



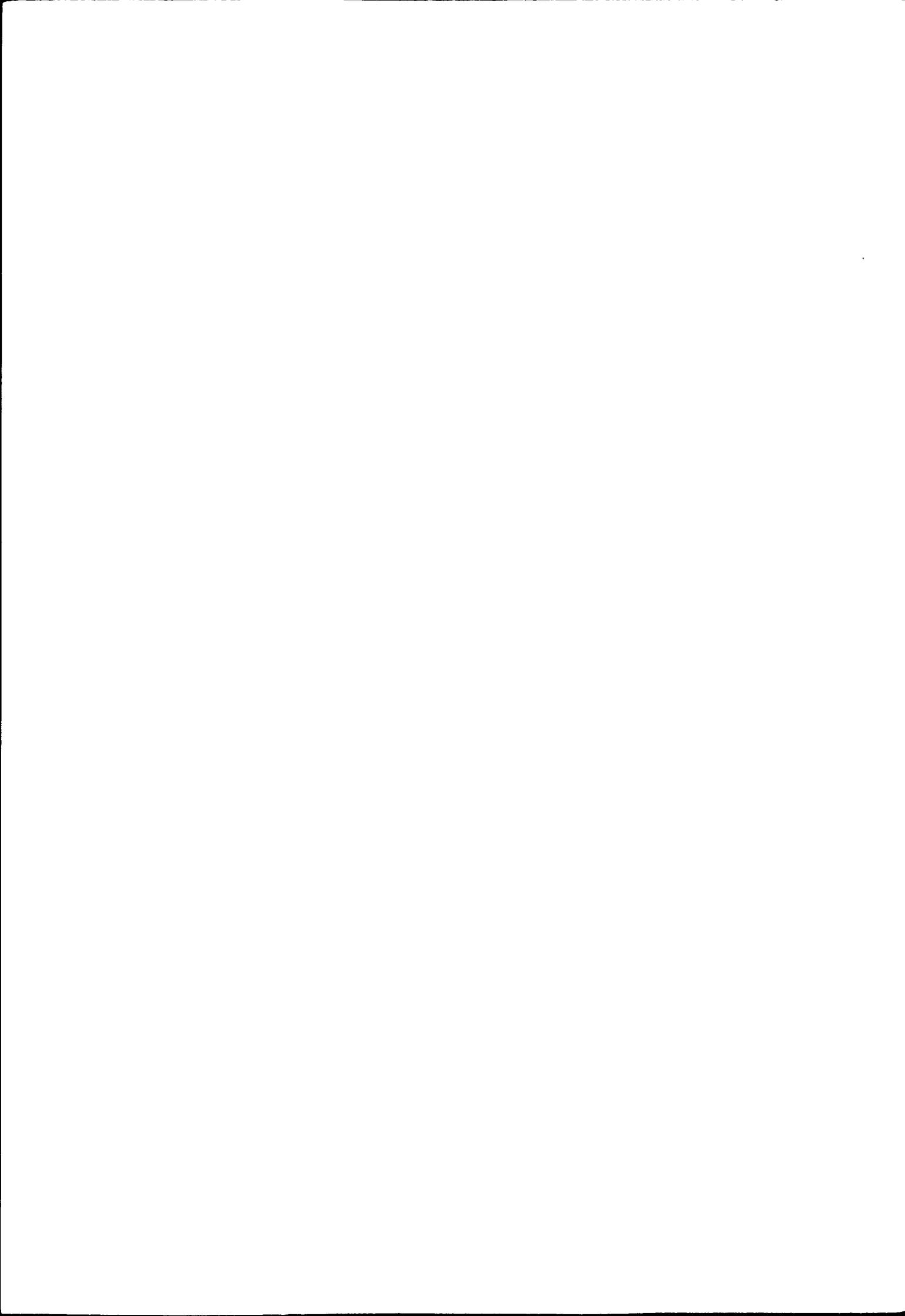
Ministère
de l'Équipement,
du Logement,
des Transports
et du Tourisme

L'ESPACE DU TRANSPORT ROUTIER DE MARCHANDISES FRANCO-BELGE

Deuxième partie

DAEI - Service Économique et Statistique

Tour D - 92055 LA DEFENSE Cedex Téléphone 01 40 81 21 22 Télécopie 01 40 81 17 72



Equipe PARIS
Pour l'Avancement des Recherches
sur l'Interaction Spatiale
CNRS - URA 1243
13, rue du Four
75006 PARIS

DEA ATEG
Analyse Théorique et Epistémologique
en Géographie
Université Paris I / Université Paris VII /
ENS Fontenay Saint-Cloud
191, rue Saint Jacques
75005 PARIS

Deuxième partie

Les effets de barrière franco-belge

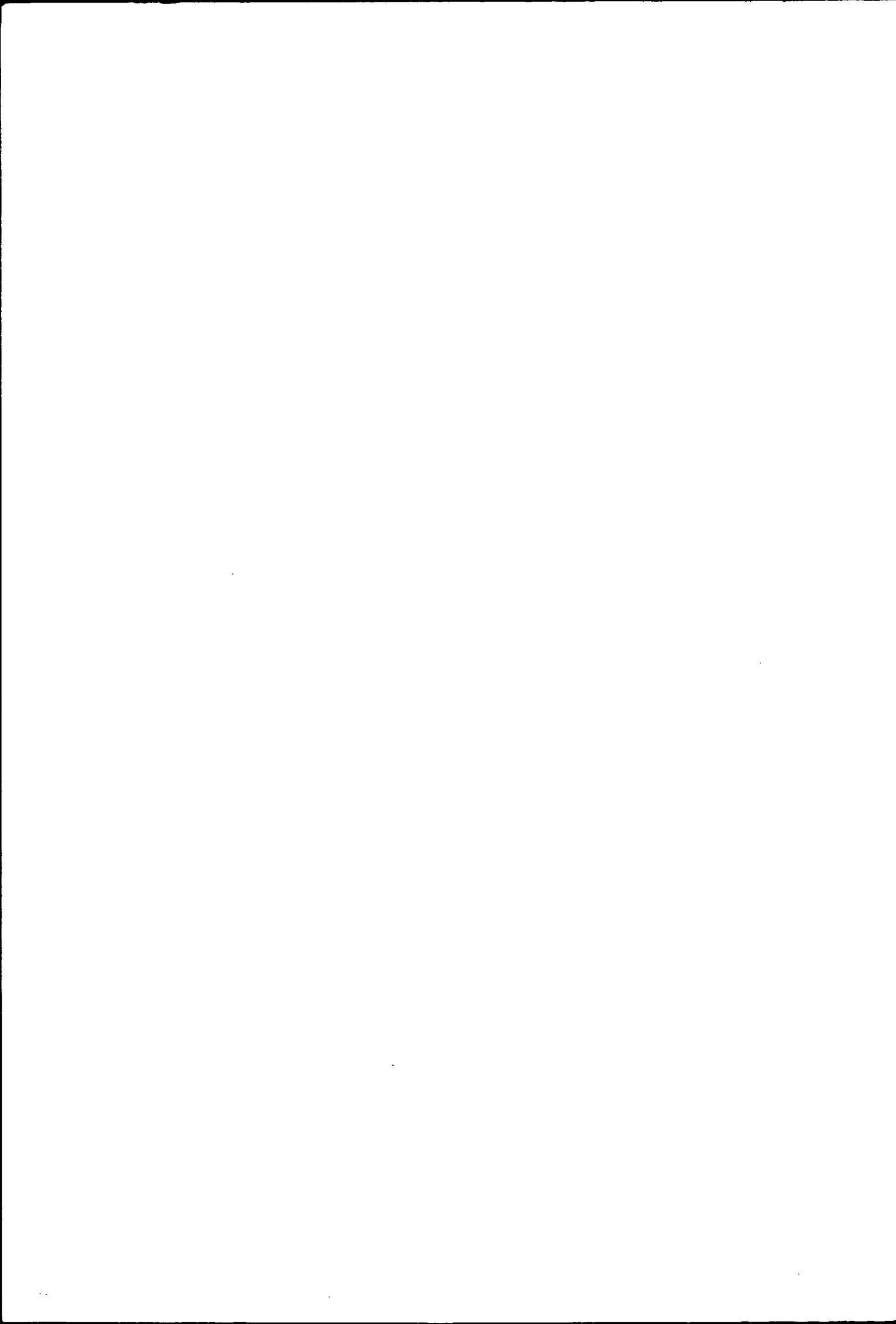
Mémoire de DEA (ATEG)

Didier ROBERT

Vincent SEBIRE

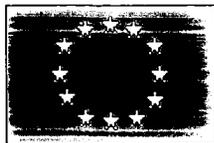
Préparé sous la direction de
Claude GRASLAND (Equipe PARIS)

en collaboration avec
Christian CALZADA (SES/DEE)



L'ÉVALUATION DE L'EFFET FRONTIÈRE

Claude GRASLAND*, Christian CALZADA



Jusqu'à une date récente, les effets frontières n'ont été évalués qu'en tant que composante résiduelle de modèles d'interaction spatiale. L'estimation simultanée de l'ensemble des paramètres d'interaction géographique (interaction spatiale et territoriale) permet d'améliorer la fiabilité des estimations. La présente note fait le point des travaux menés à ce jour sur ce thème et présente l'apport et les limites des méthodes utilisées.

*L'effet de barrière
comme
composante
résiduelle
des échanges*

Jusqu'à une date récente, les effets-frontières n'ont été envisagés qu'en tant que composante résiduelle des modèles d'interaction spatiale. La démarche suivie consistait à estimer la quantité théorique de marchandises circulant entre deux lieux à l'aide de trois ensembles de variables décrivant respectivement la capacité d'émission des lieux origines, la capacité d'attraction des lieux de destination et une mesure plus ou moins sophistiquée - mais unique - de distance exprimant le coût généralisé du transport ou de la relation puis via l'analyse des résidus (différence entre flux observés et flux estimés) de mettre en évidence des structures révélatrices de la présence d'un effet frontière.

Cette méthode fournit une évaluation a posteriori de l'effet de barrière en calculant pour chaque type de flux (intranational ou international) le rapport entre la somme des flux observés et celle des flux estimés. On obtient deux coefficients décrivant respectivement l'accroissement relatif des flux intranationaux (effet d'intégration) et la réduction relative des flux internationaux (effet de séparation). Ces deux effets n'étant pas indépendants (notamment dans le cas d'un modèle à double contrainte), le plus simple est de les combiner dans un coefficient unique appelé valeur de barrière qui mesure l'accroissement relatif des flux intranationaux par rapport aux flux internationaux.

*Comment
interpréter
les mesures
d'effets de barrière*

Le fait que les valeurs de barrière obtenues par cette méthode dépendent des hypothèses faites sur le facteur de proximité (type de distance) et sur les contraintes régissant les échanges (modèle gravitaire ou modèle à double contrainte de Wilson) ne remet pas fondamentalement en cause ce type de démarche. Cependant, ces variations doivent inciter à adopter une démarche prudente en ce qui concerne l'interprétation ou l'utilisation à des fins prédictives des coefficients de barrière. En particulier, il n'y a guère de sens à comparer les effets de barrière obtenus par différents auteurs à l'aide de protocoles d'analyse différents car même les ordres de grandeur peuvent subir des variations considérables selon le choix des variables, du modèle, voire du critère d'ajustement. En revanche, les résultats tirés de la comparaison d'effets de barrières obtenus à l'aide d'un même modèle et sur un même espace, soit pour suivre son évolution globale au cours du temps, soit pour examiner ses variations en fonction du type de marchandise transportée, gardent toute leur pertinence.

*La modélisation
directe des effets
de barrière :
interaction spatiale
et interaction
territoriale*

Les approches exposées plus haut négligent une piste théorique très fructueuse : l'idée que la distance ou le coût généralisé de transport ne sont qu'une composante parmi d'autres des déterminants géographiques de l'interaction entre les lieux. Définie dans une acception plus large, l'interaction géographique incorpore certes l'effet continu de la distance mais elle doit aussi tenir compte des effets discontinus d'appartenance des lieux à différentes mailles territoriales. A l'hypothèse d'interaction spatiale (toutes choses égales quant aux capacités d'émission et de réception, les lieux proches ont plus de relations que les lieux

MÉTHODES

éloignés), il convient donc d'ajouter une hypothèse d'interaction territoriale (toutes choses égales quant aux capacités d'émission et de réception, les lieux appartenant aux mêmes mailles territoriales ont plus de relation que les lieux appartenant à des mailles territoriales différentes).

Etudier successivement ces deux effets ne serait pas gênant s'ils étaient indépendants l'un de l'autre mais, précisément, ce n'est pas le cas. En effet les régions séparées par une frontière sont en moyenne situées à une distance plus grande que les régions localisées à l'intérieur d'un même Etat. Il existe donc une corrélation entre distance et appartenance territoriale, ce qui signifie que leurs effets doivent être estimés simultanément et non pas successivement. Des études théoriques ont permis de montrer que le calcul a posteriori des effets de barrière (résidus d'un modèle d'interaction spatiale) entraîne généralement une surestimation de l'effet de distance et une sous-estimation de l'effet de barrière. Et ce biais est d'autant plus important que la relation entre distance et appartenance territoriale est forte.

L'estimation simultanée des paramètres d'interaction spatiale (exposant de la distance) et d'interaction territoriale (effet de barrière) permet donc de produire des estimations plus justes sur le plan théorique et plus fiables sur le plan empirique. Elle s'avère également très utile pour la construction de modèles prédictifs puisque l'utilisation simultanée des paramètres de la distance et d'appartenance entraîne un accroissement non négligeable de la qualité de l'ajustement.

Variation de l'effet de barrière en fonction de la distance

Les modèles paramétriques qui servent à estimer les effets respectifs de la proximité spatiale et de la proximité territoriale permettent une évaluation globale des effets respectifs de ces deux formes de proximité géographique, mais ils introduisent une hypothèse restrictive sur la relation entre distance et appartenance. En effet, la forme multiplicative du type de modèle implique que l'effet de barrière est homogène par rapport à la distance, autrement dit que les flux franchissant une frontière subissent la même réduction par rapport aux flux intranationaux, quelle que soit la portée spatiale des relations.

Or les travaux menés par C. GRASLAND et N. CATTAN sur les migrations intérieures de population en Belgique et en Tchécoslovaquie ont permis de montrer que cette hypothèse d'homogénéité de l'effet de barrière par rapport à la distance était loin d'être vérifiée. Dans ces deux pays, l'effet de barrière lié au franchissement de la limite linguistique est maximal à moyenne distance et est sensiblement plus faible à courte distance et surtout à longue distance. Le coefficient de barrière calculé à l'aide des modèles paramétriques peut donc apparaître comme un résumé très imparfait des interactions complexes qui se nouent entre les différentes formes de proximité. Et l'instabilité des coefficients d'interaction spatiale et territoriale en fonction du choix du modèle et du niveau de désagrégation des données s'explique en grande partie par cette hétérogénéité de l'effet de barrière.

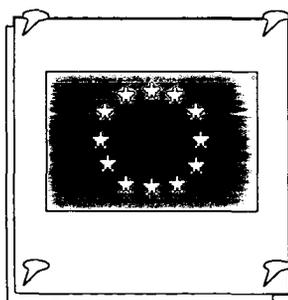
A tout le moins, ces résultats empiriques suggèrent que la comparaison des effets de barrière dans le temps, dans l'espace ou pour différentes catégories de flux ne devrait pas se limiter à la seule analyse des paramètres globaux d'interaction mais également prendre en compte les formes de variation de l'effet de barrière en fonction de la distance.

Pour en savoir plus

CATTAN N., GRASLAND C. 1995. *Spatial interaction and belonging interaction : how to measure barrier effects*. Colloque de géographie théorique et quantitative de Spa, Belgique. ■

FRANCE-BELGIQUE, LA PERSISTANCE D'UN EFFET FRONTIÈRE

Didier ROBERT, Vincent SEBIRE,
Claude GRASLAND, Christian CALZADA*



Malgré le renforcement des relations entre la France et la Belgique ces dernières années (voir la Note de synthèse n°96 - novembre 1995), des barrières aux échanges subsistent. Cet article a pour objet d'évaluer les effets de barrière relatifs aux échanges routiers franco-belges de marchandises pour l'année 1989.

Approche globale des freins aux échanges

Le tableau n° 1 synthétise les résultats obtenus en évaluant l'effet frontière sur les flux globaux, d'une part à l'aide d'un modèle gravitaire, d'autre part par un modèle complet.

Dans l'approche gravitaire, on ne tient compte que de la capacité des lieux à échanger et de la distance, l'effet de partition n'est estimé qu'a posteriori.

Il apparaît que l'effet de la distance (β) est compris entre -1,67 et -2,1 selon l'expression de celle-ci; la part des flux expliquée est de l'ordre de 90%.

L'effet barrière (γ) oscille entre 0,24 et 0,32 c'est à dire que, toutes choses égales par ailleurs, les flux de marchandises internationaux sont trois à quatre fois plus faibles que les flux intranationaux.

La deuxième série de résultats correspond au modèle complet (WILSON), dans lequel les effets de la distance et de l'appartenance sont estimés en même temps : l'ajustement est alors de meilleure qualité, de l'ordre de 95%. Le frein de la distance est légèrement moins fort, tandis que celui de la barrière augmente. Les flux France-Belgique et Belgique-France sont de 3,4 à 5,3 fois plus faibles, à distances et masses égales, que les flux France-France ou Belgique-Belgique.

Analyse géographique des flux

L'hétérogénéité importante du phénomène étudié (les échanges de marchandises par la route) rend a priori délicate une approche globale modélisatrice, dans la mesure où elle implique des choix analytiques sur la notion de distance à retenir, l'influence du découpage spatial, etc.

Cependant si l'on retient comme distance la distance sur réseau routier, le modèle complet explique 93,9 % des flux avec un frein de la distance moyen de 1,6 et un effet de barrière relativement élevé de 0,18.

Les résidus les plus élevés concernent la Belgique, en raison d'échanges très importants entre provinces belges, cette différence reflétant le problème des échelles du découpage administratif.

De plus, les résidus positifs les plus forts sont en valeur absolue très nettement supérieurs aux résidus négatifs, ces derniers étant toutefois bien plus nombreux. Ceci étant, les résidus de ce modèle n'ont pas une structure spatiale particulière : ils ne sont pas corrélés avec la distance et ne font pas non plus apparaître la frontière. Cette répartition « aléatoire » des résidus indique que le modèle est satisfaisant, même si pour certains couples de régions la différence entre l'estimation et l'observation peut être élevée.

* Cette étude a été menée dans le cadre de deux mémoires de DEA (Analyse Théorique et Epistémologique) de l'Université Paris I / Paris VII / ENS Fontenay Saint Cloud, sous la direction de M. Claude GRASLAND de l'Equipe P.A.R.I.S. et en collaboration avec M. Christian CALZADA du Département des Etudes Economiques du SES.

L'analyse de ces situations particulières : directions préférentielles entre deux régions ou, au contraire, relations faibles (effet de barrière), nécessite une connaissance de l'économie des régions, de leur complémentarité, des circuits de distribution et de transports. Comme elles sont le résultat de pratiques d'échanges au niveau de chaque produit, l'étude par types de marchandises peut éclairer certaines des relations constatées pour le total.

A titre d'exemple la province du Hainaut exporte beaucoup moins que prévu par le modèle vers les provinces de Namur, du Brabant wallon et du Limbourg. Cette même province a, par contre, des échanges privilégiés en direction de la Flandre occidentale et du Nord-Pas-de-Calais.

Analyse désagrégée par produit

L'analyse de l'effet frontière par type de marchandise (tableau n° 2), permet de comparer la sensibilité des différents produits transportés aux coûts de transports, que ceux-ci soient déterminés par des facteurs physiques (distance) ou des facteurs politiques (frontières). Il est intéressant de remarquer que ces deux formes d'éloignement agissent de la même manière sur les différentes catégories de marchandises (corrélation entre les valeurs de β et de γ). Les produits qui subissent les plus forts effets de frontière sont également ceux qui connaissent la décroissance la plus rapide des relations en fonction de la distance. Bien que les catégories NST se prêtent mal à une analyse très poussée, il semble que les échanges de produits « rares » ou de produits à forte valeur ajoutée subissent beaucoup moins l'influence de la proximité (spatiale ou territoriale) que les produits « courants » ou les produits à faible valeur ajoutée.

En ce qui concerne la distance, son effet varie entre 0.93 et 2.17. Ainsi les produits métallurgiques et chimiques (NST5 et NST8) et, dans une moindre mesure, les machines, les véhicules, objets manufacturés et transactions spéciales (NST9) ont une sensibilité à l'augmentation de la distance faible, contrairement aux produits pétroliers bruts et raffinés (NST3) dont les flux diminuent beaucoup plus rapidement avec la distance.

L'effet de la frontière est très marqué pour les minéraux bruts ou manufacturés et les matériaux de construction (NST6), la division des flux internationaux étant supérieure à huit. Elle est plus perméable aux produits chimiques (NST8) pour lesquels cette division est inférieure à quatre.

Ces résultats obtenus par type de marchandise tendraient en outre à accréditer l'hypothèse d'une certaine «robustesse» du modèle, au regard de la faible dispersion des coefficients.

Approche par les résidus

L'étude comparative des résidus issus du modèle (avec interaction seule) et ceux du modèle (interaction + barrière) s'avère intéressante.

En effet, l'analyse des résidus du modèle avec interaction seule, renseigne sur la présence d'obstacles aux relations. Ainsi les résidus positifs concernent exclusivement des régions d'un même pays, alors que la plupart des résidus négatifs traversent la frontière entre la France et la Belgique.

Les résidus du modèle avec appartenance (interaction + barrière), dont on a vu qu'ils ne présentaient pas de structure spatiale particulière, ont une répartition spatiale bien différente.

Il existe une forte concentration autour de la frontière, où les échanges entre régions françaises et provinces belges sont souvent beaucoup moins intenses que leur proximité et leur capacité à échanger ne le laissent entrevoir. Il existe donc une composante spatiale, qui opère en limitant les flux et qui correspond à l'appartenance différente des régions considérées. Cette frontière politique est bien un frein aux échanges.

EUROPE

On peut noter également que l'intensité des résidus n'est pas la même selon que le modèle tient compte ou non de l'appartenance des régions. A seuils égaux, les résidus du modèle tenant compte de l'appartenance seraient deux fois moins nombreux. Le modèle intégrant la barrière rend compte d'une réalité spatiale (amélioration qualitative puisque les résidus ne sont plus liés à un phénomène précis) et, de plus, ajuste mieux l'ensemble des flux (amélioration quantitative que l'on a pu constater avec le R2 qui passe de 87,7 à 93,9 %).

On a vu que l'effet de barrière varie en fonction du type de marchandise transportée. On peut également s'intéresser à ses fluctuations en fonction de la position des régions par rapport à la frontière.

Effet de barrière et distance

La réduction des flux qu'entraîne le franchissement de la frontière franco-belge est-elle de même intensité selon qu'on la côtoie ou qu'on en est plus éloigné ? Cette question renvoie à l'estimation de l'effet de barrière par classes de distance (tableau n° 3 et graphiques n° 1 et n° 2).

On voit une forte variabilité de l'effet de barrière, faible à courte distance (division par 4) puis beaucoup plus forte (jusqu'à 18,9). La rupture est très nette entre les 150 premiers kilomètres et les autres distances, d'autre part deux pics apparaissent (200 et 700 km) où l'effet de barrière est maximum.

Le graphique n° 1 représente en abscisses la distance et en ordonnées le logarithme de l'interaction ; l'écart entre les deux courbes (intra et inter) représente l'effet de barrière : plus celui-ci s'élargit plus l'intensité de la frontière sur la diminution des échanges se fait sentir.

L'augmentation de l'effet de barrière avec la distance est très rapide. Les deux écarts les plus forts (200 et 700 km) résultent les deux fois d'une baisse plus marquée de l'interaction internationale (graphique n° 2).

La réduction relative de l'effet de barrière franco-belge à courte distance demanderait à être confirmée par une analyse plus détaillée des échanges entre régions frontalières. Mais la recherche d'explication ad hoc doit également s'accompagner d'une perspective plus théorique car le phénomène observé semble relativement fréquent. L'analyse des flux de marchandises franco-allemand (BEYER) révèle en effet une tendance similaire à l'accroissement de la perméabilité frontalière pour les flux à très courte portée ceci s'observant aussi pour les flux de voyageurs à l'intérieur des Etats comportant plusieurs composantes linguistiques. S'agit-il de simples coïncidences ou de la mise en évidence d'une loi de portée plus générale ?

POUR EN SAVOIR PLUS

♦ **BEYER A.**, *Approche régionale des échanges franco-allemand de marchandises*, sous la direction de MM.: M. SAVY, M. GIRAULT, ISBN 2-11-087547-X, OEST, Mars 1994.

♦ **MAGALHAES C.**, *Analyse spatiale des échanges franco-espagnols*, sous la direction de C. CALZADA, ISBN 2-11-086016-2, OEST, Juillet 1995.

EUROPE

Tableau n° 1 : Comparaison des différentes modélisations selon quatre expressions de la distance

Modèle	Gravitaire				Wilson			
	Dij ₁	Dij ₂	Dij ₃	Dij ₄	Dij ₁	Dij ₂	Dij ₃	Dij ₄
Interaction seule								
β	-0,92	-1,06	-1,94	-1,72	-1,67	-2,1	-2,1	-2,09
γ (a posteriori)	0,11	0,13	0,22	0,17	0,24	0,32	0,3	0,26
R2	65,5	68,4	85,6	82,8	87,7	93,3	90,6	92,1
Barrière seule								
γ	0,12				0,09			
R2	61,5				62,3			
Interaction + Barrière								
β	-0,83	-0,9	-1,72	-1,52	-1,6	-1,94	-1,91	-1,92
γ (a priori)	0,12	0,14	0,29	0,2	0,18	0,29	0,25	0,24
R2	81,6	82,1	89,6	89,8	93,9	95,9	94,7	96,1

Sources : INS Belge et base SITRAM

distance en km du trajet le plus rapide = Dij₁,

distance euclidienne calculée à partir des centres de régions = Dij₂,

distance en nombre de limites régionales à franchir, de 1, pour les voisins, à 7, au maximum = Dij₃,

distance construite à partir de Dij₁ et Dij₃ standardisées, tenant compte du kilométrage et des limites administratives traversées = Dij₄.

Tableau n° 2 : Les résultats du modèle Wilson par produit (interaction et barrière)

	β	γ	R2
	Frein de la distance	Effet de barrière	Qualité de l'ajustement
Produits NST 0	-1,59	0,25	90,50%
Produits NST 1	-1,51	0,18	93,80%
Produits NST 2	-	-	-
Produits NST 3	-2,17	0,21	96,10%
Produits NST 4	-	-	-
Produits NST 5	-0,93	0,23	92%
Produits NST 6	-1,72	0,12	90,50%
Produits NST 7	-1,53	0,22	90,50%
Produits NST 8	-1,1	0,27	90,50%
Produits NST 9	-1,25	0,24	95,60%
Tous produits	-1,6	0,18	93,90%

Sources : INS Belge et base SITRAM

Nomenclature NST

Les données utilisées proviennent, à la fois de l'institut national de la statistique belge et de la banque de données SITRAM.

La source belge code à la fois la région d'origine et de destination en France et en Belgique, pour les trafics routiers en tonnages franco-belges par produits NST pour l'année 1989.

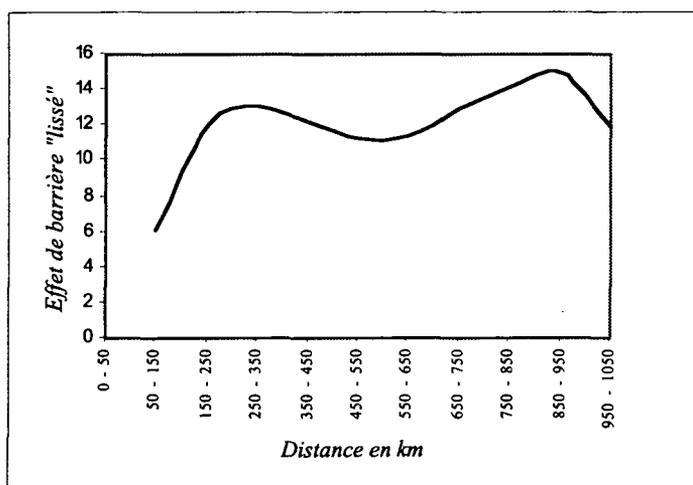
EUROPE

Tableau n° 3 : Estimation de l'effet de barrière suivant la distance

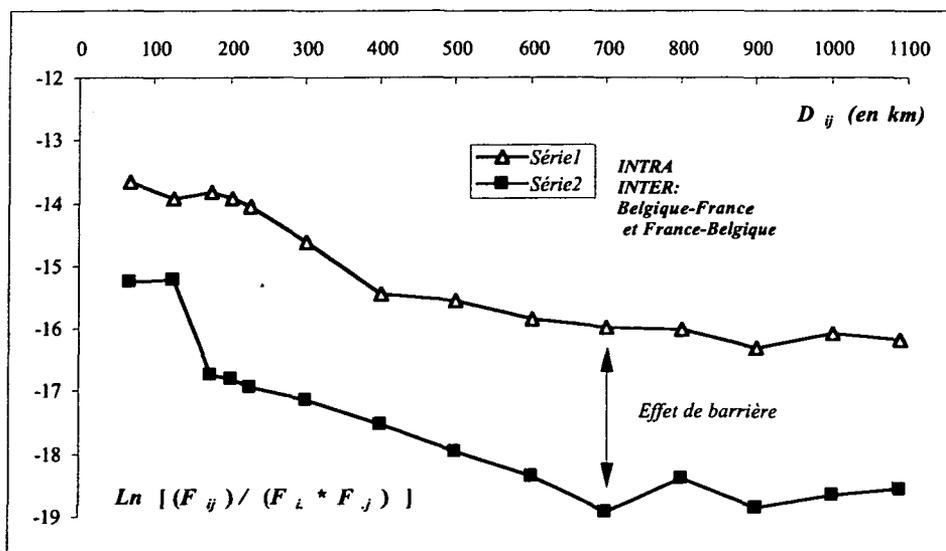
Classes de distance en km	Effet de barrière γ	Soit une division des flux par
50 - 150	0,248	4,0
150 - 250	0,057	17,5
250 - 350	0,082	12,2
350 - 450	0,125	8,0
450 - 550	0,091	11,0
550 - 650	0,081	12,3
650 - 750	0,053	18,9
750 - 850	0,092	10,9
850 - 950	0,079	12,7
950 - 1050	0,076	13,2
1050 - au delà	0,092	10,9

Sources : INS Belge et base SITRAM

Graphique n° 1 : Effet frontière lissé et distance



Graphique n° 2 : Décomposition de l'effet frontière par classe de distance



FORMULATION DES MODÈLES UTILISÉS

Soient les notations suivantes :

F_{ij} : flux de i vers j , M_i : capacité d'émission de i , M_j : capacité de réception de j ,
 P_{ij} : appartenance commune de i et j ($P_{ij} = 0$ si $P_i \neq P_j$, $P_{ij} = 1$ si $P_i = P_j$),
 D_{ij} : distance entre i et j .

Modèle gravitaire avec contrainte sur la conservation du total des flux (assurée par α).

$$F_{ij} = \alpha M_i \cdot M_j \cdot D_{ij}^{-\beta} \cdot \gamma^{P_{ij}}$$

Modèle complet à double contrainte (conservation des origines assurée par A_i , des destinations par B_j).

$$F_{ij} = A_i \cdot M_i \cdot B_j \cdot M_j \cdot D_{ij}^{-\beta} \cdot \gamma^{P_{ij}}$$

Fonction erreur sur les flux (critère du Chi2 (POULAIN)) :

$$\text{Min} \left(\sum_j [F_{ij} - F_{ij}^*]^2 / F_{ij}^* \right) \text{ par itérations successives des paramètres } k \text{ et } \alpha$$

$F_{ij}^* = \text{flux estimés par le modèle}$

La qualité globale de l'ajustement est mesurée par le coefficient de corrélation non linéaire (noté $R2$) :

Max $R2(\alpha, \gamma)$ avec,

$$R2 = 1 - \left[\sum_j (F_{ij} - F_{ij}^*)^2 / F_{ij}^* \right] / \left[\sum_j (F_{ij} - F)^2 / F \right]$$

$F = \text{moyenne arithmétique de } F_{ij}$

Effet frontière et distance

L'estimation de l'effet frontière par classes de distance peut être estimée indirectement (comme le fait la modélisation, a posteriori), comme le rapport entre l'interaction spatiale internationale et l'interaction spatiale intranationale.

Pour chaque classe, l'interaction spatiale est donnée par :

$$\left[\frac{(F_{ij})}{(F_i \times F_j)} \right],$$

où F_{ij} est la somme des flux entre régions de la classe

$$[F_i \times F_j],$$

est la somme des produits des capacités d'émission et de réception des régions de la classe de distance considérée

PREAMBULE

Ce rapport fait suite au premier rapport traitant de l'analyse de l'espace routier de marchandises franco-belge d'un point de vue économie des transports.

Cette étude (PARTIE II) s'inscrit dans le cadre d'une collaboration entre le Département des Etudes et de la Planification de l'OEST représenté en la personne de M. Christian CALZADA (OEST/DEP) et l'Equipe P.A.R.I.S. (C.N.R.S. - Université Paris I) représentée par M. Claude GRASLAND, dans le cadre de deux stages de mémoire de DEA d'*Analyse Théorique et Epistémologie en Géographie* (1^{er} semestre 1996), de MM. Didier ROBERT et Vincent SEBIRE (Université PARIS I).

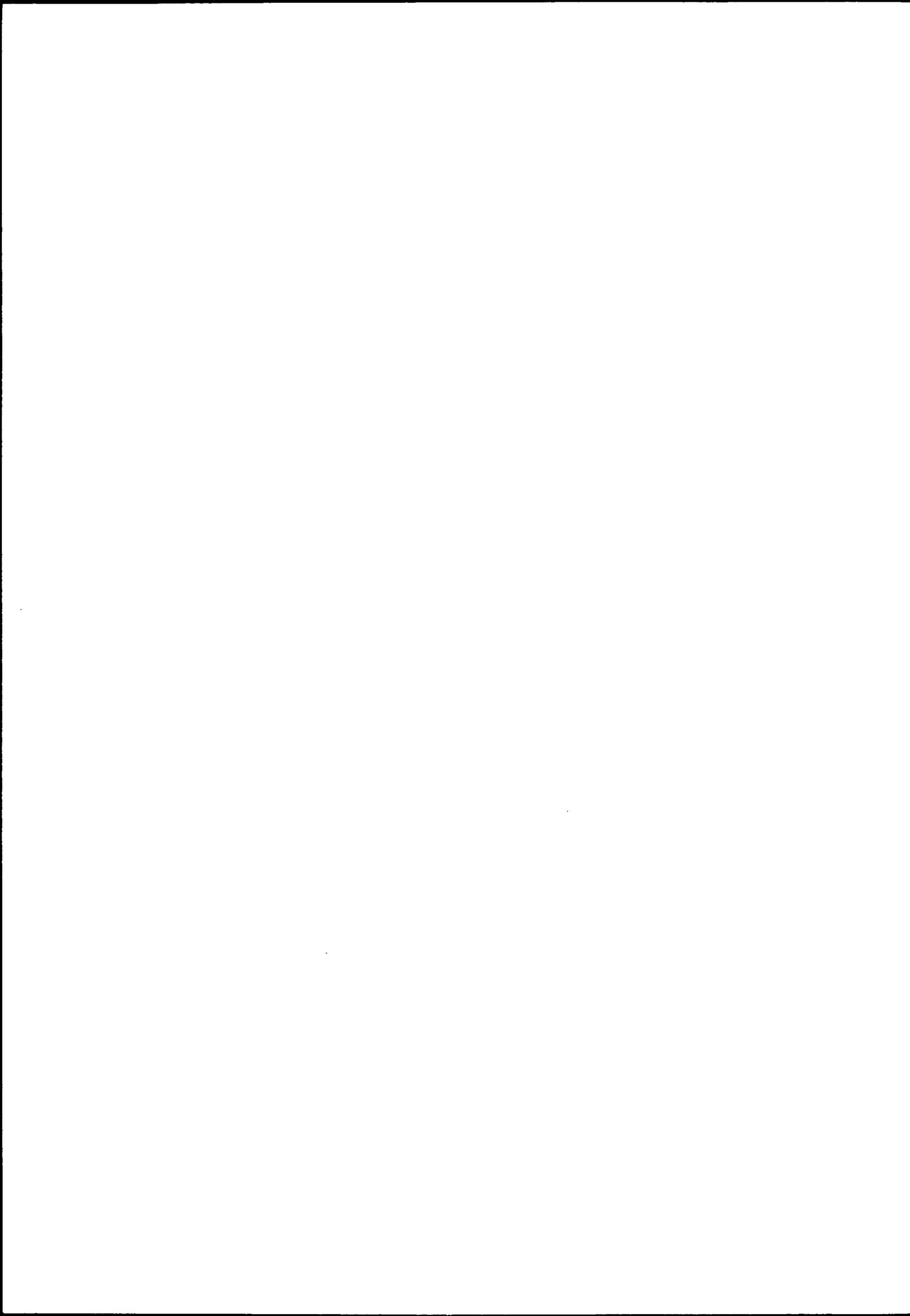
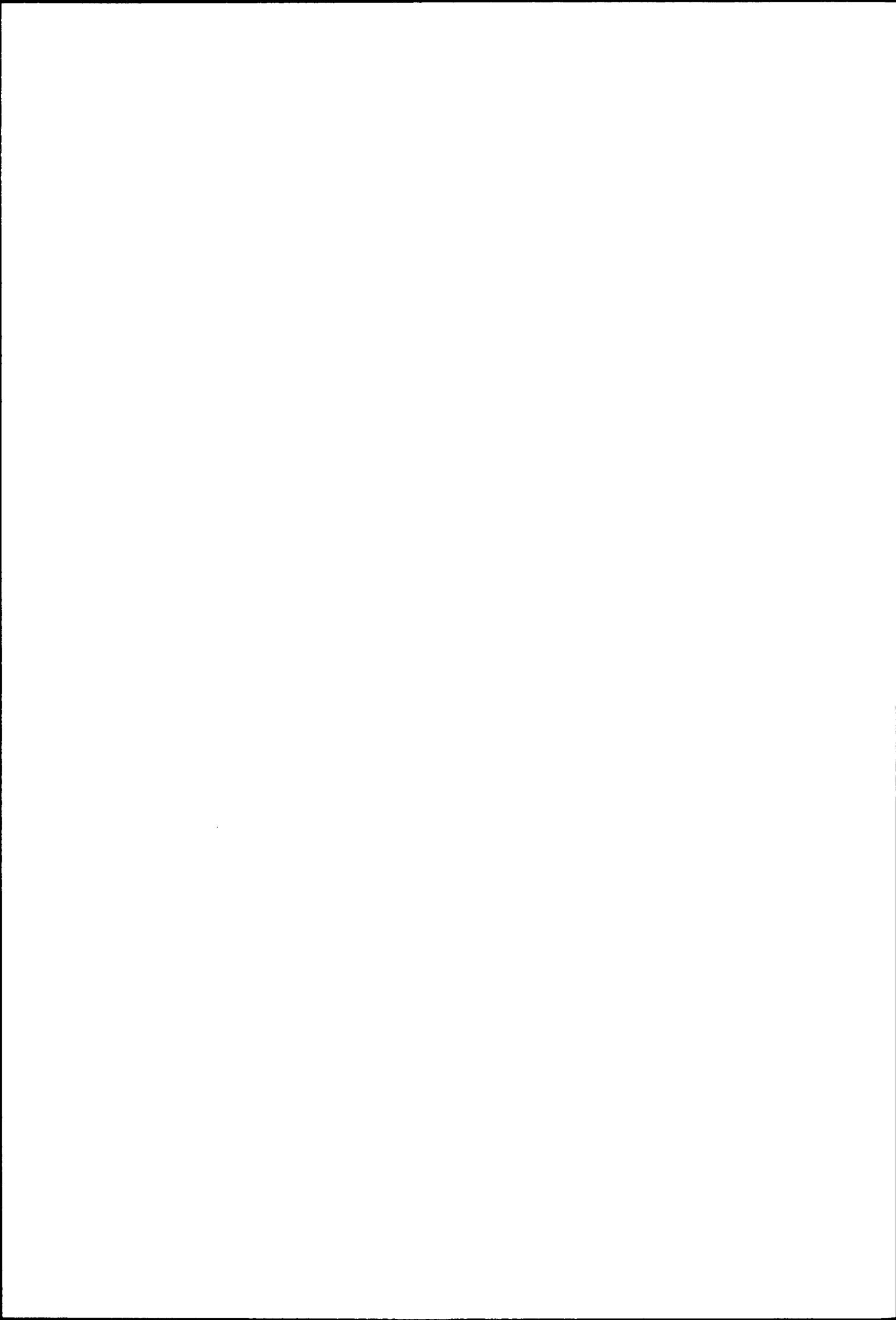


TABLE DES MATIERES

DEUXIEME PARTIE

PREAMBULE	2
I. INTRODUCTION	4
I. LE MODELE D'INTERACTION SPATIALE	5
<i>Choix du modèle et de la distance</i>	5
II. ANALYSE DES FLUX	8
II.1. Une étude délicate impliquant des choix analytiques	8
<i>Précisions sur les données et leur traitement géographique</i>	8
<i>Une approche générale par les résidus</i>	10
II.2. Les échanges interrégionaux par produit	11
III. EFFET DE LA FRONTIERE FRANCE-BELGIQUE ET CARACTERE DE LA BARRIERE	14
<i>Une approche par les résidus</i>	14
<i>Effet de barrière et distance</i>	15
POUR EN SAVOIR PLUS	18
ANNEXE	19



INTRODUCTION

Cette partie a pour objet l'étude des flux, répartis en dix catégories de marchandises, correspondant aux échanges effectués par la route, entre les régions françaises (21 régions, la Corse est incluse dans P.A.C.A.) et les provinces belges (10 provinces, Bruxelles est comptée avec le Brabant Nord) pour l'année 1989. Chaque région est donc à l'origine et au départ de 30 flux, dont certains peuvent être nuls, et ceci pour dix types de produits, plus les échanges totaux. L'information se présente sous la forme de matrices carrées, non symétriques, dont les diagonales sont vides. Les flux qui composent ces matrices sont de deux natures: *intra*-nationaux (France-France et Belgique-Belgique) et *inter*-nationaux (France-Belgique et Belgique-France). L'intérêt de cette étude portera en priorité sur les flux inter-nationaux, notamment sur les effets de la présence d'une frontière étatique. Cet espace franco-belge en voie d'intégration politique et économique, par l'intermédiaire de l'Union Européenne, forme-t-il un espace intégré en ce qui concerne les échanges commerciaux ? Ou bien les deux pays demeurent-ils nettement individualisés par la structure des échanges ? En d'autres termes, quel est le degré de perméabilité de la frontière ? Joue-t-elle le rôle d'une barrière pour les marchandises ? L'appartenance des régions à un même ensemble national peut stimuler les relations, les interactions; cet effet de préférence joue souvent simultanément à l'effet de barrière, les deux se conjuguent et, ce qui sera nommé par la suite « effet de barrière », englobe aussi la préférence, c'est à dire l'effet d'appartenance global.

De plus, suivant le type de marchandises, la structure des échanges peut varier, ainsi que l'effet de barrière. La prise en compte des flux totaux, suivant qu'ils sont internationaux ou intranationaux, renseigne déjà sur le caractère de la frontière.

tableau 1: les flux de marchandises (en 1989)

	<i>Origine-Destination</i>	<i>Toutes Marchandises en milliers de tonnes</i>	<i>en pourcentage</i>	
<i>Flux intra</i>	France-France	2677	66.20	
	Belgique-Belgique	1134	28.05	94.25
<i>Flux inter</i>	France-Belgique	92	2.28	
	Belgique-France	140	3.47	5.75
<i>Flux totaux</i>		4044	100	100

Le *tableau 1* montre à quel point les flux internationaux sont faibles, par exemple, la Belgique exporte huit fois moins de tonnes de marchandises vers les 21 régions françaises qu'elle n'en fait circuler entre ses seules dix provinces.

On note également que les flux de la Belgique vers la France sont sensiblement supérieurs à ceux en sens inverse (de moitié). Mais les interactions qui existent entre deux lieux ne dépendent pas uniquement de la présence d'une barrière. Pour vraiment connaître l'impact de celle-ci il est nécessaire de tenir compte de la capacité des lieux à échanger (les masses), et de la distance qui les sépare. Ainsi le flux entre deux unités spatiales (de A vers B) est fonction de la distance entre A et B, fonction de la masse de A et de B (ou de la capacité d'émission de A et de la capacité de réception de B) et fonction de l'appartenance de A et de B. Ces différents éléments explicatifs sont introduits dans un modèle qui permet, à partir d'un ajustement des flux observés, d'établir une valeur du frein de la distance et de l'effet barrière. Le modèle donne la tendance générale, mais permet également d'identifier les situations particulières, quand les flux observés s'éloignent nettement de l'interaction modélisée.

I. LE MODELE D'INTERACTION SPATIALE

Le choix du modèle et de la distance

Nous avons testé deux modèles et plusieurs types de distance. Le but étant d'obtenir un bon ajustement (minimum d'écart entre flux observés et estimés par le modèle). Les deux modèles sont construits de la même façon, seule la contrainte exercée sur la conservation des masses changeant de l'un à l'autre.

Avec les notations suivantes:

- F_{ij} : flux de i vers j
- M_i : capacité d'émission de i
- M_j : capacité de réception de j
- D_{ij} : distance entre i et j
- P_{ij} : appartenance commune de i et j,

$$P_{ij} = 0 \text{ si } P_i = P_j$$

$$P_{ij} = 1 \text{ si } P_i \neq P_j$$

Le modèle gravitaire avec contrainte sur la conservation du total (assurée par α) s'écrit:

$$F_{ij} = \alpha M_i \cdot M_j \cdot D_{ij}^{-\beta} \cdot \gamma^{P_{ij}}$$

Le modèle à doubles contraintes (conservation des origines assurée par A_i , des destinations par B_j) a les spécifications suivantes:

$$F_{ij} = A_i \cdot M_i \cdot B_j \cdot M_j \cdot D_{ij}^{-\beta} \cdot \gamma^{P_{ij}}$$

Ces deux modèles donnent une estimation de β , frein de la distance, et de γ , effet de l'appartenance. En outre, chaque estimation d'un modèle est caractérisée par la qualité de son ajustement, R^2 ; les flux estimés par le modèle par leur confrontation aux flux observés donnent des résidus positifs (les flux sont supérieurs à ce que le modèle prédit) et des résidus négatifs (les flux sont inférieurs à ce que le modèle prédit).

Le modèle peut tenir compte des masses et de la distance, des masses et de l'appartenance, ou bien des trois simultanément. Le *tableau 2* présente les résultats obtenus avec les différents modèles et des distance exprimées de plusieurs façons:

- distance en km du trajet le plus rapide = (Dij)1,
- distance euclidienne calculée à partir des centres de régions = (Dij)2,
- distance en nombre de limites régionales à franchir, de 1, pour les voisins, à 7. au maximum = (Dij)3,
- distance construite à partir de (Dij)1 et (Dij)3 standardisées, tenant compte du kilométrage et des limites administratives traversées = (Dij)4.

tableau 2: résultats des deux types de modélisation en fonction de quatre expressions de la distance

Modèle Distance Dij	Gravitaire				Wilson			
	1	2	3	4	1	2	3	4
<i>Interaction seule</i>								
β	-0.92	-1.06	-1.94	-1.72	-1.67	-2.1	-2.10	-2.09
γ	0.11	0.13	0.22	0.17	0.24	0.32	0.30	0.26
R2	65.5	68.4	85.6	82.8	87.7	93.3	90.6	92.1
<i>Barrière seule</i>								
γ	0.12				0.09			
R2	61.5				62.3			
<i>Interaction+ Barrière</i>								
β	-0.83	-0.90	-1.72	-1.52	-1.60	-1.94	-1.91	-1.92
γ	0.12	0.14	0.29	0.20	0.18	0.29	0.25	0.24
R2	81.6	82.1	89.6	89.8	93.9	95.9	94.7	96.1

Le *tableau 2* montre combine les paramètres varient suivant le modèle et les distances. Le modèle à doubles contraintes (Wilson) permet des ajustements nettement meilleurs. C'est donc celui que nous retiendrons par la suite. Les premiers résultats sont obtenus en ne tenant compte que de la capacité des lieux à échanger et de la distance, l'effet de partition n'est estimé qu'a posteriori. Il apparaît que la friction de la distance (β) est comprise entre -1,67 et -2,1 selon l'expression de celle-ci; la part des flux expliquée est de l'ordre de 90%. L'effet barrière (γ) oscille entre 0,24 et 0,32 c'est à dire que, toutes choses égales par ailleurs, les flux de marchandises internationaux sont trois à quatre fois plus faibles que les flux internationaux. On peut noter que dans ce type de modélisation, le β est souvent surestimé car il prend en charge une partie de l'effet de la frontière, le coefficient γ , calculé après, est alors fréquemment sous-estimé.

La deuxième série de résultats correspond au modèle complet, dans lequel les effets de la distance et de l'appartenance sont estimés en même temps. L'ajustement est alors de meilleure qualité, de l'ordre de 95%. Le frein de la distance est légèrement moins fort, tandis que celui de la barrière augmente.

Les flux France-Belgique et Belgique-France sont de 3,4 à 5,3 fois plus faibles, à distances et masses égales, que les flux France-France ou Belgique-Belgique. Cette division des flux internationaux s'interprète aussi comme une multiplication, de même intensité, des flux intranationaux.

On remarque dans le tableau que les différentes expressions de la distance donnent des valeurs sensiblement différentes des paramètres β et γ . La comparaison des paramètres pour les huit estimations du modèle à doubles contraintes fait apparaître une relation entre eux; en moyenne, on peut dire que l'explication des flux se partage entre distance et appartenance.

Lorsque la distance a un effet fortement dissuasif, la frontière joue moins, à l'inverse quand la distance est estimée moins contraignante, c'est alors la frontière qui prend en charge la réduction des flux. Cela tient aux types de distance qui diffèrent. On observe aussi cette transition générale (vers un poids plus marqué de l'appartenance au détriment de la distance) quand on passe, pour la même distance, du modèle d'*interaction* au modèle « *interaction + barrière* ».

On peut noter également, dans le tableau 2, qu'un modèle ne tenant pas compte de la distance, mais seulement des échanges totaux des régions et de la frontière, a un R² de 62,3%; avec une division par plus de dix des flux internationaux, ce qui est largement surestimé, mais qui indique bien l'existence d'une barrière.

La distance 1, distance routière en km du trajet le plus rapide, est celle que nous avons retenue; toutefois il est intéressant de constater que d'autres formulations de la distance existent et que les résultats sont affectés par ce choix. De même les ajustements sont un peu meilleurs pour les autres distances. ceci peut provenir du biais introduit dans la distance 1 par la prise en compte des préfectures régionales comme point de départ ou d'arrivée. Surtout dans les régions françaises de grande taille, ces points de repère peuvent être très excentrés (exemple: Rennes, Marseille ou Orléans qui a été retenu pour la région Pays de Loire). La distance euclidienne, toute simple, établie sur les centres de gravité des régions, est tout à fait valable, alors que l'ajustement le meilleur est obtenu avec la distance 4, combinaison de deux informations.

On s'aperçoit ainsi que l'estimation de l'effet de barrière de manière directe par le modèle entraîne à chaque fois un ajustement meilleur et un γ plus fort.

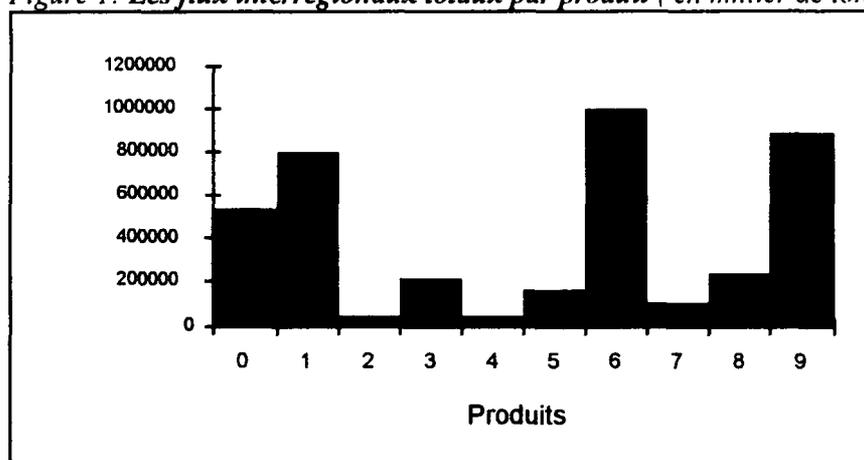
II. ANALYSE DES FLUX

1. « Une étude délicate impliquant des choix analytiques »

Précision sur les données et leur traitement géographique

La population statistique étudiée soulève, dès son premier aperçu, des questions susceptibles d'influer sur l'étude. On peut en effet constater la grande hétérogénéité du phénomène étudié (les échanges de marchandises par la route). *Ces flux se différencient fortement de leur type, de leur intensité*: chaque produit donne lieu à plus ou moins d'échanges, les échanges interrégionaux variant d'un chiffre négligeable à plusieurs dizaines de milliers de tonnes (cf. *figure 1*): et de leur distance: de quelques dizaines de kilomètres à plusieurs centaines. Comme on a pu le voir dans la première partie, cette hétérogénéité rend délicate une approche modélisatrice. Elle implique des choix analytiques et nécessite la plus grande vigilance quant aux commentaires des résultats fournis par le traitement des données.

Figure 1: Les flux interrégionaux totaux par produit (en millier de tonnes)



Au choix du modèle retenu (un modèle de Wilson considérant effets de barrière et de distance, orientations et masses de flux) s'ajoutent ici le choix d'une distance et la nécessité d'une mise en forme des résultats.

Le souci de conserver un certain « réalisme » par rapport aux situations étudiées amène logiquement à prendre en compte la matrice des *distances routières*. Ce choix n'est évidemment pas exempt de défauts: il ne réalise pas toujours le meilleur ajustement (cf. partie I) et tend à augmenter les distances réelles dans la mesure où, fréquemment, l'accès à une infrastructure routière rapide allonge le trajet. Ce dernier élément peut, de plus, modifier sensiblement l'impact du frein de la distance selon la longueur du trajet envisagé: il est moins gênant de faire ces quelques kilomètres supplémentaires lorsque le déplacement envisagé est déjà important.

Cette étude des flux interrégionaux repose sur la construction d'un modèle établissant une relation moyenne entre distance, appartenance et flux. Cette relation, est caractérisée par des paramètres (*tableau 2*). Des remarques peuvent découler de l'observation des écarts à cette relation. Le modèle opère comme un filtre, et permet de dégager des *résidus* qui sont autant de situations "exceptionnelles" qu'il est intéressant de mettre en lumière et d'expliquer.

Cependant, à ce niveau de l'étude, une première difficulté apparaît ; elle tient à l'hétérogénéité des données fournies. Il s'avère en effet que les flux recensés entre les régions belges sont très importants si on les compare avec les réalités démographiques et économiques de ces espaces. Selon les statistiques, les régions belges, bien que nettement plus petites, tant en superficie qu'en population ou en production économique (*annexe*), ont des flux moyens aussi importants que les régions françaises (cf. *tableau 3*). La question alors soulevée est la suivante: comment des régions belges qui produisent près de trois fois moins peuvent-elles, à système économique équivalent, échanger autant que les régions françaises ?

Une double hypothèse fournit une esquisse de réponse à cette interrogation. Cette réalité statistique est probablement le fait de découpages administratifs plus petits en Belgique, ce qui implique la prise en compte, en tant qu'échanges interrégionaux, de flux qui sont en France des flux intrarégionaux non considérés dans cette étude. De même, la méthode de recensement statistique peut légèrement différer. Afin de modérer cette hétérogénéité qui diffère nettement des réalités socio-économiques régionales, *l'interprétation des résultats fournis par le modèle se fera en relativisant l'importance des résidus en fonction des flux initiaux selon la méthode du Chi-2*¹.

Les cartes présentées retracent donc les résultats du modèle Wilson, réalisés à l'aide de la matrice des distances routières les plus rapides et présentés d'après une formule de calcul de résidus "relatifs" qui est celle du Chi-2.

Tableau 3: Caractéristiques démographiques, économiques et échanges.

	Population moyenne (milliers d'habitants)	PIB moyen (milliards d'écus)	Echanges moyens* (milliers de tonnes)
Régions françaises	2 717	43	4 255
Régions belges	1 096	14	4 113

* Ensemble des échanges des produits de l'étude.
Source (population et PIB): Eurostat 1991.

¹ Après une étude approfondie reposant sur la comparaison de diverses méthodes, Michel Poulain a démontré que le meilleur ajustement à la réalité est offert par la méthode du CHI-2. Cette formule de calcul des résidus prend en compte les flux initiaux de la façon suivante: $\frac{(F_{ij} - F^*_{ij})^2}{F^*_{ij}}$

où F_{ij} sont les flux observés et F^*_{ij} les flux estimés. Cela correspond par ailleurs au critère d'ajustement retenu par le modèle Wilson que nous avons utilisé.

Poulain M. 1981.: Contribution à l'analyse spatiale d'une migration interne. Recherche démographique, cahier N°3. Editions Cabay. Louvain-la-Neuve.

Une approche générale par les résidus

Le modèle finalement retenu explique 93,9 % des flux avec un frein de la distance moyen de 1,6 et un effet de barrière relativement élevé de 0,18. Les résidus positifs et négatifs de ce modèle sont présentés sur les *cartes 3a et 3b*.

On observe sur ces cartes que les résidus les plus intenses concernent la Belgique, cela tient au problème déjà soulevé des échanges très importants des provinces belges, reflétant le problème des échelles du découpage administratif. On notera également que les seuils retenus pour la représentation des résidus ne sont pas les mêmes suivant qu'ils sont négatifs ou positifs.

En effet les résidus positifs les plus forts sont toujours, en valeur absolue, très nettement supérieurs aux résidus négatifs, ces derniers étant toutefois bien plus nombreux. Sans doute en partie liée à la modélisation, cette caractéristique rend peut-être aussi compte, à chaque fois, de spécialisations très fortes d'un petit nombre de régions ou, plus simplement, de leur importance relative (*cf. carte 1*).

Ceci étant, les résidus de ce modèle n'ont pas une structure particulière: ils ne sont pas corrélés avec la distance et ne font pas non plus apparaître la frontière. Cette répartition « aléatoire » des résidus indique que le modèle est satisfaisant même si, pour certains couples de régions, la différence entre l'estimation et l'observation peut être élevée.

L'analyse de ces situations particulières: liens privilégiés entre deux régions ou* au contraire, relations faibles, nécessite une connaissance des orientations des régions, de leur complémentarité, des circuits de distribution et de transports. Comme elles sont le résultat de pratiques d'échanges au niveau de chaque produit, l'étude par types de marchandises peut éclairer certaines des relations constatées pour le total.

On peut citer en exemple la province du Hainaut, dont on s'aperçoit sur la *carte 3b* qu'elle exporte beaucoup moins que prévu par le modèle vers les provinces de Namur, du Brabant wallon et du Limbourg. Sur la *carte 3a*, on constate que cette même province a, par contre, des échanges très privilégiés en direction de la Flandre occidentale et du Nord-Pas-de-Calais. Par comparaison les *cartes 4a et 4b* présentent les résidus du même modèle avec la distance 4 (tenant compte des km et des limites de régions traversées), les différences ne sont pas très nettes et tiennent essentiellement à l'intensité des résidus.

(*) :le plus souvent « et », puisque l'ajustement se fait à partir de la somme des échanges d'une région, si celle-ci échange plus que prévu dans une direction, elle échangera alors moins avec les autres.

2. Les échanges interrégionaux par produit.

Tableau 4: Les catégories de marchandises de l'étude

- | |
|---|
| 0. Produits agricoles et animaux vivants. |
| 1. Denrées alimentaires et fourrages. |
| 2. Combustibles et 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. |
| 9. Machine, véhicules, objets manufacturés et transactions spéciales. |

Source: Nomenclature NST.

Les résultats obtenus, avec le modèle choisi, sont présentés par type de marchandise dans le *tableau 5* et les *figures 2 et 3*². Il apparaît difficile de définir des généralités. Chaque modèle décrit une réalité propre à la structure des échanges de chaque marchandise.

Alors que pour les différentes estimations d'un même ensemble de flux (pour le total, *tableau 2*, *figure 1 et 2*) on peut établir une relation directe entre β et γ , cela est moins net pour des paramètres qualifiant des flux différents. Les variations de ces paramètres suivant les marchandises peuvent donc s'interpréter directement comme des sensibilités diverses des produits, à la distance d'une part et à la présence d'une frontière d'autre part.

Il est intéressant de noter que les résultats obtenus pour l'ensemble des marchandises occupent une position moyenne, surtout si l'on tient compte du poids spécifique de chaque type de marchandise.

Cette observation tendrait à accréditer l'hypothèse d'une certaine "stabilité" du modèle; ce qui favoriserait ainsi les comparaisons entre les résultats par produit. On note également que les ajustements sont bons, même pour les produits représentant d'assez faibles tonnages. La dispersion des marchandises sur la *figure 2* est relativement faible, et l'on ne rencontre pas de produits pour lesquels l'augmentation de la distance ou la présence de la frontière soient des facteurs favorables aux échanges. Quelle que soit la spécificité d'une marchandise, les flux la concernant diminuent toujours avec la distance et sont toujours plus intenses à l'intérieur de la France ou de la Belgique qu'ils ne le sont entre les deux pays.

² En raison de la faiblesse des échanges, le modèle n'a pu être réalisé pour les marchandises 2 et 4.

Tableau 5: Les résultats du modèle Wilson par produit (interaction et barrière)

	β <i>Frein de la distance</i>	γ <i>Effet de barrière</i>	R2 <i>Qualité de l'ajustement</i>
Produits NST 0	-1,59	0,25	90,5 %
Produits NST 1	-1,51	0,18	93,8 %
Produits NST 2	-	-	-
Produits NST 3	-2,17	0,21	96,1 %
Produits NST 4	-	-	-
Produits NST 5	-0,93	0,23	92 %
Produits NST 6	-1,72	0,12	90,5 %
Produits NST 7	-1,53	0,22	90,5 %
Produits NST 8	-1,10	0,27	90,5 %
Produits NST 9	-1,25	0,24	95,6 %
Total NST 0 à 9	-1,60	0,18	93,9 %

Toutefois, il existe des différences selon les marchandises. L'effet de la distance notamment oscille entre 0.93 et 2.17. On peut citer, pour exemple, les produits métallurgiques et chimiques (NST 5 et NST 8) et, dans une moindre mesure, les machines, les véhicules, les objets manufacturés et les transactions spéciales (NST 9) dont la sensibilité à l'augmentation de la distance est faible, contrairement aux produits pétroliers bruts et raffinés (NST 3) dont les flux diminuent beaucoup plus rapidement avec la distance.

Ces rapports divers qu'entretiennent les différents types de marchandises avec la distance, peuvent révéler le rapport qui les lie au transport. Si l'on considère la valeur des produits et le coût de leur transport, il apparaît que les marchandises n'ont pas toutes le même potentiel de déplacement. Certaines d'entre elles peuvent plus difficilement supporter le coût engendré par leur propre transport; ceci peut expliquer la différence entre NST 3 et NST 9. Les variations observées peuvent également tenir à la structure géographique des échanges. Les positions relatives des couples de lieux, étant à l'origine de flux particulièrement élevés, sont susceptibles de dicter la valeur des paramètres; surtout lorsqu'il s'agit d'un produit assez peu échangés et liés à une localisation particulière comme un gisement.

L'effet de la frontière varie également selon les marchandises. Ainsi la barrière est très marquée pour les minéraux bruts ou manufacturés et les matériaux de construction (NST 6), la division des flux internationaux étant supérieure à huit. Elle est plus perméable aux produits chimiques (NST 8) pour lesquels cette division est inférieure à quatre. Comme pour la distance, ces variations peuvent être directement attribuées aux différences entre marchandises: leur valeur, leur rareté, peuvent créer des complémentarités internationales plus ou moins développées. Mais la valeur du paramètre est encore une fois tributaire des localisations.

Figure 2: Frein la distance et effet de de barrière (γ)
paramètres du modèle de Wilson interaction + barrière pour les diverses marchandises

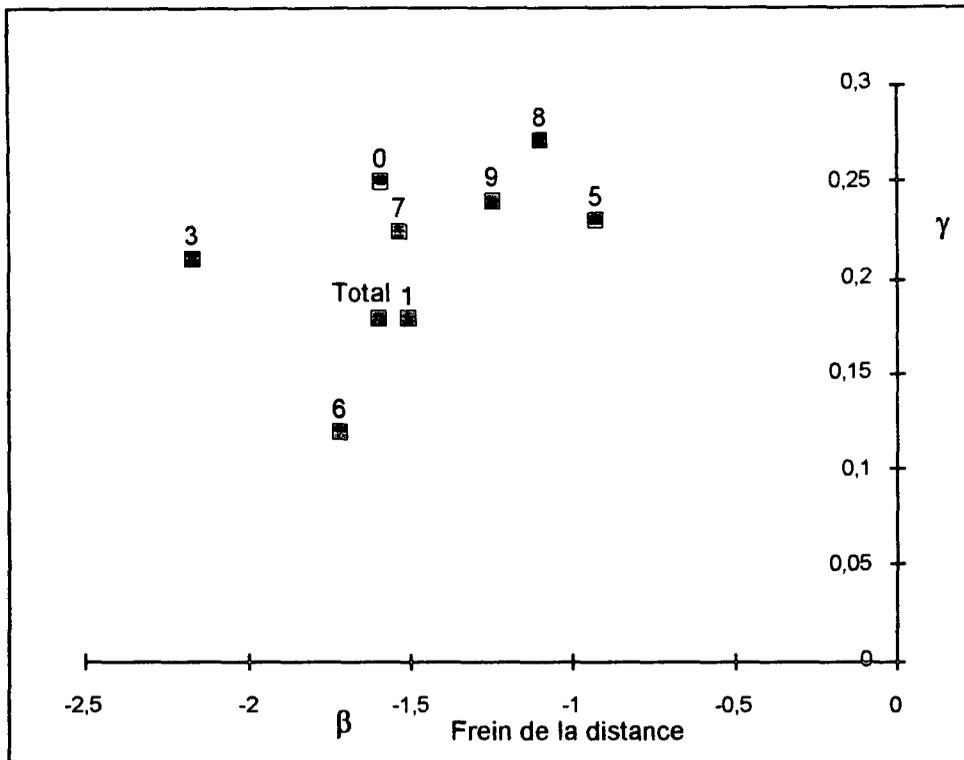
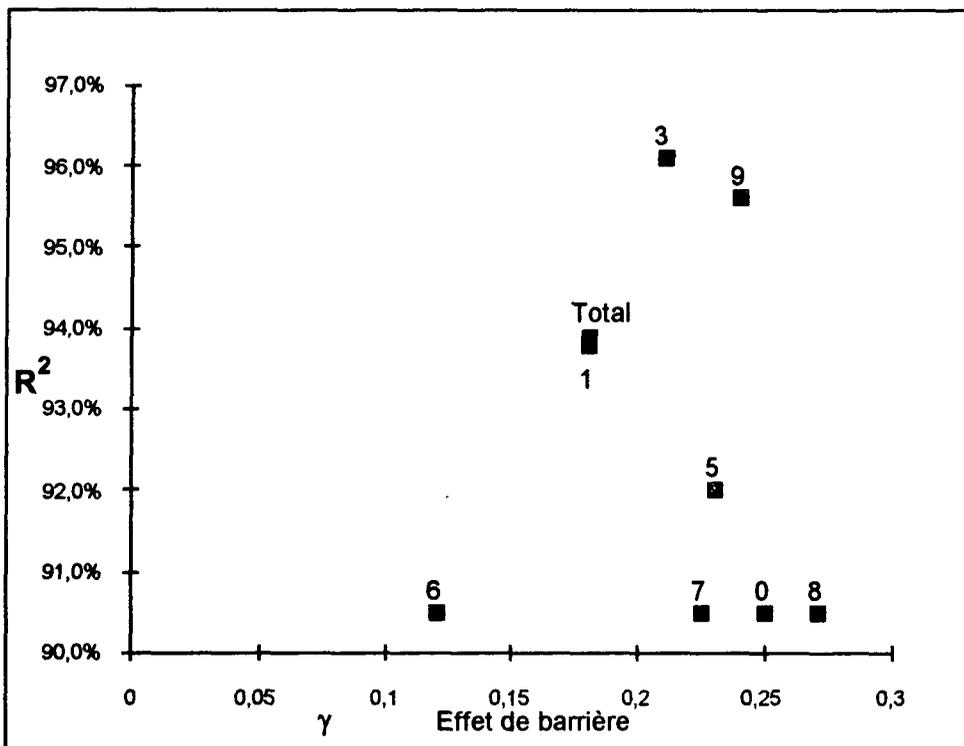


Figure 3: Effet de barrière et qualité de l'ajustement



Toutefois, on peut dire, à la lumière de ces résultats, que l'on n'échange pas de la même façon les différents types de marchandises. Le frein de la distance et l'effet de la barrière calculés pour l'ensemble, sont en fait la combinaison de paramètres assez variables au niveau de chaque produit. Les marchandises sont donc plus ou moins sensibles à la distance et à la frontière. On constate d'ailleurs une légère relation entre la facilité des marchandises à traverser la frontière et à parcourir de longue distance, ce qui est normal.

Il est important de ne pas oublier que ces résultats ont été élaborés avec une certaine distance, et surtout qu'ils ne concernent que les échanges routiers. Or, le mode de transport des marchandises est très important. Même si la route est le vecteur le plus utilisé, il ne l'est pas toujours pour certains produits. De plus le choix unique de la route ampute une partie des flux qui peut s'avérer négligeable à courte distance, mais plus importante pour les longs trajets. Le chemin de fer, le transport maritime et fluvial n'ont pas la même sensibilité à la distance que le transport routier. Il en est de même pour l'effet de barrière, une étude réalisée sur les échanges franco-allemand a montré que pour les trains de marchandises, la frontière est quasi imperméable, alors que les échanges fluviaux la traversent très facilement (la route se situant entre les deux modes).

Il serait intéressant de disposer, pour chaque produit, du volume des échanges pour chaque mode de transport. La mise en perspective, sur une période assez longue, pourrait également fournir des renseignements quant à l'évolution de l'effet de barrière, et permettre de savoir si l'intégration des deux pays, dans la Communauté européenne du charbon et de l'acier puis dans l'Union européenne par exemple, fait évoluer la nature de leurs échanges, totaux ou par marchandise.

III. EFFET DE LA FRONTIERE FRANCE-BELGIQUE ET CARACTERE DE LA BARRIERE

Outre le paramètre γ fourni par la modélisation, qui est une estimation globale de l'effet de la frontière sur les flux, il existe d'autres éléments mettant en évidence et caractérisant une barrière.

Une approche par les résidus

L'étude des résidus du modèle ne tenant pas compte de l'appartenance renseigne sur la présence d'obstacles aux relations. Sur les *cartes 2b et 2a*, sont représentés les résidus négatifs et positifs les plus significatifs.

On voit très nettement que les résidus positifs concernent exclusivement des régions d'un même pays, alors que la plupart des résidus négatifs cartographiés traversent la frontière entre la France et la Belgique. Ces deux ensembles de résidus indiquent clairement que la frontière joue un rôle qui complète les effets des masses et de la distance. Si l'on compare ces résidus à ceux du modèle complet (*cartes 3a et 3b*), dont on a pu voir qu'ils ne présentaient pas de structure particulière, on s'aperçoit, surtout pour les résidus négatifs, que leurs répartitions sont bien différentes.

La *carte 2b* montre une forte concentration autour de la frontière, où les échanges entre régions françaises et les provinces belges sont souvent beaucoup moins intenses que leur proximité et leur capacité à échanger le laissent entrevoir. Il y a donc une composante spatiale qui opère en limitant les flux et qui correspond à l'appartenance à des pays différents des régions considérées. Cette frontière politique est bien un frein aux échanges. On peut noter également que l'intensité des résidus n'est pas la même, selon que le modèle tient compte ou non de l'appartenance des régions. En effet, les seuils retenus pour la représentation des résidus sont inférieurs sur les *cartes 3a et 3b*. A seuils égaux, les résidus du modèle tenant compte de l'appartenance seraient deux fois moins nombreux. Le modèle intégrant la barrière rend compte d'une réalité spatiale (amélioration qualitative puisque les résidus ne sont plus liés à un phénomène précis), et de plus ajuste mieux l'ensemble des flux (amélioration quantitative que l'on a pu constater avec le R2 qui passe de 87.7 à 93.9 %).

La puissance de la frontière comme facteur limitant des échanges se traduit encore mieux lorsque l'on considère la totalité des résidus du modèle d'interaction sans l'appartenance. Le *tableau 6* présente, pour tous les couples d'unités spatiales, les résidus suivant leur intensité (en trois classes) et surtout leur signe. Les deux parties du tableau consacrées aux échanges internationaux sont à 99 % constituées de résidus négatifs. La frontière transparaît de façon parfaite, pour tous les couples et dans les deux sens de manière semblable. Les résidus positifs quant à eux sont bien représentés dans la partie Belgique-Belgique, alors que la situation franco-française est un peu plus contrastée (ce qui est normale puisqu'elle constitue plus de 45 % de l'échantillon), les résidus positifs sont aussi nombreux que les négatifs mais ils sont tout de même plus intenses.

Ce tableau met en évidence l'effet généralisé de la barrière, sa vigueur, mais il permet aussi de dire qu'elle se traduit bien d'avantage comme un frein aux échanges internationaux que comme une stimulation des échanges intranationaux (les résidus intra auraient pu être tous positifs). On remarque également le grand nombre de résidus négatifs qui contrebalancent des résidus positifs plus rares mais plus intenses. Les échanges de marchandises entre régions sont parfois orientés de façon très privilégiée dans une ou deux directions, toutes les autres se trouvent alors en retrait.

On a vu que l'effet de barrière varie en fonction des marchandises, on peut également s'intéresser à ses fluctuations en fonction de la position des régions par rapport à la frontière.

Effet de barrière et distance

La réduction des flux qu'entraîne le franchissement de la frontière franco-belge est-elle de même intensité selon qu'on la côtoie ou qu'on en est plus éloignée ? Cette division moyenne des flux évolue-t-elle en fonction de la distance qui sépare deux régions française et belge ? On peut estimer l'effet de barrière par classes de distance. Celui-ci pouvant être estimé indirectement (comme le fait la modélisation a posteriori), comme le rapport entre l'interaction spatiale internationale et l'interaction spatiale intranationale, il suffit d'établir ce rapport pour des classes de distances assez fines.

Pour chaque classe, l'interaction spatiale est donnée par:

$[(F_{ij}) / (F_i \cdot F_j)]$, où F_{ij} est la somme des flux entre régions de la classe.

$[F_i \cdot F_j]$ est la somme des produits des capacités d'émission et de réception des régions de la classe.

Pour chaque segment de distance on calcule ce rapport pour les flux intranationaux et les flux internationaux. La division du second par le premier donne l'effet de barrière qui correspond à la classe de distance (voir tableau 7).

tableau 7: Estimation de l'effet de barrière suivant la distance.

Classe de distance en km	Effet de barrière γ	Soit une division des flux inter par
50-150	0,248	4
150-250	0.057	17.5
250-350	0.082	12.2
350-450	0.125	8
450-550	0.091	11
550-650	0.081	11.8
650-750	0.053	18.9
750-850	0.092	10.9
850-950	0.079	12.5
950-10 50	0.076	13.2
10 50-max	0.092	10.9

On voit une forte variabilité de l'effet de barrière, faible à courte distance (division par 4) puis beaucoup plus fort (jusqu'à 18.9). Les faits les plus remarquables sont, d'une part la rupture très nette entre les 150 premiers kilomètres et les autres distances et d'autre part les deux pics (200 et 700 Km) où l'effet de barrière est maximum.

Sur un graphique présentant en abscisse la distance et en ordonnée le logarithme de l'interaction, on peut voir les fluctuations de celle-ci pour les relations internationales et intranationales.

Le *graphique 1* concerne l'intranational et montre la différence entre la France et la Belgique (la courbe de la Belgique est évidemment très courte), ces deux courbes qui représentent l'ensemble de l'intranational, contribuent à établir le *graphique 2*.

Le *graphique 3* confronte la courbe de l'intranational à celle de l'international. L'écart entre les deux courbes représente l'effet de barrière: plus celui-ci s'élargit plus l'intensité de la frontière sur la diminution des échanges se fait sentir.

On retrouve sur le *graphique 3* l'augmentation très rapide de l'effet de barrière avec la distance, ainsi que les deux écarts les plus forts (200 et 700 km) qui résultent les deux fois d'une baisse plus marquée de l'interaction internationale.

Ce type d'estimation par segmentation de la distance remet en cause l'estimation globale fournie par le modèle; en effet, celle-ci s'applique à tous les flux quelle que soit la distance alors qu'on s'aperçoit que la barrière n'a pas la même influence pour toutes les distances.

Il s'avère que les régions frontalières sont beaucoup moins sensibles que les autres à l'appartenance nationale; la frontière n'est alors pas vraiment une barrière. Cette différence de perméabilité en fonction de la distance est aussi le résultat de différences proprement régionales. De même l'effet de la distance unique calculé par le modèle est remis en question par les courbes du graphique 3 qui ne sont pas vraiment régulières.

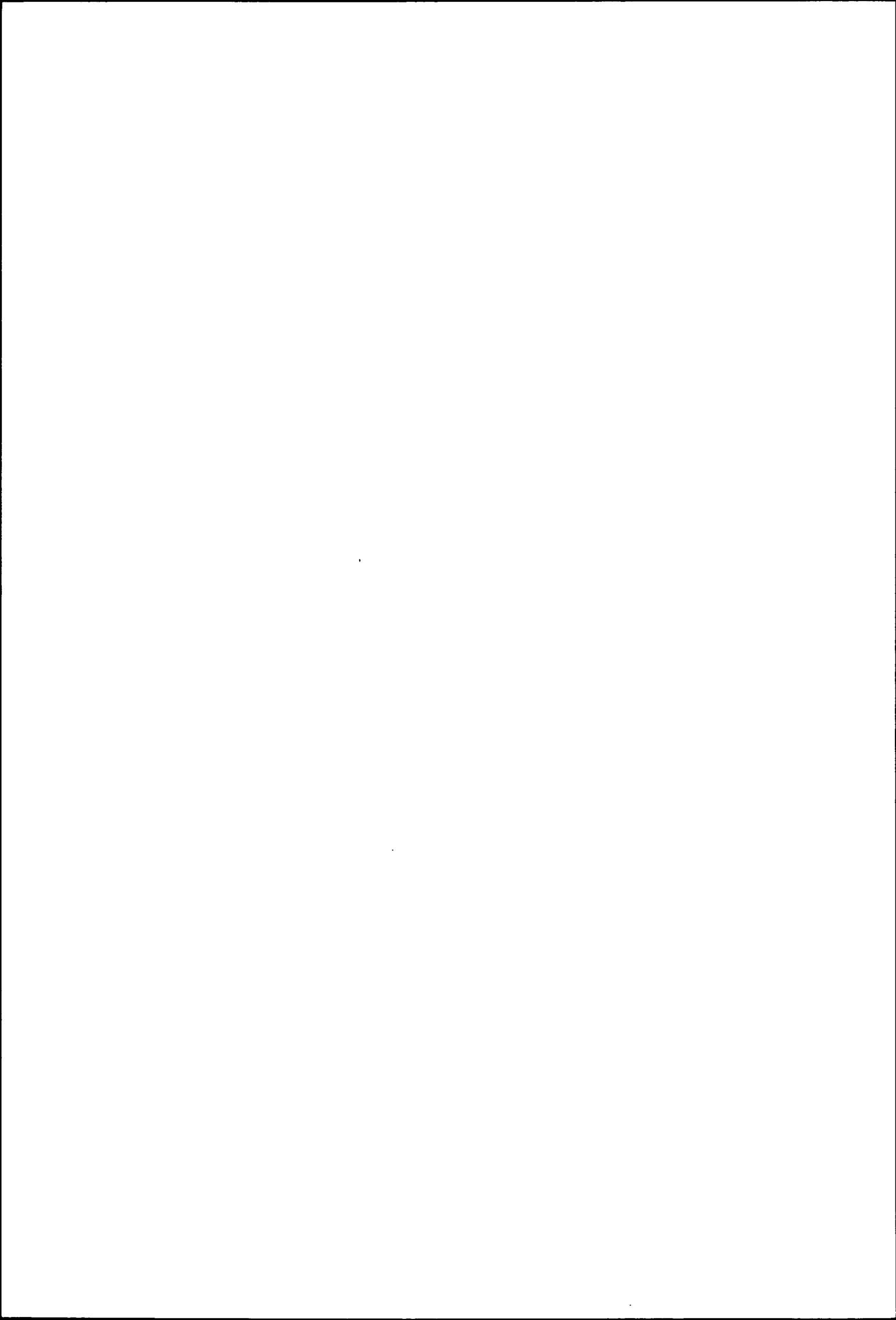
En fait, les échanges de marchandises entre régions peuvent être modélisés avec des ajustements très satisfaisants. Ainsi on obtient des paramètres, notamment pour l'effet de barrière, qui font référence à une loi générale. Cette relation globale entre les flux, la distance et l'appartenance donne une idée du rôle de la frontière à l'échelle des deux états. Par contre, on a pu vérifier que les paramètres sont sensibles à l'expression de la distance choisie, au type de modèle (simple ou double contraintes; estimation directe ou indirecte de l'effet de barrière); ils varient aussi beaucoup suivant les marchandises, la distance qui sépare de la frontière et pratiquement suivant chaque région. La frontière Franco-Belge est globalement un obstacle important aux flux de marchandises, mais les flux concernant certains produits (ceux dont la valeur le permet) comme certaines régions (les plus proches) la franchissent plus facilement.

POUR EN SAVOIR PLUS

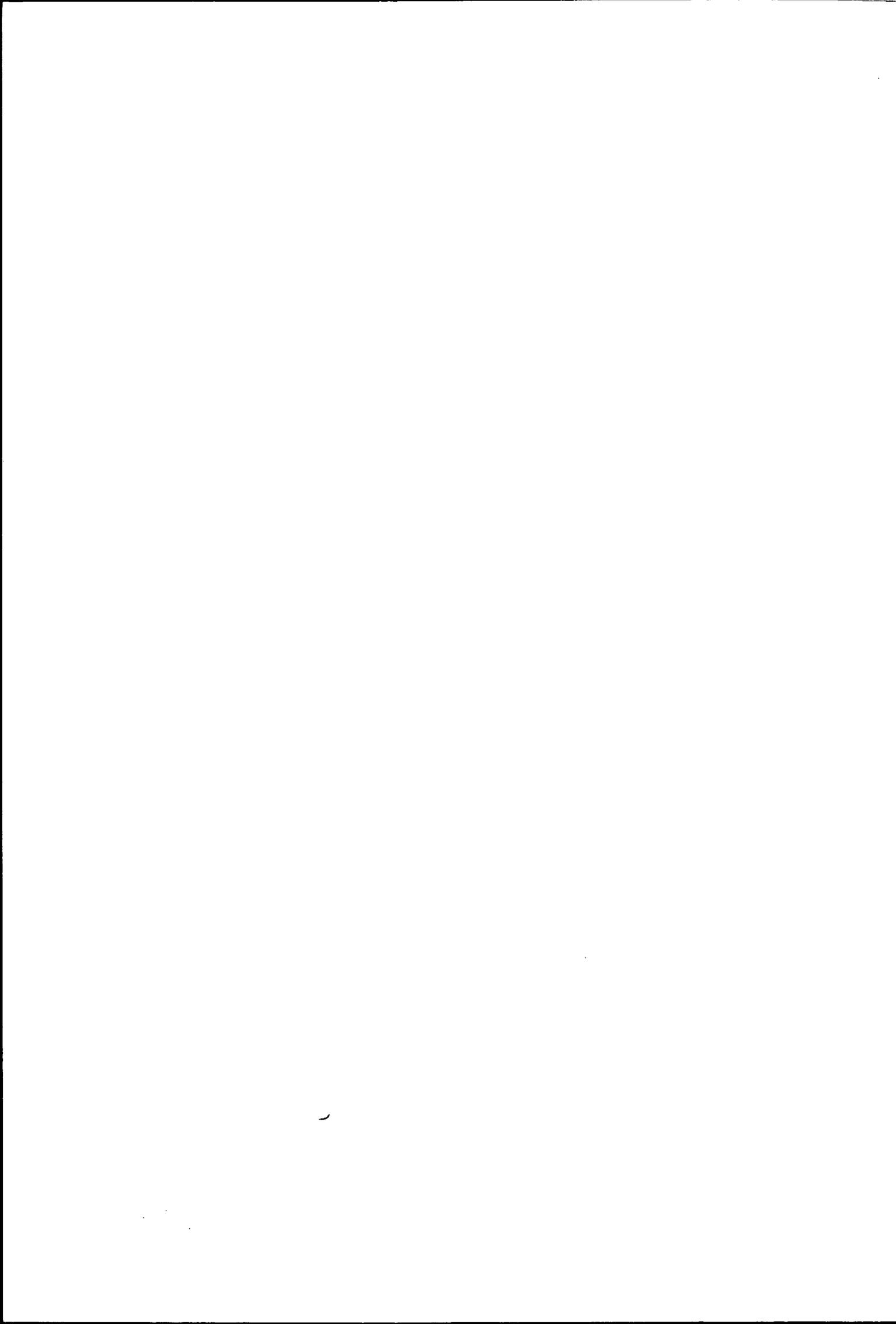
BEYER A., 1993. *Approche régionale des échanges franco-allemands de marchandises.*
mémoire de DEA.

CATTAN N., GRASLAND C. 1995. *Spatial interaction and belonging interaction : how to
measure barrier effects.* Colloque de géographie théorique et quantitative de Spa, Belgique.

* * * *



ANNEXE



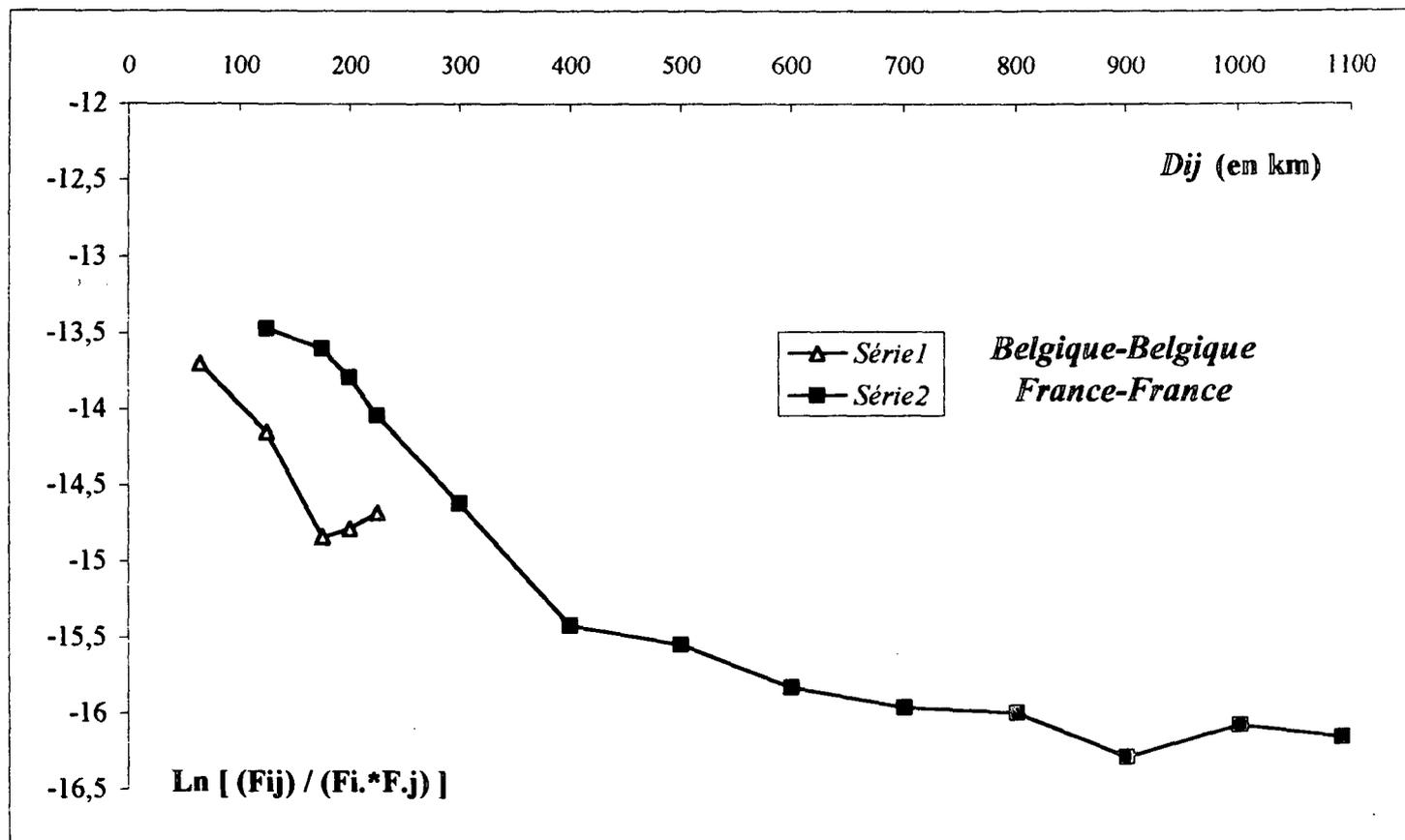
REGION Arrivée

Départ		France																				Belgique											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
France	1			0	00	0					0			0	0	0				0		00	00	00	0	00	00	00	00	0	00		
	2				0	00							0	0	0	0			0	0	0	0	00	0	0	00	00	0	0	0	0		
	3						00			0			0	0	0	0	0			0		00	00	00	00	00	00	00	00	0	00		
	4	0	0	00						0				0	0		0			0		00	00	0	00	00	00	0	0	0	0		
	5	00	00	00						0		0		0		00	0		00		0	0	00	0	0		0	00	0	0	0	0	
	6	0	0	00				0			0	0			0	0	0						0	0	0	0	00	0	0	0	0	0	
	7				0		0			00		00	0	0	0	0	00	0	0		00		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	8																						00	00	0000	0000	00	0	00	0	0		
	9			0		0		0						0	0	0				0		00	00	0	0	00	00	00	00	00	00		
	10	0	00	0	0		0	00					0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00	00	0	0	00	00	00	00	00	0	
	11					0		0					0		0	0	0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	12		0	0			00		0	0	0				00	00	00	0	0	00	0	00	00	0	0	00	00	0	0	0	0		
	13		0	0		0		0						0	00	0	0		0	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
	14	00	00	00	0		00	00		0	0	0		00			00	0	00	00	0	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	15	0	0	0		00	0	0		0	0	0	00	00					00	00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	16	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	0				0	0		00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	17	0	0	0	0			0		0	0	0	0	0	0				0		0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	18		0	0		0							0		00	00	00	0			0		0	0	0	0	00	00	0	0	0	0	
	19	0	0				0			0	0		0	0	00	0		0			0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	20		0	0	0			0		0	0	0	0		0	0		0		0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	21		0			0	0	0			0	0	0	0	0	0	00	0		0			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Belgique	22	00	0	00	0	0	0	00	0	0	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0							
	23	00	0	00	00	0	0	00	00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	00										
	24	00	0	00	0	0	0	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			0				0			
	25	0	0	00	0	0	0		0000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0											
	26	00	0	00	00	0	0	0	00	00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0									
	27	00	00	00	00	00	00	00		00	00	0	00	00	00	00	00	0	00	0	0	00	0		00				0	00		00	
	28	00	0	00	00	00	0	0	0	00	00	0	0	0	0	0	0	0	00	0	0	0											
	29	00	00	00	00	0	0	0	00	00	00	0	0	0	0	0	0	0	00	0	0	0			0		0	0	00				
	30	00	00	0	0	0	0	00	0	00	00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0									
	31	00	00	00	0	0	0	0	0	00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		00									

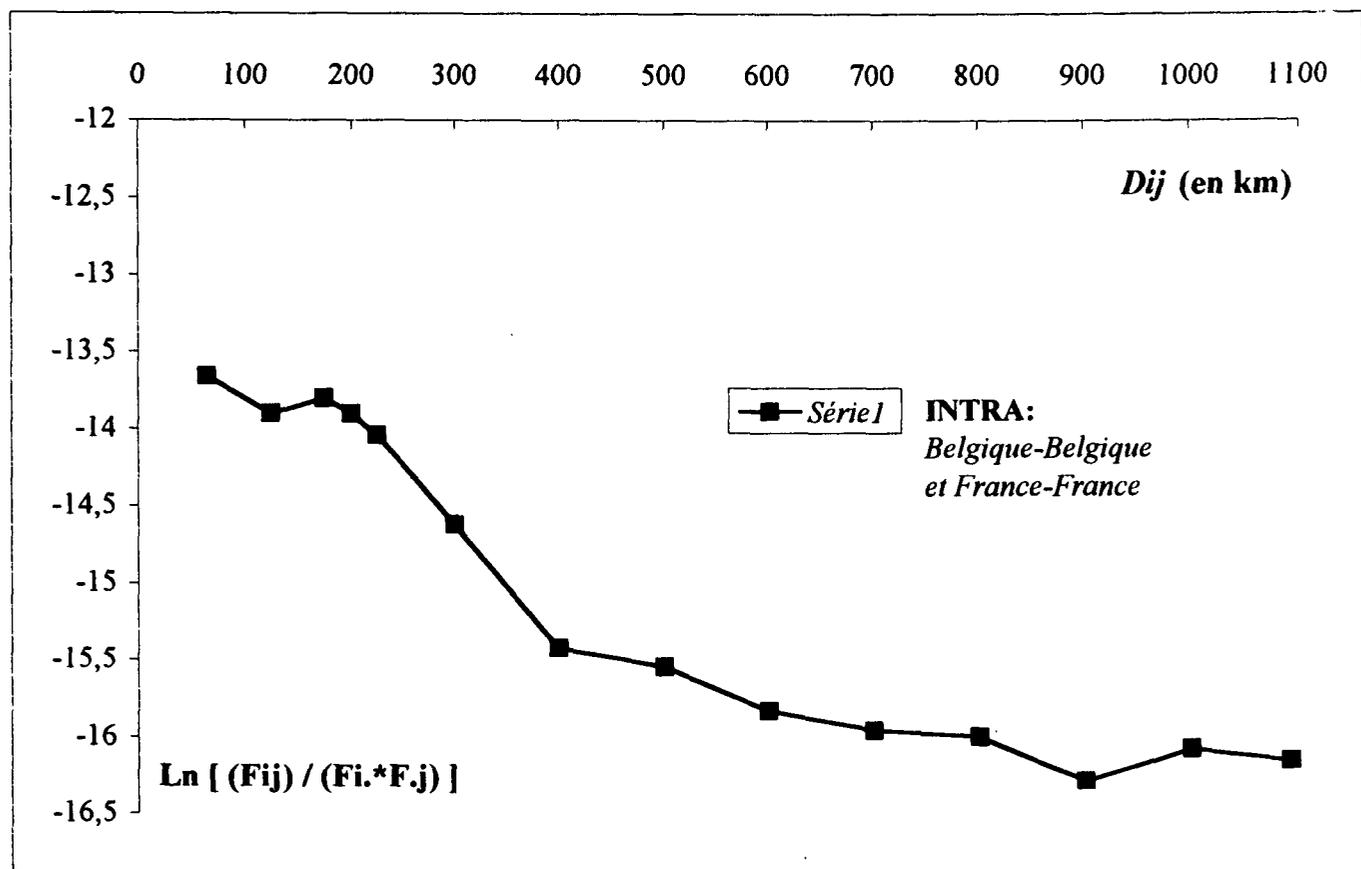
Résidus négatifs:
 0000 Très importants
 00 Importants
 0 Faibles

Résidus positifs:
 | Faibles
 |||| Importants
 |||||| Très importants

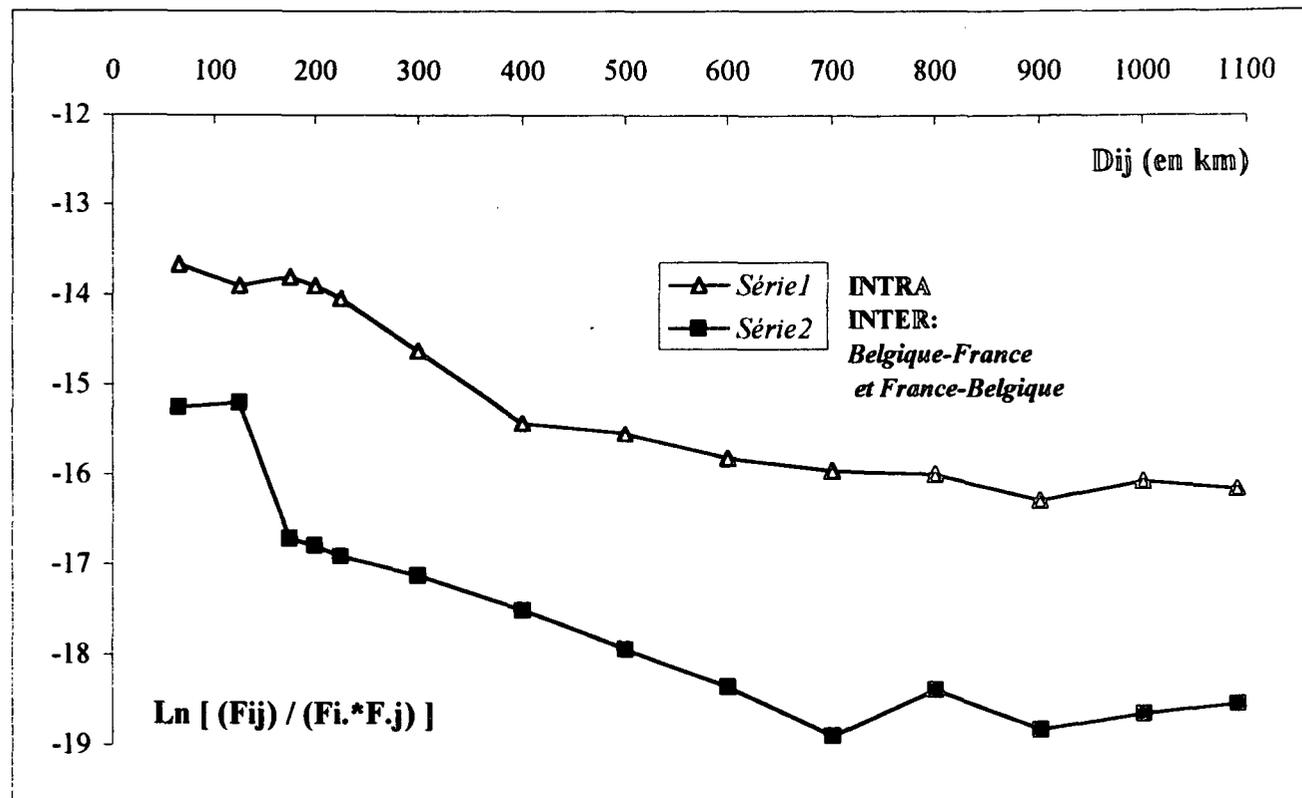
graphique n°1



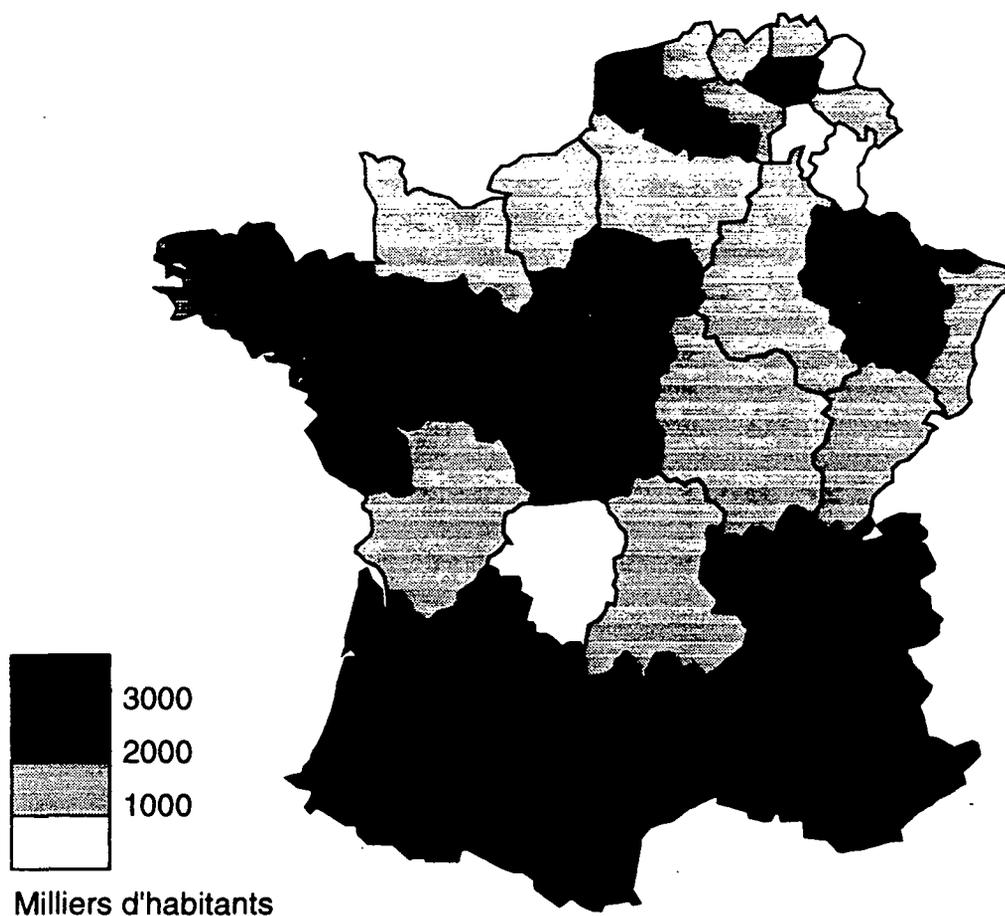
graphique n° 2



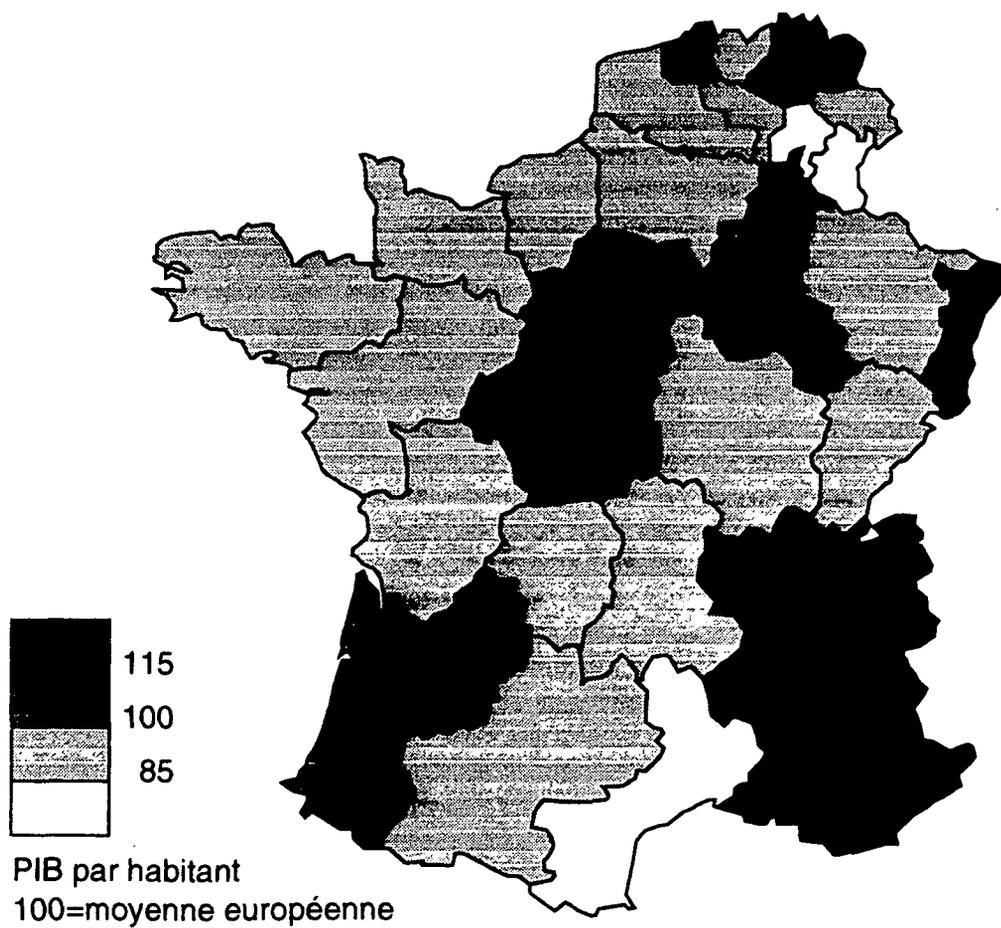
graphique n° 3



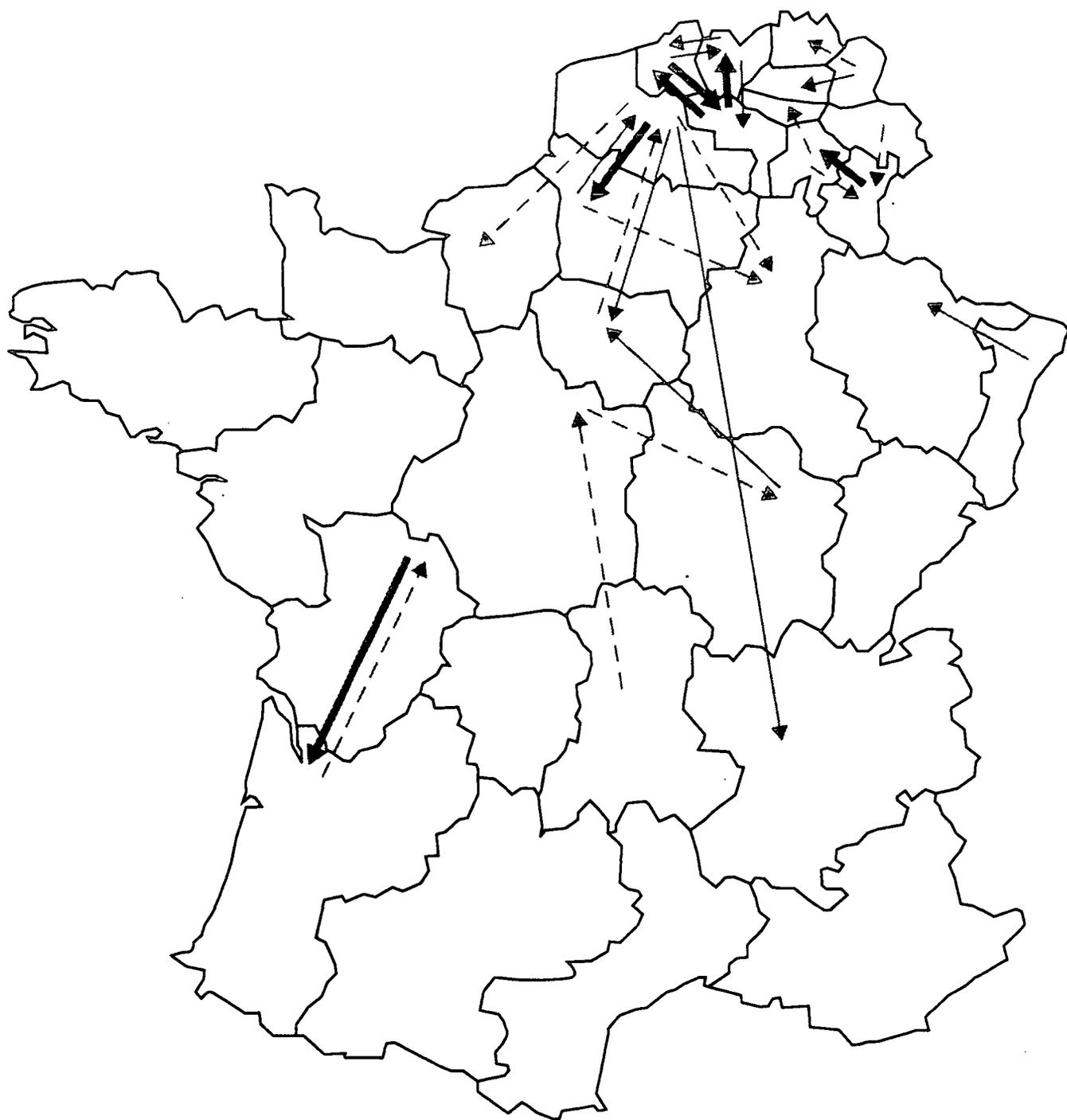
Carte 1. Les populations régionales



Carte 2. Les inégalités régionales



Carte 2a. Flux interrégionaux totaux: les écarts positifs au modèle estimant
(modèle Wilson, interaction seule)

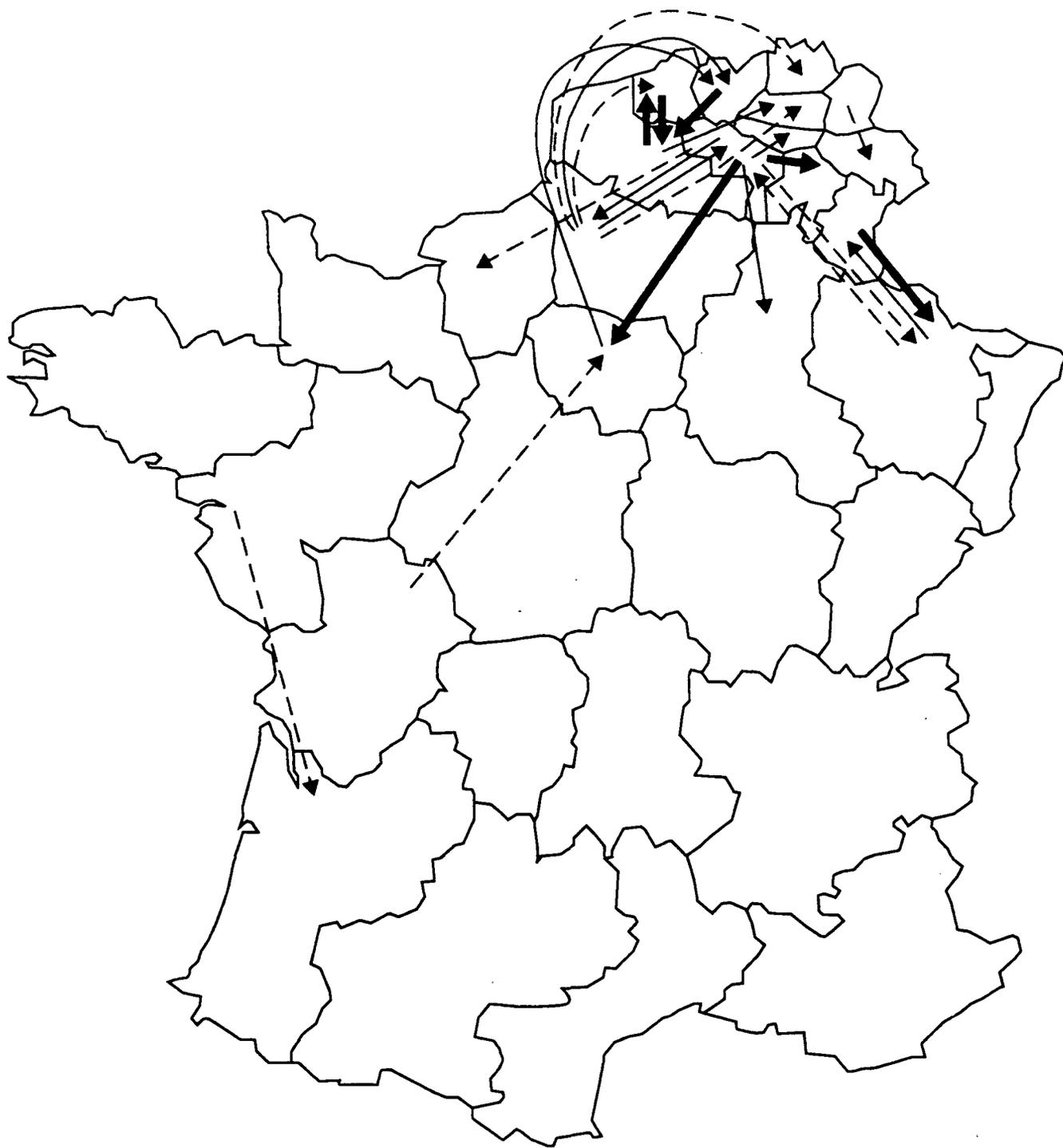


Résidus positifs :

-  très importants
-  importants
-  moyens

0 100 km

Carte 2b. Flux interrégionaux totaux: les écarts négatifs au modèle estimant
(modèle Wilson, interaction seule)



Résidus négatifs :

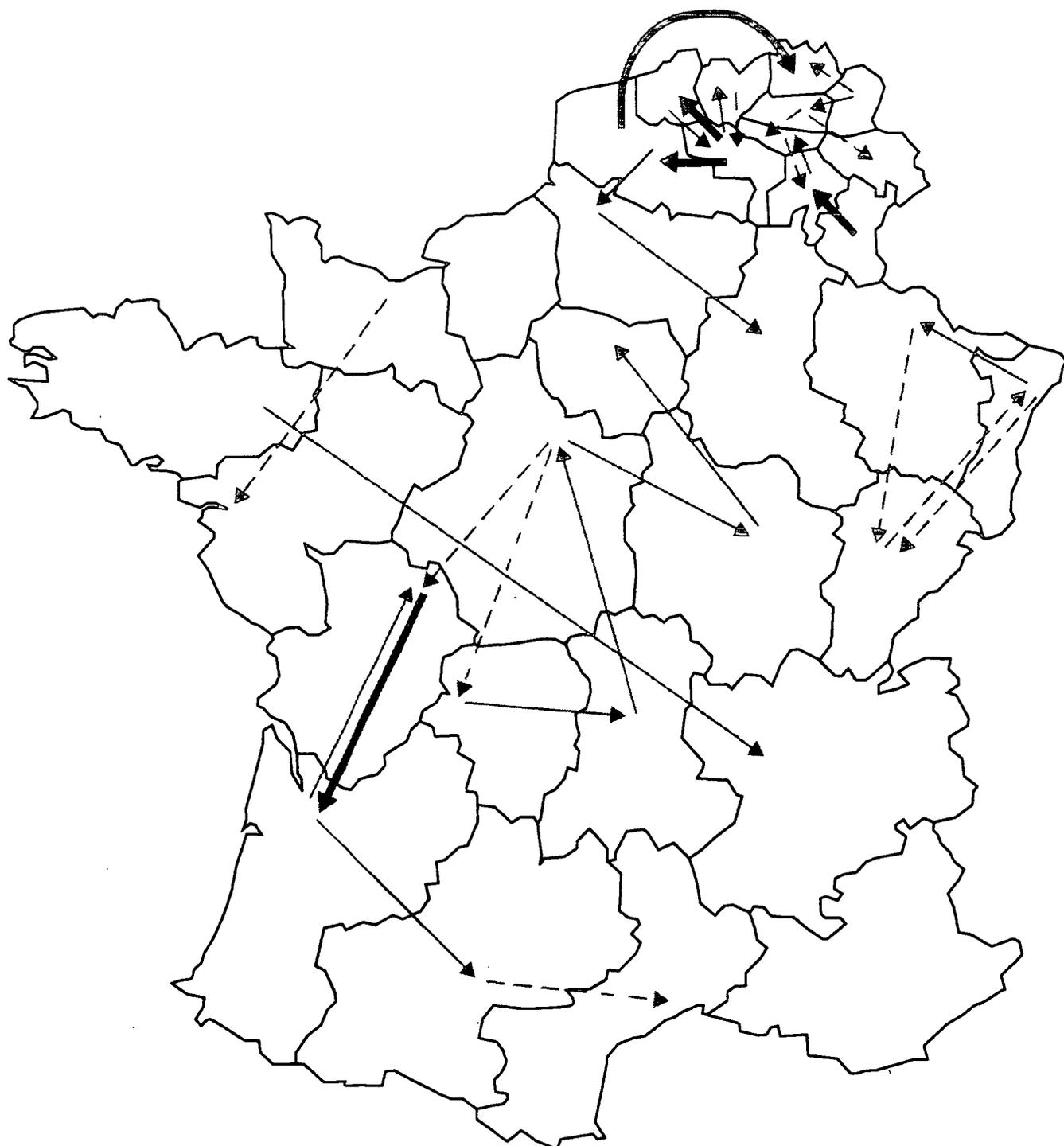
 très importants

 importants

 moyens

0 100 km

Carte 3a. Flux interrégionaux totaux: les écarts positifs au modèle estimant
(modèle Wilson, interaction et barrière)

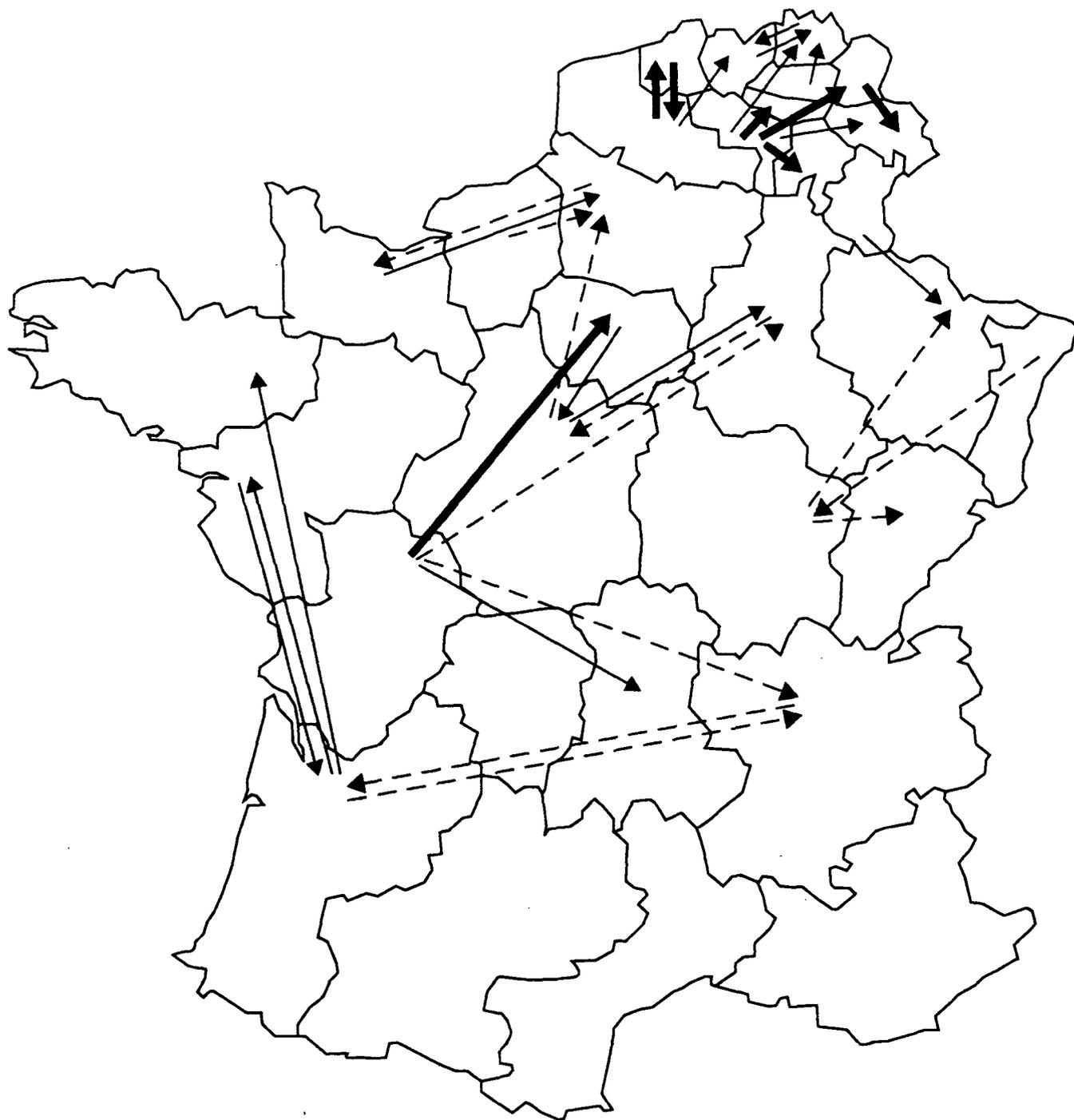


Résidus positifs :

-  très importants
-  importants
-  moyens

0 100 km

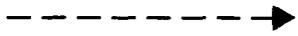
**Carte 3b. Flux interrégionaux totaux: les écarts négatifs au modèle estimant
(modèle Wilson, interaction et barrière)**



Résidus négatifs :

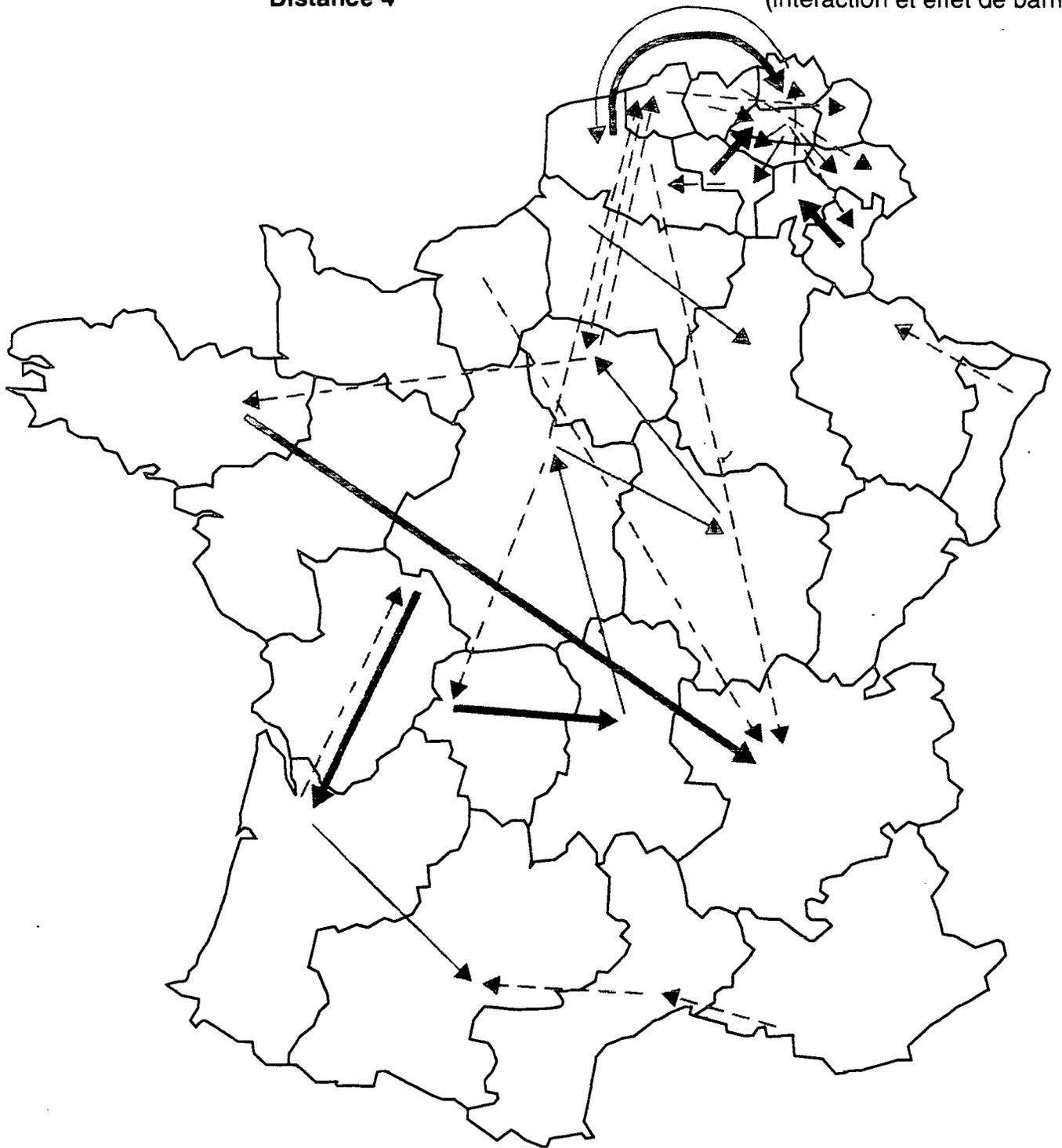
 très importants

 importants

 moyens

0 100 km

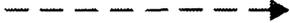
Carte 4a. Flux interrégionaux totaux: les écarts positifs au modèle estimant
Distance 4 (interaction et effet de barrière)



Ecart positif au modèle estimant:

 très important

 important

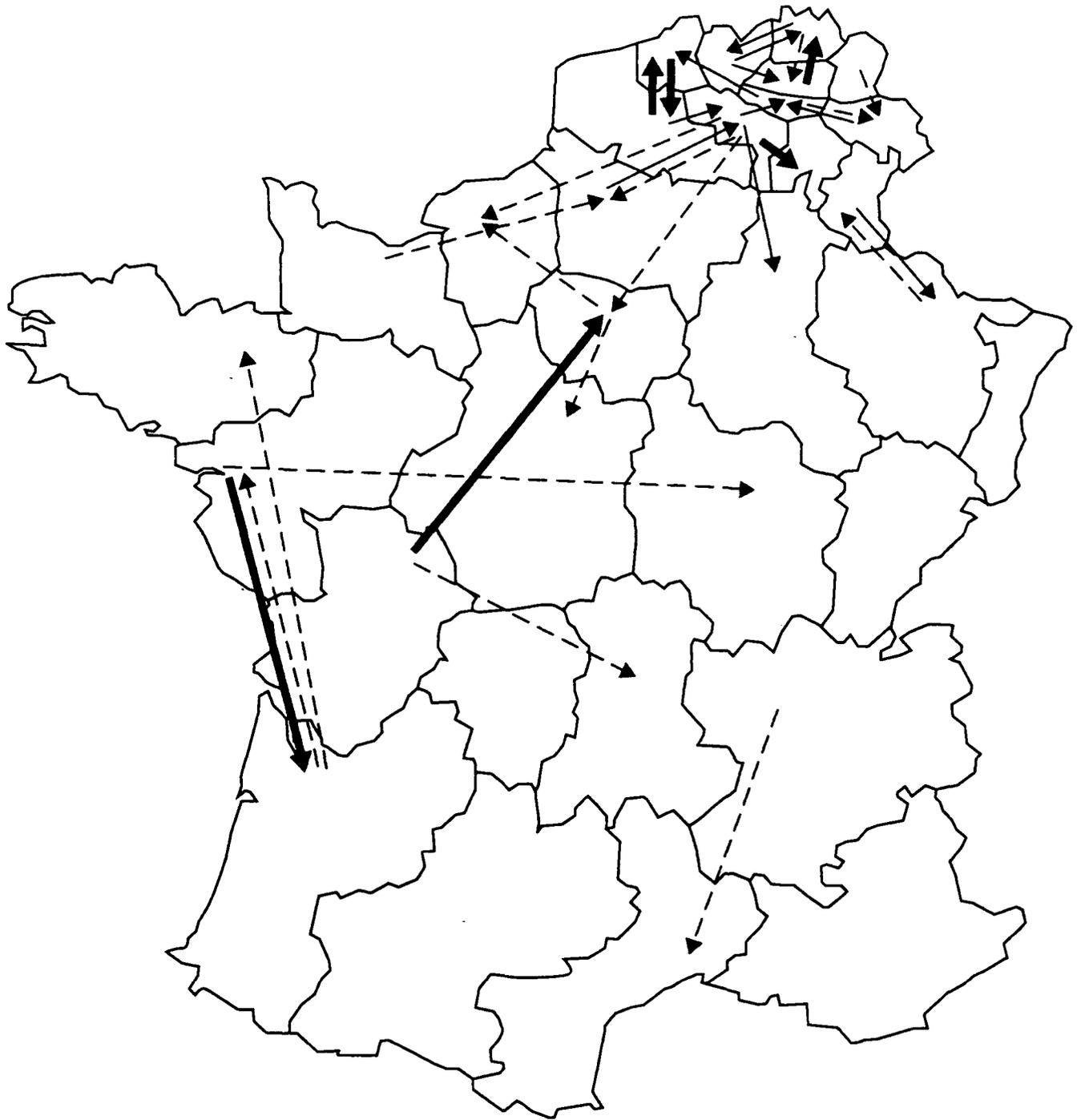
 non négligeable

0 100 km

Carte 4b. Flux interrégionaux totaux: les écarts négatifs au modèle estimant

Distance 4

(interaction et effet de barrière)



Ecart négatif au modèle estimant:

—————→ très important

—————→ important

- - - - -→ non négligeable

0 100 km

- Echanges de marchandises Totaux - (en tonnes)

