyennes de transport interrégionale et intrarégionale. Ces deux distances connaissent en effet à long terme des tendances d'évolution opposées. Alors que la distance interrégionale présente une légère tendance à la baisse (-0,4% de 1993 à 2015 dans

l'hypothèse médiane de croissance industrielle), la distance intrarégionale présente une inflexion plus marquée à la hausse (7,6% sur la même période).

Graphique XIV-5. Simulations des distances moyennes intra et interrégionales (hypo. IPI : 2%)



Les tendances de long terme des deux catégories de distances d'une part, et les variations des tonnages pour chaque échelle de transport selon les hypothèses de croissance industrielle d'autre part, conduisent à des évolutions variables de la distance moyenne de transport à l'échelle nationale selon l'hypothèse de croissance économique. En effet, la distance moyenne nationale est calculée comme une moyenne pondérée par les tonnages transportés à chaque échelle géographique :

$$KM_{nat} = \sum_{g=1}^{2} \left(\frac{T_g}{T_{nat}} \times KM_g\right) \qquad \text{[XIV-1]}$$

avec g : échelle géographique de transport (1 : intrarégional / 2 : interrégional)

Ainsi, les variations négatives de la production industrielle, qui conduisent à de fortes diminutions du tonnage intrarégional par rapport au tonnage interrégional, font augmenter la distance moyenne nationale de transport. A l'opposé, les variations positives de la production industrielle, qui impliquent une hausse plus importante du tonnage intrarégional que du tonnage interrégional, aboutissent à une baisse de la distance moyenne nationale.

Tableau XIV- 3. Estimation de la distance moyenne nationale de transport

Distance en kilomètres	Estimé 1993	IPI= -1%/an	IPI= 0%/an	IPI= 1%/an	IPI= 2%/an	IPI= 3%/an	IPI= 4%/an
KM national	90,4	166	132,8	106,6	88	75,7	67,7
Evolution 1993-2015		83,6%	47%	18%	-2,7%	-16,3%	-25%
Taux moyen annuel		2,8%	1,76%	0,75%	-0,12%	-0,8%	-1,31%

L'évolution de la distance moyenne nationale s'explique plus finement par des différences de structures sectorielles entre les tonnages intra- et interrégionaux. Le tonnage intrarégional est fortement composé de catégories de produits transportées sur courtes distances (matériaux de construction), alors que le tonnage interrégional comprend davantage de catégories de produits transportées sur plus longues distances (produits manufacturés, biens agro-alimentaires).

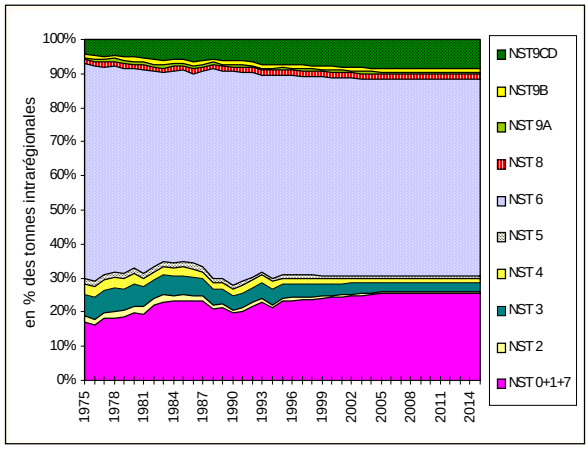
Une hausse importante des tonnages intrarégionaux affecte alors la distance moyenne de transport par un accroissement de la part des matériaux de construction transportés sur de courtes distances (tendance opposée en cas de baisse). Dans le cas du fret interrégional, l'effet tient surtout

à l'évolution des parts relatives des produits agro-alimentaires et produits manufacturés transportés sur plus longues distances.

XIV-1-3. Le jeu des structures sectorielles

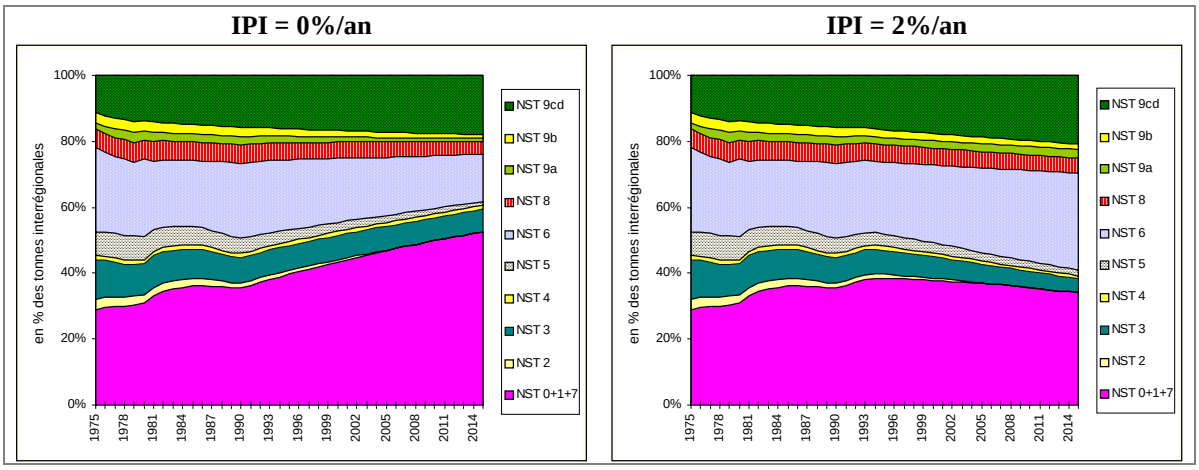
La structure sectorielle du fret intrarégional ne connaît pas de modification dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional en fonction des hypothèses de croissance industrielle car la génération n'est pas réalisée suivant une approche désagrégée par produit. Une projection de la tendance passée sur une période limitée (10 ans), suivie d'une stabilité à plus long terme se présente comme une des approximations possibles. Pour le fret interrégional, en revanche, la génération des tonnages étant effectuée par catégorie de produits, la structure sectorielle évolue avec les variations de la conjoncture industrielle.

Graphique XIV-6. Projection de la tendance d'évolution de la structure sectorielle du tonnage intrarégional global



En interrégional, les variations de la conjoncture industrielle modifient la structure sectorielle du fret en favorisant le transport des matériaux de construction lors des phases de croissance économique et en laissant une place grandissante aux biens agricoles et agro-alimentaires dans les phases de récession économique.

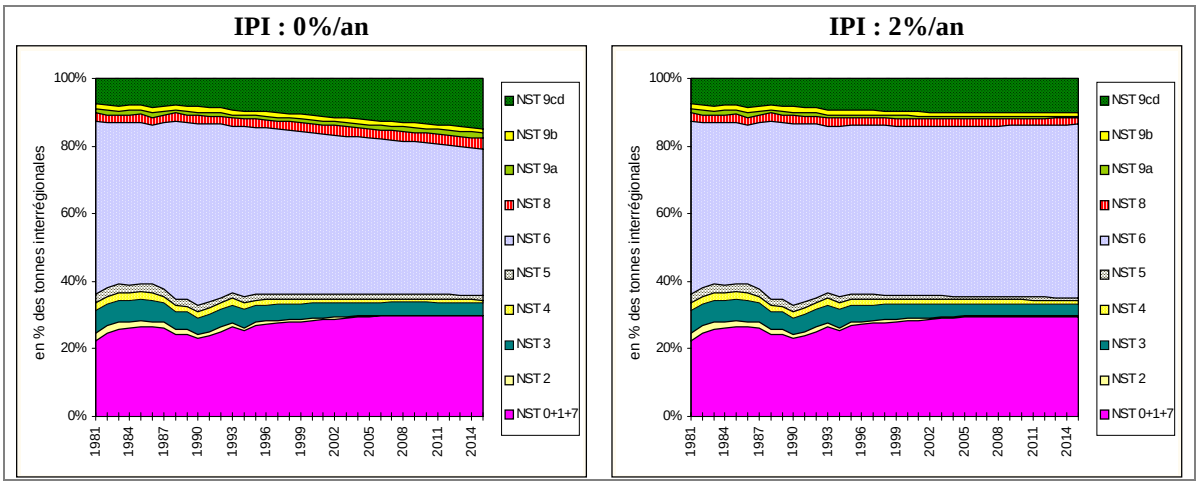
Graphique XIV-7. Evolution de la structure sectorielle du tonnage interrégional selon les hypothèses de croissance industrielle



Les variations positives de la production industrielle vont donc de pair avec un dynamisme du secteur du bâtiment et de la construction et conduisent à des hausses des tonnages de matériaux de construction. En revanche, une période de récession économique s'accompagne fréquemment d'une stabilisation voire d'une dégradation du marché de l'immobilier et de la construction mais n'affecte pas ou peu le marché des biens agricoles et agro-alimentaires davantage lié à la croissance démographique.

A l'échelle nationale, les modifications de la structure sectorielle sont fortement amorties par la stabilité de la structure du fret intrarégional. Toutefois, on peut observer une légère tendance à la contraction des matériaux de construction dans l'hypothèse de stabilité de la production industrielle à long terme, expliquant la tendance à la hausse de la distance moyenne nationale de transport.

Graphique XIV-8. Evolution de la structure sectorielle du tonnage national en fonction d'hypothèses contrastées de la croissance industrielle



XIV-2. Les tendances lourdes projetées à long terme

Le modèle QuinQuin Fret Multirégional comprend des sous modules de prévision à long terme pour certaines modalités déterminantes de l'évolution des transports interrégional et intrarégional de marchandises. L'évolution à long terme de ces modalités a fait l'objet de prévisions temporelles en raison de tendances lourdes d'évolution, voire d'inertie, au cours de la période d'observation. Les deux principales modalités faisant l'objet de prévision sont les contributions relatives régionales au fret généré et la structure spatiale des échanges interrégionaux exprimée par les coefficients structurels.

XIV-2-1. Les contributions relatives régionales

Sur la période de prévision, les évolutions des contributions régionales, dans le fret local, exporté et importé, présentent dans l'ensemble peu de modifications, révélant ainsi la lenteur des mutations de l'organisation spatiale du système productif.

L'évolution des contributions régionales à l'importation présente une forte stabilité à long terme. En effet, les contributions régionales sont très largement dominées par la région Ile de

France qui, depuis le début des années 80, représente 16% des volumes importés. Les évolutions concernant les autres régions n'entraînent pas de modification dans la structure des contributions régionales même si quelques rares inflexions sont significatives. Les contributions à l'importation s'améliorent sensiblement pour les régions Languedoc-Roussillon, Pays de Loire et PACA et se détériorent pour les régions Limousin et Champagne-Ardenne (cf. tableau XIV-4 et graphique XI-27). Ces prévisions à long terme des contributions régionales aux volumes importés n'établissent pas de structuration spatiale particulière. Les régions du Sud-Est améliorent toutefois sensiblement plus leurs contributions que les régions du Nord-Est (cf. figure XIV-1).

Tableau XIV-4. Parts régionales à l'importation à l'horizon 2015 – hypothèse " fil de l'eau "

régions	TCG 2015/93(estimé)	Parts relatives 2015	régions	TCG 2015/93(estimé)	Parts relatives 2015
NPDC	-4,1%	5,3%	MIPY	0,9%	3,8%
PICA	-5,1%	5,7%	CHAR	-23,7%	3,0%
IDF	-6,1%	15,1%	LORR	0,9%	4,5%
CENT	0,9%	5,3%	ALSA	0,9%	2,8%
HANO	0,9%	6,0%	FRCO	-5,1%	2,1%
BANO	0,9%	2,7%	BOUR	0,9%	4,5%
BRET	0,9%	4,6%	AUVE	0,9%	2,5%
PALO	15,6%	6,9%	RHAL	0,9%	7,2%
POCH	0,9%	3,3%	LARO	24,6%	4,1%
LIMO	-15,7%	1,3%	PACA	9,0%	5,2%
AQUI	4,8%	4,2%	Ecart-type		0,0276

A l'exportation, l'évolution des contributions régionales connaît davantage de fluctuations. Les principaux changements proviennent des régions Haute-Normandie, Nord-Pas-de-Calais, Aquitaine et Lorraine qui connaissent une chute de leurs contributions, et des régions Centre, Bretagne, Pays de Loire et Rhône-Alpes qui au contraire les augmentent. Les principales régions génératrices de fret à l'émission diffèrent ainsi entre 1993/1994 et 2015, puisque, à cet horizon, les régions Centre, Pays et Loire et Rhône-Alpes dépassent la région Haute-Normandie (cf. tableau XIV-5 et graphique XI-29). La structure spatiale de l'évolution de ces contributions fait ressortir le dynamisme à l'exportation des régions du Nord-Ouest et de la région Centre (cf. figure XIV-1).

Tableau XIV-5. Parts régionales à l'exportation à l'horizon 2015 – hypothèse " fil de l'eau "

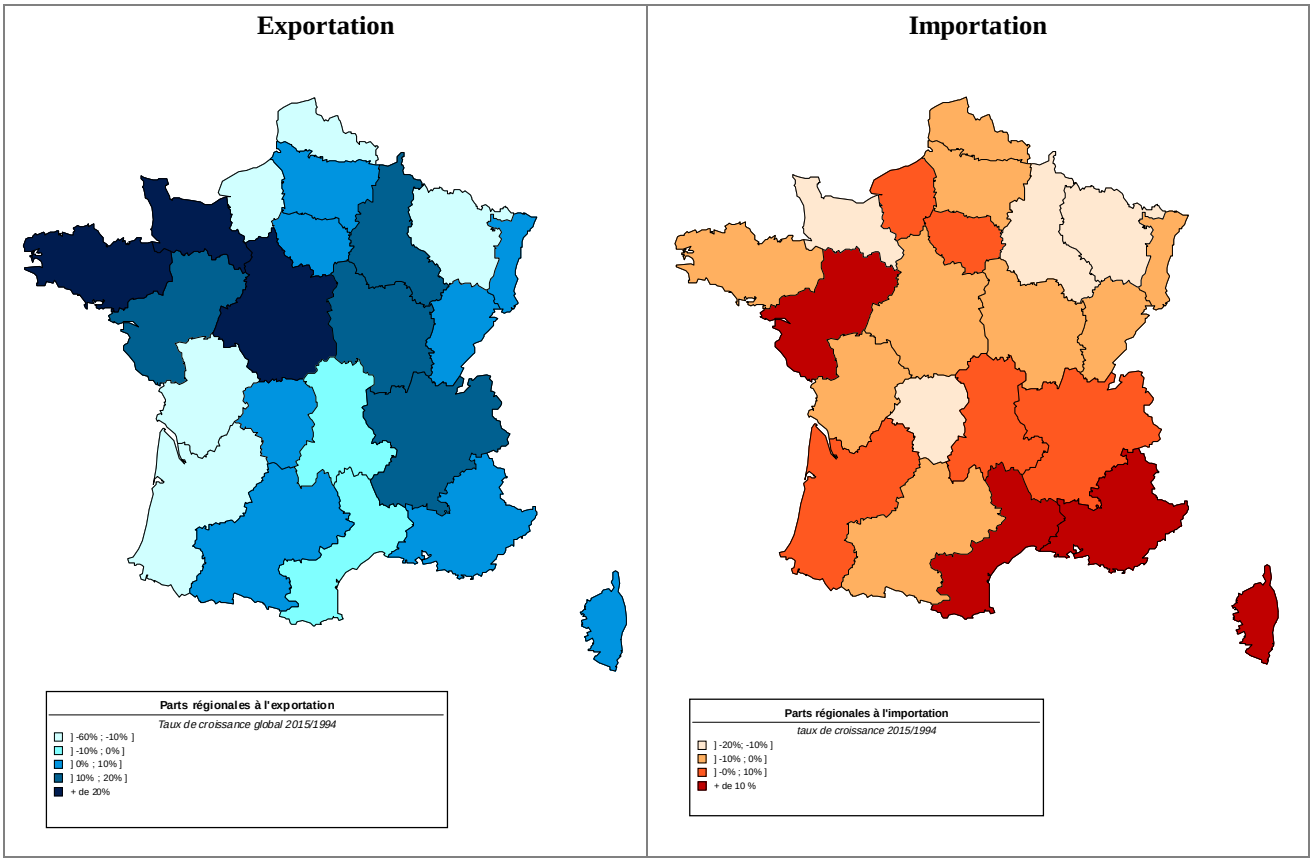
régions	TCG 2015/93(estimé)	Parts relatives 2015	régions	TCG 2015/93(estimé)	Parts relatives 2015
NPDC	-25,8%	4,7%	MIPY	-0,4%	3,0%
PICA	-0,4%	6,6%	CHAR	4,6%	4,3%
IDF	-0,4%	10,0%	LORR	-59,8%	2,2%
CENT	33,9%	8,4%	ALSA	2,4%	4,3%
HANO	-18,9%	6,6%	FRCO	22,0%	2,3%
BANO	21,2%	3,2%	BOUR	8,0%	4,5%
BRET	40,8%	5,0%	AUVE	-0,4%	2,0%
PALO	18,4%	7,9%	RHAL	19,1%	7,8%
POCH	-0,4%	4,2%	LARO	-0,4%	3,7%
LIMO	-0,4%	0,9%	PACA	-0,4%	5,7%
AQUI	-28,3%	2,5%	Ecart-type		0,023

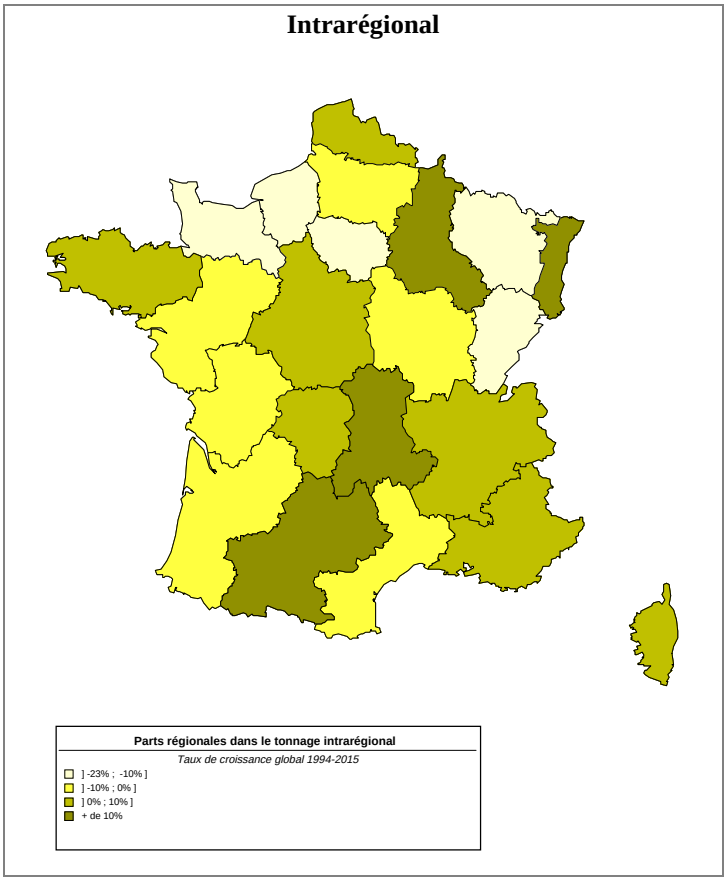
En intrarégional, l'importance relative des régions reste globalement inchangée à long terme. Seules 3 régions présentent des évolutions marquées, Lorraine qui réduit sa contribution relative et Alsace et Midi-Pyrénées qui l'augmentent (cf. tableau XIV-6 et graphique XI-31). La structuration spatiale de ces évolutions met en évidence une dégradation des contributions sensiblement plus prononcée dans les régions de la moitié nord du territoire (cf. figure XIV-1).

Tableau XIV-6. Parts régionales à l'intrarégional à l'horizon 2015 – hypothèse " fil de l'eau "

régions	TCG 2015/93(estimé)	Parts relatives 2015	régions	TCG 2015/93(estimé)	Parts relatives 2015
NPDC	-2,8%	7,0%	MIPY	23,6%	6,4%
PICA	-2,8%	3,2%	CHAR	-2,8%	3,7%
IDF	-2,8%	10,1%	LORR	-20,1%	4,4%
CENT	6,2%	4,7%	ALSA	28,8%	4,9%
HANO	-2,8%	3,1%	FRCO	-2,8%	1,9%
BANO	-2,8%	2,1%	BOUR	-2,8%	3,0%
BRET	2,5%	6,9%	AUVE	-2,8%	2,3%
PALO	3,9%	6,4%	RHAL	-2,8%	10,2%
POCH	-2,8%	2,9%	LARO	-2,8%	3,7%
LIMO	-2,8%	1,0%	PACA	-2,8%	7,0%
AQUI	-2,8%	5,1%	Ecart-type		0,0247

Figures XIV-1. Evolution à long terme des contributions régionales - scénario " fil de l'eau "





Les évolutions des différentes contributions régionales font ressortir des profils régionaux divergents en termes de participation au transport national de marchandises. Sur le long terme, certaines régions deviennent de plus en plus dynamiques au regard de l'évolution de leurs contributions relatives dans le transport de marchandises alors que d'autres sont de moins en moins impliquées. Ainsi, les régions Rhône-Alpes et PACA présentent une amélioration nette (intrarégional, importation et exportation) de leurs contributions relatives au fret généré alors que d'autres régions présentent une détérioration importante, en particulier la région Lorraine. D'autres régions n'améliorent qu'une partie de leurs contributions mais avec une forte intensité, notamment Bretagne, Centre et Pays de Loire du point de vue des exportations.

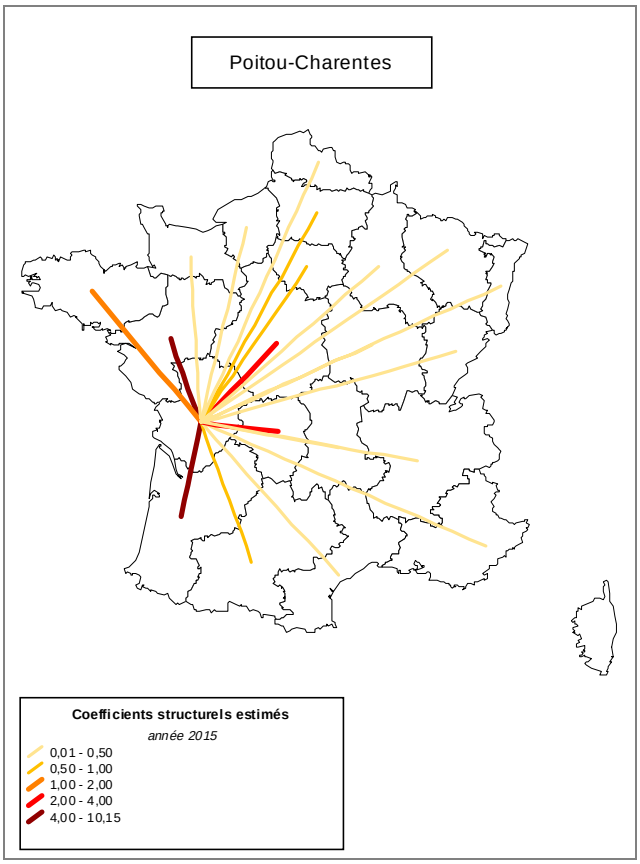
XIV-2-2. La structure spatiale des échanges interrégionaux

L'évolution à long terme de la structure spatiale des échanges interrégionaux de marchandises est modélisée par la projection des tendances passées des coefficients structurels de chaque liaison interrégionale. Cette structure spatiale présentant une forte inertie sur la période 1975-1994 ne connaît pas, de façon logique, de transformation importante en prévision à long terme.

A. La structure spatiale du fret interrégional à l'horizon 2015

Les traits caractéristiques de la structure spatiale observée en 1994 sont inchangés en 2015. Les liaisons structurelles restent privilégiées entre les régions contiguës ou proches géographiquement et désavantagées entre les régions éloignées. La structure spatiale à l'horizon 2015 est similaire à celle de 1994 pour la majorité des régions (cf. annexes IX-1 et XIV-1).

Figure XIV-2. Structure spatiale estimée du fret émis par Poitou-Charentes en 2015

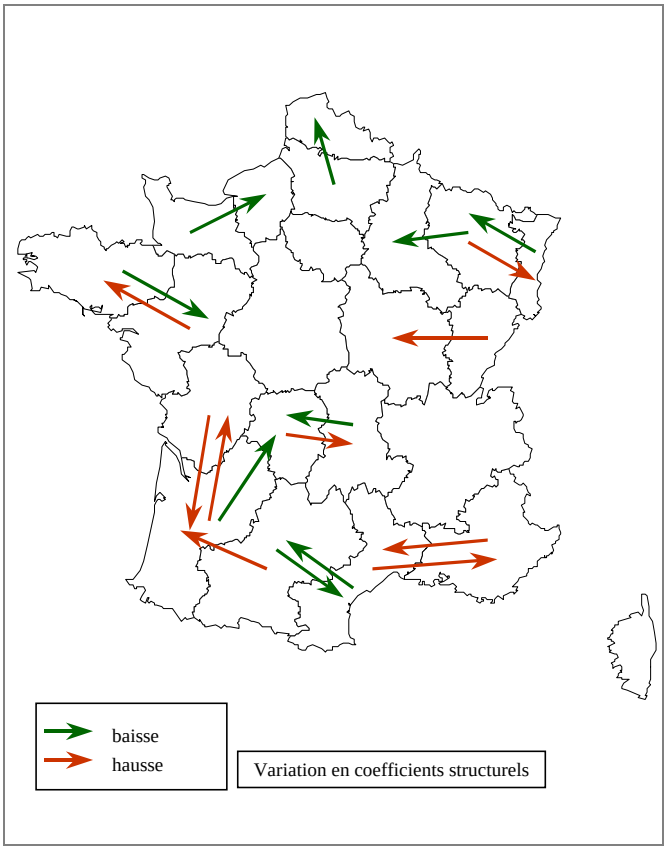


La structure spatiale des échanges de certaines régions se modifie sensiblement par rapport à 1994 du fait de la projection temporelle des inflexions marquées entre 1975 et 1994 d'un petit nombre de liaisons interrégionales. On observe deux phénomènes d'évolution structurelle[1], déjà soulignés lors de l'analyse descriptive. Les liaisons structurelles désavantagées présentent davantage d'inflexions à la hausse alors que les baisses affectent sensiblement plus les liaisons privilégiées.

Si l'on compare les niveaux structurels obtenus en 2015 avec ceux de 1994, on observe une stabilité pour 89% des liaisons, une hausse pour 6% et une baisse pour 5%. Pour les seules liaisons privilégiées, une stabilité par rapport à 1994 est observée dans 65% des cas, alors que les tendances à la hausse et à la baisse représentent chacune environ 17%. Pour les liaisons désavantagées, la stabilité est prépondérante (97% des liaisons), les hausses ne concernent en effet que 7 liaisons interrégionales et les baisses une seule liaison. En affinant l'analyse, on constate que les plus fortes liaisons privilégiées (CS≥4) présentent davantage de tendances à la baisse qu'à la hausse : 52% des liaisons diminuent en niveau absolu alors que 45% augmentent et 3% se maintiennent. La figure suivante présente les plus fortes hausses et baisses des principales liaisons privilégiées entre 1994 et 2015 (cf. compléments en annexe XIV-2).

[1] L'évolution de l'intensité structurelle est toujours considérée en termes d'écarts absolus des niveaux des coefficients structurels. La stabilité structurelle est considérée pour des variations inférieures à 0,5 en valeur absolue, une hausse pour une variation supérieure à 0,5 et une baisse pour une variation inférieure à –0,5.

Figure XIV-3. Variations absolues estimées des principales liaisons privilégiées (1994-2015)

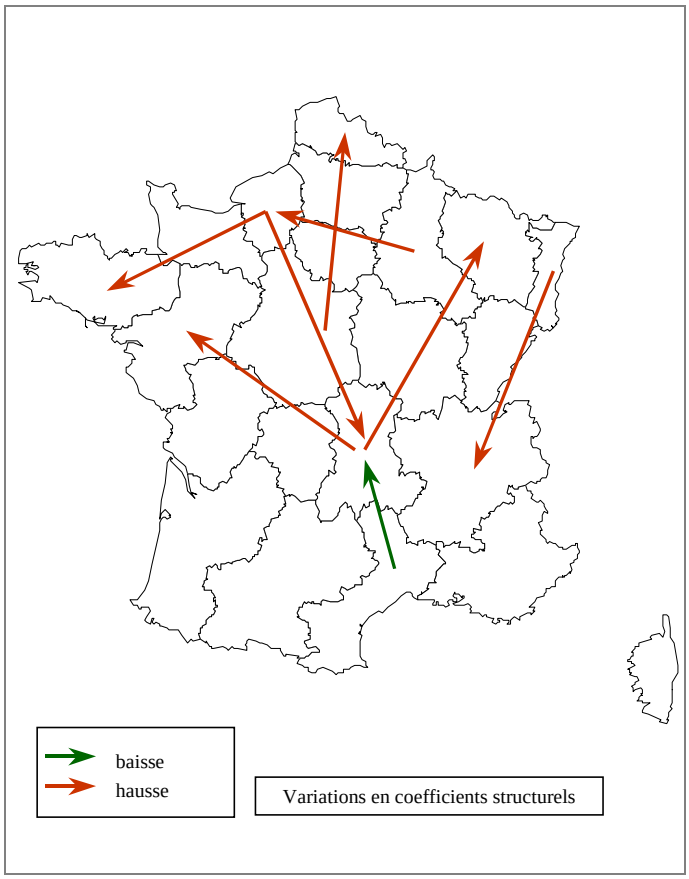


Cette carte est intéressante par les mutations en termes d'interrelations interrégionales qu'elle met en évidence. Le rapprochement des régions Languedoc-Roussillon et PACA ressort très nettement. Celui-ci se fait au détriment de la relation Languedoc-Roussillon - Midi-Pyrénées qui décline, même si elle reste structurellement privilégiée. D'autre part, des déséquilibres s'accentuent dans certaines interrelations, les effets structurels favorisant davantage un sens de la liaison d'échange. C'est le cas des liaisons Limousin - Auvergne, Alsace - Lorraine et Bretagne - Pays de Loire.

Pour les liaisons désavantagées, les variations sont nettement moins nombreuses et moins intenses. La seule dégradation sensible, supérieure à 0,5 en niveau de coefficient structurel, concerne la liaison Languedoc-Roussillon - Auvergne qui, équilibrée en 1994, devient très fortement désavantagée à l'horizon 2015 (CS=0,29). Cette liaison est intéressante car elle fait exception par sa faible intensité structurelle à l'échange entre deux régions limitrophes. Plusieurs facteurs spatiaux et socio-économiques peuvent en partie expliquer cette situation. D'une part, la frontière commune des deux régions est relativement courte et n'est pas traversée par des infrastructures routières, autoroutières ou ferroviaires structurantes. D'autre part, les deux régions ne comptent pas parmi les plus fortes activités économiques du territoire, et en particulier les départements limitrophes de ces deux régions, la Lozère d'un côté et le Cantal et la Haute-Loire de l'autre. Cette liaison structurelle relativement atypique fournit donc un enseignement essentiel : la proximité spatiale exprimée par une contiguïté interrégionale stricte ne constitue pas un facteur structurel suffisant pour bâtir et consolider des relations d'échange importantes et durables. On peut ainsi transposer à la proximité spatiale les limites soulignées pour les effets structurants des

infrastructures, c'est-à-dire que la présence d'une forte contiguïté spatiale est une condition permissive aux échanges physiques de marchandises mais non suffisante.

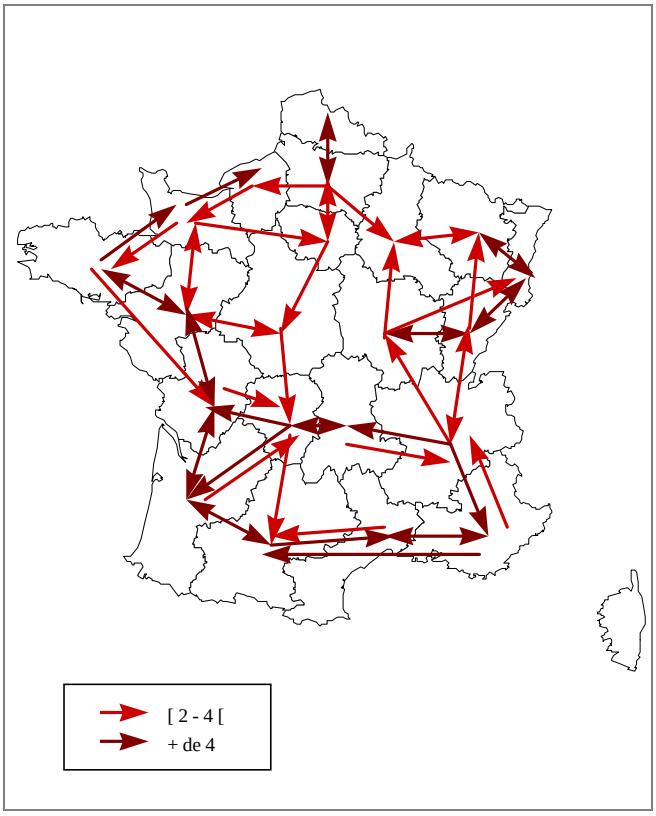
Figure XIV-4. Principales variations absolues des liaisons désavantagées (1994-2015)



Pour terminer l'exposé de la structure spatiale des échanges interrégionaux à l'horizon 2015, nous pouvons remarquer que la structure d'ensemble (figure XIV-15) établie par les principales liaisons structurelles privilégiées (CS>=2) présente peu de différences avec la structure observée en 1994 (cf. figure IX-1).

Le principal point commun de ces deux structures est l'absence de liaisons structurelles fortes au centre du territoire. En effet, aucune liaison entre les régions Centre et Bourgogne ou Centre et Auvergne ne s'est établie en prévision de long terme. Le relatif vide au centre du territoire est donc appelé à perdurer avec un prolongement des tendances passées des effets structurels à l'échange. Quelques modifications notables peuvent par ailleurs être relevées. La première est que les effets structurels positifs s'intensifient pour les échanges vers le Limousin. La deuxième est que davantage de liaisons entre régions non limitrophes présentent des avantages structurels élevés : Bourgogne vers Alsace, Bretagne vers Poitou-Charentes et Basse-Normandie vers Ile de France.

Figure XIV-5. Structure spatiale d'ensemble à travers les principales liaisons structurelles privilégiées à l'horizon 2015

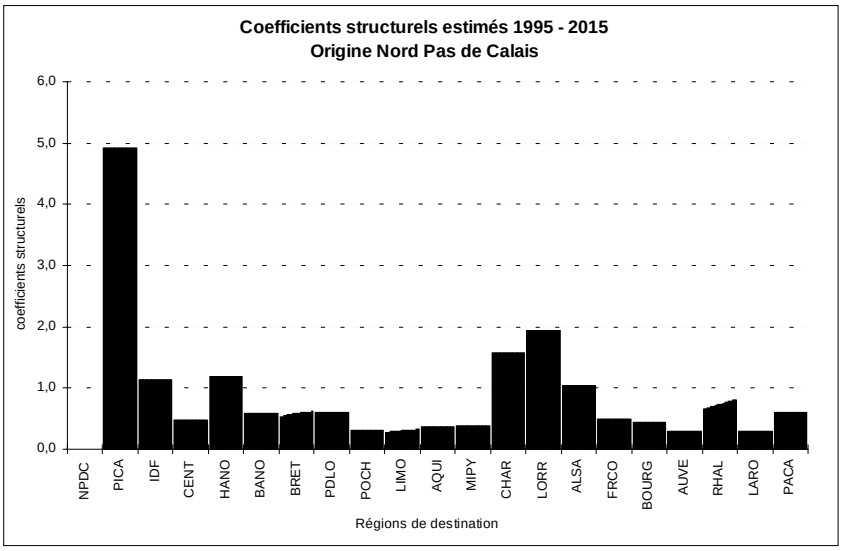


B. La dynamique structurelle jusqu'en 2015

La tendance d'évolution sur la période 1995-2015 présente une forte stabilité du fait que la majorité des coefficients structurels sont projetés à la valeur moyenne des observations. Les caractéristiques de la prévision des coefficients structurels sont identiques à celles constatées au cours de la période 1975-1994 : les principaux partenaires privilégiés maintiennent ou renforcent leur position dans la majorité des cas et les liaisons désavantagées évoluent peu en écarts absolus.

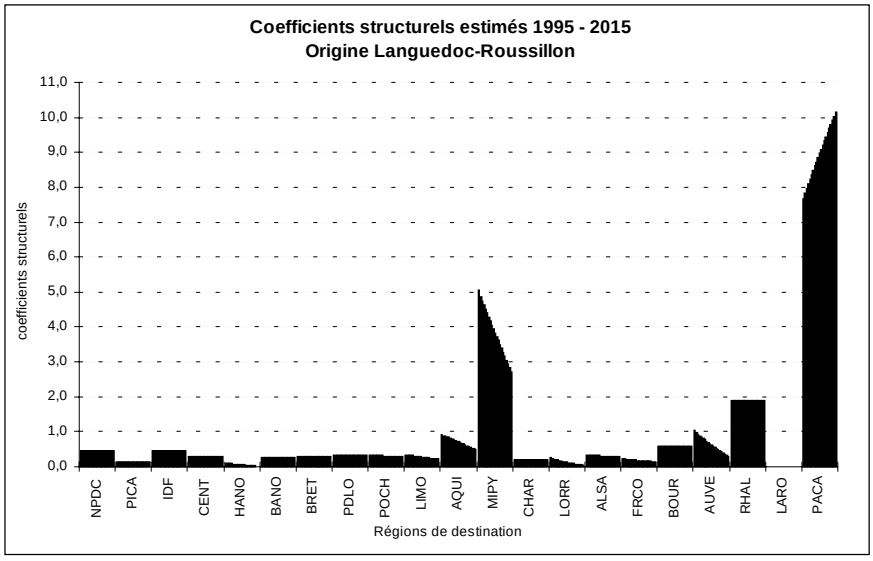
Les quelques inflexions marquées entre 1975 et 1994 et projetées à long terme modifient légèrement la structure spatiale des échanges de certaines régions, mais sans les transformer radicalement. La comparaison des variations annuelles entre 1995 et 2015 des échanges structurels de chaque région d'origine (graphique XIV-9 et annexe XIV-3) avec celles observées entre 1975 et 1994, (annexe X-1), fait clairement ressortir l'inertie temporelle de la structure spatiale des échanges interrégionaux.

Graphique XIV-9. Evolution de la structure spatiale de 1995 à 2015



Les quelques modifications de structure portent principalement sur des basculements entre les premières régions partenaires à l'échange du point de vue structurel, comme conséquence d'une détérioration de l'intensité structurelle de certaines liaisons privilégiées. Les quelques exemples suivants illustrent cette tendance. Pour l'Ile de France, les facteurs structurels sont plus particulièrement favorables aux échanges vers la région Centre du fait d'une dégradation de la liaison avec la région Haute-Normandie (annexe XIV-3). Pour la Basse-Normandie, la première région structurellement privilégiée devient la Haute-Normandie et non plus les Pays de Loire. Pour la Franche-Comté, les effets structurels favorisent particulièrement les échanges vers la région Bourgogne. Pour la région Languedoc-Roussillon (graphique XIV-10), les positions relatives des deux régions structurellement les mieux placées pour les échanges de marchandises s'intervertissent, la région PACA présentant les meilleurs liens structurels alors que Midi-Pyrénées affaiblit les siens. Pour la région PACA, la dimension structurelle se modifie par un renforcement des liens avec Languedoc-Roussillon et surtout avec Midi-Pyrénées qui devient une destination structurellement plus intéressante pour le fret que Rhône-Alpes.

Graphique XIV-10. Evolution estimée de la structure spatiale de Languedoc-Roussillon



Au global, la dimension structurelle des échanges tend à favoriser, suivant une projection des tendances passées, de plus en plus de liaisons d'échange interrégionales[2]. Cela signifie qu'en moyenne sur l'ensemble des liaisons, les volumes sont plus importants qu'ils ne l'auraient été sans le jeu de facteurs structurels spatiaux ou socio-économiques.

Cette amélioration de l'intensité structurelle moyenne cache toutefois des disparités accrues, exprimées par une variance plus élevée des niveaux des coefficients structurels (2,26 en 2015 contre 2,10 en 1994). Certaines liaisons structurelles s'intensifient donc fortement alors que d'autres s'affaiblissent aussi de façon significative, même si la majorité des liaisons connaît une relative stabilité temporelle. La hausse moyenne de la dimension structurelle du fret provient essentiellement des liaisons privilégiées les moins intenses, c'est-à-dire ayant un coefficient structurel inférieur à 4 alors que les liaisons structurelles fortement élevées (CS>4) diminuent en nombre et en intensité. Cette tendance déjà observée au cours de la période 1975-1994 traduit un effet favorable de moins en moins marquant de la proximité spatiale sur les échanges de marchandises, autrement dit un rôle moins discriminant de la séparation spatiale. Les facteurs socio-économiques tendraient ainsi à jouer un rôle plus important dans la distribution spatiale du fret, ce qui corrobore la tendance à la radialisation de l'organisation logistique de la distribution du fret, qui tend à abaisser l'effet de la contrainte de séparation spatiale et donc la part du coût de transport dans le coût global des produits transportés.

XIV-3. Les simulations du fret multirégional dans des scénarios contrastés de croissance économique

Les simulations du modèle QuinQuin Fret Multirégional sont présentées à travers 5 scénarios contrastés à l'horizon 2015 en fonction d'hypothèses de croissance économique ou d'aménagement du territoire. Parmi ces scénarios, 3 sont des scénarios de " sensibilité économique " se rapportant uniquement à des hypothèses différenciées de croissance à long terme de la production industrielle.

Le scénario du" fil de l'eau " repose sur une hypothèse de continuité de la conjoncture industrielle par rapport à la période d'observation 1975-1994. Le taux de croissance moyen annuel de l'indice de production industrielle est de 2%.

Le scénario de " crise", est fondé sur une hypothèse de récession économique avec une contraction forte et durable de la production industrielle à long terme. Le taux de croissance moyen annuel de l'indice de production industrielle est posé à 0%.

Le scénario de " croissance retrouvée " est fondé sur une hypothèse d'amélioration durable et soutenue de la conjoncture industrielle par rapport à la période d'observation 1975-1994. Le taux de croissance moyen annuel de l'indice de production industrielle est fixé à 4%.

[2] La moyenne des coefficients structurels estimés en 2015 est supérieure à celle obtenue en 1994 : 1,085 contre 1,07.

XIV-3-1. Le potentiel transportable global estimé

L'évolution du potentiel transportable global, exprimé en tonnes transportées puis en tonnes-kilomètres réalisées, varie en fonction des hypothèses de croissance de la production industrielle. Dans les scénarios d'aménagement du territoire, cette évolution sera identique à celle du scénario " fil de l'eau ".

La sensibilité des tonnages et des tonnages-kilométriques aux différentes hypothèses de croissance industrielle a été présentée précédemment pour une palette relativement large d'hypothèses de croissance. Nous rappelons dans le tableau suivant les simulations relatives aux 3 hypothèses de croissance retenues dans les scénarios de sensibilité économique.

Tableau XIV-7. Le potentiel transportable global simulé (1993 – 2015)

	1993	**Horizon 2015**		
	Estimé	**Crise**	**Fil de l'eau**	**Croissance retrouvée**
NATIONAL				
Tonnes (Mio)	1459,4	865	2443	7507
Evolution 1993-2015		*-40,7%*	*67,4%*	*414,4%*
Taux moyen annuel		*-2,35%*	*2,37%*	*7,73%*
Coefficient multiplicateur		*0,6*	*1,7*	*5,1*
Tonnes-kilomètres (Mds)	132,47	113,56	213,15	504,05
Evolution 1993-2015		*-14,3%*	*60,9%*	*280,5%*
Taux moyen annuel		*-0,70%*	*2,19%*	*6,26%*
Coefficient multiplicateur		*0,9*	*1,6*	*3,8*
INTERREGIONAL				
Tonnes (Mio)	337,9	341,7	528,4	1011,5
Evolution 1993-2015		*1,11%*	*56,4%*	*199,4%*
Taux moyen annuel		*0,05%*	*2,05%*	*5,11%*
Coefficient multiplicateur		*1,0*	*1,6*	*3,0*
Tonnes-kilomètres (Mds)	97,09	95,79	148,16	283,62
Evolution 1993-2015		*-1,3%*	*52,6%*	*192,1%*
Taux moyen annuel		*-0,06%*	*1,94%*	*4,99%*
Coefficient multiplicateur		*1,0*	*1,5*	*2,9*
INTRAREGIONAL				
Tonnes (Mio)	1121,5	523,5	1915	6495,5
Evolution 1993-2015		-53,3%	70,7%	479,2%
Taux moyen annuel		-3,40%	2,46%	8,31%
Coefficient multiplicateur		*0,5*	*1,7*	*5,8*
Tonnes-kilomètres (Mds)	35,38	17,8	65	220,4
Evolution 1993-2015		*-49,8%*	*83,7%*	*523,1%*
Taux moyen annuel		*-3,08*	*2,80%*	*8,67%*
Coefficient multiplicateur		*0,5*	*1,8*	*6,2*

Pour le fret interrégional, la modélisation selon une approche sectorielle permet de simuler le potentiel transportable dans chaque catégorie de produits en fonction des différentes hypothèses de croissance économique.

Tableau XIV-8. Décomposition sectorielle des tonnages interrégionaux estimés

	1993		**Horizon 2015**					
Catégories de produits	**Estimé**		**Crise**		**Fil de l'eau**		**Croissance retrouvée**	
Millions de tonnes / part %	T		T	%	T	%	T	%
Produits agricoles, agro-alimentaires et engrais	128,89	38,1%	179,71	*52,6%*	179,71	*34,0%*	179,71	*17,8%*
Combustibles minéraux solides	4,61	1,4%	0,00	*0,0%*	0	*0,0%*	0,00	*0,0%*
Produits pétroliers	25,66	7,6%	23,00	*6,7%*	23,00	*4,4%*	23,00	*2,3%*
Minerais et déchets pour la métallurgie	4,15	1,2%	4,15	*1,2%*	4,15	*0,8%*	4,15	*0,4%*
Produits métallurgiques	13,20	3,9%	4,14	*1,2%*	9,64	*1,8%*	21,74	*2,1%*
Minéraux bruts et matériaux de construction	74,50	22%	48,87	*14,3%*	155,62	*29,5%*	466,41	*46,1%*
Produits chimiques	17,96	5,3%	13,66	*4,0%*	23,71	*4,5%*	40,63	*4,0%*
Matériel de transport	6,98	2,1%	2,73	*0,8%*	13,98	*2,6%*	63,93	*6,3%*
Machines et articles métalliques	8,12	2,4%	4,27	*1,2%*	8,55	*1,6%*	16,79	*1,7%*
Verre et articles manufacturés	53,81	15,9%	61,13	*17,9%*	110,07	*20,8%*	195,18	*19,3%*
Total	337,89		341,65	*100%*	528,43	*100%*	1011,53	*100%*

L'évolution des tonnages des catégories de produits indifférentes à la conjoncture industrielle (produits agricoles, agro-alimentaires et engrais, combustibles minéraux solides, déchets pour la métallurgie) ou dont l'évolution n'est pas seulement liée à la croissance industrielle nationale (produits pétroliers), est modélisée selon une projection de la tendance passée de long terme. De ce fait, ces produits ne présentent pas d'estimation différenciée en fonction d'hypothèses de croissance économique. Les autres catégories en revanche présentent une sensibilité propre à la conjoncture industrielle, plus ou moins intense selon la catégorie de produits. Ainsi, avec une croissance forte de la production industrielle, les matériaux de construction et le matériel de transport prennent une part grandissante dans les tonnages transportés en interrégional.

Les sensibilités propres à chaque catégorie, fonction d'élasticités variables vis à vis de la croissance industrielle, diffèrent donc assez fortement. On retrouve ces sensibilités différenciées à travers les taux de croissance moyens annuels des tonnages des différentes catégories de produits.

Tableau XIV-9. Variations moyennes annuelles des tonnages interrégionaux par catégorie de produits vis à vis de la croissance industrielle

	Crise	**Fil de l'eau**	**Croissance retrouvée**
Variation annuelle moyenne	tcma	tcma	tcma
Produits agricoles, agro-alimentaires et engrais	1,52%	1,52%	1,52%
Combustibles minéraux solides	-100%	-100%	-100%
Produits pétroliers	-0,5%	-0,5%	-0,5%
Minerais et déchets pour la métallurgie	0%	0%	0%
Produits métallurgiques	-5,13%	-1,42%	2,29%
Minéraux bruts et matériaux de construction	-1,90%	3,40%	8,69%
Produits chimiques	-1,24%	1,27%	3,78%
Matériel de transport	-4,18%	3,21%	10,59%
Machines et articles métalliques	-2,89%	0,23%	3,35%
Verre et articles manufacturés	0,58%	3,31%	6,03%

Le matériel de transport ressort comme la catégorie ayant la plus forte sensibilité à la conjoncture industrielle, en phase de croissance comme de crise. Les matériaux de construction affichent également une sensibilité élevée, en particulier pour les variations positives de la production industrielle. Les produits métallurgiques se distinguent par une sensibilité marquée à la baisse, qui se maintient même dans une hypothèse de croissance modérée de la production industrielle. Enfin, les articles manufacturés présentent une sensibilité relativement élevée pour une variation positive et une rigidité à la baisse. Les évolutions respectives des tonnages transportés dans chaque catégorie de produits, selon les 3 scénarios de sensibilité économique, sont présentées en annexe XIV-4.

XIV-3-2. La place des régions dans le fret généré

La combinaison des simulations du tonnage globalement transporté en fonction des hypothèses de croissance industrielle d'une part et les prévisions à long terme des contributions relatives régionales d'autre part, fournit les estimations des tonnages régionaux générés à l'horizon 2015.

A. En tonnes générées

La projection à long terme des parts régionales et l'estimation des tonnages globaux sous l'hypothèse de croissance économique " fil de l'eau " conduisent à une structuration régionale déséquilibrée des lieux de génération. Ce déséquilibre est invariant en écarts relatifs quelle que soit l'hypothèse de croissance économique puisque les parts relatives des régions sont invariantes avec une estimation par prévision. En écarts absolus, le déséquilibre croît avec l'intensité de la croissance économique. Concernant les tonnages régionaux exportés, la hiérarchie régionale connaît des transformations significatives à long terme.

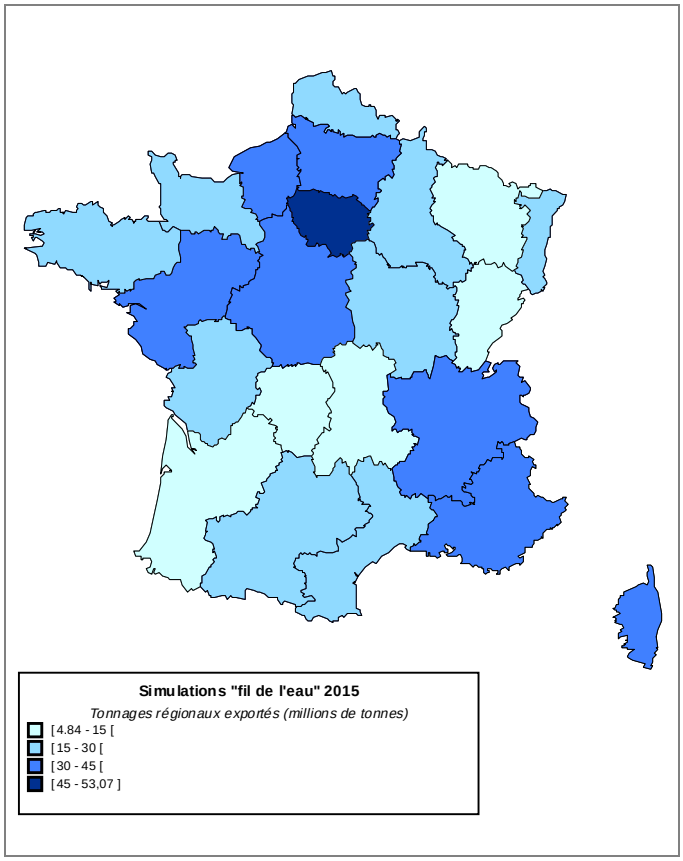
Tableau XIV-10. Simulations des tonnages régionaux exportés en 2015 dans les trois scénarios de sensibilité économique

	1993	Horizon 2015					
Exportations	**Estimé**	**Crise**		**Fil de l'eau**		**Croissance retrouvée**	
Millions de tonnes /*tcma*	T	T	*tcma*	T	*tcma*	T	*tcma*
NPDC	21,47	16,20	*-1,27%*	25,06	*0,71%*	47,98	*3,72%*
PICA	22,48	22,64	*0,03%*	35,01	*2,04%*	67,02	*5,09%*
IDF	34,07	34,31	*0,03%*	53,07	*2,04%*	101,58	*5,09%*
CENT	21,04	28,57	*1,40%*	44,18	*3,43%*	84,58	*6,53%*
HANO	27,58	22,46	*-0,93%*	34,74	*1,05%*	66,50	*4,08%*
BANO	8,73	10,79	*0,97%*	16,69	*2,99%*	31,94	*6,07%*
BRET	11,87	17,12	*1,68%*	26,48	*3,72%*	50,69	*6,82%*
PALO	22,70	26,96	*0,78%*	41,70	*2,80%*	79,82	*5,88%*
POCH	14,37	14,48	*0,03%*	22,39	*2,04%*	42,86	*5,09%*
LIMO	3,11	3,13	*0,03%*	4,84	*2,04%*	9,26	*5,09%*
AQUI	11,87	8,70	*-1,40%*	13,46	*0,57%*	25,76	*3,58%*
MIPY	10,20	10,27	*0,03%*	15,88	*2,04%*	30,41	*5,09%*
CHAR	13,95	14,83	*0,28%*	22,94	*2,29%*	43,91	*5,35%*
LORR	18,60	7,57	*-4,00%*	11,71	*-2,08%*	22,41	*0,85%*
ALSA	13,87	14,56	*0,22%*	22,52	*2,23%*	43,12	*5,29%*
FRCO	6,55	7,84	*0,82%*	12,13	*2,84%*	23,22	*5,92%*
BOUR	14,07	15,38	*0,40%*	23,79	*2,42%*	45,53	*5,48%*
AUVE	6,95	7,00	*0,03%*	10,82	*2,04%*	20,72	*5,09%*
RHAL	22,60	26,80	*0,78%*	41,45	*2,80%*	79,34	*5,88%*
LARO	12,46	12,55	*0,03%*	19,42	*2,04%*	37,17	*5,09%*
PACA	19,35	19,49	*0,03%*	30,15	*2,04%*	57,71	*5,09%*

Si l'Ile de France est logiquement la principale région exportatrice en tonnes transportée, la hiérarchie se modifie pour les autres régions. Les deux régions suivantes, Centre et les Pays de Loire, devancent en effet Rhône-Alpes et Haute-Normandie, mais aussi Picardie et Nord-Pas-de-Calais. A long terme, on observe donc des changements significatifs dans les principales régions exportatrices. Le bas de la hiérarchie n'est en revanche pratiquement pas modifié, les régions rurales demeurant les moins exportatrices (Limousin, Auvergne). Deux évolutions très marquées et divergentes sont également à souligner. La Bretagne se positionne comme une région qui compte dans le marché national des biens marchands, dépassant la région Nord-Pas-de-Calais. En revanche, la région Lorraine pèse de moins en moins en volume exporté en national, affichant un niveau d'exportation parmi les plus bas, équivalent à celui de l'Auvergne[3].

[3] Les variations annuelles estimées et simulées des tonnages exportés sont représentées en annexe XIV-5.

Figure XIV-6. Volumes régionaux exportés en 2015 dans le scénario “ fil de l’eau ”



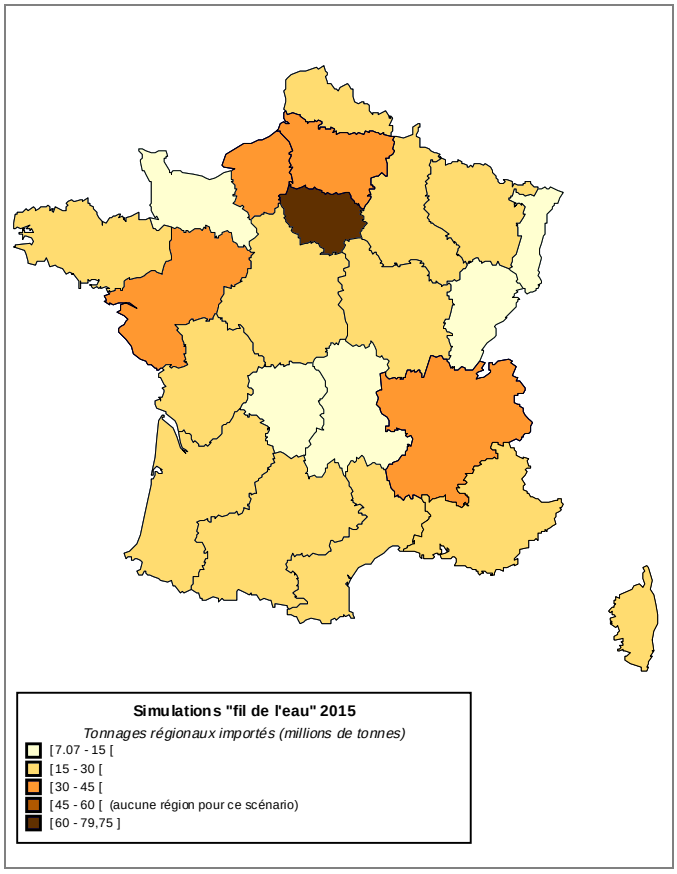
Du coté des importations, la hiérarchie régionale connaît peu de changements à long terme. Les plus fortes régions importatrices demeurent l’Ile de France et Rhône-Alpes, tout comme les plus faibles restent la Franche-Comté et le Limousin. Quelques légers changements affectent les autres régions, avec un accroissement moins important pour la région Picardie en comparaison des régions Pays de Loire et Haute-Normandie. Dans le même ordre d’idée, on peut remarquer que la région Champagne-Ardenne tend à devenir moins importatrice par rapport à l’estimation 1993 dans le scénario “ crise ” et que la région Languedoc-Roussillon enregistre au contraire la plus forte hausse[4] à l’importation dans les scénarios “ fil de l’eau ” et “ croissance retrouvée ”.

[4] Les variations annuelles relatives aux tonnages importés sont regroupées en annexe XIV-6.

Tableau XIV-11. Simulations des tonnages régionaux importés en 2015 dans les trois scénarios de sensibilité économique

	1993	Horizon 2015					
Importations	**Estimé**	**Crise**		**Fil de l'eau**		**Croissance retrouvée**	
Millions de tonnes /*tcma*	T	T	*tcma*	T	*tcma*	T	*tcma*
NPDC	18,53	17,96	*-0,14%*	27,78	*1,86%*	53,18	*4,91%*
PICA	20,66	19,64	*-0,23%*	30,38	*1,77%*	58,15	*4,82%*
IDF	53,12	51,56	*-0,14%*	79,75	*1,86%*	152,66	*4,92%*
CENT	17,87	18,17	*0,07%*	28,10	*2,08%*	53,79	*5,14%*
HANO	20,00	20,33	*0,07%*	31,44	*2,08%*	60,19	*5,14%*
BANO	9,00	9,14	*0,07%*	14,14	*2,08%*	27,07	*5,14%*
BRET	15,57	15,83	*0,07%*	24,49	*2,08%*	46,87	*5,14%*
PALO	20,32	23,62	*0,69%*	36,54	*2,70%*	69,94	*5,78%*
POCH	11,22	11,40	*0,07%*	17,64	*2,08%*	33,77	*5,14%*
LIMO	5,43	4,57	*-0,78%*	7,07	*1,20%*	13,53	*4,23%*
AQUI	13,46	14,20	*0,24%*	21,96	*2,25%*	42,04	*5,31%*
MIPY	12,69	12,90	*0,07%*	19,95	*2,08%*	38,18	*5,14%*
CHAR	13,26	10,19	*-1,19%*	15,76	*0,79%*	30,18	*3,81%*
LORR	14,99	15,24	*0,07%*	23,57	*2,08%*	45,12	*5,14%*
ALSA	9,30	9,46	*0,07%*	14,63	*2,08%*	28,00	*5,14%*
FRCO	7,58	7,23	*-0,21%*	11,18	*1,78%*	21,39	*4,83%*
BOUR	15,27	15,52	*0,07%*	24,01	*2,08%*	45,96	*5,14%*
AUVE	8,38	8,52	*0,07%*	13,18	*2,08%*	25,23	*5,14%*
RHAL	24,07	24,47	*0,07%*	37,85	*2,08%*	72,45	*5,14%*
LARO	11,12	13,96	*1,04%*	21,60	*3,06%*	41,34	*6,15%*
PACA	16,05	17,72	*0,45%*	27,41	*2,46%*	52,48	*5,53%*

Figure XIV-7. Volumes régionaux importés en 2015 dans le scénario " fil de l'eau "



A l'échelle intrarégionale, les positions régionales restent inchangées avec des volumes générés dominants par les principales régions économiques et démographiques (Ile de France et Rhône-Alpes) et les plus faibles volumes par les régions rurales (Limousin, Franche-Comté).

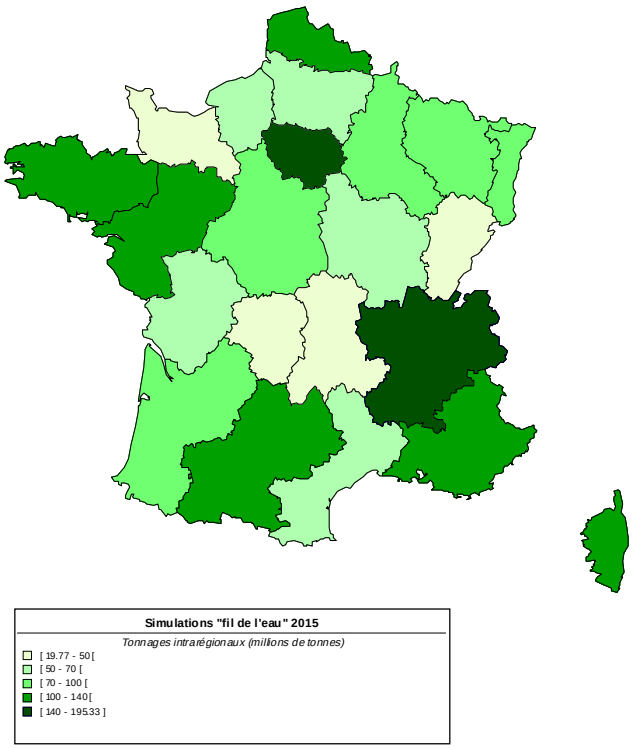
Tableau XIV-12. Simulations des tonnages intrarégionaux en 2015 dans les trois scénarios de sensibilité économique

	1993	**Horizon 2015**					
Intrarégional	**Estimé**	**Crise**		**Fil de l'eau**		**Croissance retrouvée**	
Millions de tonnes /*tcma*	T	T	*tcma*	T	*tcma*	T	*tcma*
NPDC	80,16	36,43	*-3,52%*	133,24	*2,34%*	451,93	*8,18%*
PICA	37,26	16,93	*-3,52%*	61,94	*2,34%*	210,09	*8,18%*
IDF	116,78	53,06	*-3,52%*	194,09	*2,34%*	658,36	*8,18%*
CENT	50,82	24,72	*-3,22%*	90,42	*2,65%*	306,69	*8,51%*
HANO	35,22	16,00	*-3,52%*	58,53	*2,34%*	198,54	*8,18%*
BANO	24,59	11,17	*-3,52%*	40,87	*2,34%*	138,62	*8,18%*
BRET	73,41	35,90	*-3,20%*	131,31	*2,68%*	445,42	*8,54%*
PALO	70,50	33,50	*-3,33%*	122,52	*2,54%*	415,60	*8,40%*
POCH	32,96	14,98	*-3,52%*	54,78	*2,34%*	185,81	*8,18%*
LIMO	11,89	5,40	*-3,52%*	19,77	*2,34%*	67,05	*8,18%*
AQUI	58,75	26,70	*-3,52%*	97,65	*2,34%*	331,21	*8,18%*
MIPY	57,96	33,49	*-2,46%*	122,49	*3,46%*	415,47	*9,37%*
CHAR	42,90	19,49	*-3,52%*	71,30	*2,34%*	241,84	*8,18%*
LORR	60,39	23,09	*-4,28%*	84,45	*1,54%*	286,47	*7,33%*
ALSA	43,91	25,43	*-2,45%*	93,03	*3,47%*	315,57	*9,38%*
FRCO	21,69	9,85	*-3,52%*	36,05	*2,34%*	122,27	*8,18%*
BOUR	34,88	15,85	*-3,52%*	57,98	*2,34%*	196,66	*8,18%*
AUVE	26,99	12,26	*-3,52%*	44,86	*2,34%*	152,15	*8,18%*
RHAL	117,52	53,40	*-3,52%*	195,33	*2,34%*	662,54	*8,18%*
LARO	42,11	19,13	*-3,52%*	69,99	*2,34%*	237,41	*8,18%*
PACA	80,85	36,74	*-3,52%*	134,38	*2,34%*	455,82	*8,18%*

Deux régions seulement présentent des évolutions marquées et divergentes conduisant à long terme à modifier leur position relative. La région Lorraine tout d'abord, connaît la plus faible croissance, ou la plus forte décroissance, en tonnage par rapport à 1993 et Midi-Pyrénées au contraire présente la plus forte croissance ou la plus faible décroissance selon les hypothèses économiques.[5].

[5] Les variations annuelles estimées des tonnages intrarégionaux sont représentées en annexe XIV-7.

Figure XIV-8. Volumes intrarégionaux en 2015 dans le scénario “ fil de l’eau ”



B. En tonnes-kilomètres parcourues

La répartition régionale des tonnes-kilomètres parcourues à l’horizon 2015 sous l’hypothèse d’évolution au “ fil de l’eau ”, en termes de croissance économique comme de politique d’aménagement du territoire, conduit à renforcer nettement les positions régionales déjà prédominantes, celle d’Ile de France en premier lieu puis celle de Rhône-Alpes.

A l’exportation, le poids prédominant de ces deux régions est bien consolidé. L’Ile de France et Rhône-Alpes assurent chacune un peu plus de 10% des tonnes-kilomètres parcourues à l’exportation. A l’importation, l’Ile de France affirme sa positon de première région importatrice largement devant l’ensemble des autres régions. En intrarégional, la position prédominante est tenue par Rhône-Alpes, qui devance plus largement l’Ile de France qu’en 1994 (cf. annexe XIV-8).

XIV-3-3. Les avenirs possibles des principaux axes interrégionaux d’échange

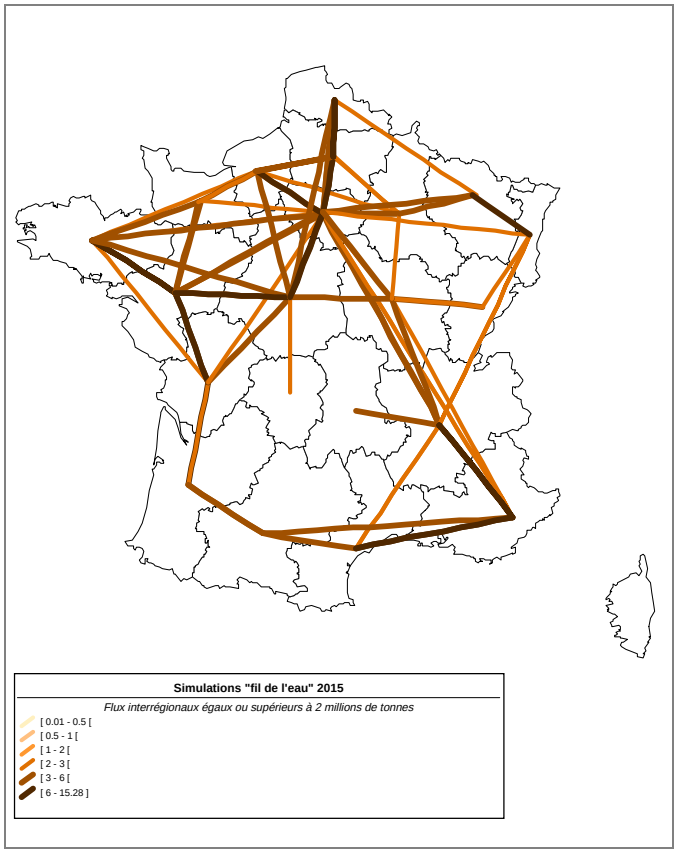
Dans les scénarios de sensibilité économique, les prolongements de tendance des contributions régionales d’un côté, et la relative stabilité de la structure spatiale à travers les coefficients structurels de l’autre, n’engendrent pas une distribution spatiale du fret interrégional significativement différente de celle observée au début des années 90.

La distribution spatiale d’ensemble des principaux tonnages échangés à l’horizon 2015 dans le scénario “ fil de l’eau ” (cf. figure XIV-9) ne diffère donc pas profondément de celle des flux observés en 1994 (cf. figure IX-4). La distribution comporte les mêmes grandes orientations

géographiques d'échange avec toutefois une intensification de certaines d'entre elles. Ainsi, les flux le long de l'axe nord-sud s'accroissent, les échanges entre les régions du nord-ouest et du bassin parisien se développent, et les relations au sein du bassin parisien se multiplient également. Dans une moindre mesure, les échanges se développent aussi entre les régions de l'est. En revanche, le sud-ouest et le centre du territoire sont particulièrement écartés des grands axes interrégionaux d'échange.

Les échanges interrégionaux présentent donc, selon une évolution au " fil de l'eau ", une distribution spatiale basée sur le bassin parisien, sur l'axe nord-sud et entre les régions du nord-ouest. Cette distribution s'explique par le poids toujours important de l'Ile de France dans les échanges de marchandises et par la dynamique tant conjoncturelle que structurelle des régions de l'ouest, en particulier des régions Bretagne et Pays de Loire.

Figure XIV-9. Principaux tonnages interrégionaux en 2015 - scénario " fil de l'eau "



En tonnes-kilomètres, la distribution spatiale des échanges interrégionaux est également centrée sur l'Ile de France et sur des liaisons à longue distance, en particulier avec les autres grandes régions économiques telles que Rhône-Alpes et PACA ou avec des régions fortement génératrices de fret depuis 1994 comme la Bretagne et les Pays de Loire (cf. annexe XIV-9). De ce fait, l'axe nord-sud ressort logiquement dans la distribution du fret en tonnes-kilomètres. On peut également souligner un nombre non négligeable de liaisons d'échange porteuses d'un fort potentiel de transport en tonnes-kilomètres et ne faisant pas intervenir la région Ile de France (PACA - Rhône-Alpes, PACA - Midi-Pyrénées ou Rhône-Alpes - Alsace).

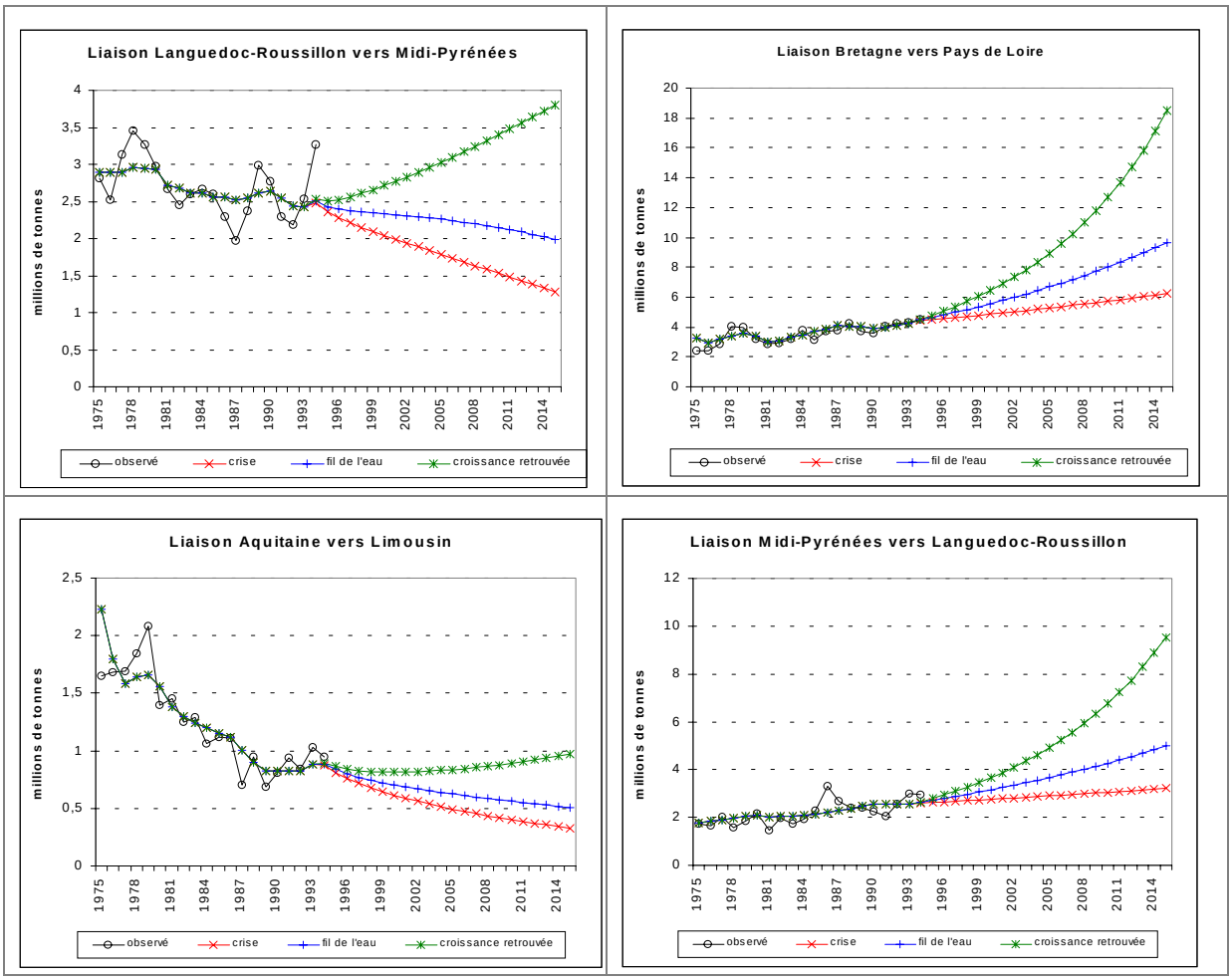
A. Les futurs possibles des liaisons structurelles privilégiées en forte évolution

Les principales liaisons structurelles privilégiées présentant de fortes variations au cours de la période de prévision (cf. figure XIV-3), ont fait l'objet d'une analyse approfondie de l'évolution des tonnages qu'elles supportent en fonction des divers scénarios de croissance économique.

Cette analyse aboutit à une distinction entre l'évolution du tonnage échangé sur des liaisons structurelles qui s'améliorent à long terme, d'un côté, et sur des liaisons qui se dégradent, de l'autre côté.

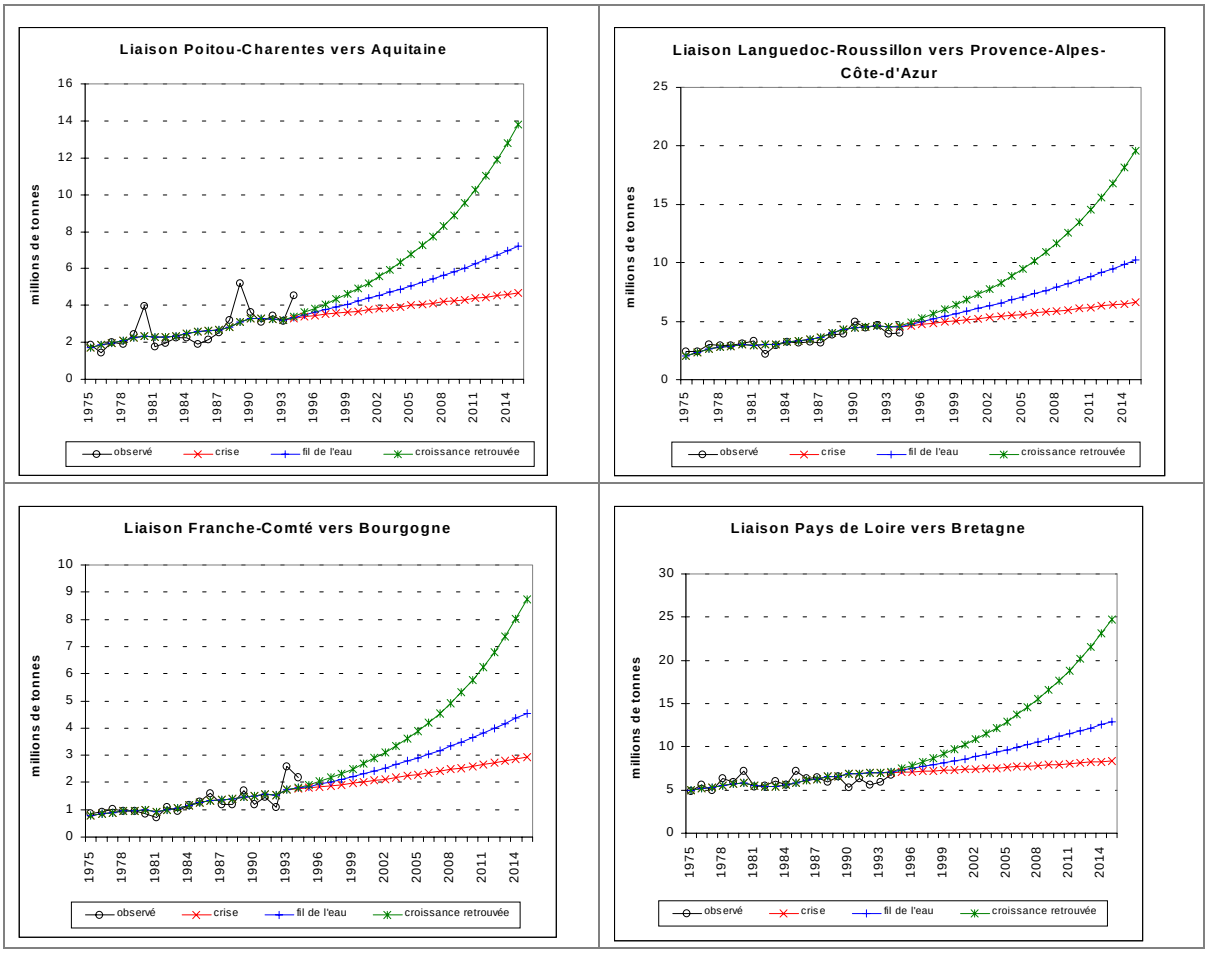
Pour les liaisons connaissant une détérioration de leur intensité structurelle, on remarque une moindre réactivité voire une réactivité négative des tonnages transportés à la conjoncture industrielle nationale. Ainsi pour certaines d'entre elles, le tonnage estimé jusqu'en 2015 présente une tendance à la baisse dans le scénario de " crise " mais aussi dans le scénario au " fil de l'eau " et parfois, mais plus rarement, dans le scénario de " croissance retrouvée ". C'est particulièrement le cas de la liaison Aquitaine vers Limousin (qui présentait une baisse de 1,8 point en intensité structurelle entre 1994 et 2015) et, dans une moindre mesure, de la liaison Languedoc-Roussillon vers Midi-Pyrénées (qui se dégradait de plus d'un point en intensité structurelle sur la même période).

Graphique XIV-11. Simulations des tonnages échangés sur des liaisons structurelles privilégiées en voie d'affaiblissement



A l'opposé, pour les liaisons structurelles privilégiées qui s'intensifient, on observe une réactivité positive et élevée des tonnages à la croissance économique même dans le cas du scénario de " crise " économique.

Graphique XIV-12. Simulations des tonnages échangés sur des liaisons structurelles privilégiées en voie d'amélioration



B. Les futurs possibles du transport de marchandises dans le couloir rhodanien

Le fret empruntant l'axe rhodanien sur le tronçon Lyon-Avignon est un transport de longue distance, qui provient principalement d'échanges entre les régions du Nord ou du Nord-Est d'un côté et les régions du Sud ou du Sud-Est de l'autre côté. Les échanges avec les régions du Nord-Ouest ou avec celles du Sud-Ouest s'effectuent quant à elles principalement par l'axe atlantique (Rambeau, 1999).

B-1. Les caractéristiques du fret Lyon-Avignon

Le fret interrégional sur l'axe Lyon-Avignon défini par les liaisons origine-destination certaines et plus incertaines d'emprunter ce tronçon représente 36 millions de tonnes et 18,7 milliards de tonnes-kilomètres en 1994[6]. L'expression en tonnes-kilomètres se rapporte à l'ensemble du

[6] Les contributions des différentes liaisons interrégionales sont présentées en annexe XIV-10.

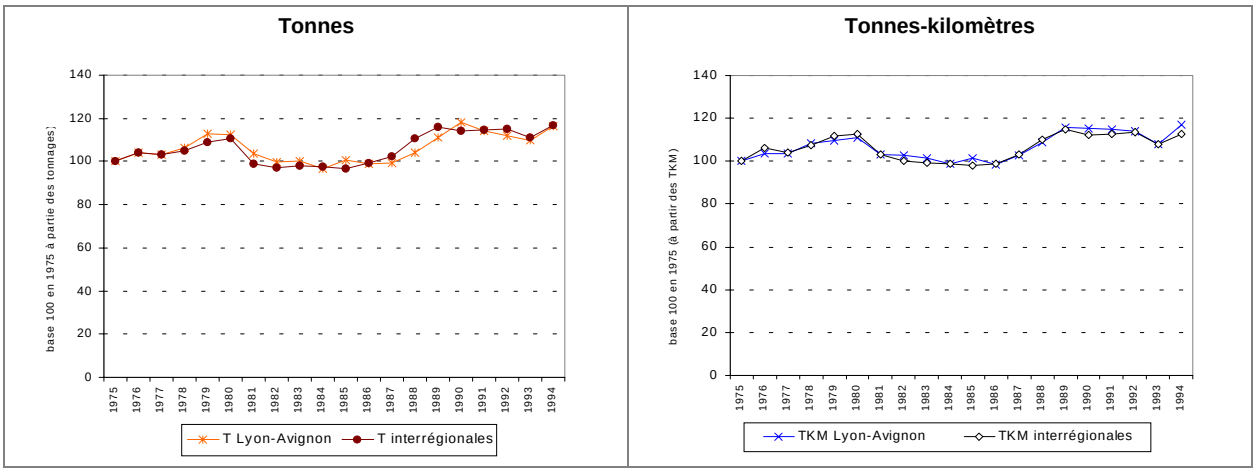
transport effectué entre les origines - destinations concernées et non pas uniquement à la distance parcourue entre Lyon et Avignon. La distance moyenne en charge des flux de transport de marchandises empruntant l'axe Lyon-Avignon, tous modes terrestres confondus, est relativement élevée, de l'ordre de 519 kilomètres. Le fret Lyon-Avignon représente ainsi 10% du tonnage et 19% du tonnage-kilométrique interrégional total pour l'année 1994.

Tableau XIV-13. Le fret Lyon-Avignon en 1994

	O-D certaines et incertaines	O-D certaines	O-D incertaines
Tonnes (Mio)	36,03	27,75	8,28
En % du total interrégional	10%	8%	2%
En % du total national	2,6%	2,0%	0,6%
Tonnes-kilomètres (Mds)	18,69	13,59	5,10
En % du total interrégional	19%	14%	5%
En % du total national	14%	10%	4%

Au cours de la période 1975-1994, le fret Lyon-Avignon présente une dynamique équivalente à celle du fret interrégional global du point de vue des tonnages transportés, avec une croissance globale de 16,3%. Cette croissance est renforcée en tonnes-kilomètres avec hausse générale de 17,2% entre 1975 et 1994. Ainsi, contrairement au fret interrégional global, les flux empruntant l'axe Lyon-Avignon connaissent un accroissement de leur distance moyenne en charge (+0,7%).

Graphique XIV-13. Evolutions comparées du fret Lyon-Avignon et du fret interrégional total



B-2. Les estimations du fret Lyon-Avignon en 2015 en fonction de la croissance industrielle

Les flux passant par l'axe Lyon-Avignon présentent à travers les simulations du modèle QuinQuin Fret Multirégional une réactivité à la conjoncture industrielle légèrement plus faible que le fret interrégional global, en tonnes comme en tonnes-kilomètres. Cette réactivité est systématiquement plus faible lors des variations positives de la conjoncture industrielle, mais elle est sensiblement plus forte lors de variations à la baisse (cf. tableaux XIV-14 et XIV-7).

Tableau XIV-14. Les simulations du fret Lyon-Avignon à l'horizon 2015 en fonction de la croissance industrielle

	1993	Horizon 2015		
Axe Lyon-Avignon	**Estimé**	**Crise**	**Fil de l'eau**	**Croissance retrouvée**
Tonnes (Mio)	34,57	34,04	52,64	100,77
Evolution 1993-2015		*-1,5%*	*52,3%*	*191,5%*
Taux moyen annuel		*-0,07%*	*1,93%*	*4,98%*
Coefficient multiplicateur		0,985	1,5	2,92
En % du total interrégional	10,23%	9,96%	9,96%	9,96%
Tonnes-kilomètres (Mds)	18,1	17,7	27,37	52,4
Evolution 1993-2015		*-2,2%*	*51,2%*	*189,5%*
Taux moyen annuel		*-0,10%*	*1,90%*	*4,95%*
Coefficient multiplicateur		0,98	1,5	2,89
En % du total interrégional	18,69%	18,15%	18,15%	18,15%

La distinction entre les flux certains de passer par ce tronçon et les flux plus incertains de l'emprunter fait ressortir des sensibilités très différentes à la conjoncture industrielle. La dynamique du fret sur l'axe Lyon-Avignon est en effet, d'après les hypothèses du modèle QuinQuin fret Multirégional, nettement imputable au fret dont la probabilité d'emprunter le tronçon Lyon-Avignon est incertaine.

Tableau XIV-15. Le potentiel Lyon-Avignon détaillé dans le scénario " fil de l'eau "

(Hypo. éco : tcma IPI : 2%)	**1993 Estimé**	**2015 Estimé**	**Variation globale**	**tcma**	**Coefficient multiplicateur**
Ensemble des O-D					
Tonne (millions)	34,6	52,6	52,3%	1,9%	1,5
TKM (milliards)	18,1	27,4	51,2%	1,9%	1,5
O-D certaines					
Tonne (millions)	26,3	38,7	47,1%	1,8%	1,5
TKM (milliards)	12,8	18,2	42,1%	1,6%	1,4
O-D incertaines					
Tonne (millions)	8,2	13,9	68,8%	2,4%	1,7
TKM (milliards)	5,3	9,2	73,1%	2,5%	1,7

Ce résultat est intéressant car il fait apparaître une marge de manœuvre dans la politique de transport du point de vue de l'orientation géographique des flux de transit par rapport à l'axe nord-sud. Ainsi, une partie du fret passant par le tronçon Lyon-Avignon, et connaissant de surcroît une dynamique importante à long terme, n'est pas " captive " de cet itinéraire et offre donc plus de possibilités pour être orientée vers les autres itinéraires alternatifs nord-sud. De plus, même si cette partie du trafic pèse moins, en tonnes comme en tonnes-kilomètres, que celle relative aux origines-destinations certaines d'emprunter le tronçon Lyon-Avignon, elle n'est pas négligeable. De plus, elle accroît sa proportion dans le potentiel transportable Lyon-Avignon entre 1993 et 2015 d'après les simulations du modèle QuinQuin Fret Multirégional (de 24 % à 26% en tonnes et de 29% à 33% en tonnes-kilomètres).

XIV-4. Les simulations à long terme dans des contextes différenciés d'aménagement du territoire

Les scénarios d'aménagement du territoire s'intéressent spécifiquement aux effets d'une modification des contributions relatives régionales aux volumes de marchandises intrarégionaux et interrégionaux générés.

Le scénario " France polarisée " s'intéresse à une image future de l'aménagement du territoire fondée sur une tendance d'intensification de l'activité économique des grandes métropoles et régions économiques dans un contexte de libéralisme économique et politique.

Le scénario " développement durable européen ", présente une autre image du territoire national envisagée à partir d'une politique plus interventionniste de l'aménagement du territoire conduisant à un espace économique plus équilibré et fonctionnel. Dans ce contexte, les disparités interrégionales tendent à être minimisées et les fédérations interrégionales nationales et européennes encouragées.

Les scénarios d'aménagement du territoire sont développés sous une seule hypothèse de croissance économique à long terme, l'hypothèse au " fil de l'eau " (tcma IPI 1994-2015 : 2%). Ce choix méthodologique permet d'effectuer des comparaisons directes avec le scénario " fil de l'eau " et surtout de ne mettre en évidence que les effets des mesures ayant un impact territorial sur la distribution spatiale du fret interrégional.

Les hypothèses des scénarios d'aménagement du territoire portent sur l'évolution des contributions relatives régionales au fret généré. Cela se traduit dans le modèle par une modification des parts relatives régionales dans le fret local, à l'exportation et à l'importation. Ces modifications sont introduites par la fixation, de façon totalement exogène, de taux de croissance à long terme différenciés des contributions relatives régionales selon les régions ou groupes de régions. Les autres variables relatives à l'aménagement du territoire ne sont pas intégrées dans ces scénarios. En particulier, les coefficients structurels qui expriment la structure spatiale des échanges interrégionaux de marchandises ne sont pas modifiés par rapport aux estimations du scénario " fil de l'eau ". Les coefficients structurels ne font pas l'objet d'hypothèses différenciées d'évolution en raison de leur caractéristique centrale de forte inertie à long terme, observée au cours des vingt dernières années et validée par l'estimation d'un modèle autorégressif.

L'absence d'hypothèses d'évolution différenciée sur les coefficients structurels signifie que la division spatiale des activités n'est pas modifiée par rapport à la tendance " fil de l'eau ", que ce soit pour les activités de production ou de distribution y compris celles liées au transport (plates-formes logistiques). L'offre de transport est également supposée se poursuivre au rythme implicitement considéré dans l'hypothèse " fil de l'eau " tout comme les actions sur la demande de transport pouvant avoir des répercussions spatiales telles que la tarification différenciée dans l'espace. En termes conceptuels par rapport à la méthode d'analyse des coefficients structurels, les mesures territoriales exprimées par des évolutions différenciées des contributions relatives régionales au fret généré ne relèvent que de la dimension conjoncturelle et non de la dimension structurelle du fret. La partie conjoncturelle concernée est relative aux particularités régionales ou à l'effet géographique du point de vue d'une analyse structurelle-géographique. Ces particularités

retracent dans certains cas un dynamisme régional qui peut expliquer une modification des contributions régionales dans le fret généré.

Concrètement, les hypothèses d'aménagement du territoire n'affectent que les contributions relatives régionales, qui déterminent avec les effets de sensibilité à la croissance industrielle, les tonnages intrarégionaux et interrégionaux générés annuellement par chaque région, les tonnages interrégionaux émis (Ti.) et reçus (T.j) constituant une partie de la dimension conjoncturelle du fret (cf. [II-1]).

$$\hat{T}_{ij} = \underbrace{T_{i.} * T_{.j} / T_{..}}_{part\ \ conjoncturelle} * \underbrace{CS_{ij}}_{part\ structurelle} \qquad \text{[II-1]}$$

La croissance économique à long terme étant inchangée par rapport au " fil de l'eau ", le potentiel transportable total (*T..)* reste inchangé à l'horizon 2015 dans les différents scénarios d'aménagement du territoire. Les différences ne portent que sur la répartition entre les volumes régionaux générés, en intrarégional et en interrégional (*Ti., T.j*), entre les tonnages interrégionaux échangés (*Tij*) et finalement entre les tonnes-kilomètres interrégionales parcourues (*TKMij*).

XIV-4-1. Les simulations du scénario " France polarisée "

Dans le scénario " France polarisée ", les déséquilibres socio-économiques entre les régions s'accentuent dans un contexte de politiques libérales et de renforcement des atouts économiques et culturels des grandes métropoles par le jeu des économies d'agglomération et des effets de polarisation.

La région Ile de France fait l'objet d'une très forte polarisation, consolidant son hégémonie économique sur le territoire national et sa position centrale dans le transport de marchandises. Toutefois, la croissance économique de l'Ile de France ne reste pas cloisonnée aux limites de la région et se diffuse aux régions voisines. Le grand bassin parisien se présente alors comme la principale " l'interrégion " européenne ou " euro-région " du territoire français. A l'écart de l'influence francilienne, la région Rhône-Alpes améliore également ses positions économiques et dans le marché du fret grâce à sa position stratégique à proximité de la " banane bleue " européenne. Les régions Nord-Pas-de-Calais et Alsace se démarquent également par leur proximité avec le cœur économique de l'Europe. Deux autres régions, Midi-Pyrénées et PACA, font aussi l'objet d'une hausse de leurs contributions au marché du fret et se positionnent comme deux pôles excentrés rayonnant respectivement sur le sud-ouest et sur l'arc méditerranéen. Les régions restantes connaissent en revanche une contraction de leurs contributions, suite à un déclin relatif de leurs activités économiques.

Dans une logique d'accroissement de la polarisation régionale, le potentiel global de fret reste invariant en tonnes transportées par rapport à l'estimation " fil de l'eau " mais se modifie en revanche en tonnes-kilomètres. Ceci tient au jeu des distances moyennes de transport, qui diffèrent selon les liaisons interrégionales et selon les régions (pour l'intrarégional). La modification porte sur un accroissement des tonnes-kilomètres réalisées. A l'horizon 2015, le potentiel de transport interrégional atteint ainsi 152 milliards de tonnes-kilomètres dans le scénario " France polarisée " contre 148 milliards au " fil de l'eau ". Cette tendance s'explique par les hypothèses posées sur l'évolution des contributions relatives régionales, qui renforcent les positions des principales

régions génératrices qui se trouvent géographiquement éloignées, par exemple Nord-Pas-de-Calais ou Ile de France par rapport à Rhône-Alpes, PACA ou Midi-Pyrénées (cf. tableau XIV-14). En intrarégional, la tendance est plutôt à une invariance du potentiel global en tonnes-kilomètres (65,01 milliards contre 64,99 dans le “ fil de l’eau ”).

A. Les contributions relatives régionales dans une “ France polarisée ”

Les modifications de croissance des contributions relatives entre régions polarisantes et régions défavorisées tendent à accroître les écarts interrégionaux en intrarégional comme en interrégional (cf. annexe XIV-11). Ces tendances sont validées par des écarts-types croissants par rapport au “ fil de l’eau ”. Le tableau suivant présente les hypothèses d’évolution des contributions relatives régionales, distinguées selon les trois ensembles d’interrégions caractérisant le scénario “ France polarisée ”, et les contributions relatives régionales estimées à l’horizon 2015.

Tableau XIV-16. Hypothèses d’évolution des contributions relatives régionales dans le scénario “ France polarisée ”

	Export		**Import**		**Intra**	
	Part estimée 1993	Part estimée 2015	Part estimée 1993	Part estimée 2015	Part estimée 1993	Part estimée 2015
TC 2015/93	**20%**		**20%**		**20%**	
Ile de France	10,1%	12,1%	15,7%	18,9%	10,4%	12,5%
Picardie	6,7%	8,0%	6,1%	7,3%	3,3%	4,0%
Centre	6,2%	7,5%	5,3%	6,4%	4,5%	5,4%
Haute-Normandie	8,2%	9,8%	5,9%	7,1%	3,1%	3,8%
Champagne-A.	4,1%	5,0%	3,9%	4,7%	3,8%	4,6%
TC 2015/93	**17%**		**17%**		**17%**	
Nord-Pas-de-C.	6,4%	7,4%	5,5%	6,4%	7,1%	8,4%
Rhône-Alpes	6,7%	7,8%	7,1%	8,3%	10,5%	12,3%
Alsace	4,1%	4,8%	2,8%	3,2%	3,9%	4,6%
Midi-Pyrénées	3,0%	3,5%	3,8%	4,4%	5,2%	6,0%
PACA	5,7%	6,7%	4,7%	5,6%	7,2%	8,4%
TC 2015/93	**-30%**		**-30%**		**-30%**	
Basse-Normandie	2,6%	1,8%	2,7%	1,9%	2,2%	1,5%
Bretagne	3,5%	2,5%	4,6%	3,3%	6,5%	4,6%
Pays de Loire	6,7%	4,7%	6,0%	4,2%	6,3%	4,4%
Poitou-Charentes	4,3%	3,0%	3,3%	2,3%	2,9%	2,1%
Limousin	0,9%	0,6%	1,6%	1,1%	1,1%	0,7%
Aquitaine	3,5%	2,5%	4,0%	2,8%	5,2%	3,7%
Lorraine	5,5%	3,9%	4,4%	3,1%	5,4%	3,8%
Franche-Comté	1,9%	1,4%	2,2%	1,6%	1,9%	1,4%
Bourgogne	4,2%	2,9%	4,5%	3,2%	3,1%	2,2%
Auvergne	2,1%	1,4%	2,5%	1,8%	2,4%	1,7%
Languedoc-R.	3,7%	2,6%	3,3%	2,3%	3,8%	2,6%
écart-type	0,022	0,03	0,028	0,038	0,025	0,032

A l’exportation, la tendance de polarisation ressort très nettement entre d’un côté, des contributions élevées pour les régions du bassin parisien (Ile de France et Haute-Normandie en particulier), du nord (Nord-Pas-de-Calais, Picardie) et du sud-est (Rhône-Alpes), et de l’autre côté, des contributions plus faibles pour les régions du centre et de l’ouest. A l’importation, la principale caractéristique de la nouvelle répartition régionale est l’accentuation de la position dominante de la région Ile de France. La contribution relative de l’Ile de France aux tonnages importés s’établit à

près de 19% soit une hausse de +25% par rapport à sa contribution dans le scénario “ fil de l’eau ”. En intrarégional, la répartition reste pratiquement inchangée avec un écart entre les deux premières contributions régionales relativement stable par rapport aux estimations du scénario “ fil de l’eau ” (+25% pour Ile de France et +22% pour Rhône-Alpes).

B. Les disparités régionales de volumes générés et transportés dans une “ France polarisée ”

B-1. Les tonnages régionaux générés

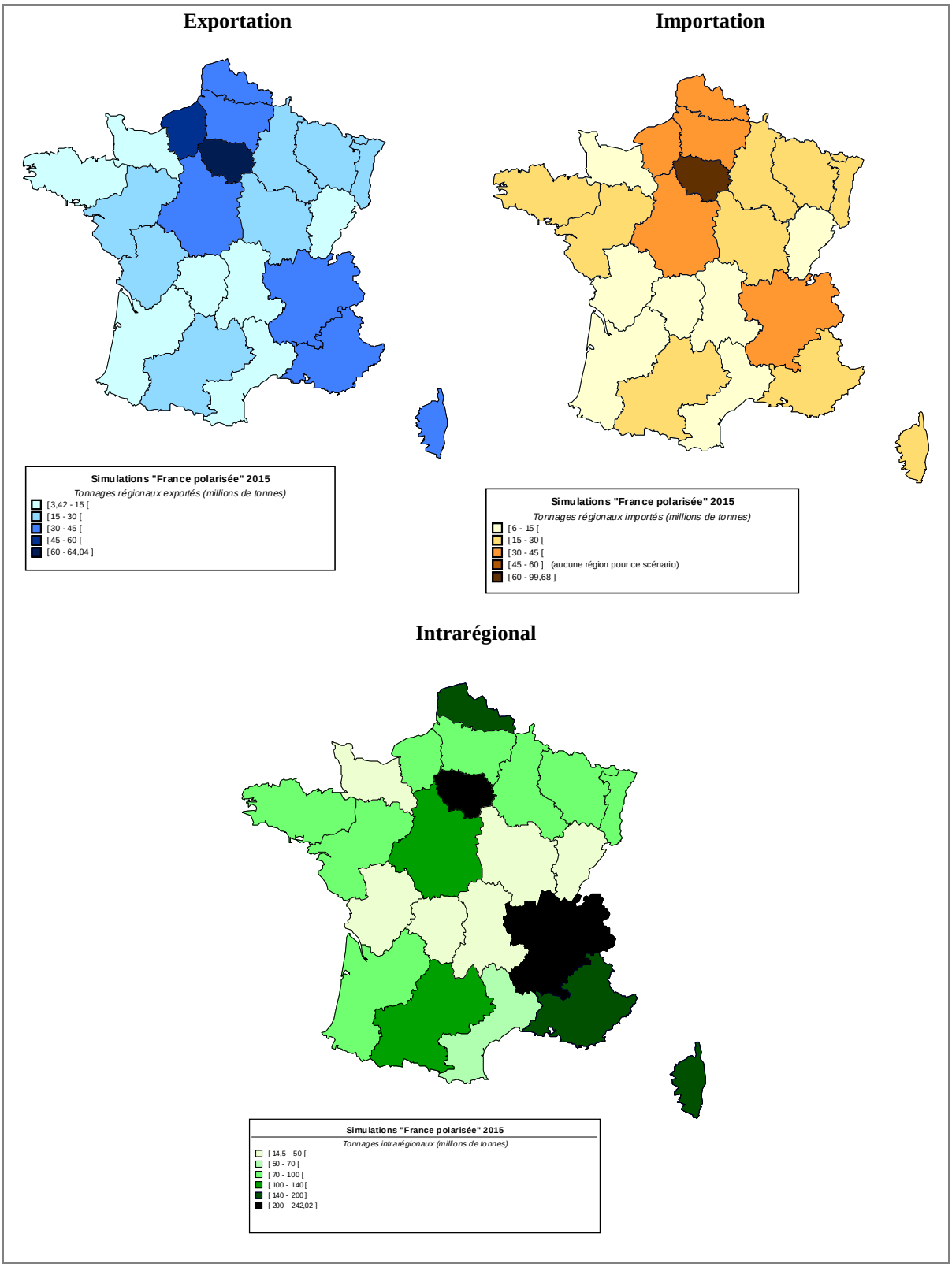
Les tonnages régionaux générés à l’horizon 2015 sous le scénario “ France polarisée ” font ressortir une position dominante de la région Ile de France et des régions du grand bassin parisien et du nord. Cette structure est plus particulièrement marquée pour les tonnages exportés et importés alors que pour les tonnages intrarégionaux, les régions du sud-est, et surtout Rhône-Alpes, concurrencent encore directement la région Ile de France.

La répartition des flux exportés présente deux pôles distincts : le bassin parisien et le nord d’un côté, le sud-est de l’autre (cf. figure XIV-10). L’Ile de France se présente comme la plus forte région génératrice de tonnages à l’exportation, suivie par une région voisine, la Haute-Normandie. A l’opposé, les régions générant les plus faibles tonnages à l’exportation sont essentiellement situées dans une bande orientée nord-ouest / sud-ouest incluant les régions rurales, Limousin et Auvergne.

Sous l’angle des flux importés, la répartition est centralisée sur la région parisienne, qui importe un volume nettement supérieur à celui des autres régions. En effet, le tonnage généré par la seconde région exportatrice, Rhône-Alpes, est plus de deux fois plus faible (38 millions de tonnes pour Rhône-Alpes contre près de 80 millions pour Ile de France).

Pour le fret local, la simulation suivant un scénario de polarisation accentuée conduit à scinder la France en trois bandes orientées Est-Ouest. Les régions centrales depuis la Franche-Comté jusqu’au Poitou-Charentes en passant par la Bourgogne, l’Auvergne et le Limousin présentent les plus faibles volumes locaux de marchandises. Les deux autres bandes contiennent des régions générant un fret local plus important. En particulier, chacune de ces deux bandes contient un pôle régional prédominant, Ile de France au nord et Rhône-Alpes au sud, en lien direct avec les potentiels économiques et démographiques de ces deux régions, renforcés par l’hypothèse de polarisation.

Figure XIV-10. Structure régionale des flux exportés, importés et intrarégionaux en 2015 - scénario “ France polarisée ”



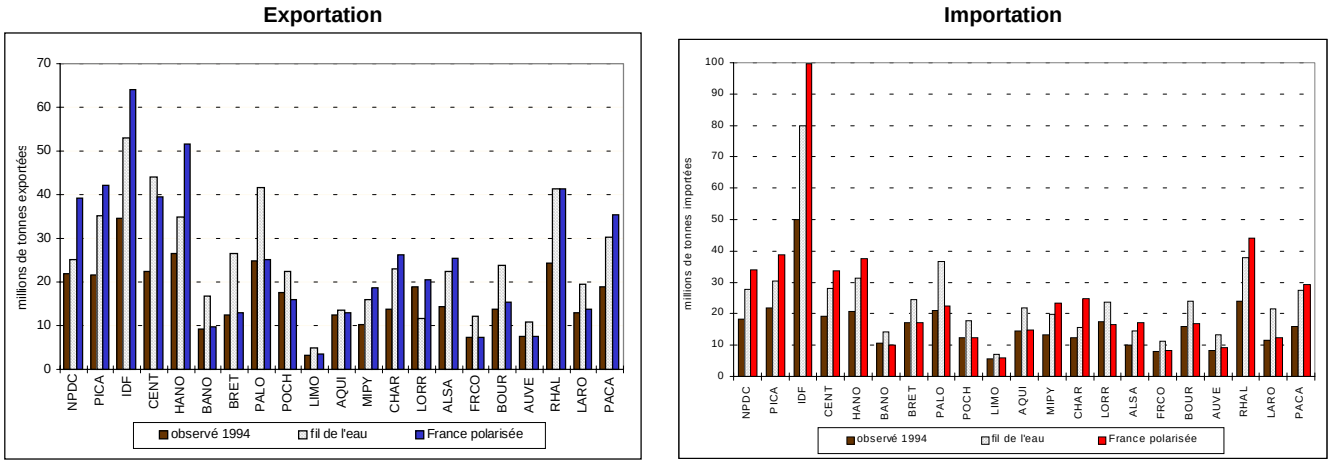
L’analyse comparée des répartitions régionales des volumes générés à l’exportation et à l’importation dans le scénario “ France polarisée ” avec celles du scénario “ fil de l’eau ” fait ressortir la position hégémonique de l’Ile de France dans le système des interactions spatiales en

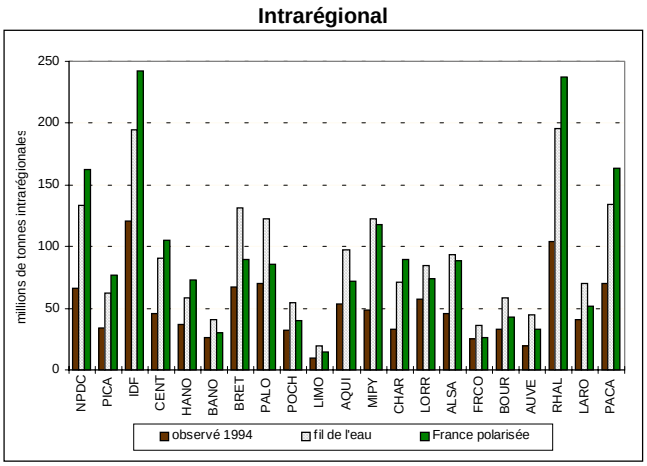
transport de marchandises. Les écarts relatifs des volumes de transport de chacune des autres régions par rapport au volume de transport francilien s'accroissent pour la majorité des régions dans le scénario " France polarisé " par rapport au scénario " fil de l'eau ". A l'exportation, seuls les écarts avec les régions Nord-Pas-de-Calais et Haute-Normandie sont réduits et l'écart avec la Picardie reste inchangé. A l'importation, seul l'écart avec la région Champagne-Ardenne est sensiblement diminué, la majorité des écarts étant accru et certains stabilisés (Picardie, Nord-Pas-de-Calais, Centre et Haute-Normandie). En intrarégional, les écarts se creusent également, au mieux ils restent stables. Ainsi, même l'écart entre Rhône-Alpes et l'Ile de France se creuse. Le tonnage intrarégional francilien devient au tonnage rhonalpin. Cet écart reste toutefois marginal puisque l'Ile de France génère 242 millions de tonnes et Rhône-Alpes 238 millions.

L'optique d'accentuation de la polarisation conduit donc fatalement à concentrer les richesses économiques et les flux de transport sur ou en liaison avec la région Ile de France. Cette orientation a pour risque d'augmenter la probabilité d'asphyxie de la région Ile de France par un accroissement des phénomènes de saturation et de congestion majeure aux entrées et sorties des grandes agglomérations, dans lesquels le trafic de fret intervient de façon non négligeable même s'il n'est pas majoritaire face au trafic de voyageurs. Le scénario " France polarisée " dessine donc une image du type " Paris et le désert français " pour les volumes de marchandises générés à l'export et à l'import. Pour le fret local, la répartition est sensiblement moins déséquilibrée, avec le maintien de deux grandes régions génératrices, Ile de France et Rhône-Alpes.

Par rapport à la tendance " fil de l'eau ", les simulations du scénario " France polarisée " fournissent donc des différentiels de tonnages positifs essentiellement pour les régions du bassin parisien (exception de la région Centre en exportation), et pour les régions qualifiées de dynamiques de province (exception de Midi-Pyrénées et Alsace en intrarégional). On peut toutefois souligner un différentiel positif pour les exportations de la région Lorraine, qui s'explique par le fort déclin enregistré au cours des années d'observation et pris en compte dans la tendance au " fil de l'eau ".

Graphique XIV-14. Tonnages comparés : 1994, " Fil de l'eau " et " France polarisée " 2015





Par rapport à 1994, les régions à l'écart de la polarisation participeraient encore moins à la dynamique économique nationale, celle-ci étant définie par la participation aux échanges de marchandises. En effet, les volumes exportés en national par ces régions ne " décollent " pas par rapport à 1994 voire accusent une baisse, notamment en Poitou-Charentes et Franche-Comté pour les volumes exportés, ou en Basse-Normandie, Poitou-Charentes et Lorraine pour les volumes importés. En intrarégional, aucune décroissance de trafic n'est enregistrée, toutefois certaines régions voient leur fret local stagner sur 20 ans (Franche-Comté n'affiche qu'une hausse de 5%).

Les risques d'un tel scénario se dessinent sans ambiguïté. Tout d'abord, un accroissement des disparités interrégionales avec un dépérissement économique des régions de l'ouest et du sud-ouest et un isolement par rapport à la dynamique européenne. Cette dynamique se jouerait alors, pour sa partie française, essentiellement dans la grande " euro-région " francilienne et dans les régions frontalières de l'est (Alsace) et du sud-est (Rhône-Alpes).

B-2. Les tonnes-kilomètres réalisées

A l'instar de la tendance observée précédemment avec les tonnages générés, les différentiels relatifs aux potentiel transportable régional en tonnes-kilomètres parcourues, entre les estimations " France polarisée " et " fil de l'eau " à l'horizon 2015, sont davantage positifs pour les régions du bassin parisien et du Nord et plutôt négatifs pour les régions de la façade atlantique, du Sud-Ouest et du Nord-Est (cf. graphiques en annexe XIV-12).

Pour les tonnes-kilomètres parcourues à l'exportation, le scénario " France polarisée " accroît surtout le poids des régions Nord-Pas-de-Calais, Haute-Normandie, Midi-Pyrénées et Lorraine par rapport à la situation " fil de l'eau ". A l'opposé, il est particulièrement défavorable au potentiel transportable des régions de l'ouest telles que Basse-Normandie, Bretagne et Pays de Loire. A l'importation, le scénario " France polarisée " améliore plus spécifiquement le potentiel des régions du bassin parisien, notamment Champagne-Ardenne, Ile de France et Centre. Pour les tonnes-kilomètres intrarégionales, les effets sont similaires, à savoir un différentiel positif pour les régions du bassin parisien surtout et un différentiel négatif pour les régions de l'Ouest.

La ligne directrice des effets du scénario " France polarisée " par rapport au " fil de l'eau " est très nettement une opposition bassin parisien - arc atlantique. Le trafic, mesuré en tonnes comme en tonnes-kilomètres, augmente dans les régions du bassin parisien (Ile de France et régions d'une

couronne francilienne élargie) et du Sud-Est, et se contracte dans les régions de la façade atlantique, en particulier en Basse-Normandie, Bretagne et Pays de Loire, régions qui connaissaient une montée en puissance importante dans les échanges interrégionaux de marchandises avec le scénario “ fil de l’eau ”.

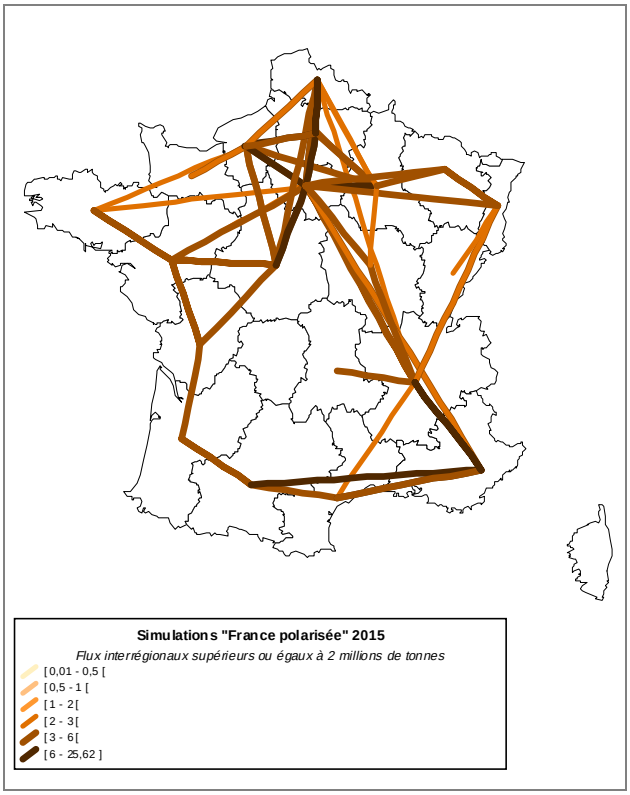
C. La distribution spatiale du fret interrégional et le potentiel transportable sur l’axe Lyon-Avignon

Les modifications des contributions relatives régionales à l’horizon 2015 ont des répercussions sur la distribution spatiale du fret interrégional et sur le potentiel transportable de certains grands axes de circulation, notamment le couloir rhodanien entre Lyon et Avignon.

Dans le scénario “ France polarisée ”, les échanges interrégionaux se font davantage avec les régions du nord et du bassin parisien. De ce fait, on relève une participation importante de ces régions, et en particulier de l’Ile de France, dans les liaisons interrégionales ayant augmenté leur tonnage transporté d’un million de tonnes ou plus par rapport aux estimations “ fil de l’eau ”. Sur les 30 liaisons en hausse de plus d’un million de tonnes, qui représentent 19% des liaisons augmentant leur potentiel par rapport au “ fil de l’eau ”, 43% impliquent la région Ile de France. Les autres régions les plus fortement impliquées sont Nord-Pas-de-Calais, Picardie et en dehors des régions du nord, Rhône-Alpes et PACA.

La distribution spatiale des échanges de marchandises est caractérisée par un grand nombre de liaisons à forts tonnages au sein du bassin parisien et le long du couloir nord-sud (figure XIV-11). En revanche, les liaisons avec l’ouest de la France présentent une réduction importante en volume par rapport au “ fil de l’eau ” (cf. annexe XIV-13 et figure XIV-9).

Figure XIV-11. Principaux flux interrégionaux en 2015 - scénario “ France polarisée ”



En tonnes-kilomètres parcourues, la distribution spatiale des échanges interrégionaux de marchandises est également organisée autour des liaisons au sein du bassin parisien et sur l'axe nord-sud. Cette distribution se distingue de celle obtenue avec les tonnages par la prédominance des liaisons à longue distance sur l'axe nord-sud (Nord-Pas-de-Calais – Rhône-Alpes ou PACA) par rapport à des liaisons de proximité. Toutefois, malgré le jeu de distances moyennes plus élevées sur les tonnages-kilométriques entre régions géographiquement éloignées, on peut remarquer l'importance des tonnes-kilomètres internes au bassin parisien, qui s'explique par de forts tonnages transportés (cf. en annexe XIV-14).

Ainsi, par rapport au " fil de l'eau ", le scénario " France polarisée " tend à recentrer les échanges interrégionaux sur l'axe nord-sud Lille-Paris-Lyon au détriment des échanges internes aux régions du nord-ouest et entre ces régions et le bassin parisien. L'optique de polarisation des activités économiques et des transports de marchandises dans les plus grandes régions économiques du territoire accroît donc le risque d'une fracture du territoire selon un axe nord-ouest / sud-est avec au nord et à l'est les régions économiquement puissantes insérées dans la dynamique européenne, et à l'ouest et au sud des régions isolées ne participant que peu à la dynamique des interactions spatiales en transport de marchandises.

En termes d'itinéraires de circulation, la principale conséquence est un accroissement des trafics sur les axes routiers franciliens et sur le corridor Nord-Sud par la vallée du Rhône. Le fret empruntant le tronçon Lyon-Avignon enregistre de ce fait un différentiel positif par rapport aux estimations " fil de l'eau ".

Tableau XIV-17. Le fret estimé entre Lyon-Avignon en 2015 - scénario " France polarisée "

(Hypo. éco : tcma IPI : 2%)	**1993 Estimé**	**2015 Estimé**	**Variation globale**	**tcma**	**Coefficient multiplicateur**
Ensemble des O-D					
Tonne (millions)	34,6	56,6	63,6%	2,3%	1,64
TKM (milliards)	18,1	29,2	61,3%	2,2%	1,61
O-D certaines					
Tonne (millions)	26,3	43,2	64,1%	2,3%	1,64
TKM (milliards)	12,8	20,3	58,2%	2,1%	1,58
O-D incertaines					
Tonne (millions)	8,2	13,4	62,2%	2,2%	1,62
TKM (milliards)	5,3	8,9	68,8%	2,4%	1,69

Le potentiel transportable estimé atteint près de 57 millions de tonnes soit un différentiel de 4 millions de tonnes avec le volume estimé au " fil de l'eau " (cf. tableau XIV-15). Le différentiel du tonnage transporté sur Lyon et Avignon, imputable à la modification des contributions relatives régionales au fret généré, est de 7% par rapport au volume " fil de l'eau ". Les principales contributions positives proviennent des liaisons PACA - Rhône-Alpes (+4 MT), Rhône-Alpes - PACA (+ 2 MT) et dans une moindre mesure PACA - Ile de France (+0,97 MT) et Ile de France - PACA (+ 0,94 MT).

En comparaison avec la croissance du potentiel de transport Lyon-Avignon dans le scénario " fil de l'eau ", le fret estimé dans le scénario " France polarisée " présente une dynamique légèrement supérieure en tonnes et en tonnes-kilomètres, exprimée par des coefficients

multiplicateurs supérieurs de 7,5% et 6,7% respectivement. Cette dynamique est entièrement imputable aux liaisons certaines d'emprunter cet axe (coefficients multiplicateurs supérieurs de 11%) alors que les liaisons incertaines sont moins dynamiques (coefficients inférieurs de 2 à 4%). La tendance à la polarisation spatiale conduit donc à renforcer le potentiel transportable sur l'axe Lyon-Avignon, sensiblement plus pour les tonnes transportées et pour le fret issu des origines-destinations certaines d'emprunter ce tronçon.

XIV-4-2. Le scénario " Développement durable européen "

Les déséquilibres interrégionaux ont tendance à se réduire dans le scénario " développement durable européen " qui prend le contre-pied de l'optique d'une " France polarisée ". L'ensemble des régions est intéressé à la dynamique nationale et à la dynamique européenne autant que possible, sur la base d'une valorisation des capacités socio-économiques de chaque région. Les régions puissantes économiquement affichent un léger ralentissement, expression d'une diffusion de leur dynamique aux régions voisines. Ainsi, de grands ensembles interrégionaux ou " euro-régions " françaises, s'établissent à l'horizon 2015.

Dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional, ces euro-régions sont construites sur la base d'une relative homogénéisation des contributions régionales, et en particulier des régions appartenant à une même euro-région. Les régions puissantes, telles que Ile de France ou Rhône-Alpes, voient leurs contributions relatives se réduire alors que les régions économiquement plus faibles connaissent une hausse, et d'autant plus importante si la région est fortement rurale ou accuse un fort retard économique.

Les résultats de cette simulation sur le potentiel de transport global révèlent peu de différences par rapport au " fil de l'eau ". De façon logique, le potentiel en tonnes transportées n'est pas modifié puisque aucune hypothèse de croissance industrielle n'est posée. Pour le potentiel en tonnes-kilomètres, une légère hausse est constatée en interrégional (148,63 milliards de TKM contre 148 dans le fil de l'eau ") et une légère baisse en intrarégional (64,75 milliards contre 64,99). Pour l'interrégional, ce résultat peut s'expliquer par la tendance d'homogénéisation des contributions, qui tend à réduire sensiblement le potentiel de transport des principales régions génératrices qui se trouvent relativement éloignées les unes par rapport aux autres. Pour l'intrarégional, la tendance à la baisse peut s'expliquer par la diminution des contributions relatives de régions géographiquement vastes telles que Rhône-Alpes et PACA.

A. Les contributions relatives régionales dans un " Développement durable européen "

Les modifications de croissance des parts relatives ont été décidées de façon transversale entre les différentes régions et plus particulièrement au sein de chaque euro-région. Ainsi, la région pivot de chaque euro-région connaît une réduction sensible de sa contribution relative et les autres régions sont favorisées par une politique nationale d'aide au développement de leurs activités économiques, leur permettant ainsi d'accroître leurs contributions relatives au fret généré.

La fixation de taux de croissance différenciés a été réalisée en tenant compte des évolutions rétrospectives 1975-1994. Les ordres de grandeur entre les parts à l'importation, à l'exportation et à l'intrarégional pour chaque région ont été conservés. Ainsi, une région ne devient pas nettement

plus exportatrice ou importatrice qu'elle ne l'a été auparavant et aucune région ne connaît une hausse ou une baisse globale de sa contribution relative sur 20 ans supérieure ou inférieure à des taux observés au cours de la période 1975-1994 pour au moins une région. Le tableau suivant expose les hypothèses de croissance 1993-2015 des contributions relatives régionales du scénario " développement durable européen " et les parts relatives régionales au fret généré en 2015 qui en découlent.

Tableau XIV-18. Hypothèses d'évolution des contributions relatives régionales dans le scénario " Développement durable européen "

		Exportation		**Importation**		**Intrarégional**	
		Part estimée 2015	variation 1993/2015	Part estimée 2015	variation 1993/2015	Part estimée 2015	variation 1993/2015
Bassin parisien	IDF	8,1%	-20%	11,0%	-30%	8,3%	-20%
	HANO	6,9%	-15%	6,2%	5%	3,8%	20%
	PICA	6,0%	-10%	6,1%	0%	3,8%	15%
	CHAR	4,8%	15%	4,5%	15%	4,2%	10%
	CENT	6,2%	0%	5,6%	5%	4,8%	5%
Nord	NPDC	6,4%	0%	5,8%	5%	7,2%	0%
Grand Est	ALSA	4,9%	20%	3,0%	10%	4,5%	15%
	LORR	4,7%	-15%	4,4%	0%	5,1%	-5%
	FRCO	2,5%	30%	2,9%	30%	2,5%	30%
Saône-Rhône	RHAL	6,0%	-10%	6,1%	-15%	7,3%	-30%
	BOUR	4,4%	5%	4,7%	5%	3,7%	20%
	AUVE	2,7%	30%	3,2%	30%	3,1%	30%
Midi Méditerranée	MIPY	3,6%	20%	4,3%	15%	5,7%	10%
	LARO	4,2%	15%	3,8%	15%	4,3%	15%
	PACA	5,4%	-5%	4,7%	0%	6,5%	-10%
Arc Atlantique	BANO	3,1%	20%	3,1%	15%	2,6%	20%
	BRET	4,0%	15%	4,8%	5%	6,2%	-5%
	PALO	6,1%	-10%	5,1%	-15%	5,7%	-10%
	POCH	4,7%	10%	3,8%	15%	3,5%	20%
	LIMO	1,3%	40%	2,2%	40%	1,5%	40%
	AQUI	3,9%	10%	4,6%	15%	5,5%	5%
écart-type		0,016		0,018		0,017	

Les modifications de croissance des parts relatives régionales suivent une tendance à l'homogénéisation des contributions régionales dans le fret national (cf. annexe XIV-11), ce que traduisent des écarts-types sur les parts relatives inférieurs à ceux calculés dans les scénarios " fil de l'eau " et " France polarisée " et ceci quelle que soit l'échelle géographique de transport. Les parts relatives de la région Ile de France sont réduites de façon importante afin d'enrayer la domination de cette région par rapport aux autres régions. Les baisses demeurent toutefois dans une fourchette acceptable de réduction afin de ne pas entraver la dynamique internationale de la région.

La structure obtenue se caractérise par des régions du bassin parisien qui présentent encore des contributions parmi les plus élevées mais relativement voisines de celles des régions de l'est et de l'ouest. Bien que l'accent ait été plus particulièrement mis sur les régions en grand retard économique, Limousin, Auvergne et Franche-Comté, celles-ci conservent encore les contributions relatives les plus faibles. Ceci s'explique par l'impossibilité économique et démographique pour ces régions de résorber leur retard en 20 ans seulement.

B. Les disparités régionales de fret dans un contexte de développement durable

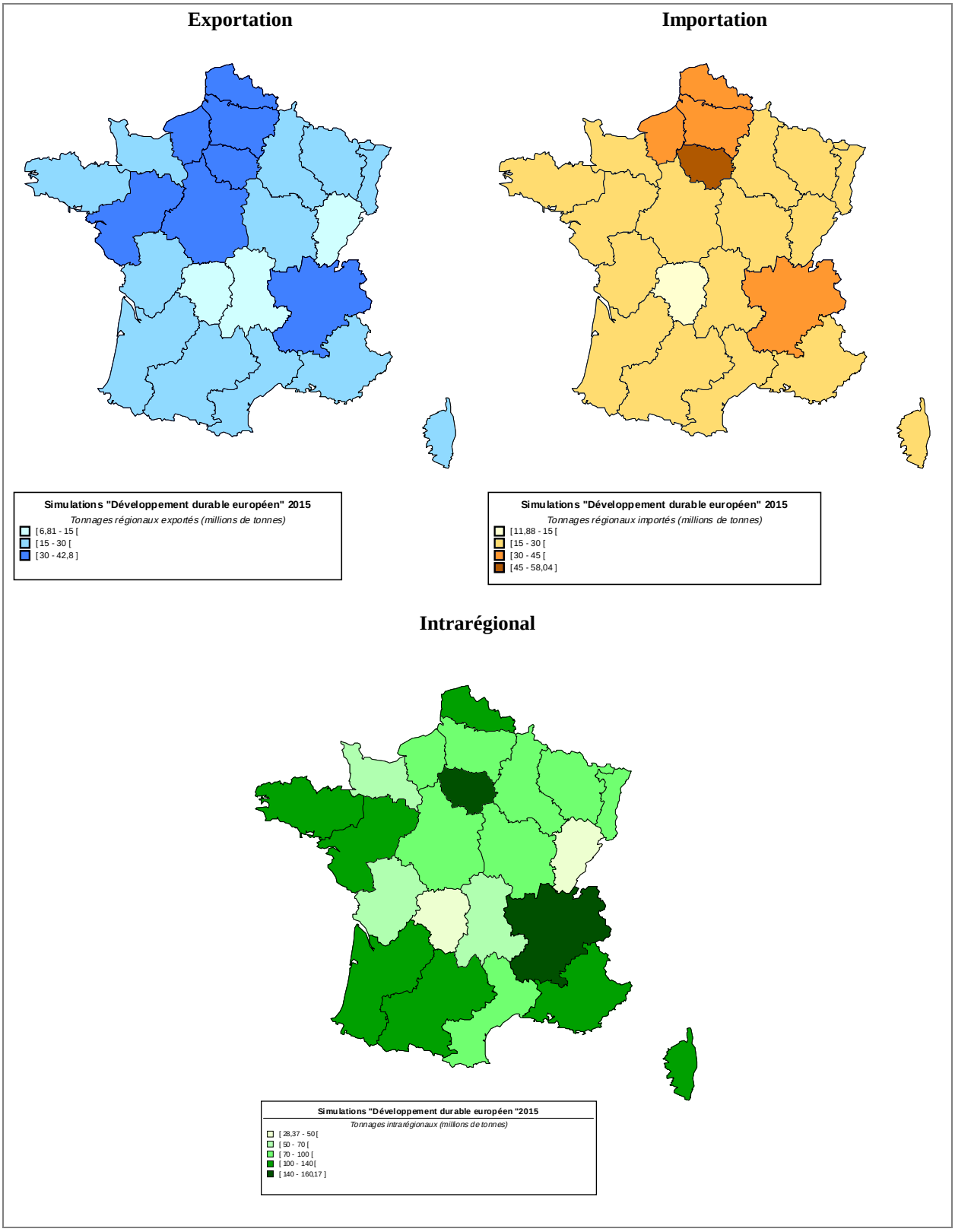
B-1. Les tonnages régionaux générés

La politique d'aménagement du territoire menée dans le scénario de " développement durable européen ", caractérisée par la correction des écarts interrégionaux des contributions au fret généré, conduit à un resserrement significatif des volumes régionaux générés par rapport à la répartition observée en 1994 et surtout par rapport à celles des scénarios " fil de l'eau " et " France polarisée ".

La structure régionale des volumes générés est nettement moins déséquilibrée (cf. figures XIV-12), en comparaison de celles des scénarios " fil de l'eau " et " France polarisée ". Les différences principales portent sur la réduction de l'éventail des volumes générés (aucune région ne génère dans le scénario " développement durable européen " des tonnages d'un niveau relevant des classes supérieures établies dans les scénarios " fil de l'eau " et " France polarisée "). En outre, le nombre de régions dans la classe inférieure est nettement plus faible, pour les trois catégories de trafic. Ainsi, la majorité des régions se retrouve logiquement dans les classes intermédiaires, exprimant sans ambiguïté la tendance à l'homogénéisation des contributions régionales, autrement dit à la réduction des déséquilibres régionaux.

A l'exportation, le bassin parisien et les régions du nord se détachent sensiblement. Le découpage en sous-ensembles " interrégionaux " met en évidence la position légèrement plus favorisée du bassin parisien en particulier face au Grand-Est et au Midi-Méditerranée. A l'importation, aucune structure spatiale ne ressort du fait d'une homogénéisation intense des profils régionaux. Seules les deux régions extrêmes Ile de France et Limousin se démarquent un peu. En intrarégional, les régions ont également des parts relatives moins différenciées, mais la structure régionale traditionnelle est globalement conservée. Ainsi, les deux grandes régions économiques restent logiquement les plus fortes régions génératrices, mais avec un tonnage égal ou inférieur à 160 millions de tonnes en 2015. Les régions rurales demeurent les plus faibles régions génératrices, mais présentent un tonnage pratiquement égal (pour Limousin) ou supérieur à 30 millions de tonnes.

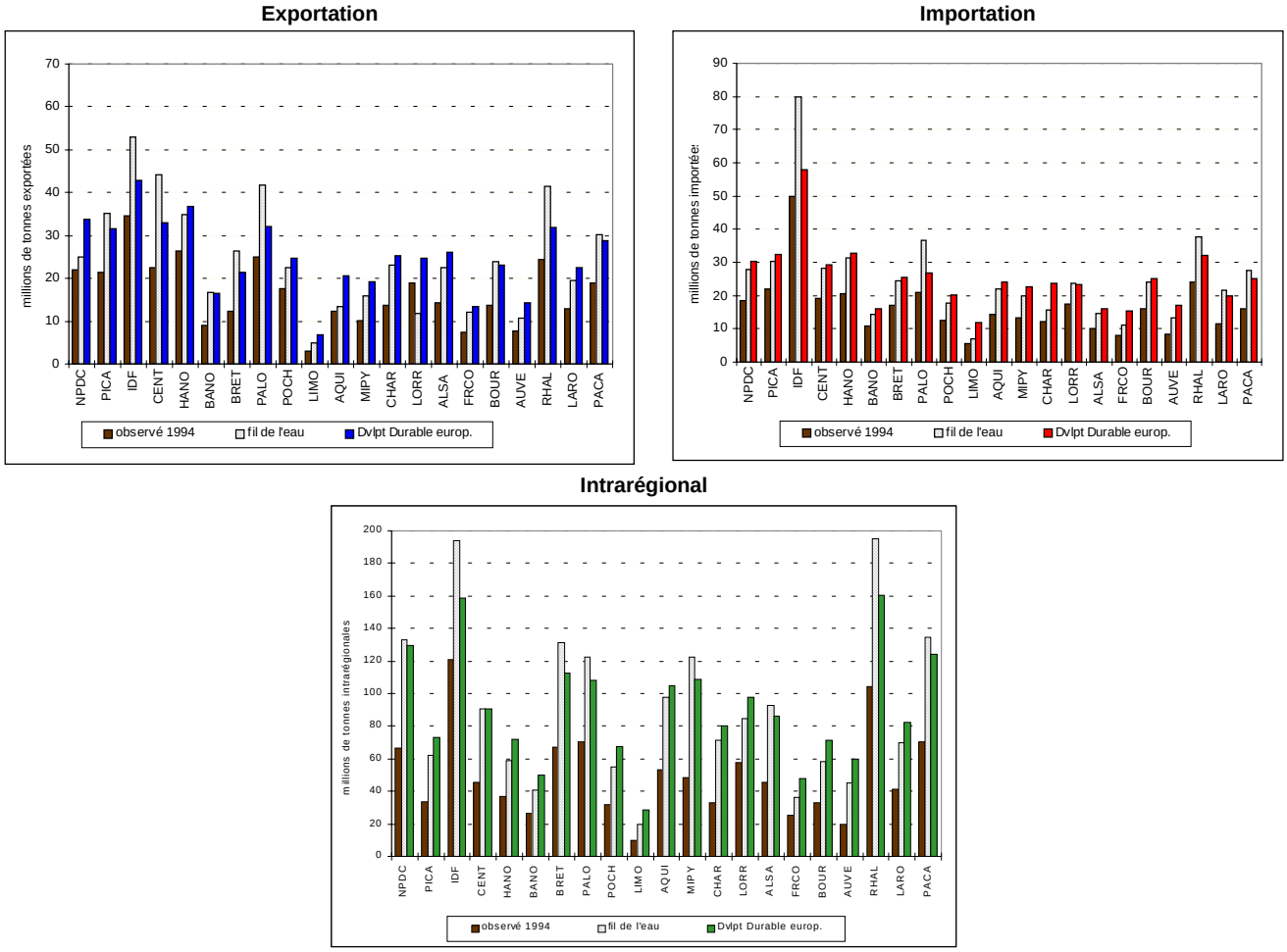
Figure XIV-12. Structure régionale des flux exportés, importés et intrarégionaux en 2015 – scénario “ développement durable européen ”



La tendance d’homogénéisation apparaît nettement dans l’analyse comparée des volumes générés avec les volumes observés en 1994 et estimés dans le scénario“ fil de l’eau ” (cf. graphiques XIV-15).

Pour les exportations, les écarts régionaux en volume sont inférieurs à ceux observés dans le scénario “ fil de l’eau ”, l’écart-type étant de 8,4 contre 12,4 pour le “ fil de l’eau ”. En revanche, les écarts sont légèrement accrus par rapport à 1994 (écart-type en 1994 de 7,4). Les plus fortes améliorations concernent les régions rurales ou en situation de crise économique. La région Limousin est une des principales régions bénéficiaires de la politique de développement durable avec une hausse de ses exportations de 41% par rapport au “ fil de l’eau ” et de +118% par rapport à l’observé 1994. A l’opposé, la région la plus affectée par ce scénario est l’Ile de France, qui ne connaît qu’une hausse de ses tonnages exportés de 24% par rapport à 1994 et une réduction par rapport au “ fil de l’eau ” (-19%). A l’importation, la tendance d’homogénéisation des contributions régionales est davantage prononcée. La variabilité des volumes importés n’est pratiquement pas accrue par rapport à 1994 (écart-type de 9,4 contre 8,9). L’Ile de France réduit ses volumes importés de -27% par rapport au “ fil de l’eau ” et ne les accroît que de 16% par rapport à 1994 alors que la région Limousin enregistre à nouveau la plus forte hausse (+108% par rapport à 1994 et +68% par rapport au “ fil de l’eau ”). En intrarégional, la tendance à l’homogénéisation tend également à s’appliquer, l’écart-type sur les tonnages locaux est inférieur à celui obtenu dans le scénario “ fil de l’eau ” (33,5 contre 47,2), mais il est supérieur à celui de 1994 (26,35). Les niveaux extrêmes restent encore fort éloignés, Rhône-Alpes générant plus de 5,5 fois le fret de la région Limousin.

Graphique XIV-15. Tonnages comparés : 1994, “ Fil de l’eau ” et “ Développement durable européen ” 2015



B-2. Les tonnes-kilomètres réalisées

En tonnes-kilomètres, le scénario “ développement durable européen ” tend logiquement, et comme dans le cas des tonnes transportées, à favoriser les régions en dehors de l’influence francilienne ainsi que les régions économiquement moins développées, en particulier les régions rurales (cf. annexe XIV-12).

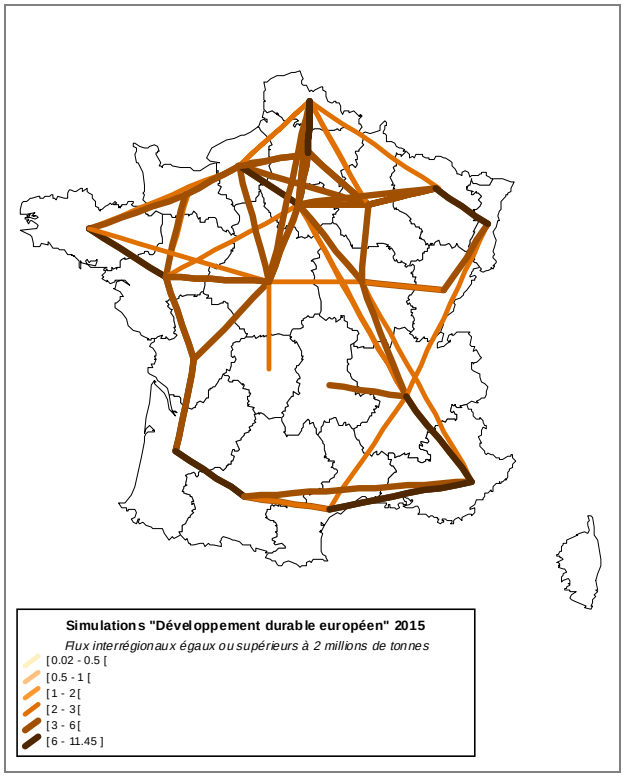
Sous l’angle des flux exportés, la tendance de correction des déséquilibres régionaux engagée permet de renforcer le potentiel transportable de la région Lorraine surtout (+de 107% par rapport au “ fil de l’eau), et dans une moindre mesure des régions Limousin ou Aquitaine. Les régions du bassin parisien et les grandes régions de l’axe nord-sud, Rhône-Alpes et PACA, voient, en revanche, leur potentiel de transport en tonnes-kilomètres se réduire par rapport à celui estimé au “ fil de l’eau ”. Sous l’angle des importations, le même cas de figure se produit avec une amélioration du potentiel de régions rurales telles que Limousin ou Champagne-Ardenne et un abaissement du potentiel des régions Ile de France, Pays de Loire ou Rhône-Alpes. Ces tendances sont identiques pour les tonnes-kilomètres réalisées à l’intérieur des régions.

C. La distribution spatiale du fret interrégional et le potentiel estimé sur le tronçon Lyon-Avignon

L’homogénéisation des contributions relatives régionales au fret généré conduit logiquement à renforcer les liaisons de proximité et diffuser spatialement les échanges de marchandises. L’optique de correction des déséquilibres régionaux affecte pleinement les grandes régions économiques, fortes génératrices de fret. De ce fait, la région Ile de France en tête est touchée par des diminutions dans ses tonnages interrégionaux. Sur les 20 liaisons perdant plus d’un million de tonnes par rapport au scénario “ fil de l’eau ”, on ne compte pas moins de 12 liaisons, soit 60%, qui impliquent l’Ile de France. Les régions Rhône-Alpes et Pays de Loire comptent également parmi les régions les plus affectées. A l’opposé, les liaisons en hausse par rapport au “ fil de l’eau ” concernent des régions économiquement plus faibles et moins génératrices de fret en moyenne, à savoir principalement Lorraine, Aquitaine, Champagne-Ardenne et Franche-Comté.

La distribution spatiale du fret interrégional exprimée à travers les principaux tonnages interrégionaux issus du scénario de “ développement durable européen ” révèle une plus forte diffusion spatiale du fret en comparaison de la distribution spatiale du “ fil de l’eau ”. La tendance à l’homogénéisation des profils régionaux en termes de fret a donc un impact significatif sur la distribution spatiale du fret interrégional (figure XIV-13).

Figure XIV-13. Scénario " développement durable européen " : principaux flux interrégionaux en 2015



La diffusion spatiale ressort d'un côté par une moindre concentration des flux dans le bassin parisien et sur l'axe nord-sud. En outre, les liaisons d'échange au sein du bassin parisien ne comptent pas de liaisons plus importantes en volume que les autres sous-ensembles interrégionaux. De l'autre côté, la diffusion spatiale se manifeste par une multiplication des échanges avec et au sein de l'arc atlantique. Cette diffusion reste cependant moins intense que dans le scénario " fil de l'eau ", notamment quant au nombre de liaisons interrégionales atteignant 2 millions de tonnes échangées. Elle apparaît également avec une diminution des échanges sur l'axe Nord-Sud par la vallée du Rhône, y compris par rapport au scénario " fil de l'eau ".

Toutes les régions ne bénéficient pas de façon égale de la réduction des écarts interrégionaux des contributions relatives régionaux. Le sud-ouest reste ainsi plus à l'écart de cette déconcentration spatiale des flux, les freins à l'échange demeurant importants entre les régions centrales (Limousin, Auvergne) et les régions du sud-ouest (Aquitaine, …).

En tonnes-kilomètres, la distribution spatiale du fret interrégional se distingue des configurations obtenues avec les scénarios précédents par une très nette déconcentration des échanges sur le bassin parisien et l'axe nord-sud (cf. annexe XIV-15). La distribution spatiale ne repose plus seulement sur ces deux zones mais aussi sur les liaisons transversales entre régions de province en particulier entre les régions de l'est et dans une moindre mesure du sud-ouest. On peut toutefois s'étonner de la faible présence des régions de l'ouest, qui participaient plus fortement aux échanges exprimés en tonnes transportées.

En limitant l'analyse au fret empruntant le tronçon Lyon - Avignon, on observe également un effet de la correction relative des déséquilibres régionaux à travers les contributions régionales au fret généré. Face au potentiel de transport estimé dans le scénario " fil de l'eau " et de surcroît dans le scénario " France polarisée ", le potentiel transportable du scénario " développement durable européen " est nettement inférieur. Il atteint 47,53 millions de tonnes contre 52,64 dans le scénario " fil de l'eau ", soit une réduction de 9,7%. Les différentiels de tonnages sur les différentes liaisons interrégionales restent peu élevés. En effet, les plus fortes hausses de trafics atteignent près de 0,6 millions de tonnes pour la liaison PACA vers Pays de Loire et 0,32 millions de tonnes pour PACA vers Nord-Pas-de-Calais. A l'opposé les plus fortes baisses atteignent au maximum 0,2 millions de tonnes, pour PACA vers Lorraine.

La distinction des flux passant par l'axe Lyon-Avignon entre ceux dont le passage est certain et ceux dont il est incertain révèle une croissance différenciée de ces deux types de liaisons d'échange dans le scénario " développement durable européen ". Les flux des liaisons incertaines connaissent une croissance très dynamique alors que ceux relatifs aux liaisons certaines présentent une plus faible croissance.

Tableau XIV-19. Le potentiel de transport Lyon-Avignon à l'horizon 2015 - scénario " développement durable européen "

(Hypo. éco : tcma IPI : 2%)	**1993 Estimé**	**2015 Estimé**	**Variation globale**	**tcma**	**Coefficient multiplicateur**
Ensemble des O-D					
Tonne (millions)	34,6	47,53	37,5%	1,5%	1,37
TKM (milliards)	18,1	25,8	42,3%	1,6%	1,42
O-D certaines					
Tonne (millions)	26,3	33,4	26,9%	1,1%	1,27
TKM (milliards)	12,8	16,7	30,3%%	1,2%	1,30
O-D incertaines					
Tonne (millions)	8,2	14,1	71,1%	2,5%	1,71
TKM (milliards)	5,3	9,1	71,4%	2,5%	1,71

En comparaison avec le fret estimé dans le scénario " fil de l'eau ", l'ensemble du fret passant par l'axe Lyon-Avignon connaît, en tonnes comme en tonnes-kilomètres, une dynamique légèrement moindre. Les différentiels des coefficients multiplicateurs du potentiel global de l'axe Lyon-Avignon dans le scénario " développement durable " par rapport au " fil de l'eau " sont inférieurs de 10% pour l'ensemble des tonnages et de 6% pour l'ensemble des tonnages-kilométriques. Cette moindre dynamique tient entièrement aux flux certains de passer par ce tronçon et donc en particulier aux échanges entre les grandes régions économiques situées sur le corridor nord-sud (Ile de France, Rhône-Alpes et PACA). Les flux incertains présentent en effet une dynamique équivalente à celle obtenue dans le scénario " fil de l'eau ".

Conclusion

Chapitre VI

Le modèle QuinQuin Fret Multirégional constitue un modèle de simulation permettant de tester différents avenirs possibles des volumes de fret transportés et de leur distribution spatiale, selon des hypothèses contrastées de croissance économique et d'aménagement du territoire.

Afin de balayer un large éventail des avenirs possibles des transports de marchandises à travers le territoire national, plusieurs scénarios de simulation à long terme ont été testés. Trois scénarios de croissance économique mesurent les impacts des fluctuations de la conjoncture industrielle et deux scénarios d'aménagement du territoire s'intéressent aux effets de modifications dans la contribution relative des différentes régions au fret généré en interrégional et en intrarégional.

Les scénarios de croissance économique sont différenciés par la variable de sensibilité économique nationale, l'Indice de Production Industrielle. En termes techniques, ces scénarios reviennent à modifier le taux de croissance moyen annuel de l'I.P.I. sur la période de simulation. Ainsi, au sein du modèle QuinQuin Fret Multirégional, seule la réactivité du volume transporté à la croissance industrielle est affectée. Les principales variables endogènes intermédiaires ou de sortie affectées par les hypothèses économiques sont les tonnes et tonnes-kilomètres totales interrégionales et intrarégionales, les volumes générés par chaque région et finalement les volumes échangés entre les régions. En revanche, la structure de la répartition régionale (parts relatives régionales) et la structure spatiale des échanges (dimension structurelle) restent inchangées.

Les scénarios d'aménagement du territoire se définissent par des modifications sur la structure de répartition régionale des volumes. En d'autres termes, les scénarios reposent sur des évolutions différenciées des contributions relatives des différentes régions au fret généré. Les autres variables exogènes ou endogènes intermédiaires du modèle, telles que la croissance industrielle ou la structure spatiale des échanges exprimée par les coefficients structurels, ne sont pas affectées.

Tableau XIV-20. Descriptif synthétique des scénarios de simulation

Hypothèses Scénarios	Croissance industrielle 1994-2015	Contributions relatives régionales	Structure spatiale des échanges
" Crise "	0%/an	trend	trend
" Fil de l'eau "	2%/an	trend	trend
" Croissance retrouvée "	4%/an	trend	trend
" France polarisée "	2%/an	accentuation des tendances	trend
" Développement durable européen "	2%/an	renversement des tendances	trend

Plusieurs enseignements sont retirés des différentes simulations testées, à la fois dans la dimension conjoncturelle et dans la dimension structurelle du fret.

La dimension conjoncturelle du fret, ou génération des tonnages, présente une forte élasticité variable à la conjoncture industrielle. Cette réactivité variable selon les hypothèses de croissance économique, diffère également selon l'échelle géographique du fret. On observe en effet que le tonnage intrarégional est nettement plus réactif que le tonnage interrégional. Les différences d'élasticité entre les deux échelles de transport tiennent notamment à la construction du modèle mais aussi à des structures sectorielles différentes. Le tonnage intrarégional, fortement dominé par les matériaux de construction, réagit en effet vivement aux fluctuations de la conjoncture économique à travers l'activité elle-même très sensible du bâtiment et des travaux publics.

Tableau XIV-21. Le potentiel transportable à l'horizon 2015 et les hypothèses de croissance industrielle

Hypothèse économique	**Crise**	**Fil de l'eau**			**Croissance retrouvée**
Hypothèse de transformation spatiale	**Trend fil de l'eau**	**France polarisée**	**Trend fil de l'eau**	**Développement durable**	**Trend fil de l'eau**
INTERREGIONAL					
Tonnes (Mio)	341,7	528,4			1011,5
Taux moyen annuel 93-2015	*0,05%*	*2,05%*			*5,11%*
Tonnes-kilomètres (Mds)	95,79	152	148,16	148,63	283,62
Taux moyen annuel 93-2015	*-0,06%*	*2,06%*	*1,94%*	*1,95%*	*4,99%*
INTRAREGIONAL					
Tonnes (Mio)	523,5	1915			6495,5
Taux moyen annuel 93-2015	*-3,40%*	*2,46%*			*8,31%*
Tonnes-kilomètres (Mds)	17,8	65,01	64,99	64,75	220,4
Taux moyen annuel 93-2015	*-3,08%*	*2,81%*	*2,80%*	*2,79%*	*8,67%*

La répartition régionale du fret global généré est traitée à l'aide des contributions régionales relatives au tonnage chargé annuellement en intrarégional, à l'exportation et à l'importation. Cette répartition a fait l'objet de jeux d'hypothèses scénariales d'aménagement du territoire. Ces scénarios montrent que l'évolution des contributions régionales a des impacts sur la distribution spatiale des tonnages. La structure spatiale du fret interrégional quant à elle ne fait pas l'objet d'hypothèses contrastées. L'évolution de la dimension structurelle du fret demeure liée à la tendance passée et surtout à sa forte caractéristique d'inertie relative à long terme.

Les interventions sur la distribution spatiale du fret sont abordées à travers deux scénarios différenciés par leur politique d'aménagement du territoire. La transcription dans le modèle s'effectue par des modifications sur les taux de croissance moyens à long terme des contributions relatives régionales au tonnage généré.

Entre une politique d'accentuation de la polarisation interrégionale et une politique de réduction des déséquilibres interrégionaux, l'importance relative des régions dans les volumes de marchandises générés annuellement est significativement modifiée. Ainsi, dans une évolution au " Fil de l'eau " et de surcroît de " France polarisée " (croissance de 20% des contributions de la région parisienne et des autres régions du bassin parisien), la dynamique du marché du fret se

concentre essentiellement sur le bassin parisien et, dans une moindre mesure, sur les régions du Sud-Est. En revanche, dans une optique de développement durable, les rôles ont tendance à s'intervertir sans pour autant renverser complètement la structure socio-économique d'ensemble établie de longue date. Les contributions relatives des grandes régions économiques ou génératrices de fret sont abaissées de -10 à –20% sur 20 ans alors que celles des régions rurales et des régions en reconversion et en difficulté économiques sont accrues de +10 à +40%.

L'accroissement ou au contraire la correction des déséquilibres régionaux a des conséquences directes sur la distribution spatiale du fret interrégional. Si le fret est concentré sur le bassin parisien et le long de l'axe Nord-Sud dans le scénario " France polarisée ", il est en revanche réparti de façon plus équitable dans le scénario de " Développement durable européen ". En outre, une autre conséquence non négligeable ressort des scénarios d'aménagement du territoire. Le potentiel transportable global empruntant la partie particulièrement chargée de l'axe rhodanien, le tronçon Lyon-Avignon, subit des différences de niveau en tonnes comme en tonnes-kilomètres.

Tableau XIV-22. Estimations 2015 du potentiel transportable Lyon-Avignon selon différents scénarios d'aménagement du territoire

	Fil de l'eau		**France polarisée**		**Développement durable**	
Tonne (millions) / tcma	52,6	1,9%	56,6	2,3%	47,3	1,5%
TKM (milliards)/ tcma	27,4	1,9%	29,2	2,2%	25,8	1,6%

Le couloir rhodanien entre Lyon et Avignon présente ainsi selon ces scénarios un volume de fret bien différent à l'horizon 2015. Le potentiel transportable relatif au scénario de " Développement durable européen " est inférieur de près de 10% à celui issu d'un aménagement du territoire suivant une tendance " Fil de l'eau " davantage polarisée, et de près de 16% à celui imputable à un aménagement du territoire guidé par une polarisation accrue.

CONCLUSION GENERALE

L'objectif de ce travail était de répondre à la problématique de détermination des facteurs explicatifs et des tendances lourdes à l'œuvre dans les évolutions à long terme des volumes de fret générés annuellement sur les espaces intrarégional et interrégional, des contributions régionales au fret global généré, et de la distribution spatiale des flux d'échange interrégionaux.

La démarche centrale choisie pour traiter cette question a été une démarche de modélisation, qui consiste à établir des corrélations et des ajustements entre les variables de transport et des variables socio-économiques ou spatiales, puis à élaborer un modèle spatial de simulation du fret. L'objectif de ce modèle est double. D'une part, il contribue à donner une meilleure compréhension de l'objet étudié, les transports nationaux de marchandises spatialisés selon un découpage régional, par la formalisation de deux relations participant à l'articulation générale du système des transports de marchandises avec les systèmes de production et de localisation des activités. D'autre part, le modèle fournit des simulations à l'horizon 2015 des transports de marchandises à l'intérieur et entre les différentes régions françaises, sous des hypothèses contrastées de croissance économique et d'aménagement du territoire.

Le modèle rend compte de la réalité observée, c'est-à-dire des sensibilités variables du fret à la conjoncture industrielle selon les catégories de produits et selon l'échelle géographique de trafic d'une part, et d'une structure spatiale des échanges de marchandises caractérisée par des effets de proximité spatiale et de masse économique et par une forte inertie à long terme d'autre part. Le modèle participe également aux réflexions stratégiques et prospectives en politique des transports et en aménagement du territoire en apportant des éléments de cadrage des avenirs possibles du fret intra- et interrégional généré et de la distribution spatiale des flux interrégionaux. Les simulations du modèle QuinQuin Fret Multirégional sont relativement contrastées en fonction d'hypothèses sur la croissance industrielle nationale et sur l'évolution des contributions relatives régionales au fret généré à l'horizon 2015.

L'élaboration du modèle QuinQuin Fret Multirégional s'est déroulée en trois temps. Le premier temps a porté sur l'explicitation du cadre méthodologique général qui a orienté la démarche d'analyse et de modélisation. Le second temps a été consacré à l'analyse spatiale des transports de marchandises intra- et interrégionaux, du point de vue des volumes générés, des structures sectorielles, des contributions régionales, mais aussi de la structure spatiale des flux d'échange et de sa dynamique de long terme. Le troisième temps a porté d'une part, sur la description des relations causales constitutives du modèle et l'architecture globale de celui-ci composée des modules de génération, de distribution spatiale et de passage des tonnes transportées aux tonnes-kilomètres parcourues. D'autre part, le troisième temps a été consacré aux enseignements du modèle sur les mécanismes d'évolution des transports de marchandises et sur les avenirs possibles des flux intra- et interrégionaux en fonction d'hypothèses de croissance économique et d'aménagement du territoire.

L'explicitation des fondements théoriques et conceptuels d'analyse et de modélisation spatiales des transports de marchandises a eu comme intérêt premier de souligner la difficulté à prendre en compte l'espace dans la modélisation macroscopique des transports de marchandises sans demeurer à un niveau trop élevé d'abstraction mais au contraire en intégrant autant que possible les impacts directs de la différenciation et de la hiérarchisation spatiales et économiques de l'espace national. La présentation des différentes grandes approches de modélisation spatiale des transports de marchandises a également permis de positionner le modèle QuinQuin Fret Multirégional dans la classe des modèles macroscopiques agrégés de simulation du fret, ne visant pas à l'explication détaillée de l'organisation des transports de marchandises, que ce soit du point de vue logistique, de la répartition modale ou de l'affectation des trafics. Ces différents éléments font en effet l'objet de modèles intersectoriels plus complexes et plus désagrégés intégrant de nombreux paramètres et données statistiques mais n'ayant pas d'objectif de prévision ou de simulation de trafics globaux.

La méthode d'analyse et de modélisation spatiales a été présentée du point de vue de ses apports méthodologiques dans la compréhension des trafics interurbains de marchandises, le principal apport étant d'effectuer une distinction entre une dimension conjoncturelle et une dimension structurelle du fret. Cette dernière est exprimée par les coefficients structurels, qui constituent un rapport entre le fret observé et le fret potentiellement réalisable dans une situation théorique d'indépendance des zones d'échange. Nous avons alors exposé l'intérêt et la pertinence de l'utilisation de la méthode des coefficients structurels dans la modélisation empirique des transports de marchandises.

La présentation de la donne statistique a révélé une structuration socio-économique du territoire très forte à travers les indicateurs économiques de production, de productivité, mais aussi les indicateurs démographiques ou sociaux, de revenu ou d'emploi. Le territoire apparaît très hétérogène du point de vue socio-économique avec des régions disposant d'une position hégémonique, essentiellement la région Ile de France, alors que d'autres régions, comme l'Auvergne et le Limousin, présentent des retards chroniques de développement. Entre ces deux extrêmes, les régions de l'Ouest et les régions du Sud-Est affichent une dynamique économique soutenue et un renforcement de leurs spécificités et spécialisations sectorielles.

L'analyse spatiale du fret national à travers les deux échelles géographiques de transport retenues, intrarégionale et interrégionale, a été instructive pour la construction du modèle de simulation par la mise en exergue de divergences profondes. Des différences de structure sectorielle, de poids respectifs selon l'unité de mesure considérée, tonnes transportées ou tonnes-kilomètres parcourues, mais aussi d'évolution à long terme ont directement pesé sur la nature et la forme fonctionnelle des relations causales à la base des deux sous-modèles relatifs au fret intrarégional et au fret interrégional. En outre, les différences dans les contributions relatives régionales au fret généré et dans leur évolution à long terme, selon l'échelle géographique de transport, ont également affecté les volumes de fret régionaux générés et la distribution spatiale des échanges interrégionaux à long terme. Ainsi, à l'instar de la structuration socio-économique, les poids régionaux dans le transport de marchandises diffèrent de façon significative et révèlent des liens serrés entre une différenciation et une hiérarchisation économiques de l'espace d'une part

et les capacités régionales à l'émission ou à l'attraction en transport de marchandises d'autre part. En effet, les grandes régions économiques et démographiques se présentent comme les principales régions génératrices, et les régions en retard de développement comme peu contributives à la dynamique des interactions spatiales en transport de marchandises. Toutefois, cette relation n'est pas parfaite et totale, certaines régions font en effet preuve d'une dynamique en transport tout à fait particulière au cours des vingt dernières années compte tenu de leur position économique, en particulier la Bretagne et les autres régions de l'Ouest. Ces régions ont fortement accru leurs participations aux interactions spatiales en transport de marchandises et se posent comme des régions qui compteront de façon significative dans la distribution spatiale des flux de transport de marchandises à l'horizon 2015, suivant une évolution au " fil de l'eau ".

La structure spatiale des échanges interrégionaux de marchandises, exprimée par les coefficients structurels, a aussi révélé de fortes caractéristiques dans sa forme et dans son évolution. La structure spatiale des échanges interrégionaux est appréciée et formalisée en comparaison avec une situation théorique d'échange reposant sur une indépendance économique et géographique des régions. Cette structure spatiale se définit alors par des liaisons structurelles d'échange systématiquement privilégiées entre régions limitrophes et des liaisons désavantagées entre régions géographiquement éloignées. A long terme, cette répartition entre liaisons privilégiées et liaisons désavantagées présente une forte stabilité. Les coefficients structurels affichent une inertie importante, ce qui constitue un élément méthodologique central en termes de modélisation et de simulation de la distribution spatiale du fret à long terme. En effet, cette forte inertie est validée par l'estimation d'un modèle autorégressif. Cette inertie reste cependant relative dans le sens où quelques inflexions marquées des coefficients structurels à la hausse comme à la baisse sont observées. Ces quelques évolutions statistiquement significatives, c'est-à-dire contenant une tendance chronologique, expriment du point de vue de l'analyse spatiale, une mutation de l'organisation spatiale du système productif et du système des localisations d'activités même si cette mutation reste très lente et se situe dans une optique de très long terme. Une des répercussions directes de cette lente mutation sur la distribution spatiale du fret interrégional est un desserrement du rôle de la proximité spatiale dans l'établissement de liaisons d'échange durables. En effet, les liaisons d'échange privilégiées entre régions voisines ont tendance à s'affaiblir structurellement à long terme alors que les liaisons désavantagées connaissent un renforcement.

La construction du modèle et les simulations effectuées ont également été riches d'enseignements méthodologiques pour la modélisation spatiale des transports et stratégiques quant à la politique des transports. En particulier, une sensibilité variable des volumes transportés à la croissance industrielle a été mise en évidence ainsi qu'une forte résistance temporelle de la structure spatiale des trafics d'échange. Le premier apport méthodologique est contenu dans une plus grande qualité statistique et une plus grande retranscription de l'observation avec des ajustements fournissant une élasticité variable du fret à l'activité économique. La modélisation à l'aide d'élasticités variables a mis en évidence une sensibilité tout à fait différente selon les catégories de produits transportés, et une réactivité également différente selon l'échelle géographique de transport, intrarégionale et interrégionale. L'impact en termes de politique des transports est qu'il apparaît nécessaire de réfléchir à des stratégies et des mesures de transport différentes selon les deux échelles de trafics, du fait que ces transports ne répondent pas aux

mêmes logiques d'organisation et de fonctionnement et surtout ne réagissent pas de la même façon aux facteurs ayant une influence sur leur évolution, en particulier la conjoncture industrielle. De ce fait, leur traitement doit être distingué en termes de mesures à appliquer même s'il reste indispensable de gérer ces différents types de transport de fret au sein d'une politique globale. Cet aspect est crucial au sujet des conflits de trafics autour et dans les grandes agglomérations, notamment au sein du couloir rhodanien à la hauteur de Lyon où les trafics de transit, de longue distance, interrégionaux ou internationaux, ne répondent pas à la même logique fonctionnelle et ne réagissent pas de la même façon que les trafics d'échange locaux aux différentes mesures appliquées soit sur l'offre de transport (contournement de l'agglomération) soit sur la demande de transport (tarification différenciée dans l'espace, …).

Le second grand enseignement, qui est la forte inertie de la structure spatiale des échanges, conduit à réfléchir sur les enjeux des mesures d'offre de transport en termes d'aménagement du territoire et de rééquilibrage de la distribution spatiale du fret national. Dans cette optique, les nouvelles orientations stratégiques de la politique des transports doivent porter, à notre avis, davantage sur des mesures affectant la demande de transport plutôt que l'offre, du fait des impacts limités des investissements ou des améliorations de l'offre sur l'évolution de la structure spatiale des échanges interrégionaux. En effet, au cours de la période 1975-1994, les nouveaux tronçons autoroutiers mis en service, coïncidant avec des liaisons interrégionales d'échange, n'ont pas affecté l'intensité structurelle des échanges, autrement dit le niveau des coefficients structurels. Les leviers de commande de la politique des transports sont donc davantage à rechercher dans les mesures de tarification et de réglementation différenciées dans l'espace que dans les investissements en infrastructures de transport.

Ce travail contribue également à s'interroger sur des questions centrales en économie des transports. Il conduit notamment à souligner les risques forts probables d'asphyxie des villes par une concentration trop accentuée des activités économiques et des transports. Les enseignements de ce travail en matière de compréhension de l'évolution de la distribution spatiale des flux interurbains de marchandises révèlent l'urgence de prendre des mesures dissociées de gestion et de régulation des transports de marchandises en distinguant les différentes échelles géographiques de transport. Cette différenciation est indispensable du fait des fonctions et des sensibilités différentes entre ces trafics.

Ce travail conduit aussi à s'interroger plus longuement sur les impacts des transformations spatiales sur les transports de marchandises. L'absence de relation de causalité significative entre l'évolution des investissements en infrastructures autoroutières, à travers la diminution des temps et des coûts de transport, sur l'évolution des coefficients structurels conduit en effet à s'interroger de nouveau sur les effets structurants des infrastructures sur le développement économique des espaces traversés comme des espaces reliés.

Les transformations spatiales affectant la distribution spatiale des transports de marchandises de façon significative font en revanche référence à la sphère socio-économique, autrement dit à l'importance des contributions régionales à l'activité économique nationale et au transport de marchandises. Une modification de la croissance des contributions relatives régionales au fret généré peut en effet avoir des conséquences sur la distribution spatiale des échanges de

marchandises et sur le potentiel transportable de grands corridors de circulation, sans que des mesures sur les infrastructures aient été intégrées.

L'aboutissement de ce travail conduit aussi à s'interroger sur la qualité scientifique du modèle et sur ses capacités d'évolution en lien avec l'évolution logique de la réalité qu'il tente de représenter.

La qualité scientifique du modèle a fait l'objet d'un suivi tout au long de sa construction en référence aux trois conditions d'opérationnalité d'un modèle, développées par Alain Bonnafous. Notre double souci était de concevoir un outil permettant de décrire, de la façon la plus pertinente qu'il soit, une partie de la réalité du fonctionnement du système des transports interurbains de marchandises et de construire un outil opérationnel pouvant être utilisé par divers acteurs économiques. La condition de pertinence a été respectée notamment par la prise en compte d'élasticités variables du fret à la conjoncture industrielle, car de telles élasticités rendent mieux compte de la réalité des fluctuations temporelles du fret que les élasticités constantes. D'autre part, la structure du modèle conditionnée par une approche systémique fondée sur un système d'interaction spatiale formant un tout dans lequel s'insèrent les différentes régions françaises, a permis de tenir compte à la fois des spécificités propres à chacune des échelles géographiques de transport, mais aussi des caractéristiques propres à chaque composante régionale. Enfin, le recours à la méthode des coefficients structurels, distinguant une part structurelle et une part conjoncturelle dans le fret, constitue une démarche pertinente d'explication de la réalité des tonnages de fret échangés entre plusieurs lieux, car elle permet de prendre en compte, d'un côté l'impact du système productif et de l'autre côté, celui du système des localisations.

Le respect de la condition de mesurabilité conjointement aux deux autres conditions a été plus délicat. Il nous a contraints à poser des simplifications méthodologiques, telles que recourir à la projection temporelle en l'absence d'une détermination statistique satisfaisante de facteurs explicatifs, en particulier pour l'évolution à long terme des contributions relatives régionales. Le principal choix méthodologique effectué pour respecter cette condition a été de mener la phase de génération du fret au niveau national et non au niveau régional, en raison des problèmes de fiabilité et de disponibilité statistiques des données socio-économiques régionales. L'absence de relation causale statistiquement significative avec une variable explicative donnée pour l'ensemble ou pour une grande majorité des régions nous a donc conduit à opérer un changement méthodologique important et à renoncer à une modélisation régionale directe de la génération des volumes de marchandises.

Le modèle se particularise, à l'instar de tout modèle, par les choix méthodologiques effectués, par son ou ses objectifs et par son architecture. Il n'en reste pas moins que l'outil n'est pas immuable ou figé et qu'il ne se situe qu'à une des étapes de son évolution propre. Ce caractère évolutif est indispensable au rôle premier du modèle qui est de rendre compte d'une façon simplifiée d'une partie de la réalité qui connaît elle-même sans cesse des évolutions. Il est donc tout à fait normal et indispensable que les modèles qui cherchent à la représenter évoluent également ou contribuent à l'évolution et à l'amélioration de la modélisation des transports de marchandises. Le modèle QuinQuin Fret Multirégional contient donc des limites méthodologiques,

techniques et d'enseignement en politique des transports, mais présente aussi des perspectives d'évolution.

Avant d'exposer les principales perspectives de recherche, nous soulignons quelques limites qui nous apparaissent centrales dans la version actuelle du modèle et qui orientent d'ailleurs certaines perspectives de recherche.

La première limite du modèle QuinQuin Fret Multirégional tient à la non prise en compte des relations intersectorielles d'échange entre les régions. L'absence de désagrégation sectorielle en dehors de la phase de génération des tonnages interrégionaux constitue un handicap pour le modèle dans l'objectif d'évaluer les impacts de spécificités sectorielles ou plus largement de proximités fonctionnelles ou organisationnelles sur les volumes régionaux générés mais aussi sur la structure spatiale des échanges. Les spécificités sectorielles, spécialisations régionales ou concentration spatiale de branches d'activités, sont en effet apparues lors de l'analyse descriptive de la structure spatiale des échanges, comme des facteurs pouvant avoir une influence sur la structure et l'évolution de la distribution spatiale du fret interrégional. Des structures spatiales à l'échange très contrastées selon les catégories de produits transportés ont en effet été mises en évidence lors de l'analyse des coefficients structurels. Toutefois, la construction d'indices reflétant des différentiels interrégionaux sur les spécificités sectorielles s'est avérée complexe et n'a pas abouti à l'occasion de ce travail à des résultats pertinents du point de vue économique et satisfaisants du point de vue économétrique. La construction d'un tableau d'échange interindustriel interrégional apparaît alors comme indispensable. Toutefois, cette opération est complexe du fait de l'absence ou de la rareté des informations statistiques sectorielles à l'échelle régionale. En outre, la construction d'un indice régional de production industrielle serait très précieuse, dans le cadre de la modélisation spatiale du fret, pour formaliser la génération des volumes de fret directement à l'échelle régionale.

L'absence de variables de commande d'aménagement du territoire affectant la dimension structurelle du fret, autrement dit expliquant l'évolution des coefficients structurels, ressort comme une autre limite dans le sens où elle restreint les possibilités d'intervention, dans le modèle, sur la structure spatiale des échanges interrégionaux. Toutefois, l'absence de variable de commande sur la distribution spatiale se justifie, comme nous l'avons exposé dans la thèse, par la forte inertie de la structure spatiale à l'échange fortement liée au jeu de la proximité spatiale. Celle-ci ne peut en effet connaître d'évolution dans le temps puisque la structuration du territoire actuelle autour des villes et des réseaux de transport existants a peu de probabilités de se modifier profondément d'ici une vingtaine d'années. Les scénarios d'aménagement du territoire du modèle s'en trouvent ainsi limités. La seule démarche, utilisée dans la thèse, est de poser des hypothèses scénariales, modifiant certaines variables endogènes intermédiaires du modèle, sans impliquer une relation causale du modèle.

Face à ces limites, des perspectives d'approfondissement et de recherche sont proposées.

La première porte sur l'élaboration d'un tableau d'échange intersectoriel interrégional. Cette construction pourrait être envisagée dans un premier temps, comme une déformation du tableau Entrée-Sortie national par l'introduction de spécificités régionales. La prise en compte des spécificités régionales pourrait être réalisée par l'application d'un coefficient de correction régionale aux coefficients input-output nationaux, qui pourrait notamment tenir compte de

proportions plus faibles ou plus fortes de certains inputs et/ou outputs dans certaines régions par rapport au niveau national. Un tel tableau pourra alors servir à estimer des coefficients d'échange intersectoriels entre régions dont les variations annuelles seront ensuite confrontées avec celles des coefficients structurels.

La seconde perspective porte sur les possibilités de diversification des scénarios d'aménagement du territoire dans l'état actuel du modèle. Il serait en particulier intéressant de tester des hypothèses scénariales différenciées sur la structure spatiale des échanges interrégionaux. De tels scénarios seraient établis sur la modification, de façon exogène aux relations causales du modèle, de l'évolution de certains coefficients structurels, ceci en tant qu'expression d'effets de mesures d'aménagement du territoire sur la demande de transport. Il s'agit essentiellement de mesures de tarification ou de réglementation spatiale différenciée. On peut penser que de telles mesures pourraient en effet affecter les coefficients structurels dans le sens où une tarification agressive sur l'axe rhodanien et attractive sur les alternatives Nord-Sud du centre de la France pourrait réorienter spatialement une partie des flux interrégionaux. En revanche, les mesures sur l'offre de transport s'avèrent à l'heure actuelle plus limitées dans leurs effets attendus, et notamment les mesures sur l'offre routière. De plus, l'accroissement de l'offre routière, et surtout autoroutière, ne portera plus à l'avenir que sur des maillons en bout de chaîne du schéma directeur national. Ces investissements ont de ce fait une faible probabilité d'avoir des impacts significatifs en termes d'aménagement du territoire et d'orientation géographique des transports. Les seules mesures sur l'offre de transport dont on peut espérer des résultats intéressants pour la distribution spatiale du fret concernent le mode ferroviaire. Les investissements ferroviaires et en particulier la création de lignes entièrement dévolues au fret peuvent offrir des itinéraires de substitution, notamment sur l'axe Saône-Rhône. De telles lignes permettraient en effet, comme le souligne A. Bonnafous (2000) d'assurer des vitesses commerciales nettement supérieures à celles actuellement observées et d'affréter des trains plus longs du fait de l'absence de partage des lignes avec les trains de voyageurs.

Les perspectives de recherche que nous envisageons portent, pour certaines d'entre elles, sur l'enrichissement du modèle actuel, afin notamment de pouvoir tester l'impact de telles mesures. L'enrichissement du modèle passe par des améliorations dans les modules existants, comme nous l'avons mentionné précédemment avec le développement d'une approche désagrégée par produit plus complète, mais aussi par l'introduction de nouveaux modules et principalement d'un module de partage modal et par la suite d'un module d'affectation.

Le module de partage modal dans un modèle spatial de simulation du fret pose des questions méthodologiques intéressantes, en particulier sur la position d'un tel module par rapport au module de distribution spatiale. En effet, le partage modal doit-il être effectué avant ou après celui de distribution spatiale ? La question revient à se demander si l'on doit dans un tel module considérer des facteurs de compétitivité modale, prix et temps de transport par exemple, relatifs à chacun des axes interrégionaux structurants de circulation ou des facteurs de compétitivité établis au niveau national.

Le module d'affectation sur les infrastructures structurantes à l'échelle interrégionale présente quant à lui un intérêt économique double. D'une part, il permet d'agir directement au sein du modèle sur les choix d'itinéraires pour une même origine-destination interrégionale et de ce fait

d'intégrer des questions stratégiques sur de nouveaux investissements routiers. D'autre part, il autorise, à l'échelle d'un axe de circulation, l'évaluation des risques de dysfonctionnement voire de saturation par le calcul d'indicateurs de congestion (le trafic de voyageurs constituant un chargement de fond des infrastructures et faisant l'objet d'estimations indépendantes).

Ces deux modules sont également intéressants pour une autre perspective de recherche que nous envisageons, l'évaluation environnementale des transports interurbains de marchandises.

L'évaluation environnementale des trafics de marchandises se présente comme incontournable à l'heure actuelle avec la prise de conscience du rôle non négligeable du fret dans les nuisances des transports routiers et en particulier dans les problèmes de pollution atmosphérique ou de congestion. Une investigation sur les impacts environnementaux des trafics de marchandises estimés à long terme dans différents scénarios de simulation, notamment par le modèle QuinQuin Fret Multirégional, porterait sur les consommations énergétiques d'une part, et sur les externalités négatives générées d'autre part, telles que la pollution atmosphérique locale ou plus globale, les émissions sonores ou l'insécurité. Deux principaux facteurs sont alors à considérer dans une évaluation environnementale. D'un côté, il importe effectivement de s'interroger sur la croissance du trafic qui accroît de fait l'impact négatif des transports sur l'environnement. De l'autre côté, il convient d'intégrer les progrès technologiques relatifs aux véhicules qui constituent le facteur d'amélioration des performances environnementales du transport (CNT, 1999). Il s'avère donc indispensable de réfléchir sur l'organisation spatiale des activités et du système des transports comme sur l'intégration des critères environnementaux dans les mécanismes de régulation des transports, afin de limiter l'impact environnemental de la croissance inévitable des transports. L'établissement d'un bilan environnemental des transports de marchandises estimés à long terme selon des scénarios contrastés de croissance économique et d'aménagement du territoire s'avère de plus tout à fait central dans le cadre d'une politique de développement durable, devant nécessairement concilier au mieux les potentialités de développement économique du transport de marchandises et les contraintes d'équité spatiale et de préservation des patrimoines et territoires.

BIBLIOGRAPHIE

Ouvrages généraux

AURAY J.P., BAILLY A., DERYCKE P.H., HURIOT J.M., et alii (1994), *Encyclopédie d'économie spatiale. Concepts, comportements, organisations*, bibliothèque de sciences régionales, ASRDLF, Economica, Paris, 427 p..

AYDALOT PH. (1985), *Economie régionale et urbaine*, Economica, Paris, 485 p..

BAILLY A., FERRAS R., PUMAIN D. et alii (1992), *Encyclopédie de géographie*, Economica, 1132 p..

BEGG D., FISHER S., DORNBUSH R. (1999), *Macro-économie*, 2ème édition, remise à jour par B. Bernier, Ediscience International, septembre.

BERNADET M., LASSERRE J.C. (1985), *Le secteur des transports*, Paris : Economica, 377 p..

BLOY E., BONNAFOUS A., CUSSET J.M., GERARDIN B. (1977), *Evaluer la politique des transports*, coll. Economie publique de l'aménagement et des transports, PUL, Economica.

BONNAFOUS A. (1994), " Mathématique et scientificité dans les modèles économiques ", *in Economie, mathématique et méthodologie*, coordonné par J.M. HURIOT, Economica, novembre, pp. 82-106.

BONNAFOUS A. (1989), *Le siècle des ténèbres de l'économie*, Economica, Paris, 184 p.

DERYCKE P.H. (1992), *Espace et dynamiques territoriales*, bibliothèque de sciences régionales, ASRDLF, Economica, Paris.

ISARD W. (1972), *Méthodologie d'analyse régionale*, Paris, Dunod, 2ème Ed., traduction en français de A. Sallez, 213 p., 2 tomes.

LAJUGIE J., DELFAUD P., LACOUR C. (1985), *Espace régional et aménagement du territoire*, deuxième édition, Dalloz, 987 p..

POLESE M. (1994), *Economie urbaine et régionale. logique spatiale des mutations économiques*, bibliothèque de sciences régionales, Economica, 226 p..

QUINET E. (1998), *Principes d'économie des transports*, Economica, Paris, septembre, 419 p.

Mathématiques, Statistique, Econométrie et Modélisation

ANSELIN L. (1988), *Spatial econometrics, methods and models*, Kluwer Academic Publishers, 284 p..

ARCHINARD G., GUERRIEN B. (1984), *Analyse mathématique pour économistes*, Paris : Economica, 539 p..

BOSQ D., LECOUTRE J.P. (1992), *Analyse et prévision des séries chronologiques, Méthodes paramétriques et non paramétriques*, Eds Masson : Paris, 207 p..

BOURBONNAIS (1997), Econométrie, Dunod : Paris, mise à jour 1997, 279 p..

CALZADA C. (1995), *Instruments d'analyse exploratoire spatiale*, Note interne, OEST, MELTT

CLIFF A.D., ORD J.K., (1971), "Evaluating the percentage points of a spatial autocorrelation coefficient", *Geographical Analysis*, 3, pp. 51-62.

CLIFF, A.D., ORD J.K., (1973), *Spatial autocorrelation*. London : Pion Limited.

FURNESS K.P. (1965), " Time function iteration ", *Traffic Engineering & Control*, pp. 458-460, novembre.

GEARY, R.C. (1954), " The contiguïty ratio and statistical mapping ", *The incorporated statistician*, 5, pp. 115-145.

GRIFFITHS W., HILL C., JUDGE G. (1997), *Undergraduate Econometrics,* 366 p..

GUILLAUME M. (1996), “ Econométrie ”, *Encyclopaedia Universalis*, vol. 7, Edition 96, pp. 879-882.

JAYET H. (1993), *Analyse spatiale quantitative. Une introduction*, Economica, 1993.

JOHNSTON J. (1988), *Méthodes économétriques*, Tome 1, traduit par B. GUERRIEN et F. VERGARA, 3ème édition, Economica, 359 p..

KAUFMANN P. (1996), “ Interaction ”, *Encyclopaedia Universalis*, vol. 12, édition 96, pp. 427-429.

KENNEDY P. (1992), *A guide to econometrics*, MIT Press edition, 403 p..

MORAN P.A.P. **(1948),** "The interpretation of statistical maps", *Journal of Royal Statistical Society B*, 10, pp. 243-251.

OUM. T.H. (1989), “ Alternative demand models and their elasticity estimates ”, vol XXIII, n°2, Mai, pp. 163-187.

PATY M. (1996), “ Newton Isaac ”, *Encyclopaedia Unversalis*, vol 16, Ed. 1996, pp. 315-317.

TOMASSONE R., AUDRAIN S., LESQUOY-DE TURCKHEIM E., MILLIER C. (1992), *La régression, nouveaux regards sur une ancienne méthode statistique*, INRA, Actualités Scientifiques et agronomique, Masson, Paris, 189 p..

VATE M. (1993), *Statistique chronologique et prévision*, Paris, Economica, 254 p..

WONNACOTT T.H., WONNACOTT R.J. (1991), *Statistique*, Paris, Economica, août, 920 p..

Modélisation des transports de marchandises et de personnes

AMANO K., FUJITA M. (1970), “ A long run economic effect analysis of alternative transportation facility plans ”, *Journal of Regional science*, 1.

AUBERT P.L., ROUTHIER J.L. (1998), “ Freturb : un modèle de simulation des transports de marchandises en ville, *8th WCTR proceedings*, volume 1, Elsevier Eds., pp. 531-544.

BALAVOINE E. (1981), *La prévision de la demande de transports urbains*, thèse de doctorat d’Etat de sciences économiques, université de Bordeaux I, 591 p..

BATTEN D.F., BOYCE D.E. **(1986)**, “ Spatial interaction, transportation, and interregional commodity flow models ”, *Handbook of regional and urban economics*, vol 2, North-Holland.

BENHEDDI A., PITFIELD D.E. (1980),“ Industrial heterogeneity and spatial hierarchy in multiregional freight-generation models", *Environment and planning A*, volume 12, pp. 787-797, England.

BENHEDDI A. (1980), *Multi-regional freight generation models*, Thèse de doctorat, Loughborough University of Technology, 227 p. + annexes.

BJURKLO L.G., JOHANSSON B. (1994), “ Regional and internodal deliveries of goods - Assessing the precision of estimations ”, Working Paper, Division of Regional Planning, Departement of infrastructure and planning, Royal Institue of Technology, Stockholm, Sweden, 31 p..

BONNAFOUS A. (ss dir.), DURAND S., LATREILLE C. (1999), *Etude leviers-fret, le modèle Quinquin fret Deuxième Génération : Un exercice de spatialisation du fret national appliquée à l’axe Lyon-Avignon.* Expertise pour le compte de Réseau Ferré de France, 30 juillet 1999.

BOUF D. (1989), *Un nouvel instrument pour le dialogue stratégique entre la RATP et ses partenaires : le modèle Gros Quinquin*, Thèse d'Université pour le doctorat de sciences économiques, Université Lumière Lyon II, Facultés de sciences économiques et de gestion, Lyon, 16 novembre 1989, 279 p..

BOUTON F., GIRAULT M., (1994), " Prévisions des trafics de marchandises à l'horizon 2010 ", *Notes de synthèse du S.E.S.*, D.A.E.I., M.E.L.T.T., mars, 6 p..

CABANNE I., DURAND S., HENNEBELLE P-H., MASSON S., ROUTHIER J-L., SALIOU E. (2000), *Télescopage : modèle de simulation des trafics de marchandises et de personnes locaux et interurbains dans un espace région-ville.* Recherche réalisée pour le compte de l'ADEME dans le cadre du PREDIT, Laboratoire d'Economie des Transports - CETE de Lyon - ISIS, mai, 170 p..

CALZADA C., JIANG F. (1996), " Aperçu sur les modèles de réseaux en transport de marchandises ", *Note de synthèse du S.E.S.*, juin.

CALZADA C., (1998), *F.I.I.R.M. : Modèle des Flux Internationaux et Interrégionaux de marchandises*, Département des Etudes Economiques, Service Economique et Statistique, avril.

CALZADA C., HAMMADOU H. (1997), " Modélisation des flux d'importations régionales ", *Notes de synthèse du S.E.S.*, juillet-août.

CALZADA C., STENTA M. (1996), " Premiers pas en modélisation régionale ", *Notes de synthèse de l'O.E.S.T.*, février.

CEMT (1982), *Bilan de la modélisation de la demande : confrontation prévisions/résultats dans les transports urbains et interurbains*, table ronde 58, Paris.

C.N.T. (1994), *Crise du fret et prospective intermodale*, Rapport du groupe de travail du C.N.T., mission ministérielle du 22 octobre 1993, novembre, 57p..

DURAND S. (1999), "Interregional commodity flow modelling: comparative analysis and application of structural coefficients", *8th WCTR proceedings*, vol. 3, Elsevier Ed.

ERLANDER S., STEWART N.F. (1990), *The Gravity model in Transportation Analysis, Theory and Extensions*, Topics in Transportation, VSP, Utrecht, The Netherlands, 226 p..

FLOWERDEW R. (1991), " Poisson regression modelling of migration " in Stillwell J., Congdon P., *Migration models : macro and micro approaches*, chap 6, Belhaven press, London, New York, pp. 92-112.

FUSTIER B. (1988), " Les interactions spatiales ", in Ponsard, *Analyse économique spatiale*, P.U.F., pp. 1973-230.

GAUDEFROY A. (1996), " Le modèle REFLET (REpartition des Flux Estimés Transports) ", *Notes de synthèse du S.E.S.*.

GAUDRY M., PICARD G., NGUYEN S. (1988), " Fret : un modèle de simulation des flux de marchandises au Canada ", *Les cahiers scientifiques du transport*, n° 17-18, pp.183-200.

GIRAULT M., BLAIN J.C., MEYER K. (1995), " Elasticités de court et de long termes des trafics de marchandises à la croissance économique ", *Notes de synthèse de l'O.E.S.T.*, mars, 4 p.

GIRAULT M., LE THI MINH H. (1995), " Modélisation et prévision à long terme du trafic routier national de marchandises ", *Notes de synthèse du S.E.S.*, janvier.

GIRAULT M., PUIG J.P. (1996), " Projections de la demande de transport à l'horizon 2015 ", *Notes de synthèse du S.E.S.*, mars.

HARKER P.T. (1987), *Predicting of intercity freight flows*, Topics in Transportation, VNU Science Press, Utrecht, Netherlands, 261 p..

ISARD W. (1951), “ Interregional and regional input-output analysis : A model of space economy ”, *Review of economics ans statistics*.

JOURQUIN B. A. M. (1996), *Un outil d’analyse économique des transports de marchandises sur des réseaux multi-modaux et multi-produits, Le réseau virtuel, concept, méthodes et applications.* Thèse de doctorat en sciences économiques appliquées, Facultés Universitaires Catholiques de Mons, 212 p..

KARSKY M., SALINI P. (1999), *Prospective des transports de marchandises en France à l’horizon 2020 – Une application de la dynamique des systèmes complexes : le modèle SIMTRANS.* Rapport final : PREDIT 1996-2000, Décision d’aide à la recherche n°9 MT 116, Ministère de l’équipement, des transports et du logement, DRAST, 50 p. + annexes.

LATREILLE C. (1997), *Le modèle Quinquin Fret, un modèle de simulation à l'horizon 2015 des flux nationaux de transport de marchandises*, Tome 1 : le modèle Quinquin Fret, un instrument d'aide à la décision, 248 p., Tomes 2 et 3 : annexes, thèse pour le doctorat de sciences économiques, Lyon.

LEONTIEF W., STROUT A. (1963), “ Multiregional input-output analysis ”, In *Structural Interdependance and Economic Development*, Barna T(Ed.), St-Martin's Press, London, 119-150.

LEURENT F., MILOT J., PAPON F. (1992), *Dégagement, Gestion spatio-temporelle et multimodale du trafic de voyageurs et de marchandises sur le corridor nord-sud français*, INRETS.

LOS M. (1980), “ Conception d’un modèle de prévision des flux interrégionaux de marchandises pour le Canada ”, *Cahier n°80-07*, Université de Montréal, Centre de recherche sur les transports, Publication n°162, mai.

ORT des Pays de Loire (1995), *Carte des temps minima d’acheminement entre capitales régionales*, avec la participation de la DRE Rhône-Alpes, septembre.

ORTUZAR J. DE D., WILLUMSEN L.G. (1996), *Modelling Transport*, Second Edition, Wiley and Sons Eds, december.

PINI G. (1990), *Géographie des échanges interrégionaux de marchandises par voie ferrée et par route en Suisse*, 4 tomes, Thèse de sciences économiques et sociales, Genève.

PINI G. (1992), “ L’interaction spatiale ”, in Bailly et al. *Encyclopédie de géographie*, Economica, pp. 557-576.

RAUX C., PLAT D. (1992), *Frontier Impedance Effects and the groth of international exchanges : an empirical analysis for France*, Document de travail, Laboratoire d’Economie des Transports.

REYNAUD C. (1988), *Modèle macro-économique sectoriel des transports de marchandises*, INRETS.

SCHEOU B. (1997), *Modélisation des déplacements domicile-travail en milieu péri-urbain : le cas de la région lyonnaise*, thèse pour le doctorat de sciences économiques, Lyon, 200 p. + annexes.

SIMMONDS D., ECHENIQUE M., BATES J., OOSTERHAVEN J. (1999), *Review of land-use/transport interaction models*. Reports to the standing Advisory Committee on Trunk Road Assessment, Departement of the Environment, Transport and the Regions : London, october.

STOUFFER S.A. (1940), “ Intervening Opportunities : A Theory Relating Mobility and Distance ”, *American Sociological Review*, vol 5.

TABOURIN E. (1989), *Un modèle de simulation du financement des transports collectifs urbains à l'horizon 2000 : Le modèle QUIN-QUIN. Application à l'agglomération lyonnaise*, Thèse d'université, Option Economie des Transports, Lyon 2, LET, septembre, 331 p.

TAVASSZY L. ET ALII (1998), "Analyse de scénarios de long terme des systèmes logistiques et de transport à l'aide de SMILE", *8th WCTR proceedings*, Elsevier Ed.

ULLMAN E.L. (1956), *The role of transportation and the bases for interaction*, in W.L. Thomas (ed.), Man's role in changing the face of the earth : University of Chicago Press, Chicago.

VERMOT-DESROCHES B. (1994), " Les interactions spatiales ", in Auray et alii, *Encyclopédie d'économie spatiale, concepts-comportements-organisations*, ASRDLF, Bibliothèque de sciences régionales, Economica, pp. 61-66.

WILSON A.G. (1970), *Entropy in urban and regional modelling*, Pion Ltd. London.

ZLATOPER T.J., AUSTRIAN Z. (1989), " Freight transportation demand : a survey of recent econometric studies ", *Transportation*, vol 16, série 1, pp. 27-46.

Analyse spatiale, économie régionale et géographie économique

AGUILERA-BELANGER A., BLOY D., BUISSON M-A. CUSSET J-M., MIGNOT D. (1999), *Localisations des activités et mobilité*, Programme de recherche Transports Terrestres 1996-2000, Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et du Tourisme, D.R.A.S.T., Décision d'aide à la recherche n°96 MT 23, 272 p..

ALVERGNE C. (1997), *25 ans d'innovation dans l'industrie et les territoires français*, L'Harmattan, 207 p..

AMIN A., ROBINS K. (1992). " Le retour des économie régionales ? La géographie mythique de l'accumulation flexible ", in Benko G. et Lipietz A., *Les régions qui gagnent. Districts et réseaux : les nouveaux paradigmes géographiques*, PUF, Paris, pp. 123-161.

AYDALOT PH. (1976), *Dynamique spatiale et développement inégal*, Economica, 336 p..

AYDALOT PH. (1983), " La division spatiale des activités ", in Paelinck et Sallez, *Espace et localisation*, Economica, mars, pp. 175-200.

BAILLY A. (1994a), " Les représentations de l'espace – une approche cognitive ", in Auray et alii. *Encyclopédie d'économie spatiale. Concepts, comportements, organisations*., Economica, Paris, pp. 13-18.

BAILLY A. (1994b), " Territoires et territorialités ", in Auray et alii. *Encyclopédie d'économie spatiale. Concepts, comportements, organisations*., Economica, Paris, pp. 275-279.

BAUMONT C. (1995), " croissance endogène et croissance des régions. Vers une théorie de la croissance endogène spatialisée " in Célimène F. et Lacour C., *L'intégration régionale des espaces*, Economica, Paris.

BECCATINI G. (1992), " Les districts marshalliens : une notion socio-économique ", in Benko G. et Lipietz A.. *Les régions qui gagnent. Districts et réseaux : les nouveaux paradigmes géographiques*, PUF, Paris, pp. 35-55.

BEGUIN H. (1994), " Région ", in Auray et alii. *Encyclopédie d'économie spatiale. Concepts, comportements, organisations*., Economica, Paris, pp. 139-143.

BEGUIN H., THISSE J.F. (1979), " An axiomatic Approach to Geographical Space ", *Geographical Analysis*, n°11, pp. 325-342. .

BELLET M., COLLETIS G., LUNG Y. (1993), " Introduction au numéro spécial : Economie des proximités ", *Revue d'Economie Régionale et Urbaine*, n°3, pp. 357-361.

BENKO G. (1990), "La dynamique spatiale de l'économie contemporaine : une introduction", in Benko G., *La dynamique spatiale de l'économie contemporaine* , Editions de l'espace européen, Paris, pp. 5-11.

BENKO G., LIPIETZ A. (1992). " Le nouveau débat régional : positions ", in Benko G. et Lipietz A., *Les régions qui gagnent. Districts et réseaux : les nouveaux paradigmes géographiques*, PUF, Paris, pp. 13-32..

BONNET J. (1995), “ Les dynamiques régionales et leurs facteurs ”, *Revue d’Economie Régionale et Urbaine*, n°1, pp. 3-34.

BURMEISTER A., COLLETIS-WAHL K. (1997), “ Les interactions production-transport-espace : quelle(s) logique(s) de proximité(s) ?”, *Revue d’Economie Régionale et Urbaine*, 3, pp. 363-386, 1997.

CALMETTE M.F. (1994), “ Localisation et intégration européenne ”, *Revue d’Economie Régionale et Urbaine*, n°5.

CATIN M. (1992), “ La modélisation régionale ”, in P.H. Derycke, *Espace et dynamique territoriale*, pp. 187-213.

CATIN M. (1993), “ Performances à l’exportation, structures de production et niveaux de développement des régions ”, *RERU*, n°4, pp. 633-647.

CATIN M. (1994a), “ Economies d’agglomération ”, in Auray et alii. *Encyclopédie d’économie spatiale. Concepts, comportements, organisations*., Economica, Paris, pp. 105-109.

CATIN M. (1994b), “ Externalités ”, in Auray et alii. *Encyclopédie d’économie spatiale. Concepts, comportements, organisations*., Economica, Paris, pp. 99-102.

CATIN M. (1994c), “ Spécialisations spatiales ”, in Auray et alii. *Encyclopédie d’économie spatiale. Concepts, comportements, organisations*., Economica, Paris, pp. 233-238.

CATIN M., DJONDANG P. (1992), *Commerce international et économies régionales*, Economica, Paris.

CHARLOT S. (1998), *Economie géographique et croissance régionale : le rôle des infrastructures publiques*, thèse de doctorat en Analyse et Politique Economiques, Université de Bourgogne.

CLAVAL P. (1983), “ La notion de région ”, in J. Paelinck, A. Sallez, *Espace et localisation*, pp. 53-72, mars.

COLLETIS G., PECQUEUR B. (1993), “ Intégration des espaces et quasi-intégration des firmes : vers de nouvelles rencontres productives ? ”, *RERU*, n°3, pp. 489-508.

CREVOISIER O. (1995), Proximité, territoire et développement économique ”, *colloque de l’ASRDLF, dynamiques industrielles, dynamiques spatiales*, Toulouse, 17 p..

DAMETTE F. (1994), *La France en villes*, DATAR / La documentation française : Paris, 271 p..

DERYCKE H. (1994), “ L’intégration de l’espace dans le champ économique ”, in Auray et alii. *Encyclopédie d’économie spatiale. Concepts, comportements, organisations*., bibliothèque de sciences régionales, ASRDLF, Economica, Paris, pp. 19-24.

DONNELIER J.C. (1992), “ L’ouverture des régions sur l’extérieur : structures et disparités des taux d’exportation ”, in Catin, Djondang : *Commerce international et économies régionales*, Paris, Economica.

DURAND S. (1997), "La proximité organisationnelle et géographique dans les échanges interrégionaux de marchandises", *Les premières journées de la proximité*, CREUSET, GATE, Lyon.

FINES J.P. (1992) “ Les déterminants des exportations de la région PACA ”, in Catin, Djondang : *Commerce international et économies régionales* Economica, Paris.

FUJITA M., THISSE J.F. (1997), “ Economie géographique, problèmes anciens et nouvelles perspectives ”, *Annales d’économie et de statistique*, n°45, pp. 37-85.

GENDARME R. (1976), *L'analyse économique régionale*, Dalloz.

HANNOUN M, SICHERMAN G. (1983), “ Résorption des disparités régionales et nouveaux clivages ”, in *Economie et Statistique*, n° 153, mars.

HOLCBLAT N. TAVERNIER J.-L. (1989), “ Entre 1979 et 1986, la France a perdu des parts de marché industriel ”, *Economie et Statistique*, n° 217-218, janvier-février, pp. 37-50.

HURIOT J.M., PERREUR J. (1990), “ Distances, Espaces et Représentations. Une revue ”, *RERU*, 2, pp. 197-238.

HURIOT J.M., PERREUR J. (1992), “ Réalité spatiale qualitative et quantification ”, in Derycke. *Espace et dynamiques territoriales*, pp. 53-92.

HURIOT J.M., PERREUR J., (1994), “ Espace et distance ”, in Auray et alii. *Encyclopédie d’économie spatiale. Concepts, comportements, organisations*., Economica, Paris, pp. 19-24.

INSEE (1995), “ Les spécialisations fonctionnelles des villes ”, *Les dossiers*, 67 p., 1995.

JAYET H. (1983), “ Organisation et concurrence territoriale : un cadre global d’analyse ” *RERU*, n°1.

KRUGMAN P. (1991a), *Geography and Trade*, Gaston Eyskens Lecture Series, Cambridge, Massachusetts and London, MIT Press, Leuven University Press Leuven, 142 p..

KRUGMAN P. (1991b), “ Increasing returns and Economic geography ”, *Journal of Political Economy*, vol 99, n°3, pp. 483-499.

KRUGMAN P. (1995), “ Rendements croissants et géographie économique ”, in A. Rallet et A. Torre, *Economie industrielle et économie spatiale*, traduction de Krugman (1991b), bibliothèque de sciences régionales, ASRDLF, Economica, pp. 317-334.

LE BERRE M. (1992), “ Territoires ”, in A. Bailly, R. Ferras, D. Pumain, *Encyclopédie de géographie*, Economica, pp. 617-638.

LIPIETZ A.. (1977), *Le capital et son espace*, François Maspéro, Paris, 165 p..

LUNG Y. (1983), “ Régimes d’accumulation et dynamiques spatiales du capital : quel statut pour la région ? ”, *RERU*, n°3, pp. 439-462.

LUNG Y. (1995), “ Modèles industriels et géographie de la production ”, in Rallet et Torre, *Economie industrielle et économie spatiale*, bibliothèque de sciences régionales, ASRDLF, Economica, pp. 85-110, août.

MAILLAT D. (1995),“ Milieux innovateurs et dynamique territoriale ”,in Rallet et Torre, *Economie industrielle et économie spatiale*, bibliothèque de sciences régionales, ASRDLF, Economica, pp. 211-231 , août.

MORAN P. (1966), *L’analyse spatiale en sciences économiques*, Cujas, Paris.

PARK, BURGESS (1907), *An introduction to the science of Sociology*, Chicago. cité par Kaufmann (1996).

PERROUX (1950), “ Les espaces économiques ”, *Economie appliquée*, n°1, pp. 225-244.

PONSARD C. (1988), *Analyse économique spatiale*, P.U.F..

Problèmes Economiques, “ Le système français productif : structures, mutations, stratégies ”, n°23, 80 p, mars 1983.

PUMAIN D., SAINT-JULIEN TH. (1989), *Atlas des villes de France*, Reclus - La documentation française, 175 p..

PUMAIN D., SAINT-JULIEN TH. (1997), *L’analyse spatiale : 1. Localisations dans l’espace*, Cursus géographie, Armand Colin,.167 p..

PUMAIN D., SANDERS L. et SAINT-JULIEN T. (1989), *Villes et auto-organisation*, Economica, Paris.

QUELENNEC M. (1994), “ Géographie industrielle Paris-Province : évolution depuis 20 ans ”, *4 pages des statistiques industrielles du SESSI*, n°31, mars 1994, repris *in Problèmes Economiques*, n°2383,pp. 1-4, 6 juillet 1994.

RALLET A. (1988), "La région et l'analyse économique contemporaine", *RERU*, n°3, pp. 365-380.

RALLET A. (1995), “ Interactions spatiales et dynamique de proximité : bilan et perspectives ”, *colloque international de l’ASRDLF : Dynamiques industrielles, dynamiques territoriales*, Toulouse, 30,31 août-1er septembre, 29 p..

REILLY A. (1929), *The law of retail gravitation*, New York.

SALAIS R., STORPER M. (1993), *Les mondes de production, Enquête sur l’identité économique de la France*, Editions de l’Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales : Paris, 467 p..

SALLEZ A. (1992), “ Les nouveaux territoires de l’entreprise ”, in Derycke, *Espace et dynamiques territoriales*, pp 217-241.

SALLEZ A. (1994), “ Réseaux d’entreprises ”, in Auray et alii. *Encyclopédie d’économie spatiale. Concepts, comportements, organisations*., Economica, Paris, pp. 315-324.

SAVY M. (1983), *Transport de marchandises et division spatiale du travail*, Communication au Congrès “ La crise économique et l’espace ”, Paris.

SAVY M. (1994), “ Est-ce encore l’industrie qui structure l’espace ? Analyse de la contribution des branches d’activité économique aux différenciations inter-régionales ”, *RERU*, n°2, pp. 159-177.

SANTI G. (1995), *La nation : inégalités spatiales et solidarité*, Thèse pour le doctorat de Sciences Economiques, Université Lumière Lyon 2.

SCOTT A.J. (1992). “ L’économie métropolitaine : organisation industrielle et croissance urbaine ”, in Benko G. et Lipietz A., *Les régions qui gagnent. Districts et réseaux : les nouveaux paradigmes géographiques*, PUF, Paris, pp. 103-120.

SIMMEL G. (1908), *Soziologie*, Berlin, Leipzig, cité par Kaufmann (1996), pp. 427-429.

THISSE J.F. (1997), “ De l’indétermination des régions et de quelques inconvénients qui en résultent ”, *L’espace géographique*, n°2, pp. 135-148.

TORRE A. et alii (1992), “ Et pourtant ça marche ! quelques réflexions sur l’analyse du concept de proximité ”, *Revue d’Economie Industrielle*, n°61, pp.111-128.

TORRE A. (1993a), “ Mésoanalyse et structures productives régionales ”, *Industries et territoires*, n°3, pp.431-448.

TORRE A. (1993b), “ Proximité géographique et dynamiques industrielles, *RERU*, n°3, pp.431-448.

TURPIN (1981), “ Disparités régionales, croissance et crise ”, *Economie et Statistique*, n°133, mai 1981, pp. 77-99.

VALEYRE A. (1993), “ Mesures de dissemblance et d’inégalité interrégionales : principes, formes et propriétés ”, *Revue d’Economie Régionale et Urbaine*, n°1, pp. 17-53.

VATE M. (1983), “ Une mesure synthétique des spécificités régionales ”, *Revue d’Economie Régionale et Urbaine*, n°3, pp. 407-421.

VINCENEAU M. (1994), “ La croissance des régions de 1982 à 1991 ”, *INSEE première*, n°292, janvier 1994, 4p..

Economie des transports

AMBROSINI C., BOSSIN P., DURAND S., LE NIR M., PATIER-MARQUE D., ROUTHIER J.L., TRANCHAND P. (1997), *Transports de marchandises en ville, Enquête quantitative réalisée à Bordeaux, premiers enseignements,* Rapport de recherche pour le compte de la DRAST, l'ADEME et la C.U.B., LET : Lyon.

AUPHAN E., DANCOISNE P., SCHLIEPHAKE K., VARLET J. (1993), " De la distance temps à la distance coût ", in A. Bonnafous, F. Plassard, B. Vulin, *Circuler Demain*, Eds de l'Aube.

BENOIT J., DTT, (1994), "Vingt ans d'enquête sur les prix de revient, spécial transport routier", *La Note d'information de la DTT*, n°135, septembre, 80 p..

BERNADET M. (1992), *Succès du mode routier : effet de la production ou effet de la compétition ?, 7 p..*

BERNADET M. (1995), *Les indices de prix et de coûts en transport de marchandises, Etat des lieux et propositions*, rapport du groupe de travail "prix et coûts" du CEDIT.

BERNADET M., COLIN J. ET ALII (1994), *Transformation de l'espace industriel et de l'espace des transports de marchandises,* rapport de recherche pour le compte de la DTT, LET, CRET, 140p..

BERTHAUD P., DAVID-NOZAY N. (2000), " Le transport de marchandises à l'horizon 2020 sur l'axe Rhin-Rhône ", *Notes de synthèse du S.E.S.*, janvier-février.

BEUTHE M., CHARLIER J., JOURQUIN B., (2000), " L'intermodalité : de la compétitivité des réseaux de transports intermodaux de marchandises en Europe ", *15ème symposium international sur la théorie et la pratique dans l'économie des transports,* CEMT, Thessalonique, 7-9 juin, 34 p..

BONNAFOUS A., (1990), Mutation des systèmes des transports et radialisation de l'espace ", *RERU*, n°2, pp. 307-315.

BONNAFOUS A. (1992), " Calcul économique et objectifs d'aménagement du territoire ", *6ème Conférence Mondiale sur la Recherche dans les Transports,* Selected proceedings, volume1, pp. 231-241, Lyon, 29 juin au 3 juillet.

BONNAFOUS A., (1994), " Réseaux de transport ", in Auray et alii. *Encyclopédie d'économie spatiale. Concepts, comportements, organisations*., Economica, Paris, pp. 325-332.

BONNAFOUS A., (2000), " Le fret ferroviaire peut-il soulager la congestion ? ", article à paraître dans les *Annales des Ponts et Chaussées*, février, 8 p..

CALZADA C., JIANG F. (1996), " Comment mesurer la valeur du temps en transport de marchandises ", *Notes de synthèse du S.E.S.*, juillet-août, 4p.

CALZADA C. (ss. dir.), MAGALHAES C. (1995), *Analyse spatiale des échanges franco-espagnols, méthodes et résultats,* OEST, juillet, 72 p.

CALZADA C., MARY J.F. (1996), "Vers une géographie des flux", *Notes de synthèse de l'O.E.S.T.*, février.

CEMT (1991), *Transport et distribution spatiale des activités,* Table ronde 85, Paris, 153 p..

CROS P., DUMARTIN G. (1995), " Transit de poids lourds à travers la France : étude des itinéraires ", *Notes de synthèse du S.E.S.*, avril, 4 p..

DE JONG G, GOMMERS M (1992), " Time valuation in freight transport : method and results ", *PTRC, 20th Summer Annual Meeting.*

INRETS (1995), *Réseaux et territoires, un lexique pour les questions actuelles***,** GDR réseaux, avril.

MARMORSTEIN-WYNTER L. (1994), “ La valeur du temps de transport de fret en France, estimation à partir d’une enquête sur les préférences déclarées ”, *Recherche-Transports-Sécurité*, n°44, pp. 23-29.

METEYER J.C., NORMAND P., BARBARIN V. (1999), "Constitution de séries longues de coûts routiers", *Notes de Synthèse du S.E.S.*, pp. 15-18, mai-juin.

ORT des Pays de Loire (1995), *Carte des temps minima d’acheminement entre capitales régionales*, avec la participation de la DRE Rhône-Alpes, septembre.

PLASSARD F. (1977), *Les autoroutes et le développement économique*, Economica, PUL, 341 p.

PLASSARD F. (1990), "Axes autoroutiers et développement des régions", *Les Cahiers scientifiques du transport*, n°22, pp. 82-97.

RAMBEAU S. (1999), “ La structure du trafic sur le réseau routier national ”, *Notes de synthèse du S.E.S.*, mai-juin.

SAVY M. (1992), “ Logistique et territoire ”, *6ème conférence WCTR*, Tome 1, Lyon, pp 19-30.

SAVY M. (1993), *Logistique et territoire*, GIP Reclus : Montpellier, 140 p..

SAVY M. (1996), “ Les temps du fret ”, *Transports*, n°376, pp. 89-93.

SAVY M., **VELTZ P. (1989)**, “ Le transport par flux tendus ”, *Les cahiers scientifiques du transport*, n°19, pp. 29-42.

S.E.S. (1998), *Expériences françaises et étrangères en matière d’enquête dites “ chargeurs ”*, Club d’échanges sur le transport de marchandises, Paris, auteurs multiples.

TEURNIER P. (1990), “ Economie des transports et économie spatiale ”, *Les Cahiers Scientifiques du Transport* , n°21, pp103-116.

WIDLERT S., BRADLEY M. (1992), “ Preference of freight services in Sweden ”, *6th WCTR*, Lyon.

Les concepts d’accessibilité et d’accessibilité interrégionale

CATTAN N., GRASLAND C. (1997), *Les différentiels d’accessibilité des villes moyennes en France, volume 1 : l'accessibilité routière*, Rapport pour le METL.

CATTAN N., GRASLAND C. (1998), *Les différentiels d’accessibilité des villes moyennes en France, volume 2 : une approche multimodale : route et fer*, Rapport pour le METL, n°97.

CHATELUS G. (1997), *Accessibilité interrégionale, Théorie et exemple d’application à l’échelle européenne*, Rapport INRETS n° 217.

DUMARTIN G., MORCELLO E. (1994), “ Le corridor Nord en 2000/2010 : une étude d’accessibilité ”, *Recherche Transport Sécurité*, n°520, mars, pp. 49-61..

HANSEN W.G. (1959), “ How Accessibility Shapes Land Use ”, *Journal of the American Institute of planners*, vol. 25, pp. 73-76.

IZQUIERDO R., MONZON A. (1993), “ Capacité des infrastructures et accessibilité aux réseaux ”, *12ème symposium international sur la théorie et la pratique dans l’économie des transports : La croissance en question*, CEMT, Lisbonne, pp. 247-288.

KOENIG G. (1974), “ Théorie économique de l’accessibilité urbaine ”, *Revue économique*, vol. XXV, n°2.

POULIT G. (1974), *Urbanisme et transport : les critères d’accessibilité et de développement urbain*, SETRA, division urbaine.

REGGIANI A. (1999), “ Accessibility, Trade and Locational Behaviour : an introduction ”, in Reggiani, *Accessibility, trade and locational behaviour*, Ashgate, pp. 1-14.

Politique d'aménagement du territoire et prospective

ASHER ET ALII (1993), *Les territoires du futur*, DATAR, Editions de L'Aube, 182 p..

BIPE (1999), *Projections DIVA Régions à l'horizon 2015*. Rapport définitif, étude réalisée pour la compte du Ministère de l'Equipement du Logement et des Transports, D.A.E.I.., juin 1999, 11p. +annexes.

COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES (1991), *Europe 2000, Les perspectives de développement du territoire communautaire*, Direction générale des politiques régionales, Commission des Communautés Européennes, Communication de la Commission au Conseil et au Parlement européen : Bruxelles, Luxembourg.

COMMISSION DES COMMUNAUTES EUROPEENNES (1994), *Europe 2000+, Coopération pour la l'Aménagement du territoire*, Politiques régionales de la Communauté Européenne, Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes, 247 p.

COMMISSION EUROPEENNE (1999), *Schéma de développement de l'espace communautaire : vers un développement spatial équilibré et durable du territoire de l'Union européenne*, approuvé au Conseil informel des ministres responsables de l'aménagement du territoire à Potsdam, Elaboré par le Comité de Développement Spatial, Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes, 89 p..

DAMETTE F. (2000), " Le SDEC, un travail à poursuivre ? ", *Territoires 2020*, n°1, La Documentation Française, pp. 67-73.

DATAR (2000), *Aménager la France de 2020 : mettre les territoires en mouvement*, La Documentation Française, 87 p..

FREMONT A. (2000), " Les grands découpages de la France vus d'Europe : A propos d'Interreg IIIb ? ", *Territoires 2020*, n°1, La Documentation Française, pp. 92-98.

GUIGOU J.L. (1993), *France 2015 : recomposition du territoire national*, DATAR, Editions de L'Aube, coll. Monde en cours, 79 p..

GUIGOU J.L. (1995), *Une ambition pour le territoire, aménager l'espace et le temps*, DATAR, Editions de L'Aube, coll. Monde en cours, 136 p..

JAYET, PUIG, THISSE, (1996), " Enjeux économiques de l'organisation économique du territoire ", *Revue d'Economie Politique*, vol. 106, n°1, pp. 127-158.

JOURNAL OFFICIEL (1995), *Loi 95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement*, Ministère de l'environnement, J.O. du 3 février 1995, pp. 1840-1856.

JOURNAL OFFICIEL (1999), *Loi 95-115 du 4 février 1995 d'orientation pour l'aménagement et le développement du territoire modifiée par la loi 99-533 du 25 juin 1999 d'orientation pour l'aménagement et le développement durable du territoire*, Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement, J.O. du 29 juin 1999.

TAULELLE F. (2000), " Le SDEC, instrument de l'aménagement du territoire européen ? ", *Territoires 2020*, n°1, La Documentation Française, pp. 58-66.

Politique des transports et perspectives

AUBERT P-L., LATREILLE C., RAUX C., TABOURIN, E. (1998), *Les prévisions de trafics urbains et interurbains de voyageurs et de marchandises à l'horizon 2015 : comparaison de simulations issues de différents modèles*. Pour le compte du Commissariat Général au Plan, Interface Transport, mars.

BIPE (1990), *Club DIVA, Prospective des transports*, Neuilly-sur-Seine.

CEMT (1994), *Economie des transports, Rétrospective et prospective,* Paris, Table ronde 100.

C.N.T. (1999), *Les transports et l'environnement : vers un nouvel équilibre*. Rapport du groupe de travail présidé par Alain Bonnafous, rapporteurs : G. Brun et J.P. Nicolas, La Documentation Française : Paris, juin, 175 p..

COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN (1992), *Transports 2010,* Rapport du groupe présidé par le Commissaire au Plan, Paris : La Documentation Française, 516 p..

COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN (1993), *Transports : pour une cohérence stratégique*, Atelier sur les orientations stratégiques de la politique des transports et leurs implications à moyen terme présidé par Alain Bonnafous, septembre 1993.

COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN (1998), *Les perspectives de la demande de transport à l'horizon 2015, analyses et commentaires,* Atelier sur les orientations stratégiques de la politique des transports et leurs implications à moyen terme présidé par Alain Bonnafous, rapporteurs : Luc Baumstark et Jacques Lapeyre, juin, 65 p..

COMMISSARIAT GENERAL DU PLAN (1999), *2000-2006 : Quelles priorités pour les infrastructures de transport ?*. Atelier sur les orientations stratégiques de la politique des transports et leurs implications à moyen terme présidé par Alain Bonnafous, juillet.

LATTS-CERTES (1993), Prospective/perspectives du fret en Europe. Club Eurotrans, Paris : Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, novembre 1993, 202 p..

ORFEUIL J.P. (1995), " Les transports : de la satisfaction de la demande à la gestion des besoins ", in R. Passet : *Les Héritiers du futur*, Eds de l'Aube, pp. 127-139.

REYNAUD C., OLLIVIER-TRIGALO M.(1993), *Tendances du transport européen et besoins en infrastructures*, Rapport préliminaire, C.EM.T., Paris :I.N.R.E.T.S., octobre 1993, 315 p..

SETRA. DTT. Direction des Routes (1992). *L'axe A7-A9 à l'horizon 2010. Propositions intermodales,* Avril.

Statistiques

AGRESTE (1995a), *Production des I.A.A. en 1994, enquêtes de branches.* Données chiffrées, Ministère de l'agriculture, de la pêche et de l'alimentation, IAA n°53, novembre.

AGRESTE (1995b), *Statistique agricole annuelle, résultats 1994*, Données chiffrées, Ministère de l'agriculture, de la pêche et de l'alimentation, agriculture n°70, juillet.

CALZADA C., PENTEL A. (1999), " Analyse des données macro-économiques ", *Club d'échanges sur le transport de marchandises,* Paris : Département des Etudes Economiques, S.E.S., D.A.E.I., avril.

L'état de la France 96-97, La Découverte, Les 22 régions métropolitaines.

CNR (1994), *Les cahiers de l'observatoire du CNR,* Prix de revient méthode, analyse et calculs.

CNR (1995), *Les cahiers de l'observatoire*, CNR, n°113, janvier 1995

SESSI (1988), *L'industrie française dans les régions : édition 1988*, La Documentation Française, Ministère de l'Industrie et de l'Aménagement du Territoire, Direction générale de l'industrie, Services des Statistiques Industrielles, 454 p.

SESSI (1996), *L'industrie dans les régions*, édition 96/97, coll. Référence chiffres clés, Ministère de l'Industrie, Direction générale des stratégies industrielles, 453 p, juillet.

SETRA (1990), *Routes nationales et autoroutes, largeur des chaussées au 1er janvier 1990,* novembre.

SETRA (1992), *Guide des études de trafic.*

- Statistiques de l'I.N.S.E.E.

INSEE (1990a), *Annuaire rétrospectif de la France, séries longues, 1948-1988,* 1990.

INSEE, BENHADDOUCHE A., NOLIN A. (1995), " L'économie des régions de 1982 à 1992 ", *I.N.S.E.E. Première*, n°398, août.

INSEE, DEMOTES-MAINARD (1991), " Vingt ans de croissance industrielle ", *Economie et statistique*, n°244.

INSEE, DONNELIER J.C., MALIVERNEY J, MONTLOUIS E. (1987), *L'appareil productif régional de 1975 à 1984,* Les collections de l'INSEE, série R n°64, novembre.

INSEE, LINCOT L., LUTINIER B.(1998), " Les évolutions démographiques départementales et régionales entre 1975 et 1994 ", *I.N.S.E.E. Résultats*, n°67-68 : démographie-Société, 242 p., février.

INSEE, MALIVERNEY J. (1987), *Les comptes régionaux des branches de 1981 à 1983,*. Les collections de l'Insee, R63, 160 p., janvier.

INSEE, MALIVERNEY J. (1990b), *Les comptes régionaux des branches de 1984 à 1986,*. INSEE Résultats, Economie générale, 165 p., juin.

INSEE, TOMASINI M. (1993), *L'emploi régional et sectoriel de 1974 à 1991,* INSEE Résultats, emplois-revenus, n°43-44, 251p., avril.

INSEE, TOMASINI M. (1994), *L'emploi régional et sectoriel au 31 décembre 1992,* INSEE Résultats, emplois-revenus, n°61, 63p., mars.

INSEE (1987), " Les nouveaux indices de la production industrielle (base 100 en 1980) ", *Premiers résultats*, n°88, Paris : I.N.S.E.E., mars, 2 p..

INSEE, SAGLIO A. (1991), *Pour comprendre l'IPI, sources et méthodes de la base économique*, INSEE méthodes, n°12.

INSEE, SIMON M. (1995), *Projections de population des régions françaises, horizon 1990-2020.* INSEE Résultats, Démographie Société, n° 39-40-41, 439 p..

INSEE, VINCENEAU (1993), *Les comptes régionaux des ménages*, n°65-66, Economie générale, février.

INSEE (1989), *Comptes et indicateurs économiques, Rapport sur les comptes de la Nation 1988,* INSEE Résultats, Economie générale.

INSEE (1995a), *Statistiques et indicateurs des régions françaises (SIRF*), annexe au projet de loi de finances 1994, INSEE Résultats, Economie générale.

INSEE (1995b), Les comptes nationaux trimestriels, séries longues 70-91 base 100 en 1980, INSEE Résultats, n°119-120.

INSEE (1996a), *Comptes et indicateurs économiques, Rapport sur les comptes de la Nation 1995,* INSEE Résultats, n°471-472-473, Economie générale, juin.

INSEE (1996b), *Les P.I.B. régionaux, sources et méthodes*, INSEE Méthodes, n°XX.

INSEE (1997), *La France et ses régions,* Edition 1997, février, 226 p..

INSEE (1998), *Comptes et indicateurs économiques, Rapport sur les comptes de la Nation 1997,* INSEE Résultats, Economie générale, juin.

INSEE OEST (1992), *Les comptes des Transports en 1991*, I.N.S.E.E. Résultats, Economie Générale, n°57, I.N.S.E.E. : Paris, p. 96.

INSEE OEST (1995), *Les comptes des Transports en 1994*, I.N.S.E.E. Résultats, Economie Générale, n°113, I.N.S.E.E. : Paris.

- Statistiques du Ministère des Transports, D.A.E.I.

OEST (1986), *L'utilisation des véhicules utilitaires légers en 1986*., Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et du Tourisme, Paris, 87 p.

OEST (1995), *L'utilisation des véhicules utilitaires légers en 1991*, Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et du Tourisme, Paris.

OEST (1992), *L'utilisation des véhicules de transport routier de marchandises en 1991, véhicules de 3 tonnes et plus de charge utile*. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Equipement et des Transports, 108 p..

OEST (1994), *Les trafics de marchandises, SITRAM Résultats généraux, statistiques de l'année 1993*, Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et du Tourisme, 135 p., décembre.

OEST (1995a), *Les trafics de marchandises, SITRAM Résultats généraux, statistiques de l'année 1994*, Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et du Tourisme, 135 p., décembre.

OEST (1995b), *L'utilisation des véhicules de transport routier de marchandises en 1994*. Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Equipement et des Transports, 122 p., juillet.

OEST (1995c), *L'utilisation des véhicules utilitaires légers en 1991*, Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et du Tourisme, Paris.

OEST (1995d), *Le marché des véhicules, Immatriculations en 1994, Parcs au 1-1-1995*, Données du Fichier Central des Automobiles. OEST : Paris, Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Equipement et des Transports, 238 p., juillet.

OEST (1995e), *Mémento des statistiques des transports, résultats 1994*. Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et du Tourisme, décembre.

D.A.E.I. - S.E.S. (1997), *Les transports de marchandises, SITRAM Résultats généraux, statistiques de l'année 1995*, Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et du tourisme, 136 p., mars 1997.

D.A.E.I. - S.E.S. (1998), *Les transports de marchandises, SITRAM Résultats généraux 1997*, Données détaillées du S.E.S., D.A.E.I. : Paris, Ministère de l'Equipement, des Transports et du Logement, 138 p., décembre 1998.

D.S.T. (1983), *Enquête sur l'utilisation des véhicules utilitaires légers, camions, camionnettes de moins de 3 tonnes de charge utile et de moins de 15 ans d'âge, autobus et autocars de moins de 10 places assises et de tous âges*. Ministère des Transports : Paris, Direction des Affaires Economiques et Administratives, 60 p..

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figures

Figure I-1. Part de la principale aire urbaine dans la population régionale (1990) 28
Figure V-1. La structure spatiale de la population en 1990 101
Figure V-2. L'évolution de population régionale entre 1975 et 1990 102
Figure V-3. Les disparités régionales de création de richesse (V.A.B. 92). 104
Figure V-4. Croissance des valeurs ajoutées brutes régionales 82-92 106
Figure VIII-1. Tonnages régionaux exportés, importés et intrarégionaux en 1994 156
Figure VIII-2. Représentation spatiale de la structure sectorielle des tonnages intrarégionaux 1994 167
Figure VIII-3. Structure sectorielle des exportations régionales (sur les tonnages 1994) 169
Figure VIII-4. Structure sectorielle des importations régionales (sur les tonnes 1994) 170
Figure VIII-5. Les produits agricoles et agro-alimentaires dans le commerce interrégional (1994) 172
Figure VIII-6. Les produits énergétiques dans le commerce interrégional (1994) 173
Figure VIII-7. Les biens intermédiaires dans le commerce interrégional (1994) 174
Figure VIII-8. Les biens d'équipement dans le commerce interrégional (1994) 175
Figure VIII-9. Les biens de consommation dans le commerce interrégional (1994) 176
Figure VIII-10. Effets structurels et régionaux en taux de croissance à l'exportation (75-94) 183
Figure VIII-11. Répartition spatiale des effets structurels et régionaux à l'importation 187
Figure IX-1. La structure spatiale du fret interrégional à travers les principales liaisons structurelles préférentielles (CS 1994) 195
Figure IX-2. Structure spatiale des relations structurelles les plus désavantagées (1994) 196
Figure IX-3. La structure spatiale des principaux tonnages théoriques (1994) 197
Figure IX-4. La distribution spatiale des tonnages observés (1994) 198
Figure IX-5. Coefficients structurels de la région Poitou-Charentes (1994) 199
Figure IX-6. Structure spatiale du fret interrégional émis par Rhône-Alpes (1994) 200
Figure IX-7. Structure spatiale du fret interrégional reçu par Rhône-Alpes (1994) 201
Figure IX-8. Plus forte liaison structurelle privilégiée par région d'origine (CS 1994) 202
Figure IX-9. Structures spatiales sectorielles similaires (NST1) et divergentes (NST5) de la structure d'ensemble (1994) 203
Figure IX-10. Structure spatiale à partir des échanges en N.S.T. 0, 1, 6 et 9d 204
Figure IX-11. Bilan des relations privilégiées par région d'émission - 1994 205
Figure IX-12. Relations structurelles supérieures à 4 - 1994 207
Figure IX-13. Niveaux structurels d'attractivité régionale (1994) 209
Figure X-1. Structures spatiales comparées 1975, 1985 et 1994 211
Figure X-2. Croissance globale à long terme de l'intensité structurelle moyenne par région 213
Figure X-3. Intensité structurelle moyenne par région en 1975 et en 1994 214
Figures X-4. Intensité moyenne des relations privilégiées en 1975 et en 1994 et variations globales 1975-1994 215
Figure X-5. Variations de l'intensité structurelle et nature de la liaison d'échange 220
Figure XIII-1. La France polycentrique, polarisée sur les axes fluviaux 345
Figures XIV-1. Evolution à long terme des contributions régionales - scénario " fil de l'eau " ... 362
Figure XIV-2. Structure spatiale estimée du fret émis par Poitou-Charentes en 2015 364
Figure XIV-3. Variations absolues estimées des principales liaisons privilégiées (1994-2015) ... 365

Figure XIV-4. Principales variations absolues des liaisons désavantagées (1994-2015) 366
Figure XIV-5. Structure spatiale d'ensemble à travers les principales liaisons structurelles privilégiées à l'horizon 2015 367
Figure XIV-6. Volumes régionaux exportés en 2015 dans le scénario " fil de l'eau " 374
Figure XIV-7. Volumes régionaux importés en 2015 dans le scénario " fil de l'eau " 375
Figure XIV-8. Volumes intrarégionaux en 2015 dans le scénario " fil de l'eau " 377
Figure XIV-9. Principaux tonnages interrégionaux en 2015 - scénario " fil de l'eau " 378
Figure XIV-10. Structure régionale des flux exportés, importés et intrarégionaux en 2015 - scénario " France polarisée " 387
Figure XIV-11. Principaux flux interrégionaux en 2015 - scénario " France polarisée " 390
Figure XIV-12. Structure régionale des flux exportés, importés et intrarégionaux en 2015 – scénario " développement durable européen " 395
Figure XIV-13. Scénario " développement durable européen " : principaux flux interrégionaux en 2015 398

Graphiques

Graphique VII-1. Comparaison interrégional/intrarégional en 1994 142
Graphiques VII-2. Structures sectorielles interrégionale et intrarégionale (1994) 143
Graphique VII-3. Structures sectorielles du fret national (1994) 144
Graphique VII-4. Poids relatifs par produit des deux échelles de trafic 144
Graphique VII-5. Evolutions 1975-1994 comparées en tonnes et en tonnes-kilomètres 146
Graphique VII-6. Evolution du fret national (1971-1994) 147
Graphique VII-7. Evolution sectorielle des tonnes transportées 148
Graphique VII-8. Evolution de la structure sectorielle du tonnage national 149
Graphique VII-9. Evolution sectorielle des tonnes-kilomètres 149
Graphique VII-10. Evolution des distances moyennes tous produits tous modes 150
Graphique VII-11. Evolution des parts de marché nationales 152
Graphique VII-12. Evolution des parts de marché interrégionales 152
Graphique VII-13. Evolution des parts de marché intrarégionales 152
Graphique VII-14. Evolution de la distance moyenne interrégionale par mode de transport 153
Graphique VIII-1. Tonnages globaux générés par chaque région (intra + export +import) en 1994 156
Graphique VIII-2. Tonnes-kilomètres globales par région en 1994 157
Graphique VIII-3. Evolution des tonnages globaux générés par région (intra+export+import) 158
Graphique VIII-4. Evolution de la structure régionale du tonnage intrarégional global (1975-1994) 159
Graphique VIII-5. Variations annuelles des parts relatives intrarégionales 160
Graphique VIII-6. Evolution de la structure régionale des tonnages importés et exportés 162
Graphiques VIII-7. Croissances globales des tonnages exportés et importés (1975-1994) 162
Graphique VIII-8. Variations annuelles des parts régionales à l'exportation et à l'importation 163
Graphique VIII-9. Ratio de déséquilibre des flux interrégionaux (1994) 164
Graphique VIII-10. Evolution des déséquilibres des flux interrégionaux (exportation / exportation +importation) - 1975-1994 165
Graphique VIII-11. Profils régionaux sur les taux de croissance des tonnages émis et reçus (75-94) 166

Graphique VIII-12. Corrélation entre effet régional ou effet structurel et croissance des exportations 185
Graphique VIII-13. Corrélation entre effets structurels ou régionaux et taux de croissance des importations..... 188
Graphique X-1. Evolution par région du nombre de relations privilégiées (75-94) 212
Graphique X-2. Evolution du niveau moyen structurel par région 213
Graphique X-3. Evolution des coefficients structurels à l'origine de Rhône-Alpes..... 216
Graphique X-4. Evolution des coefficients structurels de Languedoc-Roussillon 220
Graphique X-5. Evolution du tonnage échangé de Languedoc-Roussillon vers PACA 222
Graphique X-6. Evolution de la structure sectorielle du fret de Languedoc-R. vers PACA 223
Graphique X-7. Evolution du tonnage de Languedoc-Roussillon vers Midi-Pyrénées 225
Graphique X-8. Evolution de la structure sectorielle du fret LARO => MIPY..... 225
Graphique X-9. Evolution de la liaison Languedoc-Roussillon vers Rhône-Alpes en tonnes transportées 227
Graphique X-10. Evolution de la structure sectorielle du fret 227
Graphique X-11. Variations annuelles des tonnages Haute-Normandie - Limousin..... 229
Graphique X-12. Evolution sectorielle de la liaison Haute-Normandie - Limousin..... 229
Graphique X-13. Variations annuelles des tonnages Haute-Normandie - Limousin..... 230
Graphique X-14. Evolution sectorielle en chapitres N.S.T. 231
Graphique X-15. Evolution sectorielle de la liaison Nord-Pas-de-Calais - Aquitaine 232
Graphique X-16. Evolution sectorielle de la liaison Centre vers Franche-Comté..... 233
Graphiques XI-1. Tonnages régionaux et VAB agricole et industrielle régionale (VABAI) -1992- 244
Graphique XI-2 Tonnages exportés et VAB agricoles et industrielles régionales (1992)..... 245
Graphiques XI-3. Importations régionales et VAB agricole et industrielle régionales - 1992..... 248
Graphique XI-4. Tonnage intrarégional et emploi salarié régional (1992)..... 249
Graphique XI-5. Evolution du transport interrégional, de la distance kilométrique et de la croissance économique..... 251
Graphique XI-6. Evolution des tonnages émis et reçus et des variables économiques régionales. Cas de la région Languedoc-Roussillon..... 255
Graphique XI-7. Evolution des indicateurs économiques nationaux et du tonnage interrégional. 256
Graphique XI-8. Taux de croissance annuels du tonnage interrégional et de l'activité économique et industrielle nationale 257
Graphique XI-9. Variations annuelles des tonnages et de l'activité économique de la branche correspondante : NST 9A et VAB T16+T17 260
Graphique XI-10. Régression entre les variations annuelles du tonnage interrégional et de l'I.P.I. 261
Graphique XI-11. Droites d'ajustement selon le lissage des séries chronologiques 263
Graphique XI-12. Calages avec les modèles sur données brutes et lissées 263
Graphique XI-13. Régressions à partir d'une segmentation temporelle 75-80 et 81-94..... 264
Graphique XI-14. Ajustement linéaire sur la période 1980-1994 (taux lissés mm3) 265
Graphiques XI-15. Régressions tonnages par catégorie de produits et I.P.I. (taux bruts) 268
Graphique XI-16. Calage du modèle de génération (lissage par moyennes mobiles d'ordre 4) 270
Graphique XI-17. Calage du tonnage interrégional total estimé sur la période 1975-1994 272

Graphique XI-18. Evolution du tonnage intrarégional et des variables socio-économiques régionales pour la région Bourgogne 275
Graphique XI-19. Croissance économique et industrielle nationale et tonnages intrarégional et interrégional 276
Graphique XI-20. Taux de croissance annuels du tonnage intrarégional et de l'I.P.I. 276
Graphiques XI-21. Régressions - tonnage intrarégional et I.P.I. (par catégorie de produits) 277
Graphique XI-22. Variations annuelles du tonnage intrarégional global et de l'I.P.I. 280
Graphique XI-23. Variations annuelles du tonnage intrarégional global et de l'I.P.I. 280
Graphique XI-24. Lissage par TCMA des variations du tonnage intrarégional et de l'I.P.I. 281
Graphique XI-25. Calage du modèle de génération du tonnage intrarégional 282
Graphique XI-26. Evolution de 1975 à 1994 des parts régionales à l'importation 283
Graphique XI-27. Parts régionales à l'importation estimées (1975-2015) 285
Graphique XI-28. Evolution de 1975 à 1994 des parts régionales à l'exportation 286
Graphique XI-29. Parts régionales à l'exportation estimées (1975 à 2015) 287
Graphique XI-30. Evolution de 1975 à 1994 des parts régionales dans le tonnage intrarégional . 288
Graphique XI-31. Parts régionales en intrarégional estimées (1975 à 2015) 290
Graphique XI-32. Calage des modèles de génération des tonnages régionaux locaux, importés et exportés 291
Graphique XII-1. Coefficients structurels et distance kilométrique (1994) 295
Graphique XII-2. Régression coefficients structurels – distance kilométrique : Ajustement par une fonction exponentielle 296
Graphique XII-3. Régression coefficients structurels – distance kilométrique : Ajustement par une fonction puissance négative 296
Graphique XII-4. Résidus des ajustements des coefficients structurels par la distance kilométrique 297
Graphique XII-5. Régression des coefficients structurels en fonction de la distance fonctionnelle - 1994 299
Graphique XII-6. Corrélation distance kilométrique moyenne et temps de transport (1994) 300
Graphique XII-7. Régression des coefficients structurels en fonction du coût de transport -1994 301
Graphique XII-8. Identification des coefficients structurels par le critère de contiguïté stricte.... 303
Graphique XII-9. Distribution des coefficients structurels en fonction d'un indicateur de contiguïté interrégionale stricte (1994) 303
Graphique XII-10. Résidus de l'ajustement multiple avec le coût de transport et la contiguïté générale de Dacey (1994) 306
Graphique XII-11. Résidus de l'ajustement CSij = f(CTij;Wij;POPj) 307
Graphique XII-12. Coefficients structurels et accessibilité interrégionale (1992) 309
Graphique XII-13. Coefficients structurels et indice d'utilité 310
Graphique XII-14. Calage des coefficients structurels 1994 estimés par un modèle autorégressifs en fonction des coefficients structurels 1993 318
Graphique XII-15. Projection temporelle par un modèle autorégressif d'ordre 1 des coefficients structurels à l'origine de Nord-Pas-de-Calais 320
Graphique XII-16. Exemples d'ajustements pour la projection des coefficients structurels..... 321
Graphique XII-17. Exemple de projection temporelle des coefficients structurels 322
Graphique XII-18. Exemples de calages des tonnages interrégionaux estimés sur la période d'observation 1975-1994 324
Graphique XII-19. Calage du tonnage interrégional (somme des tonnages par liaison O-D) 325

Graphique XII-20. Prévision de la distance moyenne par liaison O/D (ajustement logarithmique ou moyenne des observations) 328
Graphique XII-21. Exemples de calages des estimations des tonnes-kilomètres 329
Graphique XII-22. Calage du potentiel global de transport interrégional en tonnes-kilomètres ... 330
Graphique XIV-1. Variations annuelles des tonnages transportés selon diverses hypothèses contrastées de croissance industrielle entre 1995 et 2015 354
Graphique XIV-2. Observations passées et estimations 2015 comparées des tonnages 355
Graphique XIV-3. Variations annuelles des tonnes-kilomètres selon diverses hypothèses contrastées de croissance industrielle entre 1995 et 2015 356
Graphique XIV-4. Observations et estimations 2015 comparées des tonnes-kilomètres globales 357
Graphique XIV-5. Simulations des distances moyennes intra et interrégionales (hypo. IPI : 2%) 358
Graphique XIV-6. Projection de la tendance d'évolution de la structure sectorielle du tonnage intrarégional global 359
Graphique XIV-7. Evolution de la structure sectorielle du tonnage interrégional selon les hypothèses de croissance industrielle 359
Graphique XIV-8. Evolution de la structure sectorielle du tonnage national en fonction d'hypothèses contrastées de la croissance industrielle 360
Graphique XIV-9. Evolution de la structure spatiale de 1995 à 2015 368
Graphique XIV-10. Evolution estimée de la structure spatiale de Languedoc-Roussillon 368
Graphique XIV-11. Simulations des tonnages échangés sur des liaisons structurelles privilégiées en voie d'affaiblissement 379
Graphique XIV-12. Simulations des tonnages échangés sur des liaisons structurelles privilégiées en voie d'amélioration..... 380
Graphique XIV-13. Evolutions comparées du fret Lyon-Avignon et du fret interrégional total... 381
Graphique XIV-14. Tonnages comparés : 1994, " Fil de l'eau " et " France polarisée " 2015..... 388
Graphique XIV-15. Tonnages comparés : 1994, " Fil de l'eau " et " Développement durable européen " 2015 396

Schémas

Schéma I-1. Les trois relations de l'articulation " Production-Espace-Transport " 29
Schéma I-2. Structure du modèle d'Amano et Fujita..... 46
Schéma I-3. Structure globale du modèle SMILE 49
Schéma I-4. Démarche d'analyse et modules constitutifs du modèle FIIRM..... 51
Schéma III-1. Architecture du modèle QuinQuin Fret Multirégional..... 80

Tableaux

Tableau II-1. Matrice origine/destination des flux spatialisés d'échange 59
Tableau V-1. Répartition interrégionale de la population au RGP 1990..... 101
Tableau V-2. Evolution synthétique de l'inégalité territoriale de la population 102
Tableau V-3. Répartition régionale de la richesse économique en V.A.B. (1992)..... 103
Tableau V-4. Evolution des valeurs ajoutées brutes régionales 105
Tableau V-5. Evolution synthétique des disparités de valeurs ajoutées brutes régionales..... 105
Tableau V-6. Répartition régionale de la V.A.B. agricole et industrielle et évolution 107
Tableau V-7. Evolution synthétique des disparités de VAB agricoles et industrielles régionales 107
Tableau V-8. Répartition territoriale de l'emploi salarié total en 1992 108

Tableau V-9. Evolution de l'emploi salarié entre 1975 et 1992 et des indices de disparité spatiale 109
Tableau V-10. Emploi agricole et industriel, fréquences et parts dans l'emploi total régional 109
Tableau V-11. Evolution de l'inégalité territoriale de l'emploi industriel et agricole..... 110
Tableau V-12. Répartition territoriale de la productivité (V.A.B./ actif : branches agricoles et industrielles et ensemble des branches en 1992) 110
Tableau V-13. Evolution de l'inégalité territoriale de la productivité 111
Tableau V-14. Disparités spatiales du revenu disponible brut (1990)..... 111
Tableau V-15. Evolution des disparités spatiales du revenu disponible brut 112
Tableau V-16. Répartition de la VAB en grands secteurs (1992) 113
Tableau V-17. Croissance des grands secteurs économiques par région entre 1982 et 1992..... 114
Tableau V-18. Indice de spécificité industriel global régional (1992) 115
Tableau V-19. Evolution des spécificités industrielles entre 1982 et 1992 (VABAI//VAB)..... 115
Tableau V-20. Plus forte spécificité sectorielle en 1992 (branches économiques de la V.A.B. agricole ou industrielle régionale en NAP 40)..... 116
Tableau V-21. Coefficients de spécialisation (VAB 1992) francs constants 80 117
Tableau V-22. Coefficients de spécialisation en VAB agricole et industrielle (1992) 118
Tableau V-23. Coefficients de localisation (VAB-1992) 118
Tableau V-24. Coefficients de localisation 1992 (VAB branches industrielles)..... 118
Tableau V-25. Evolution des spécialisations régionales en VAB agricoles et industrielles (82-92) 119
Tableau V-26. Evolution des concentrations d'activités par branche NAP40 (1982-1992)..... 120
Tableau VI-1. Valeurs du temps en transport de marchandises moyennes en F/min/tonne 126
Tableau VI-2. Estimations de valeur du temps moyenne par classe de grandes distances en transport routier de marchandises (F/min) 126
Tableau VI-3. Coût unitaire routier d'exploitation de référence pour l'année 1994 128
Tableau VII-1. Catégories N.S.T. de produits 142
Tableau VII-2. Distances moyennes par produit (1994)..... 145
Tableau VII-3. Taux de déformation des distances par produit de 1975 à 1994 151
Tableau VIII-1. Parts relatives régionales dans le tonnage intrarégional (1994)..... 159
Tableau VIII-2. Variations globales 75-94 et moyennes annuelles des tonnages intrarégionaux . 160
Tableau VIII-3. Parts relatives régionales dans les tonnages exportés et importés (1994) 161
Tableau VIII-4. Principaux produits des tonnages intrarégionaux (1994)..... 168
Tableau VIII-5. Principales catégories de produits exportés par région (1994) 168
Tableau VIII-6. Principaux produits importés par région (1994) 170
Tableau VIII-7. Les plus fortes spécificités régionales sur les tonnages exportés (1994)..... 178
Tableau VIII-8. Indice de spécificité régionale à l'importation en 1994..... 179
Tableau VIII-9. Ecarts structurels et géographiques sur les tonnages régionaux exportés (75-94)182
Tableau VIII-10. Effets conjoints sur les exportations régionales..... 184
Tableau VIII-11. Ecarts structurel et résiduel sur les importations 186
Tableau VIII-12. Effets conjoints sur les importations régionales 187
Tableau IX-1. Intensité moyenne des coefficients structurels en 1994 208
Tableau IX-2. Intensité moyenne des relations privilégiées (CS>1) en 1994 208
Tableau X-1. Evolution des coefficients structurels en écarts absolus et relatifs (1976-1993)..... 218
Tableau X-2. Taux de croissance globaux contrastés du niveau de coefficients structurels..... 218

Tableau X-3. Variations absolues du niveau de certains coefficients structurels (1976 - 1993)... 219
Tableau X-4. Evolution des coefficients structurels LARO => PACA par catégorie de produit.. 224
Tableau X-5. Evolution des coefficients structurels par catégorie de produits (LARO - MIPY) . 226
Tableau X-6. Evolution des coefficients structurels par catégorie de produits LARO-RHAL 228
Tableau X-7. Evolution des coefficients structurels par catégorie de produits (HANO-LIMO)... 230
Tableau X-8. Evolution des coefficients structurels par catégorie de produits (BRET => POCH) 231
Tableau X-9. Evolution des coefficients structurels par catégorie de produits (NPDC-AQUI).... 232
Tableau XI-1. Tests d'autocorrélation spatiale sur les tonnages régionaux générés en 1994..... 243
Tableau XI-2. Coefficients de corrélation - tonnages exportés -1992-..... 244
Tableau XI-3. Relations tonnage exporté et structure socio-économique régionale - 1992..... 245
Tableau XI-4. Table de correspondance entre les nomenclatures statistiques de transport et de production économique présentée par le L.E.T. 246
Tableau XI-5. Relations entre tonnage exporté et VAB par catégorie sectorielle (1992)..... 246
Tableau XI-6. Coefficients de corrélation – Tonnages importés - 1992..... 247
Tableau XI-7. Relations tonnage importé et structure socio-économique régionale - 1992..... 247
Tableau XI-8. Relations entre tonnage importé et VAB par catégorie sectorielle (1992)..... 248
Tableau XI-9. Relations tonnage intrarégional et structure socio-économique régionale - 1992. 249
Tableau XI-10. Relations sectorielles entre tonnage local et VAB de la branche (1992)..... 250
Tableau XI-11. Relations de court terme entre tonnages exportés et V.A.B.A.I. régionale (taux sur données brutes) 252
Tableau XI-12. Relations multiples entre émissions / réceptions et variables socio-économiques régionales : taux de croissance annuels sur données lissées 254
Tableau XI-13. Relations affines entre les variations annuelles des indicateurs économiques nationaux et du tonnage interrégional (période 1975-1994)..... 258
Tableau XI-14. Tonnage interrégional et VAB nationale par classe de produits (fonction affine)259
Tableau XI-15. Tonnage interrégional et VAB par classe de produits (fonction log-log)..... 259
Tableau XI-16. Relation affine de court terme entre Tonnage interrégional et I.P.I. 262
Tableau XI-17. Relation affine de court terme entre Tonnage interrégional et I.P.I. lissés 262
Tableau XI-18. La décomposition sectorielle du fret interrégional (catégories N.S.T.) 266
Tableau XI-19. Relations à élasticité variable par catégorie N.S.T. de produits en fonction de l'I.P.I. 266
Tableau XI-20. Variations de moyen terme entre le tonnage interrégional et l'I.P.I. par catégorie de produits..... 271
Tableau XI-21. Relations de moyen terme entre les tonnages interrégionaux et l'I.P.I. 271
Tableau XI-22. Relations avec le terme correctif de l'autocorrélation des résidus..... 272
Tableau XI-23. Relations de moyen terme corrigées de l'autocorrélation (retenues)..... 272
Tableau XI-24. Relations de court terme - tonnage intrarégional et VABAI régionale 274
Tableau XI-25. Relations de court terme par catégorie de produits entre le tonnage intrarégional et l'I.P.I. national 277
Tableau XI-26. Relations de court terme à élasticité variable entre le fret intrarégional et l'I.P.I. (période 81-94, taux bruts)..... 279
Tableau XI-27. Relation de moyen terme entre le tonnage intrarégional et l'I.P.I..... 281
Tableau XI-28. Relation de moyen terme corrigée de l'autocorrélation des résidus..... 281
Tableau XI-29. Ajustements des parts régionales à l'importation..... 284

Tableau XI-30. Régressions multiples ou valeurs moyennes pour la prévision des parts régionales à l'importation à un horizon de 20 ans 285
Tableau XI-31. Ajustements des parts régionales à l'exportation 286
Tableau XI-32. Régressions multiples ou valeurs moyennes pour la prévision des parts régionales à l'exportation à un horizon de 20 ans 287
Tableau XI-33. Spécifications pour la projection des parts régionales dans le fret intrarégional . 289
Tableau XI-34. Régressions multiples ou valeurs moyennes pour la prévision des parts régionales en intrarégional 289
Tableau XII-1. Relation économétrique coefficients structurels et distance kilométrique..... 297
Tableau XII-2. Relation économétrique Coefficients structurels / temps de transport..... 300
Tableau XII-3. Résultats économétriques coefficients structurels et coût de transport (1994)..... 301
Tableau XII-4. Régression multiple : coefficients structurels en fonction du coût de transport et de la contiguïté stricte (1994) 304
Tableau XII-5. Régression multiple : coefficients structurels en fonction du coût de transport et des distances de contiguïté d'ordre 5 (1994)..... 305
Tableau XII-6. Régression multiple : coefficients structurels en fonction du coût de transport et de la contiguïté pondérée de Dacey (Wij) 305
Tableau XII-7. Régression multiple : coefficients structurels en fonction du coût de transport, de la contiguïté de Dacey et de la population ou du P.I.B. des régions de destination (1994)..... 307
Tableau XII-8. Régression multiple : coefficients structurels en fonction du coût de transport, de la contiguïté de Dacey, de la population des régions de destination et d'une variable socio-économique à l'émission (1994) 308
Tableau XII-9. Introduction des variables de spécificités sectorielles (1992)..... 308
Tableau XII-10. Résultats des modèles autorégressifs d'ordre 1 sur les coefficients structurels de 1994 et 1993..... 317
Tableau XII-11. Redressement d'une matrice à double contrainte 323
Tableau XIII-1.Les principales hypothèses de croissance économique..... 337
Tableau XIII-2. Principaux budgets régionaux européens et français 340
Tableau XIII-3. Les six images contrastées d'aménagement du territoire (2015) 341
Tableau XIII-4. Sélection des flux interrégionaux passant par l'axe Lyon-Avignon 351
Tableau XIV-1. Simulations des tonnages globaux transportés de 1993 à 2015..... 353
Tableau XIV-2. Simulations des tonnes-kilomètres globales réalisées de 1994 à 2015..... 356
Tableau XIV- 3. Estimation de la distance moyenne nationale de transport..... 358
Tableau XIV-4. Parts régionales à l'importation à l'horizon 2015 – hypothèse " fil de l'eau " ... 361
Tableau XIV-5. Parts régionales à l'exportation à l'horizon 2015 – hypothèse " fil de l'eau ".... 361
Tableau XIV-6. Parts régionales à l'intrarégional à l'horizon 2015 – hypothèse " fil de l'eau " . 362
Tableau XIV-7. Le potentiel transportable global simulé (1993 – 2015)..... 370
Tableau XIV-8. Décomposition sectorielle des tonnages interrégionaux estimés 371
Tableau XIV-9. Variations moyennes annuelles des tonnages interrégionaux par catégorie de produits vis à vis de la croissance industrielle 372
Tableau XIV-10. Simulations des tonnages régionaux exportés en 2015 dans les trois scénarios de sensibilité économique 373
Tableau XIV-11. Simulations des tonnages régionaux importés en 2015 dans les trois scénarios de sensibilité économique 375
Tableau XIV-12. Simulations des tonnages intrarégionaux en 2015 dans les trois scénarios de sensibilité économique 376

Tableau XIV-13. Le fret Lyon-Avignon en 1994 381
Tableau XIV-14. Les simulations du fret Lyon-Avignon à l'horizon 2015 en fonction de la croissance industrielle 382
Tableau XIV-15. Le potentiel Lyon-Avignon détaillé dans le scénario " fil de l'eau " 382
Tableau XIV-16. Hypothèses d'évolution des contributions relatives régionales dans le scénario " France polarisée " 385
Tableau XIV-17. Le fret estimé entre Lyon-Avignon en 2015 - scénario " France polarisée " 391
Tableau XIV-18. Hypothèses d'évolution des contributions relatives régionales dans le scénario " Développement durable européen " 393
Tableau XIV-19. Le potentiel de transport Lyon-Avignon à l'horizon 2015 - scénario " développement durable européen " 399
Tableau XIV-20. Descriptif synthétique des scénarios de simulation 400
Tableau XIV-21. Le potentiel transportable à l'horizon 2015 et les hypothèses de croissance industrielle 401
Tableau XIV-22. Estimations 2015 du potentiel transportable Lyon-Avignon selon différents scénarios d'aménagement du territoire 402

TABLE DES MATIERES

Remerciements 3

Sommaire 7

Introduction 9

Partie I. Le cadre méthodologique général 17

Chapitre I. Fondements théoriques, conceptuels et méthodologiques .. 19

Section I. Les enseignements des " modèles " économiques théoriques et empiriques sur l'échange *21*

I-1. L'approche théorique des modèles " spatiaux " de l'échange 21

I-1-1. La prise en compte du facteur " espace " *21*

A. La difficile intégration de l'espace dans l'analyse économique 21

B. Des conceptions et des mesures de l'espace très diverses 23

B-1. D'une expression abstraite d'un espace absolu … *24*

B-2. … à une expression plus concrète d'un espace relatif et évolutif *24*

C. La prise en compte de l'espace dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional 26

I-1-2. La nécessaire prise en compte de l'articulation " Production-Espace-Transport " ...*28*

A. La relation " Production-Transport " 30

B. La relation " Production-Espace " 31

C. La relation " Espace-Transport " 34

I-2. L'approche empirique de l'analyse des transports de marchandises 36

I-2-1. La logique des modèles d'interaction spatiale *36*

A. L'historique des modèles d'interaction spatiale 36

B. Les principes des modèles d'interaction spatiale 38

B-1. Définition des interactions spatiales *38*

B-2. Formalisation et expression empirique des interactions spatiales *39*

C. Les prolongements théoriques dans la loi de distribution des déplacements 41

I-2-2. Développements théoriques et applications empiriques des modèles de transport de marchandises *42*

A. La prise en compte de contraintes dans les modèles gravitaires d'interaction spatiale et la maximisation de l'entropie 42

B. Les modèles intersectoriels en transport de marchandises 45

B-1. Le modèle d'Amano et Fujita *46*

B-2. Le modèle FRET *46*

B-3. Le modèle MEPLAN *48*

B-4. Le modèle SMILE *49*

C. Application récente en France de la modélisation intersectorielle et des interactions spatiales : le modèle F.I.I.R.M. 50

Section II. La démarche méthodologique et de modélisation ***54***

II-1. Les deux caractéristiques centrales de la méthode d'analyse **54**

II-1-1. Une conception systémique *54*

II-1-2. Une modélisation spatiale synchronique impulsée par la méthode des coefficients structurels *56*

A. La méthode de modélisation de la dimension conjoncturelle du fret (génération) 57

B. La méthode de modélisation de la part structurelle du fret (distribution spatiale) 59

B-1. Définition et fonction des coefficients structurels *60*

B-2. Apports méthodologiques de la méthode des coefficients structurels *61*

II-2. Les méthodes statistiques et les outils de modélisation **62**

II-2-1. La régression *62*

A. Description du modèle linéaire théorique 63

B. Les hypothèses du modèle linéaire 64

B-1. Les hypothèses structurelles *64*

B-2. Les hypothèses stochastiques *64*

C. L'estimation par la méthode des moindres carrés ordinaires et les tests statistiques 65

C-1. Tests de la qualité statistique de l'ajustement : analyse de la variance, test F et test t *65*

C-2. Une mesure synthétique de la qualité de l'ajustement : le coefficient de détermination *68*

C-3. L'analyse des résidus *69*

C-4. Le test de colinéarité des variables exogènes *70*

C-5. La présence d'hétéroscédasticité *71*

II-2-2. L'analyse des séries chronologiques *72*

A. La décomposition et la prévision par régression multiple 72

B. Le rapport à la moyenne mobile 74

C. Le lissage exponentiel 75

Section III. La problématique centrale de la modélisation spatiale du fret dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional ***76***

III-1. La problématique du modèle QuinQuin Fret Multirégional **77**

III-2. L'architecture générale du modèle **79**

Conclusion : Chapitre I ***81***

Chapitre II. La donne **83**

Section IV. La donne statistique du potentiel transportable ***85***

IV-1. L'estimation statistique du transport national de marchandises **85**

IV-1-1. Description générale de la base de données S.I.TRA.M. *85*

IV-1-2. L'estimation du potentiel transport pour chaque mode de transport *87*

A. L'enquête T.R.M. 87

A-1. Le champ de l'enquête *87*

A-2. La méthode d'échantillonnage et la prise en compte des modifications de l'enquête *87*

A-3. Les variables disponibles dans l'enquête TRM *89*

B. Les statistiques du transport ferroviaire 89

C. Les statistiques du transport fluvial 89

IV-2. Les limites de l'estimation statistique du fret par les données de la base S.I.TRA.M. 90

Section V. La structuration socio-économique de l'espace national 92

V-1. Les indicateurs socio-économiques nationaux et régionaux : sources statistiques et qualité des données 92

V-1-1. Les indicateurs nationaux 92

V-1-2. Les statistiques socio-économiques régionales disponibles en série chronologique 94

A. Valeur Ajoutée Brute et Produit Intérieur Brut 94

B. Emploi 95

C. Revenu Disponible Brut et population 95

V-1-3. Les indices d'analyse spatiale 96

A. Les indices de spécificité et de spécialisation régionale 96

A-1. L'indice de spécificité 96

A-2. Les coefficients de spécialisation et de localisation 98

B. Les indices de disparité interrégionale 99

B-1. Le coefficient de variation 99

B-2. L'indice de Theil 99

V-2. Les facteurs socio-économiques d'émission et d'attraction 100

V-2-1. Les disparités démographiques régionales 100

V-2-2. Les disparités régionales de création de richesse 103

A. Les disparités territoriales en valeur ajoutée brute 103

B. Les disparités sectorielles à partir de la V.A.B. agricole et industrielle 106

V-2-3. Les disparités régionales d'emploi 108

A. La répartition spatiale de l'emploi salarié total 108

B. Les disparités relatives à l'emploi industriel et agricole 109

C. Les disparités interrégionales de productivité 110

V-2-4. La dimension sociale à travers le revenu des ménages 111

V-3. La structuration socio-économique du territoire par le jeu de spécificités, spécialisations et concentrations spatiales 112

V-3-1. Les spécificités régionales 113

A. Les spécificités régionales en valeur ajoutée brute 113

B. L'évolution des spécificités régionales 116

C. La distinction dans les spécificités régionales entre effet de spécialisation régionale et effet de concentration spatiale des activités 117

V-3-2. La difficile construction d'un indicateur de proximité sectorielle ou organisationnelle interrégionale 120

Section VI. La structuration de l'espace par l'offre de transport 121

VI-1. Les indicateurs de distance et de proximité 121

VI-1-1. La distance en analyse spatiale 121

VI-1-2. Les mesures quantitatives de “ distance interrégionale ” *123*

A. La distance kilométrique 123

B. La distance fonctionnelle ou temporelle..... 124

C. La distance-coût 125

VI-2. Les distances de contiguïté..... 130

VI-2-1. La contiguïté stricte et les distances simples de contiguïté *131*

VI-2-2. Les indicateurs de contiguïté pondérée..... 131

VI-3. Les indicateurs d'accessibilité : effet conjoint de l'attraction et de la séparation spatiale..... 133

VI-3-1. Le concept d’accessibilité *133*

VI-3-2. Les différents indicateurs d’accessibilité..... 134

A. Les indicateurs d’accessibilité en un point..... 134

B. Les indicateurs d’accessibilité interrégionale..... 135

Conclusion : Chapitre II 136

Partie II. Les transports de marchandises et la structuration de l'espace 137

Chapitre III. Les transports de marchandises dans un découpage régional de l’espace 139

Section VII. Les deux échelles géographiques du transport national.....141

VII-1. Deux échelles géographiques de trafic opposées 141

VII-1-1. Des structures sectorielles différenciées 142

VII-1-2. Des différences dans les distances moyennes parcourues.....145

VII-2. Des tendances d’évolution divergentes à long terme 146

VII-2-1. L’évolution des structures sectorielles 147

VII-2-2. Le jeu de l’évolution de la distance moyenne de transport 150

VII-3. Une répartition modale déséquilibrée.....151

VII-4. Les premiers enseignements de l’analyse descriptive des volumes globaux interrégionaux et intrarégionaux de marchandises 153

Section VIII. Les contributions régionales dans le transport national de marchandises.....155

VIII-1. Des contributions régionales fortement différenciées.....155

VIII-1-1. Les contributions régionales globales.....155

A. Les contributions régionales en 1994 155

B. L’évolution rétrospective des contributions régionales globales 158

VIII-1-2. Les contributions relatives régionales à l'exportation, à l'importation et en intrarégional et leur évolution à long terme *158*

A. Les contributions relatives régionales dans le fret intrarégional 159

B. Les contributions régionales à l'exportation et à l'importation 161

VIII-1-3. Des déséquilibres et des profils régionaux à l'échange différents *163*

A. Des contributions interrégionales déséquilibrées 163

B. L'évolution des profils régionaux à l'échange 165

VIII-2. Analyse sectorielle des contributions régionales 167

VIII-2-1. Prédominance des produits du BTP dans les flux locaux *167*

VIII-2-2. Des échanges interrégionaux plus diversifiés *168*

A. Des régions plus " spécialisées " dans leurs exportations 168

B. Des structures à l'importation plus homogènes 169

VIII-2-3. Des systèmes d'échange intégrés ou complémentaires selon les catégories de produits *171*

A. Les biens agricoles et agro-alimentaires 171

B. Les produits énergétiques 173

C. Les biens intermédiaires 174

D. Les biens d'équipement 175

E. Les biens de consommation 176

VIII-2-4. Le rôle des structures sectorielles et des dynamiques géographiques dans la croissance des échanges interrégionaux *177*

A. Une mesure des spécificités à l'échange de marchandises 177

B. Le jeu des structures sectorielles et des dynamiques régionales sur les volumes générés 179

B-1. Effets sur les volumes régionaux exportés *182*

B-2. Effets sur les tonnages importés *186*

Conclusion : Chapitre III ***189***

Chapitre IV. Les échanges de marchandises révélateurs d'une structuration de l'espace et des interdépendances régionales 191

Section IX. La structure spatiale des flux interrégionaux de marchandises ***193***

IX-1. La définition de la structure spatiale des échanges interrégionaux à l'aide des coefficients structurels 193

IX-2. Les caractéristiques de la structure spatiale du fret interrégional 194

IX-2-1. La structure spatiale d'ensemble *194*

IX-2-2. La structure spatiale des échanges propres à chaque région *199*

IX-2-3. Les composantes sectorielles de la structure spatiale du fret interrégional *202*

IX-3. Bilan des relations structurelles en termes " d'attractivité " et de " répulsivité " régionale 205

IX-3-1. Des liaisons privilégiées inégalement réparties *205*

IX-3-2. Des intensités structurelles régionales très variables 206

Section X. La dynamique structurelle des interactions spatiales en transport de marchandises 210

X-1. La dynamique globale de la structure spatiale des échanges.....211

X-2. Une dynamique structurelle identique pour toutes les régions 216

X-2-1. Une stabilité d'ensemble quelle que soit la région considérée 216

X-2-2. Une stabilité enrayée par la présence de quelques relations évolutives.....217

A. Des évolutions peu nombreuses en intensité absolue 217

B. … qui relèvent principalement des relations structurelles privilégiées..... 219

X-3. Des évolutions différenciées dans la structure sectorielle du fret.....221

X-3-1. Des modifications sectorielles dans les liaisons privilégiées : exemple de la nouvelle orientation structurelle de la région Languedoc-Roussillon.....221

A. La liaison Languedoc-Roussillon vers PACA..... 222

B. La liaison Languedoc-Roussillon vers Midi-Pyrénées..... 224

C. Une liaison privilégiée stable : Languedoc-Roussillon vers Rhône-Alpes 226

X-3-2. Des modifications sectorielles également présentes dans les liaisons désavantagées228

A. Les liaisons désavantagées et évolutives..... 228

B. Invariance de la structure sectorielle pour les liaisons désavantagées stables..... 231

Conclusion : Chapitre IV 234

Partie III. Le modèle QuinQuin Fret Multirégional 235

Chapitre V. La construction du modèle QuinQuin Fret Multirégional237

Section XI. Les relations conjoncturelles et la génération du fret 239

XI-1. Fret régional et activité économique régionale : repérage statique des liens Production-Transport 240

XI-1-1. Analyse spatiale quantitative du fret.....240

A. Coefficients d'autocorrélation spatiale et méthode d'analyse 241

B. Analyse quantitative sur les tonnages régionaux générés..... 242

XI-1-2. Les déterminants économiques régionaux des volumes physiques générés.....243

A. Echanges interrégionaux et structures socio-économiques régionales..... 243

A-1. Les exportations régionales 244

A-2. Les importations régionales 247

B. Les flux locaux de marchandises et les structures socio-économiques régionales..... 249

XI-1-3. Les principaux enseignements de l'approche en coupe transversale 250

XI-2. La génération du fret interrégional 251

XI-2-1. La modélisation directe des importations et exportations régionales par des variables économiques régionales.....252

XI-2-2. La modélisation du fret interrégional en fonction d'un indicateur économique national *256*

A. Le choix de la variable explicative 256

B. Le choix de la nature et de la forme fonctionnelle de la variable explicative 258

C. Modélisation agrégée ou désagrégée par catégorie de produits 258

D. L'Indice de Production Industrielle comme variable de sensibilité du tonnage interrégional 260

E. L'estimation du tonnage interrégional total en fonction de l'I.P.I. 261

E-1. Approche agrégée *261*

E-2. Approche désagrégée par catégorie de produits *266*

XI-3. La génération du fret intrarégional 273

XI-3-1. Nouvel échec de l'approche directe régionale *273*

XI-3-2. Recours à l'approche indirecte nationale *275*

A. Observation de l'évolution rétrospective 275

B. La sensibilité du tonnage intrarégional à la production industrielle nationale 277

XI-4. La répartition des tonnages globaux par région d'émission et d'attraction 282

XI-4-1. La prévision des contributions relatives régionales à l'échange *282*

A. Projection des contributions relatives régionales à l'importation 283

B. Parts régionales à l'exportation 286

XI-4-2. La prévision des contributions relatives en intrarégional *288*

XI-5. Génération des tonnages régionaux locaux, émis et reçus 290

Section XII. Les relations structurelles et la distribution spatiale du fret 293

XII-1. Détermination des facteurs explicatifs de la distribution spatiale du fret interrégional 294

XII-1-1. Les effets de séparation spatiale et de proximité spatiale *294*

A. L'impact de la séparation spatiale mesurée par un indicateur de distance continue 295

A-1. Coefficients structurels et distance kilométrique *295*

A-2. Coefficients structurels et distance-temps *298*

A-3. Coefficients structurels et coût de transport *300*

B. Les effets de proximité territoriale 302

B-1. Des coefficients structurels fortement différenciés par la proximité territoriale *303*

B-2. Introduction de la proximité territoriale dans le modèle de distribution spatiale *304*

XII-1-2. Les effets d'attraction socio-économique *306*

A. L'impact des variables d'attraction à la destination 307

B. L'introduction des variables socio-économiques à l'émission 307

C. La difficile mise en évidence du jeu des spécificités productives régionales 308

D. L'introduction d'un indicateur d'accessibilité interrégionale comme variable explicative unique 309

XII-1-3. Les enseignements de la modélisation en phase statique *310*

XII-2. La modélisation de la dynamique structurelle des échanges interrégionaux de marchandises 310

XII-2-1. Application du modèle statique en série chronologique..... 310

A. La nécessaire disponibilité de séries chronologiques longues et homogènes 310

B. La tentative de construction du modèle de distribution à partir des séries chronologiques..... 311

C. Quelle place pour les facteurs spatiaux face aux stratégies d'entreprises et aux relations interindustrielles ? 313

XII-2-2. Modélisation de la distribution spatiale par projection temporelle..... 316

A. Validation de l'hypothèse de stabilité temporelle des coefficients structurels 316

B. Projection temporelle des coefficients structurels..... 319

B-1. La prévision par un modèle autorégressif..... 319

B-2. La prévision par la régression : détermination du "trend" et de l'autocorrélation des résidus321

XII-2-3. Estimation des tonnages interrégionaux : combinaison des dimensions structurelles et conjoncturelles du fret 322

A. Redressement des estimations des tonnages croisés par un processus itératif 323

B. Calage des estimations des tonnages interrégionaux sur la période d'observation 324

XII-3. L'intégration du facteur distance dans l'estimation du fret en tonnes-kilomètres 325

XII-3-1. Tentative de modélisation de l'évolution de la distance de transport en fonction d'indicateurs de la division spatiale des activités..... 325

A. Recherche des facteurs explicatifs de l'évolution de la distance moyenne en charge 326

B. Tentative de modélisation de l'évolution de la distance de transport en fonction du nombre d'établissements et de l'emploi régional dans la branche transport..... 327

XII-3-2. La prévision de la distance moyenne interrégionale par projection de tendance. 328

XII-3-3. L'estimation des tonnes-kilomètres interrégionales..... 328

Conclusion : Chapitre V.....331

Chapitre VI. Prévisions et simulations par le modèle QuinQuin Fret Multirégional 333

Section XIII. Des contextes économiques et d'aménagement du territoire contrastés à l'horizon 2015.....335

XIII-1. Définition des scénarios de croissance économique 335

XIII-1-1. Les hypothèses macro-économiques.....335

XIII-1-2. Les scénarios de croissance économique dans QuinQuin Fret Multirégional 338

XIII-2. Définition des scénarios d'aménagement du territoire.....338

XIII-2-1. Les travaux nationaux et européens de prospective régionale 339

A. Prospective et territoires : les études et scénarios de la DATAR..... 339

A-1. Les grands chantiers d'aménagement du territoire..... 339

A-2. Les images prospectives contrastées de l'aménagement du territoire 341

B. La politique régionale européenne et les documents prospectifs européens..... 343

XIII-2-2. Les scénarios d'aménagement du territoire dans le modèle QuinQuin Fret Multirégional *346*

A. Le scénario " France polarisée " 346

B. Le scénario de " Développement durable européen " 348

XIII-2-3. Les avenirs du fret dans le couloir rhodanien *350*

Section XIV. Les simulations à long terme du fret* *352

XIV-1. La sensibilité du fret à la croissance industrielle 352

XIV-1-1. La réactivité des tonnages transportés intra- et interrégionaux *352*

XIV-1-2. La réactivité du tonnage-kilométrique *355*

XIV-1-3. Le jeu des structures sectorielles *359*

XIV-2. Les tendances lourdes projetées à long terme 360

XIV-2-1. Les contributions relatives régionales *360*

XIV-2-2. La structure spatiale des échanges interrégionaux *363*

A. La structure spatiale du fret interrégional à l'horizon 2015 363

B. La dynamique structurelle jusqu'en 2015 367

XIV-3. Les simulations du fret multirégional dans des scénarios contrastés de croissance économique 369

XIV-3-1. Le potentiel transportable global estimé *370*

XIV-3-2. La place des régions dans le fret généré *372*

A. En tonnes générées 372

B. En tonnes-kilomètres parcourues 377

XIV-3-3. Les avenirs possibles des principaux axes interrégionaux d'échange *377*

A. Les futurs possibles des liaisons structurelles privilégiées en forte évolution 379

B. Les futurs possibles du transport de marchandises dans le couloir rhodanien 380

B-1. Les caractéristiques du fret Lyon-Avignon *380*

B-2. Les estimations du fret Lyon-Avignon en 2015 en fonction de la croissance industrielle ... *381*

XIV-4. Les simulations à long terme dans des contextes différenciés d'aménagement du territoire 383

XIV-4-1. Les simulations du scénario " France polarisée " *384*

A. Les contributions relatives régionales dans une " France polarisée " 385

B. Les disparités régionales de volumes générés et transportés dans une " France polarisée " .. 386

B-1. Les tonnages régionaux générés *386*

B-2. Les tonnes-kilomètres réalisées *389*

C. La distribution spatiale du fret interrégional et le potentiel transportable sur l'axe Lyon-Avignon390

XIV-4-2. Le scénario " Développement durable européen " *392*

A. Les contributions relatives régionales dans un " Développement durable européen " 392

B. Les disparités régionales de fret dans un contexte de développement durable 394

B-1. Les tonnages régionaux générés *394*

B-2. Les tonnes-kilomètres réalisées *397*

C. La distribution spatiale du fret interrégional et le potentiel estimé sur le tronçon Lyon-Avignon397

Conclusion : Chapitre VI* *400

Conclusion Générale..... 403
Bibliographie..... 413
Table des illustrations 429
Annexes..... Tome 2

Analyse et modélisation spatiales à long terme du transport national de marchandises

Résumé

La croissance soutenue du transport de marchandises et les déséquilibres dans sa distribution spatiale amènent à s'interroger sur l'évolution à long terme du fret et sur ses répercussions en termes d'aménagement du territoire.

Un modèle spatial de simulation à long terme du transport de marchandises est développé pour comprendre et expliciter les mécanismes d'évolution et d'organisation spatiale des transports de marchandises. L'analyse et la modélisation spatiales développées reposent sur la distinction d'une dimension conjoncturelle du fret liée à l'activité industrielle, et d'une dimension structurelle relevant de la structuration spatiale et socio-économique du territoire. Cette seconde dimension est évaluée à l'aide de coefficients structurels qui expriment l'écart entre les trafics observés et les trafics potentiels dans une situation théorique d'indépendance entre les régions.

Le modèle rend compte des facteurs explicatifs et des tendances lourdes qui déterminent la formation et l'évolution à long terme des transports intra- et interrégionaux de marchandises, leur répartition régionale et la distribution spatiale des flux interrégionaux. Sur le plan conjoncturel, le modèle met en évidence une sensibilité variable du fret à la croissance industrielle et également différenciée selon les catégories de produits transportés et selon l'échelle géographique de transport. Sur le plan structurel, la structure spatiale du fret d'échange est expliquée par des indicateurs de coût de transport et de proximité interrégionale et connaît à long terme une forte inertie. Les scénarios de simulation testés présentent des avenirs possibles des volumes et de la distribution spatiale du fret, selon des hypothèses contrastées de croissance industrielle et d'aménagement du territoire, entre d'un côté, une polarisation accrue du fret sur le bassin parisien et l'axe Nord-Sud et de l'autre côté, une diffusion spatiale plus large.

Mots clés

Modélisation spatiale / interaction spatiale / élasticité / simulation / coefficients structurels / analyse spatiale / transport de marchandises / fret intrarégional et interrégional

Spatial analysis and long-run modelling of national freight

Abstract

The growth of goods transport and the imbalances in its spatial distribution lead to consider the long-run evolution of freight and its repercussions in regional planning.

A spatial model of long-run simulation of goods transport is developed to understand and clarify the mechanisms of evolution and the spatial organization of freight. The spatial analysis and modelling are based on the distinction of an economic dimension of freight, which depends on the industrial activity, and a structural dimension, which is related to the spatial and socio-economic structuring of the national territory. This second dimension is evaluated using structural coefficients which compare real flows with potential flows, these ones being assessed in a theoretical situation of independence between areas.

The model presents the explanatory factors and main trends which determine the formation and the long-run evolution of intraregional and interregional freight and the spatial distribution of interregional flows. For the economic dimension, the model highlights a variable reactivity of freight to the industrial growth, equaly differentiated with respect to the nature of good shipped and the geographical scale of transport. For the structural dimension, the spatial structure of goods transport is related to transport cost and interregional proximity and exhibits a strong temporal stability. The scenarios of simulation present possible futures of volumes and spatial distribution of freight, according to contrasted assumptions of industrial growth and regional planning, between an increased agglomeration of freight on the Paris basin and the North-South major road on the one hand and a larger spatial dispersion on the other hand.

Key words

Spatial modelling / spatial interaction / structural coefficient / simulation / elasticity / long-run simulation / spatial analysis / goods transport / intraregional and interregional freight