



UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE  
UFR DROIT ET SCIENCES ÉCONOMIQUE ET POLITIQUE

## THÈSE

pour obtenir le grade de

**DOCTEUR de l'Université de Bourgogne**

Discipline : **Sciences Économiques**

préparée au **Laboratoire d'Économie de Dijon**

dans le cadre de l' **École Doctorale LISIT 491**

présentée et soutenue publiquement

par

**Aligui Tientao**

le 07 décembre 2015

Titre:

**Commerce International, Innovation et Interdépendance :  
une approche par l'économétrie spatiale**

Directeur de thèse: **M.C. Pichery**

Co-encadrant de thèse: **D. Legros**

Jury

M. **C. Ertur**, Professeur à l'université d'Orléans, Examineur  
Mme. **J. Le Gallo**, Professeur à l'université de Bourgogne, Présidente du jury  
M. **D. Mirza**, Professeur à l'université de Tours, Rapporteur  
M. **C. Tavera**, Professeur à l'université de Rennes 1, Rapporteur

---

*« La faculté n'entend donner aucune approbation, ni improbation aux opinions émises dans les thèses. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leurs auteurs »*

---

# Remerciements

Il me sera très difficile de remercier tout le monde car c'est grâce à l'aide de nombreuses personnes que j'ai pu mener cette thèse à son terme.

Je tiens à remercier en tout premier lieu Marie-Claude Pichery et Diègo Legros qui ont accepté de diriger mon travail de thèse. Ils m'ont apporté un encadrement et un soutien sans faille et ont su me garantir la liberté nécessaire pour mes recherches, sans jamais se désintéresser de mes avancées. Je leur suis reconnaissant pour la confiance qu'ils m'ont accordée, la pertinence de leurs conseils et leurs relectures éclairantes.

Je remercie Daniel Mirza et Christophe Tavera pour avoir accepté de rapporter sur cette thèse. Merci également à Cem Ertur et Julie Le Gallo de me faire l'honneur de faire partie de mon jury et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.

Je remercie la directrice du Laboratoire d'Économie de Dijon (LEDI) Sophie Béjean, la responsable de l'équipe Économie des Territoires et de l'Environnement (ETE) Catherine Baumont ainsi les membres du laboratoire pour m'avoir permis de mener mes recherches dans les meilleures conditions matérielles et humaines.

Je remercie le conseil régional de Bourgogne pour son financement (Numéro 2011 BQR O56) sans lequel il n'aurait pas été possible de mener à bien les travaux de recherche.

Je tiens à remercier plus particulièrement Wilfried Koch pour ses invitations, sa disponibilité, ses conseils et ses suggestions tout au long de mes séjours de recherche à l'Université du Québec à Montréal. Il en est de même pour Kristian Behrens. J'adresse également mes remerciements aux membres du département des sciences économiques de l'UQAM pour m'avoir donné des conditions de travail idéales durant mes séjours.

Je n'oublie évidemment pas mes amis et camarades doctorants du LEDI et

CREGO avec lesquels j'ai partagé tous ces moments de doute et de plaisir. Tous ces instants autour d'un sandwich ou d'un café ont été autant de moments de détente indispensables pour une complète expression scientifique.

Merci également à tous mes ami-e-s en France et au Mali qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce projet de recherches.

Je voudrais saisir l'occasion pour exprimer toute ma gratitude à Bob Sanankoua ainsi qu'à sa famille. Je ne pourrais manquer de remercier Bintou et Drissa Sanankoua.

La thèse impose des sacrifices et un soutien indispensable, c'est la raison pour laquelle je tiens à remercier mes parents. Leur soutien permanent a été un facteur déterminant dans mon parcours universitaire.

Mes derniers remerciements et non les moindres s'adressent à *Mon Rayon de Soleil* Aïssata qui, pour mon plus grand bonheur, partage ma vie. Elle a su, tout au long de cette thèse, réfréner mes « ras-le bol » et m'encourager dans ma voie.

---

# Résumé

Cette thèse étudie les implications du commerce international sur l'innovation en considérant l'enjeu de l'interdépendance spatiale. En effet, les mécanismes par lesquels le commerce international affecte l'innovation reposent sur la mise en évidence de facteurs qui, parce qu'ils sont à l'origine de rendements croissants, représentent de véritables moteurs de la croissance. Or le processus d'accumulation de ces facteurs repose sur des effets dont l'intensité est contrainte par l'espace. D'abord, les flux commerciaux qui sont supposés transmettre la technologie entre les pays sont spatialement interdépendants. Ensuite, les résultats mis en avant dans littérature existante captent seulement l'effet direct des échanges commerciaux sur l'innovation. Toutefois il est possible qu'un pays bénéficie de la technologie d'un autre pays sans qu'un échange commercial ait lieu entre les deux pays. Il semble donc opportun de réexaminer la relation entre le commerce international et l'innovation dans un contexte d'interdépendance spatiale. A cet effet, nous nous sommes appuyés sur les modèles de croissance endogène pour dériver deux modèles structurels spatiaux permettant de rendre compte de l'interdépendance. L'analyse empirique de ces modèles fait ressortir qu'en plus des variables traditionnelles telles que les R&D et le capital humain, les externalités contribuent fortement à la hausse de productivité et que celles-ci sont particulièrement importantes pour les pays à faible revenu. De plus, La libéralisation commerciale, en augmentant la concurrence, favorise l'innovation dans les pays à revenu élevé. En revanche, elle entraîne une baisse de celle-ci dans les pays à faible revenu. Ces résultats renforcent l'idée que, au moins dans le cas des pays avancés, l'ouverture commerciale accroît l'innovation et la croissance grâce à la concurrence.

**MOTS-CLÉS** : Concurrence ; Externalités technologiques ; Libéralisation commerciale ; Productivité ; Espace.

---

# Abstract

This thesis studies the consequences for innovation of international trade allowing for spatial interdependence. Indeed, the mechanisms through which international trade affects innovation are based on highlighting factors that, because they are the source of increasing returns, represent real engines of the growth. Yet, the cumulation process of these factors depends on effects which are constraints in space. First, trade flows by which technology is supposed to transmit between countries are interdependents. Second, the results highlighted in existing literature capture only the direct effect of trade on innovation. However, it is possible that a country benefits technology from an another country without any trade between the two countries. It seems convenient to revise the relation between international trade and innovation in the context of spatial interdependence. Based on endogenous growth models, we derive two spatial structural models in order to take into account spatial interdependence. The empirical analysis of spatial models revealed that in addition to traditional variables such as R&D and human capital, externalities contribute strongly to productivity growth and these externalities are especially important for low-income countries. Regarding competition, the effects are mixed. Trade liberalization, by increasing competition, promotes innovation in developed countries. However, it reduces innovation in low-income countries.

**KEYWORDS** : Competition ; Productivity ; Trade liberalization ; Spillovers ; Space.

---

# Table des matières

Remerciements . . . . .	iii
Résumé . . . . .	v
Abstract . . . . .	vi
Table des matières . . . . .	vii
Liste des tableaux . . . . .	x
Table des figures . . . . .	xi
<b>Introduction générale</b> . . . . .	<b>1</b>
<b>1 Modélisation de l'interdépendance en commerce international</b> . . . . .	<b>12</b>
1 Introduction . . . . .	12
2 Les fondements théoriques . . . . .	15
2.1 De la théorie classique à la nouvelle théorie du commerce in- ternational . . . . .	15
2.2 L'origine du modèle de gravité . . . . .	18
2.3 Le modèle de A-vW(2003) et ses ramifications . . . . .	20
2.4 L'interdépendance spatiale entre les flux commerciaux . . . . .	26
3 L'intégration régionale en Afrique . . . . .	40
3.1 Les conditions préalables à une intégration économique . . . . .	41
3.2 Le processus de regroupement régional en Afrique . . . . .	42
3.3 L'impact des blocs régionaux en Afrique . . . . .	47
4 Validation empirique . . . . .	50
4.1 Données et méthodes d'estimation . . . . .	50
4.2 Résultats . . . . .	53
5 Conclusion du chapitre 1 . . . . .	64

vii

---

<b>2</b>	<b>L'interdépendance spatiale et la diffusion technologique</b>	<b>66</b>
1	Introduction . . . . .	66
2	L'effet du commerce international dans la transmission de la technologie	67
2.1	Le débat théorique . . . . .	68
2.2	Les externalités technologiques véhiculées par le commerce international . . . . .	72
3	Le rôle de l'espace dans la diffusion des externalités technologiques . .	79
3.1	Les caractéristiques des externalités technologiques . . . . .	79
3.2	Le caractère spatial des externalités technologiques . . . . .	80
4	Le rôle de l'économétrie spatiale . . . . .	85
4.1	L'utilisation de l'économétrie spatiale dans l'estimation des externalités technologiques . . . . .	85
4.2	Les critères de choix des modèles économétriques . . . . .	89
5	Le cadre théorique . . . . .	94
5.1	La production du bien final . . . . .	95
5.2	La production des biens intermédiaires . . . . .	96
5.3	Le rôle des externalités technologiques dans la hausse des PTF	98
6	Validation empirique . . . . .	102
6.1	Les données . . . . .	102
6.2	Les résultats des estimations . . . . .	105
7	Conclusion du chapitre 2 . . . . .	110
<b>3</b>	<b>L'effet du commerce sur l'innovation par le biais de la concurrence</b>	<b>111</b>
1	Introduction . . . . .	111
2	La relation entre la concurrence et l'innovation . . . . .	114
2.1	Schumpeter versus Arrow . . . . .	114
2.2	La concurrence pour l'innovation . . . . .	115
2.3	Le marché des produits : l'effet de la concurrence sur l'innovation	119
3	L'effet concurrentiel du commerce international . . . . .	124
3.1	L'ouverture commerciale et l'hétérogénéité des firmes . . . . .	124
3.2	La concurrence internationale et l'innovation . . . . .	127
4	Le modèle schumpétérien en économie fermée . . . . .	130

4.1	Le secteur du bien final . . . . .	130
4.2	Le secteur de biens intermédiaires . . . . .	131
4.3	La croissance . . . . .	131
4.4	Le progrès technologique . . . . .	132
5	L'effet de la libéralisation du commerce international . . . . .	134
5.1	La production du bien final et le commerce international . . .	135
5.2	La production du bien intermédiaire et le commerce interna- tionale . . . . .	137
5.3	La croissance du PIB et le commerce international . . . . .	139
5.4	Le taux de progrès technologique . . . . .	140
6	L'analyse empirique . . . . .	145
6.1	Les données . . . . .	145
7	Les résultats économétriques . . . . .	147
8	Conclusion du chapitre 3 . . . . .	154
	<b>Conclusion générale</b>	<b>155</b>
	<b>A Spatial Regression</b>	<b>162</b>
1	The standard spatial models . . . . .	162
1.1	The spatial lag model . . . . .	163
1.2	The spatial Durbin model (SDM) . . . . .	164
1.3	The general spatial model (GSM) . . . . .	165
2	Maximum likelihood estimation . . . . .	166
2.1	SDM model estimation . . . . .	168
2.2	The GSM estimation . . . . .	171
2.3	Interpreting parameter estimates . . . . .	172
2.4	Quasi-Maximum Likelihood estimation with panel data . . . .	174
	<b>Bibliographie</b>	<b>178</b>

---

# Liste des tableaux

1.1	Les principaux blocs régionaux en Afrique . . . . .	46
1.2	Estimation incluant la variable indicatrice captant les flux nuls . . . . .	54
1.3	Les résultats basés sur le modèle Tobit Spatial . . . . .	56
1.4	Effet frontières . . . . .	60
2.1	Estimation avec variable instrumentale . . . . .	106
2.2	Les impacts directs, indirects et totaux . . . . .	108
3.1	Les tests spatiaux . . . . .	147
3.2	Les résultats des estimations . . . . .	148
3.3	Les effets cumulatifs . . . . .	151

---

# Table des figures

1.1	Source : Banque de France . . . . .	45
2.1	Choix d'un modèle d'économétrie spatiale (Elhorst, 2010) . . . . .	91

---

# Introduction générale

Les effets de l'ouverture commerciale sur la croissance sont régulièrement au cœur des débats économiques. En outre l'apparition de nouveaux acteurs économiques dans le marché mondial, en particulier les pays émergents, suscitent à cet égard autant de craintes que d'attentes pour les pays développés au point où l'on pourrait se demander si les effets de cette libéralisation sont profitables à tous.

Si l'on en croit les récentes théories de la croissance économique, l'ouverture commerciale favorise l'innovation et la hausse de la productivité. D'abord elle accroît la taille des marchés que les innovateurs peuvent s'approprier afin de rentabiliser leurs innovations. Dans la mesure où une grande partie des coûts de R&D est fixe, une entreprise qui opère sur les marchés domestiques et étrangers peut facilement les couvrir grâce aux économies d'échelle. Ensuite elle permet aux nouvelles technologies de circuler librement entre les pays par simple transmission, par l'échange de biens et services, par les investissements directs étrangers ou par la mobilité internationale des chercheurs (Grossman et Helpman, 1991c). Les R&D étrangers créent de nouveaux biens intermédiaires auxquels un pays peut accéder afin d'innover plus facilement. En effet l'importation de nouvelles variétés de biens pourrait réduire les coûts de R&D, permettant ainsi plus d'innovations (Coe et Helpman, 1995). De plus le commerce international est à l'origine de transferts technologiques des pays les plus avancés vers les pays les moins avancés (Coe *et al.*, 2009). Enfin l'ouverture commerciale est souvent associée à une augmentation de la pression concurrentielle subie par les entreprises. Même en l'absence d'importations la structure des marchés étrangers peut avoir un impact en termes de concurrence pour les entreprises qui exportent. En outre la libéralisation des échanges améliore la concurrence en permettant aux entreprises étrangères de concurrencer les entreprises domestiques. Cette concurrence peut améliorer la productivité des entreprises domestiques car

d'une part elle force les entreprises les moins productives à quitter le marché au profit des entreprises plus productives, augmentant ainsi la productivité moyenne (Melitz, 2003). D'autre part l'augmentation de la concurrence oblige les entreprises à innover afin d'échapper à la concurrence étrangère (Aghion et Howitt, 2009, Chp. 12).

Les mécanismes avancés par les théories reposent sur la mise en évidence de facteurs qui, parce qu'ils sont à l'origine de rendements croissants, représentent de véritables moteurs de la croissance. Or le processus d'accumulation de ces facteurs repose sur des effets dont l'intensité est contrainte par l'espace. Cependant il est étonnant de constater que les théories du commerce international accordent peu d'attention à l'espace et à l'interdépendance spatiale. Deux raisons principales peuvent être mises en avant pour expliquer cette négligence : la première concerne l'hypothèse implicite selon laquelle les flux commerciaux entre deux partenaires ne dépendent pas de ce qui se passe dans le reste du monde (Behrens *et al.*, 2012) ; la seconde résulte du fait que le commerce international est par nature spatial dans le sens où il implique deux nations (Krugman, 1991a). Il sera donc question dans cette thèse de combler cette lacune en intégrant l'interdépendance spatiale dans l'analyse de la relation entre l'innovation et le commerce international. Plus précisément il s'agit d'introduire l'interdépendance spatiale dans les modèles théoriques afin d'obtenir des formes économétriques estimables permettant de prendre en compte de manière substantielle les interactions. Nous montrons pourquoi une méthodologie particulière doit être utilisée pour l'analyse empirique du progrès technologique. Dans cette optique notre démarche s'articule autour des trois caractéristiques suivantes.

Premièrement les frictions commerciales affectent les décisions de localisation des entreprises ainsi que la distribution géographique des activités économiques et par conséquent les flux commerciaux qui en résultent (Rossi-Hansberg, 2005). Par ailleurs Anderson et van Wincoop (2003) ont démontré comment l'espace, à travers les barrières aux échanges, peut expliquer beaucoup de *puzzles* en commerce international. Les échanges commerciaux entre deux pays dépendent aussi des obstacles rencontrés dans les autres pays (*résistance multilatérale*). Ce regain d'intérêt pour la dimension spatiale du commerce international a attiré l'attention sur les facteurs qui influent sur la quantité et le type de marchandises transportées entre les pays

ou régions en accordant une attention particulière à la nature de l'interdépendance spatiale. Par conséquent toute analyse portant sur le commerce international devrait commencer par explorer la structure spatiale des échanges. De plus comme l'ont souligné Behrens et Thisse (2007) "*In many scientific fields, the passage from one to two dimensions raises fundamental conceptual difficulties.*" La raison en est qu'en présence de seulement deux pays, il y a une seule façon dont ces pays peuvent interagir, à savoir directement ; alors qu'avec trois pays il y a deux façons dont ces pays peuvent interagir à savoir directement et/ou indirectement. Tenir compte de ces interdépendances spatiales afin de montrer comment les échanges affectent le progrès technologique est le premier objectif de cette thèse.

Deuxièmement nous proposons des méthodes alternatives pour estimer le progrès technologique en tenant compte des interdépendances spatiales. Plus précisément nous proposons une approche structurelle pour estimer le progrès technologique en montrant comment un modèle d'économétrie spatiale peut être obtenu à partir d'un modèle théorique. Dans cette optique Ertur et Koch (2007, 2011) ont dérivé un modèle structurel d'économétrie spatiale en introduisant les interdépendances spatiales dans les modèles de croissance développés par Solow (1956) et Howitt (2000). Ils ont développé un cadre théorique et méthodologique intégrant les interactions entre les pays. On relève également des travaux dans le domaine du commerce international qui ont développé des modèles structurels spatiaux. Dans cette lignée Behrens *et al.* (2012) ont développé un modèle d'équilibre général afin d'estimer les flux commerciaux bilatéraux. En voulant contrôler les *effets de résistance multilatérale*, ils ont dérivé un modèle de gravité spatialement augmenté. Le modèle structurel ainsi obtenu correspond à un modèle *Spatial Autorégressive Moving Average (SARMA)*. Dans ce même ordre d'idée Koch et LeSage (2015) ont montré récemment que les indices de résistance multilatérale ont une forme autorégressive spatiale. Ainsi dériver un modèle structurel d'économétrie spatiale afin d'expliquer l'évolution du progrès technologique est le deuxième objectif de cette thèse.

Enfin les travaux théoriques sur la relation entre le commerce international et l'innovation ne permettent pas de trancher quant à un effet favorable ou défavorable de l'ouverture internationale sur l'innovation, même si la littérature empirique lui prête dans l'ensemble un effet positif. Les résultats empiriques suggèrent que

les externalités technologiques profitent à tous les pays et notamment aux pays en développement. Or cette uniformité supposée de la diffusion des externalités technologiques n'est pas évidente car les flux commerciaux qui sont supposés véhiculer la technologie entre les pays sont influencés par l'interdépendance spatiale. Par conséquent il semble opportun de réexaminer la diffusion technologique en considérant l'enjeu de l'interdépendance spatiale.

Par ailleurs les résultats empiriques permettent seulement de capter l'effet direct des échanges commerciaux sur l'innovation. Or il est possible qu'un pays bénéficie de la technologie d'un autre pays sans qu'un échange commercial ait lieu entre ces deux pays ; ces effets indirects dans l'analyse des externalités technologiques ont été mis en évidence par Lumenga-Neso *et al.* (2005). Cependant leur spécification économétrique n'est pas une forme déduite d'un modèle théorique et la méthode d'estimation utilisée ne permet pas de prendre en compte de manière efficace les effets indirects. En effet leur modèle contient un paramètre  $\rho$  nommé "paramètre d'absorption" qui correspond au paramètre autorégressif spatial dans une spécification économétrique spatiale. Ce modèle est estimé sous forme extensive alors qu'il devrait être estimé sous forme réduite avec des outils économétriques appropriés. Évaluer les conséquences de l'ouverture internationale sur l'innovation en tenant compte de l'interdépendance spatiale constitue le troisième objectif de cette thèse.

A cet effet nous nous focaliserons sur les principaux canaux par lesquels les échanges peuvent affecter l'innovation, à savoir la transmission des externalités technologiques et la concurrence internationale, dans un contexte d'interdépendance spatiale. De nombreux travaux empiriques ont montré l'importance des externalités et du caractère spatialisé de leur influence sur l'activité de production ou d'innovation. Deux grands types d'approche peuvent être distingués dans cette littérature : la première concerne la géographie de l'innovation ; elle tente de mesurer directement l'importance de la proximité géographique sur les externalités technologiques qui sont elles-mêmes censées améliorer les performances d'innovation des entreprises (Audretsch et Feldman, 1996 ; Caniels, 1998). La deuxième est motivée par la compréhension des différences de résultats économiques (croissance, productivité...). Les localisations ne sont alors qu'un moyen de révéler l'existence de différentes modalités de croissance impliquant de manières diverses les phénomènes d'externalités

technologiques (Moreno et Trehan, 1997). C'est cette deuxième approche qui sera retenue dans ce travail.

Quant à l'effet de la concurrence sur l'innovation, il existe deux thèses. Selon la première une concurrence accrue entraîne une érosion des profits qui diminue à la fois la capacité et la motivation des entreprises à innover. Selon l'autre conception une concurrence accrue incite au contraire les entreprises à accroître leur performance notamment à travers l'innovation (Aghion et Griffith, 2005). Par ailleurs de nombreux travaux sur le commerce international conduisent aussi à des conclusions mitigées. Ces travaux montrent que l'ouverture commerciale peut avoir une influence duale sur la hausse de la productivité et sur l'innovation. D'un côté seules les entreprises les plus productives restent sur les marchés (domestiques et étrangers) et les moins productives quittent les marchés, augmentant ainsi la productivité moyenne. De l'autre côté la sélection des entreprises conduit à réduire le nombre d'entreprises qui opèrent sur un marché, réduisant ainsi les possibilités d'externalités.

Afin de traiter ces caractéristiques deux champs théoriques principaux sont mobilisés. Dans un premier temps les théories du commerce international sont employées pour explorer l'interdépendance spatiale. Dans un second les modèles de croissance sont utilisés pour étudier la relation entre l'innovation et l'ouverture commerciale. Par ailleurs les techniques de l'économétrie spatiale sont retenues pour estimer les modèles structurels. Cette thèse commence par une présentation des méthodologies utilisées pour modéliser l'interdépendance spatiale dans le commerce international. Ensuite nous nous intéressons aux effets de l'ouverture internationale sur l'innovation, à savoir les externalités technologiques et la concurrence internationale. La mise en évidence des résultats passe par une argumentation développée en trois chapitres.

L'objectif du chapitre 1 est d'explorer l'interdépendance spatiale dans le commerce international. Plus précisément il examine le rôle de l'interdépendance spatiale dans l'explication des flux commerciaux. Les théories du commerce international sont mobilisées à cet effet. Pour comprendre le mécanisme il faut remonter à David Ricardo qui a explicité la théorie des avantages comparatifs, pierre angulaire des arguments en faveur du libre-échange. Dans son approche chaque pays se spécialise dans la production du bien pour lequel il dispose d'une efficacité technologique. Ensuite l'échange lui permet d'avoir accès à l'ensemble des biens produits dans le monde.

Plus tard son idée sera formalisée pour expliquer l'avantage du libre-échange par des dotations factorielles différentes. Le commerce international implique une modification de la production en faveur des secteurs mobilisant des facteurs abondants au détriment des secteurs mobilisant des facteurs rares.

Les arguments qui sont développées par Ricardo et ses successeurs permettent seulement d'expliquer les échanges entre des pays qui ont des technologies différentes débouchant sur un commerce intersectoriel. Or le développement des échanges d'après guerre met en jeu des pays qui ont des technologies relativement semblables et qui échangent des produits similaires, ce qui met en doute la capacité des théories classiques à expliquer les échanges commerciaux. La nouvelle théorie du commerce international a vu le jour dans les années 70 pour expliquer cet échange intrasectoriel. Cette nouvelle théorie qui est fondée sur la concurrence monopolistique a apporté de nouveaux arguments en faveur du libre-échange et son caractère maniable lui a permis d'être à l'origine de plusieurs autres modèles économiques dont le modèle de gravité et la branche des modèles de la croissance endogène de variétés. Ce dernier est présenté dans le chapitre 2 et le modèle de gravité va servir de base d'analyse dans ce chapitre 1 pour mettre en évidence l'interdépendance. Pour ce faire nous dérivons un modèle structurel spatial connu sous le vocable de *General Spatial Model*. Dans ce modèle l'interdépendance est mise en évidence d'une part à travers les flux commerciaux et d'autre part à travers les effets frontières.

Pour l'analyse empirique du modèle spatial, nous utilisons des données relatives à cinq regroupements régionaux africains. Le choix des blocs régionaux africains se justifie par le fait que l'intégration régionale en Afrique est caractérisée par l'existence d'une multitude d'initiatives d'intégration régionale et par conséquent la participation de chacun des pays à divers blocs. On peut penser que ce chevauchement des blocs régionaux peut être à la base d'une interdépendance entre les pays. L'objectif principal de ce chapitre 1 sera d'établir comment l'interdépendance se manifeste entre les pays et dans le calcul des effets frontières. Le chapitre est aussi une occasion d'évaluer l'impact des blocs régionaux africains sur leurs flux commerciaux. Les principaux résultats indiquent que l'interdépendance spatiale entre les flux commerciaux s'est traduite par une relation négative, suggérant une *concurrence spatiale* décrivant à la fois la structure de marché et les préférences des consommateurs pour la

diversité. Dans le cas particulier de l’Afrique l’interdépendance est accentuée par le foisonnement des blocs régionaux qui peut entraîner une augmentation significative des effets inter-blocs, réduisant ainsi l’effet total.

Les chapitres 2 et 3 mobilisent les théories de la croissance endogène pour étudier les implications sur l’innovation de l’ouverture commerciale dans un contexte d’interdépendance spatiale. Avant de détailler les objectifs de ces deux chapitres, il est intéressant de présenter la façon dont les modèles de croissance étudient l’innovation. En effet depuis l’émergence de la théorie classique au 18<sup>e</sup> siècle, les économistes ont cherché à déterminer les sources de la croissance. De D. Ricardo à J. S. Mill en passant par T. Malthus et K. Marx, les auteurs se sont efforcés d’expliquer qu’une croissance durable était impossible. Leur démonstration reposait sur les rendements décroissants des facteurs de production que sont la terre et le capital. Pour sortir de cette impasse Solow (1956) puis Swan (1956) ont proposé des modèles dans lesquels la croissance est déterminée par des facteurs tels que le progrès technique, la population et l’épargne. Les hypothèses de ces modèles sont les suivantes : la fonction de production est à rendements d’échelle constants et à facteurs substituables, les prix des biens et des facteurs sont flexibles, la totalité de l’épargne est investie, la productivité marginale du capital est décroissante et enfin le progrès technique est exogène. Ces modèles montrent qu’une politique économique visant à augmenter le taux de croissance d’une économie peut être mise en œuvre par des incitations individuelles à épargner davantage. Cependant ce surcroît de croissance obtenu n’est que temporaire. A long terme le taux de croissance est déterminé par le progrès technique que le modèle considère comme exogène. Paradoxalement, la croissance s’explique par un facteur dont on ne connaît pas la cause : le progrès technique exogène apparaît comme un *don du ciel*.

Le caractère exogène du progrès technique se justifie par le fait qu’il dépend des variables techniques échappant tout à fait à l’économiste qui doit donc le prendre comme donné. Un second argument est que la technologie est un bien public par nature accessible gratuitement à tous les agents. Les résultats d’une recherche ne sont donc pas appropriables par celui qui la mène et en conséquence aucun agent privé n’investira dans une telle activité coûteuse mais non rémunérée. Le progrès technique ne peut donc provenir que de l’extérieur de la sphère concurrentielle (Guellec,

1992). Par ailleurs des économies ayant les mêmes accès à des sources exogènes de croissance tels que l'épargne, la population ou le progrès technique ont le même taux de croissance : des divergences des taux d'épargne se résolvent en différences d'intensités capitalistiques ; des chocs différenciés sur l'accumulation de capital sont systématiquement résorbés. Aucune explication n'est donc fournie de la différence persistante des taux de croissance entre pays (Gaffard, 1997).

La nécessité d'évaluer l'importance du progrès technique pour la croissance durable a créé l'impulsion de nouvelles théories de la croissance dans lesquelles il est déterminé de manière endogène. Ces modèles peuvent être divisés en deux familles : une première qui considère l'existence des rendements d'échelle croissants et une deuxième qui est fondée sur l'explicitation de comportements d'innovation. La première introduit en amont un certain nombre de processus complémentaires tels que le rôle des rendements croissants associés aux phénomènes d'apprentissage par la pratique (Arrow, 1962a), le rôle de la R&D dans l'apparition de nouveaux biens ou de nouvelles techniques (Romer, 1986) ou le rôle de l'éducation et de l'investissement en capital humain dans la hausse de la productivité du travail (Lucas, 1988).

Une deuxième famille de modèles de croissance endogène fait valoir le rôle d'une activité spécifique qui est l'activité d'innovation. Cette famille peut être divisée en deux branches parallèles. La première initiée par Romer (1990) et Grossman et Helpman (1991a) est le modèle de variétés de biens et la deuxième introduite par Segerstrom *et al.* (1990), Grossman et Helpman (1991b) Aghion et Howitt (1992) et Caballero et Jaffe (1993) est le modèle de qualité. Le point commun de ces deux approches réside dans le fait que l'innovation permet d'augmenter la productivité et par conséquent la croissance. La différence essentielle tient à la conception de l'innovation. Les modèles de variétés reposent sur le concept de différenciation des produits fondé sur les travaux de Dixit et Stiglitz (1977). Dans ces modèles l'innovation provoque une hausse de la productivité grâce à la création de nouvelles variétés de biens, même si ces nouvelles variétés ne représentent pas nécessairement des améliorations par rapport aux anciennes variétés. Dans les modèles de qualité la croissance est générée par une séquence aléatoire d'innovations dont l'objet est l'amélioration de la qualité. Chaque innovation correspond à l'introduction d'un nouveau bien intermédiaire utilisé pour produire un bien final plus efficacement qu'auparavant.

Cette approche de la croissance endogène repose sur une vision schumpétérienne de l'innovation selon laquelle le progrès technique est le fruit d'un processus de « destruction créatrice », les nouvelles innovations détruisent les anciennes avant d'être elles-mêmes remplacées.

Les modèles de croissance mettent l'innovation au cœur de la dynamique économique et ces modèles diffèrent selon le traitement qui lui est réservé. Son impact sur l'activité économique diffère selon son ampleur. En effet selon Schumpeter les innovations ne sont pas toutes de même importance. Il existe des innovations majeures ou radicales et des innovations mineures ou incrémentables. Les innovations radicales bouleversent l'organisation économique, elles donnent lieu ensuite à une série d'innovations incrémentables qui se diffusent progressivement et réalisent des modifications secondaires.

L'objectif du chapitre 2 est de réexaminer la diffusion technologique en prenant en compte l'interdépendance spatiale. Nous proposons une méthode alternative pour estimer les externalités technologiques intégrant l'interdépendance entre les pays. En nous basant sur un modèle de croissance endogène à variétés des biens, nous montrons comment un modèle spatial peut être obtenu à partir d'un cadre théorique. A cet effet nous décomposons la productivité totale des facteurs (PTF) en deux composantes : la première appelée *composante de qualité* permet de capter le niveau de la technologie en vigueur dans le pays, la seconde appelée *composante de variété* prend en compte l'effet des variétés sur la hausse de la PTF. Ce faisant nous obtenons un modèle structurel correspondant à un modèle Durbin spatial qui permet de mieux expliquer les externalités technologiques à travers le commerce international et la distance géographique. Par la même occasion on capte mieux les effets indirects du commerce international sur les externalités soulignés par Lumenga-Neso *et al.* (2005) et la dépendance spatiale soulignée par Ertur et Musolesi (2015). L'analyse empirique établit principalement que l'impact des externalités sur la productivité est plus fort que ceux des facteurs traditionnels tels que la R&D et le capital humain. Ces externalités sont d'autant plus fortes que les flux commerciaux sont intenses. Ceci implique que plus les économies sont ouvertes plus elles bénéficient des technologies étrangères et l'ampleur de la diffusion technologique diminue avec la distance géographique. Cela montre aussi que la diffusion est locale. Ainsi les investissements

domestiques en R&D impactent plus la croissance domestique que la croissance des pays étrangers.

L'un des faits marquants du développement de la mondialisation est l'émergence de nouveaux acteurs commerciaux notamment asiatiques amenuisant la suprématie des pays développés notamment européens. Cet effritement de la suprématie entraîne une augmentation de la pression concurrentielle sur les entreprises notamment européennes. La question qui est posée est de savoir si les pays développés doivent continuer leurs politiques d'ouvertures. Afin d'apporter quelques éléments de réponse le chapitre 3 propose d'analyser l'effet de l'ouverture commerciale sur l'innovation par le biais de la concurrence. Plus précisément il examine les conséquences de la baisse des barrières commerciales sur l'innovation en prenant en compte l'interdépendance spatiale. L'argumentation qui y est développée repose sur les modèles de croissance endogène *schumpétérien* (Aghion *et al.*, 2014) dans lesquels le progrès technique est généré par une séquence d'innovations améliorant la qualité de la productivité causée par des activités de R&D et des externalités technologiques. Les principales hypothèses du modèle sont les suivantes :

- les pays s'engagent dans un commerce de biens intermédiaires et la production de chaque bien intermédiaire se fait dans le pays ayant la plus grande productivité,
- les externalités dont bénéficie chaque pays dépendent de la hausse (ou baisse) des barrières commerciales et de la technologie des voisins,
- enfin la concurrence internationale dépend du degré d'ouverture qui est considéré comme l'inverse des barrières commerciales.

Partant du modèle *schumpétérien* et de ces hypothèses, nous dérivons un modèle structurel spatial connu sous le vocable de modèle autoregressif spatial (SAR). Les principaux résultats de ce chapitre révèlent que l'ouverture en augmentant la concurrence encourage l'innovation dans les pays à revenu élevé. Cependant cette concurrence entraîne une baisse de l'innovation dans les pays à faible revenu. Ces résultats renforcent l'idée que, au moins dans le cas des pays développés, l'ouverture commerciale accroît l'innovation et la croissance grâce à la concurrence. Les conclusions suggèrent d'encourager la libéralisation commerciale dans les pays avancés. Toutefois il serait préférable de supprimer les obstacles à l'innovation avant la libéralisation

totale du commerce des petits pays qui ont un niveau technologique faible.

La thèse développe des approches structurelles directement à partir des modèles théoriques. Ainsi dans le chapitre 1, un modèle spatial général à été dérivé directement des modèles du commerce international en particulier le modèle de gravité. Dans le chapitre 2 un modèle Durbin spatial est issu des modèles de la croissance endogène et le dernier modèle spatial obtenu dans le chapitre 3 découle des modèles de la croissance endogène *schumpétérien*. Les propriétés et les techniques utilisées dans les estimations sont présentées en annexe. Nous nous focalisons sur la méthode de maximum de vraisemblance.

Notre travail vise donc à apporter des éléments de compréhension sur les liens qu'entretiennent l'innovation, le commerce international et l'interdépendance. Tout d'abord il apporte une synthèse critique des modèles théoriques, méthodologiques et empiriques étudiant l'effet de l'ouverture commerciale sur l'innovation. Ensuite il propose les méthodes appropriées permettant d'examiner les effets du commerce international sur l'innovation lorsque l'interdépendance spatiale est prise en compte. Enfin il présente des résultats empiriques permettant d'éclairer le débat sur les impacts de l'ouverture commerciale sur la croissance.

---

# Chapitre 1

## Modélisation de l'interdépendance en commerce international

### 1 Introduction

Jusque dans les années 90 l'étude de la géographie économique ou de la localisation des facteurs de production dans l'espace occupe une part relativement faible dans l'analyse économique standard (Krugman, 1991b). Les théories économiques, en particulier celles du commerce international ou les recherches portant sur le commerce international, traitent les pays comme des entités économiques désincarnées qui ne disposent pas de localisation physique dans l'espace géographique (Frankel, 1998). Ces études ignorent tout simplement la dimension spatiale du commerce international, car elles supposent le plus souvent que les coûts de transport entre les pays sont nuls. Or depuis les travaux de Krugman (1991b), plusieurs études ont montré que l'espace, via les coûts de transport, permet d'expliquer beaucoup de *puzzles* en économie internationale (Anderson et van Wincoop, 2003). Ce regain d'intérêt pour la dimension spatiale du commerce international a attiré l'attention sur les facteurs qui influent sur la quantité et le type de marchandises transportées entre les pays ou régions (Krugman, 1991a), en accordant une attention particulière à la nature de l'interdépendance spatiale. Par conséquent, toute analyse portant sur le commerce international devrait commencer par explorer la structure spatiale des échanges. L'objectif de ce chapitre est d'explorer l'interdépendance spatiale dans les

flux commerciaux. Plus précisément, il examine le rôle de cette dernière dans l'explication des flux commerciaux. Cela permettra de montrer à quel point les pays sont étroitement liés.

Dans le domaine de la science régionale et de la géographie des transports, les études portant sur les flux commerciaux peuvent être classées en trois principales catégories. La première met l'accent sur l'analyse exploratoire des données spatiales (Ullman, 1957). Cette technique est associée à plusieurs approches quantitatives permettant d'analyser les tendances géographiques ou spatiales avec des indices basés sur des méthodes mathématiques ou statistiques. Elle permet de décrire et de visualiser les distributions spatiales, d'identifier les localisations atypiques ou les observations extrêmes, de détecter les schémas d'association spatiale, et enfin de suggérer les régimes spatiaux et les formes de l'hétérogénéité spatiale. A l'aide de cartes, Ullman (1957) a expliqué que les mouvements des marchandises et de la population sont déterminés par trois facteurs, à savoir la complémentarité, l'opportunité économique et la distance. Pour que l'échange ait lieu entre deux régions, il faut qu'il y ait une confrontation de demande et d'offre, traduisant une complémentarité des besoins entre ces deux régions. De plus, il ne doit pas y avoir d'autres sources d'approvisionnement pour l'acheteur, et les coûts de transport doivent être suffisamment faibles. Plusieurs études se sont basées sur les travaux de Ullman (1957) pour expliquer les flux commerciaux entre les pays (Smith, 1964 ; Berry, 1966 ; Tobler, 1975, 1981, 1987). Par la suite, Perobelli et Haddad (2003) ont utilisé des statistiques *LISA (Local Indicators of Spatial Association)* pour explorer la distribution spatiale du commerce inter-régional entre les 27 régions brésiliennes pour la période allant de 1985 à 1996.

La deuxième catégorie concerne les facteurs qui déterminent la structure spatiale observée des activités économiques, et la structure des flux commerciaux qui en résultent. Tandis que la première catégorie représente seulement le phénomène observé dans l'espace, la seconde approche tente de découvrir les forces qui entraînent ce phénomène observé (Krugman, 1991a,b). Dans cette optique, Krugman (1991a,b) a montré que les entreprises ont tendance à s'implanter à côté de la demande afin de réaliser des économies d'échelle tout en minimisant les coûts de transport, mais la demande, elle-même, est déterminée par la distribution des entreprises. Cela crée

ce qu'on appelle la "*causalité circulaire*" (Myrdal, 1957) ou l'effet "*positive feedback*" (Arthur, 1990) : *les entreprises auront tendance à se concentrer à côté d'un grand marché, mais le marché sera grand là où les entreprises se concentrent*. Krugman (1991a,b) démontre ainsi que les activités industrielles se concentrent au cœur de la ville, tandis que les activités agricoles se situent à la périphérie.

La dernière catégorie concerne l'estimation des flux commerciaux. Des estimations ou des prévisions fiables pourraient être obtenues à travers l'élaboration de modèles d'interaction spatiale permettant de décrire de manière efficace la réalité économique de chaque pays. Cette approche suggère l'utilisation d'un modèle de gravité pour l'analyse des flux commerciaux, car l'équation de gravité offre une bonne illustration des chaînes complexes d'effets spatiaux indirects. Cette complexité est beaucoup plus forte dans les études appliquées, car l'analyse empirique fait nécessairement face à une réalité multidimensionnelle (Aitken, 1973 ; Sapir, 1981).

L'objectif de ce chapitre portera sur cette dernière catégorie d'analyse. A cet effet, la section 2 de ce chapitre présente les différentes méthodologies développées afin de modéliser l'interdépendance spatiale en commerce international, notamment celle utilisant le modèle de gravité. Dans cette deuxième section, nous dérivons un modèle de gravité spatial permettant de mettre en évidence les interactions entre les différents pays. Il est intéressant de noter que le modèle de gravité est à la base d'une interaction spatiale qui peut être la source de deux effets spatiaux : l'autocorrélation spatiale et l'hétérogénéité spatiale. Tandis que l'hétérogénéité spatiale peut être traitée par les outils d'économétrie standard, la présence d'autocorrélation spatiale modifie substantiellement les propriétés des estimateurs et les inférences statistiques basées sur ces estimateurs (LeSage et Pace, 2009). De ce fait, nous utilisons les outils de l'économétrie spatiale afin de remédier à ces problèmes. Pour l'analyse empirique du modèle retenu, nous utilisons des données relatives à cinq regroupements régionaux africains. La troisième section est consacrée à la présentation de ces blocs régionaux. L'objectif principal de ce chapitre est d'établir comment l'interdépendance se manifeste entre les pays et comment elle se manifeste dans le calcul des effets frontières. Ce chapitre <sup>1</sup> 1 est aussi une occasion d'évaluer l'impact

---

1. Quelques idées de ce chapitre font l'objet d'un article qui est en cours de publication. Pour la version "document de travail" voir Koch *et al.* (2012).

de ces blocs sur les flux commerciaux africains. Le choix des blocs régionaux africains se justifie par le fait que l'intégration régionale en Afrique est caractérisée par l'existence d'une multitude d'initiatives d'intégration régionale et, par conséquent, implique la participation de chacun des pays à divers blocs régionaux. Le chevauchement des blocs régionaux peut être à la base d'une interdépendance entre les pays. La prise en compte de cette interdépendance spatiale permet de décomposer les effets frontières en effets intra-bloc et effets inter-bloc, mettant ainsi en évidence les interactions entre les pays. Dans la quatrième section, nous présentons les données et les résultats empiriques. Ce chapitre se termine par une brève conclusion.

## 2 Les fondements théoriques

Pour développer un cadre théorique approprié pour l'analyse des flux commerciaux, cette section commence par une brève revue des principales théories du commerce international, de la théorie classique à la nouvelle théorie du commerce international. Ensuite, nous présentons les modèles utilisés pour étudier l'interdépendance spatiale. Nous terminons cette section par le calcul des effets frontières qui, à cause de l'interdépendance spatiale, sont décomposés en deux effets : l'effet intra-bloc et l'effet inter-bloc.

### 2.1 De la théorie classique à la nouvelle théorie du commerce international

Les économistes classiques sont les premiers théoriciens de l'échange international. Leurs approches du commerce international et de la spécialisation ont longtemps influencé les diverses réflexions autour de ce thème essentiel dans la pensée économique. A. Smith avait abordé la question du commerce international entre les nations comme étant une nécessité dans le cadre du libre-échange. L'auteur écrit à ce sujet : “ *la maxime de tout chef de famille est de ne jamais essayer de faire chez soi la chose qui lui coûtera moins cher à l'acheter qu'à faire. Le tailleur ne cherche pas à faire ses souliers, mais il les achète au cordonnier...Ce qui est prudent dans la conduite de chaque famille en particulier, ne peut guère être folie dans*

*celle d'un grand empire. Si un pays étranger peut nous fournir une marchandise à meilleur marché que nous ne sommes en état de l'établir nous-mêmes, il vaut bien mieux que nous la lui achetions avec quelque partie du produit de notre industrie, employée dans le genre dans lequel nous avons quelque avantage.*"<sup>2</sup> Le commerce international selon A. Smith est donc nécessaire pour écouler les excédents de production suivant le principe de l'avantage absolu, c'est à dire par rapport aux coûts de production absolus. D. Ricardo<sup>3</sup> a rejeté la théorie proposée par Smith, car elle exclut du commerce international les pays qui n'auraient aucun avantage absolu. La théorie Ricardienne explique le commerce international par l'existence d'avantage comparatif entre les nations. Chaque nation devrait se spécialiser dans la production de biens dans laquelle elle dispose d'un avantage comparatif, permettant ainsi à chaque nation d'échanger avec les autres qui sont spécialisées dans la production d'autres biens. Finalement, chaque nation tire un gain de l'échange grâce à sa spécialisation. Cependant, la théorie Ricardienne du commerce n'explique pas ce qui détermine l'avantage comparatif et comment le commerce affecte la distribution des revenus dans un pays. Le modèle néo-classique du commerce international proposé par Heckscher, Ohlin et Samuelson complète les résultats des classiques en offrant une explication à l'avantage comparatif. Ce dernier est lié aux différences de dotations factorielles entre pays. Il y a des pays richement dotés en facteur travail, d'autres disposent de relativement plus de capital et de technologie et enfin certains ont d'importantes ressources naturelles. Les spécialisations et les flux commerciaux vont résulter de cette diversité, de cette complémentarité. En effet, si chaque pays se spécialise dans la production des biens qui utilise intensément les facteurs abondants (et donc peu coûteux), le libre-échange devient une clef pour une organisation efficace de la production mondiale, améliorant ainsi la situation de tous les consommateurs.

Depuis les années 1970, quelques économistes tentent un dépassement des anciennes approches du commerce international et ce , grâce aux évolutions majeures

---

2. A. SMITH (1723-1790) dans "Recherches sur la nature et les causes de la richesse des nations", pp. 257-258, éd. Gallimard, Paris 1976.

3. D. RICARDO (1772-1823) : " Principes de l'économie politique et de l'impôt", éd. Calmann Levy, Paris 1970.

constatées dans le domaine de l'économie internationale. Par exemple, la théorie des avantages comparatifs considère qu'une nation exporte des produits différents de ceux qu'elle importe. Or il s'avère de plus en plus que des pays exportent et importent simultanément les mêmes produits. C'est le commerce intra-branche qui devient beaucoup plus prépondérant dans les flux commerciaux. L'hypothèse des rendements d'échelle constants est battue en brèche en introduisant les économies d'échelle internes et externes. Par conséquent, les rendements deviennent non proportionnels. En outre, l'hypothèse des dotations factorielles différentes est infirmée par le fait que le commerce international se développe surtout entre les pays les plus développés qui disposent justement de dotations factorielles presque semblables (Black, 2003). Les nouvelles théories du commerce international font ressortir les questions auxquelles les classiques et les néo-classiques n'avaient pu répondre de façon satisfaisante (Krugman, 1979). Les nouvelles théories tentent d'expliquer, en premier lieu, pourquoi le commerce a lieu et de fournir une meilleure explication pour la spécialisation des pays. Ces modèles s'intéressent à deux types de phénomènes pouvant produire des imperfections de marché : la différenciation de la demande et l'existence d'économies d'échelle. Dans le premier cas, on remet en question l'hypothèse standard d'homogénéité des produits pour privilégier une approche où les biens sont différenciés. Les consommateurs expriment une demande de variétés et les entreprises y répondent par une segmentation (horizontale ou verticale) conduisant à un marché de type concurrence monopolistique. Si les rendements sont croissants, les entreprises font face à un dilemme que le commerce international peut résoudre. En effet, la demande de variétés va dans le sens d'une multiplication des segments, d'un élargissement des gammes ce qui peut paraître contradictoire avec l'existence d'économies d'échelle internes. La solution consiste au développement d'un commerce de type intra-branche où chaque entreprise (pays) se spécialise sur un segment de demande et exploite les rendements croissants.

Le modèle de Krugman (1979) parle peu du rôle de la géographie dans le sens où la localisation des activités économiques ne pose pas de problème. Les entreprises sont indifférentes quant à la localisation de leurs sites de production puisque les coûts commerciaux sont nuls. Même si il y avait des coûts commerciaux positifs, la taille du marché est répartie uniformément entre les deux pays, ce qui exclut toute

agglomération d'activités proches ou complémentaires. Nous ne savons pas quel pays finit par produire les variétés. Tout ce que l'on peut dire est que les pays produisent différentes variétés et que la configuration des échanges est indéterminée. Krugman (1980) a développé le modèle proposé en 1979 en gardant le même raisonnement pour le commerce intra-branche, mais en utilisant quelques hypothèses supplémentaires :

1. l'ouverture au commerce international ne conduit pas à une augmentation de l'échelle de production, mais permet d'avoir plus de variétés qu'en autarcie ;
2. les coûts de transport existent, ce qui est évidemment pertinent d'un point de vue géographique ;
3. la demande de variétés n'est pas symétrique si les pays diffèrent par leur taille de marché.

Cependant, même ce modèle ne considère pas de manière formelle le rôle de la géographie parce que ni les entreprises ni les travailleurs ne décident quoi que ce soit à propos de leur localisation dans le modèle, et que la répartition de la taille du marché pour les variétés est tout simplement donnée.

Deux principales caractéristiques différencient les nouvelles théories du commerce international des anciennes, à savoir les rendements croissants et la concurrence imparfaite (Helpman et Krugman, 1987). Ces nouvelles caractéristiques du commerce international ont été à la base des modèles théoriques expliquant l'interdépendance spatiale entre les pays, notamment le modèle de gravité.

## 2.2 L'origine du modèle de gravité

Le modèle de gravité décrit l'une des relations les plus stables en économie, à savoir les interactions entre les différentes entités économiques. C'est un outil standard de modélisation en commerce international. Il permet de rendre compte du volume des échanges bilatéraux ainsi que de leur nature. Il peut être utilisé pour mesurer les effets de création ou de détournement des échanges associés à la formation des unions douanières, ou encore pour évaluer le degré de distorsion des échanges. On relève également des applications dans d'autres domaines, par exemple pour décrire les flux migratoires entre les différents pays, ou les mouvements de patients entre les hôpitaux. Il a également été utilisé pour modéliser les flux

d'investissements directs à l'étranger voire d'investissements de portefeuille (Portes et Rey, 2005).

Le modèle de gravité est basé sur l'hypothèse selon laquelle les exportations d'un pays  $i$  vers un pays  $j$  est fonction des PIB des deux pays, de la distance et des barrières à l'échange. Il devrait vérifier le fait que plus des économies sont grandes (avec un PIB important) et plus leur propension à échanger avec l'extérieur est importante. Une augmentation du PIB du pays exportateur permettra d'augmenter autant sa compétitivité que sa richesse, influant ainsi positivement sur les échanges. De même, une hausse du PIB du pays importateur s'accompagnera d'un effet de richesse lui permettant par la même occasion d'accroître sa demande d'importation. Les PIB des pays exportateurs et importateurs devraient avoir une corrélation positive avec les exportations ou importations bilatérales. La distance entre deux partenaires commerciaux, est considérée comme étant une mesure qui affecte grandement les échanges. Elle sert en quelque sorte de *proxy* pour les coûts de transport. Par conséquent, plus la distance entre deux partenaires est grande, plus les coûts de transport seront élevés, augmentant par la même occasion les prix des produits échangés. Cela réduit la compétitivité du pays avec son partenaire et donc affecte négativement les exportations bilatérales.

Le modèle de gravité n'était à l'origine qu'une régularité empirique ; il a fallu attendre le milieu des années 70 pour voir émerger de nombreux développements théoriques comme base du modèle de gravité. La première tentative théorique a été donnée par Anderson (1979) qui a tenté de donner un fondement microéconomique au modèle de gravité en se basant sur une fonction d'utilité à élasticité de substitution constante (CES). Cependant, son travail n'a reçu que peu d'attention dans la pratique. D'autres cadres théoriques ont été élaborés pour rendre compte de la relation de gravité dans les années 80 (Bergstrand, 1985, 1989 ; Helpman, 1984). Ces auteurs ont pris en compte deux principaux déterminants qui caractérisent les modèles de la nouvelle théorie du commerce international à savoir les économies d'échelle combinées à la différenciation des produits et les coûts de transport. Baier et Bergstrand (2001) ont développé un modèle de gravité basé sur la concurrence monopolistique, tandis que d'autres approches ont privilégié le modèle de Heckscher et Ohlin (Bergstrand, 1990 ; Deardorff, 1995 ; Evenett et Keller, 1998), ou le modèle

ricardien de la différence technologique entre les pays (Eaton et Kortum, 2002).

La régularité empirique devenait peu à peu le modèle de gravité, mais celui-ci n'était pas encore très connu. C'est le travail d'un économiste canadien McCallum, utilisant des données inédites et nouvellement publiées sur le commerce régional au Canada, qui a rendu célèbre le modèle de gravité en 1995. McCallum (1995) a trouvé que le commerce entre les provinces canadiennes était de 22 fois plus élevé que le commerce entre les États américains et les provinces canadiennes. Cependant selon Anderson et van Wincoop (2003), le résultat de McCallum souffre d'un problème de variables omises. Les travaux de ces auteurs sont devenus la référence pour les études portant sur le modèle de gravité et sont à la base des études sur l'interdépendance en commerce international. C'est pourquoi nous présenterons une forme simplifiée de leur modèle dans la section suivante.

### 2.3 Le modèle de A-vW(2003) et ses ramifications

Conformément au modèle de Anderson et van Wincoop (2003), nous commençons par poser un certain nombre d'hypothèses. Premièrement, nous considérons un monde économique avec  $N$  pays et des biens qui sont différenciés par origine. Deuxièmement, les consommateurs dans le pays  $j$  sont supposés avoir des préférences identiques avec une fonction d'utilité de type CES :

$$U_j = \left[ \sum_{i=1}^N C_{ij}^{(\sigma-1)/\sigma} \right]^{\sigma/(\sigma-1)} \quad \forall j = 1, \dots, N \quad (1.1)$$

où  $U_j$  est l'utilité des consommateurs dans le pays  $j$ ,  $C_{ij}$  est la quantité de biens du pays  $i$  consommée dans le pays  $j$  et  $\sigma$  est l'élasticité de substitution (supposée  $\sigma > 1$ ). La maximisation de (1.1) sous la contrainte budgétaire suivante :

$$Y_j = \sum_{i=1}^N p_i \tau_{ij} C_{ij} \quad (1.2)$$

donne un système de conditions de premier ordre qui peut être résolu afin d'obtenir la demande du pays  $j$  pour les produits du pays  $i$ , correspondant aux flux commerciaux de  $i$  vers  $j$  ( $X_{ij}$ ) :

$$X_{ij} = \left( \frac{p_i \tau_{ij}}{P_j} \right)^{1-\sigma} Y_j \quad (1.3)$$

où  $p_i$  est le prix à l'exportation pour les biens du pays  $i$  et  $\tau_{ij}$  est le coût brut des transactions commerciales (correspondant à 1 plus le coût *ad valorem*) associé aux exportations de  $i$  vers  $j$ ;  $X_{ij} = p_i \tau_{ij} C_{ij}$  et  $P_j$  est l'indice de prix CES, il est donnée par :

$$P_j = \left[ \sum_{j=1}^N (p_i \tau_{ij})^{1-\sigma} \right]^{1/(1-\sigma)} \quad (1.4)$$

Troisièmement, l'équilibre sur le marché nécessite que :

$$Y_i = \sum_{j=1}^N X_{ij} \quad (1.5)$$

D'après Anderson et van Wincoop (2003) , la substitution de (1.3) et (1.4) dans (1.5), après quelques manipulations algébriques donne :

$$X_{ij} = \left( \frac{Y_i Y_j}{Y^w} \right) \left( \frac{\tau_{ij}}{P_i P_j} \right)^{1-\sigma} \quad (1.6)$$

il s'en suit que

$$P_i = \left[ \sum_{j=1}^N (s_j / \tau_{ij}^{\sigma-1}) P_j^{\sigma-1} \right]^{1/(1-\sigma)} \quad (1.7)$$

$$P_j = \left[ \sum_{i=1}^N (s_i / \tau_{ij}^{\sigma-1}) P_i^{\sigma-1} \right]^{1/(1-\sigma)} \quad (1.8)$$

sous une quatrième hypothèse que les barrières commerciales bilatérales  $\tau_{ij}$  et  $\tau_{ji}$  sont égales pour tous les partenaires bilatéraux. Dans les équations (1.6), (1.7) et (1.8),  $Y^w$  représente la somme des revenus de tous les partenaires commerciaux, c'est le revenu mondial.  $s_i(s_j)$  désigne  $Y_i/Y^w$  ( $Y_j/Y^w$ ) et les termes  $s_i/\tau_{ij}^{\sigma-1}$  ( $s_j/\tau_{ij}^{\sigma-1}$ ) sont définis comme étant “*la densité économique*” respectivement du pays  $i$  et du pays  $j$ . Les équations (1.7) et (1.8) sont des indices de prix basés sur les résistances commerciales bilatérales entre tous les partenaires commerciaux, appelés aussi “termes de résistance multilatérale” que nous notons (TRM).

L'équation (1.6) montre qu'une fois contrôlés pour la taille, les flux commerciaux entre deux partenaires ne dépendent pas seulement des variables relatives aux deux partenaires mais aussi de leur position relative dans l'économie mondiale. L'équation (1.6) est difficilement estimable en l'état. Cela est dû au fait que les TRM dépendent des coûts des transactions commerciales, provoquant ainsi une dépendance circulaire

dans l'équation (1.6). Cette complication constitue un inconvénient pour la validation empirique du modèle (1.6). Pour contourner ce problème, Anderson et van Wincoop (2003) proposent de résoudre d'abord numériquement les équations (1.7) et (1.8) et ensuite d'utiliser les solutions implicites pour estimer l'équation (1.6). Cependant, la méthode proposée par Anderson et van Wincoop (2003) ne garantit pas que les résidus ne soient corrélés avec les variables indépendantes, ce qui crée un biais potentiel dans les coefficients estimés.

Quatre approches différentes ont été proposées dans la littérature pour estimer les TRM : (i) utiliser des effets fixes comme une approximation des indices de prix, (ii) linéariser les indices de prix, (iii) résoudre analytiquement les indices de prix et (iv) utiliser l'économétrie spatiale pour contrôler les TRM. Dans ce qui suit, nous présentons les avantages et inconvénients de ces différentes approches.

**Premièrement**, l'inconvénient de la stratégie d'estimation d'Anderson et van Wincoop (2003) est qu'elle nécessite une programmation complexe pour effectuer l'optimisation sous contrainte (Feenstra, 2004). Une première méthode d'estimation de l'équation de gravité, utilisant les moindres carrés ordinaires (MCO), consiste à utiliser les effets fixes pour tenir compte des indices de prix. Les effets fixes ont été utilisés dans le modèle de gravité par un certain nombre d'auteurs dont Rose et van Wincoop (2001), Feenstra (2002) et Redding et Venables (2004). Etant donné que les indices de prix ne sont pas observables, au lieu de les calculer à la Anderson et van Wincoop (2003), Feenstra (2004) propose plutôt de les capter par les effets fixes origine et destination. Ainsi l'équation (1.6) peut être réécrite de la manière suivante :

$$\ln \left( \frac{X_{ij}}{Y_i Y_j} \right) = -\ln(Y^w) + (1 - \sigma)\tau_{ij} + \alpha_1^i D^i + \alpha_2^j D^j + \varepsilon_{ij} \quad (1.9)$$

où  $D^i$  est une variable muette prenant la valeur 1 si le pays  $i$  est l'exportateur et 0 sinon,  $D^j$  est une variable muette prenant la valeur 1 si le pays  $j$  est l'importateur et 0 sinon, et  $\varepsilon_{ij}$  est le terme d'erreur iid. Les coefficients captant les TRM sont :  $\alpha_1^i = \ln(P_i)^{1-\sigma}$ ,  $\alpha_2^j = \ln(P_j)^{1-\sigma}$ . Feenstra (2004) a exprimé une préférence pour cette méthode, car elle est facile à mettre en œuvre et donne des estimations cohérentes des effets moyens. Cependant, l'inconvénient des effets fixes est qu'ils ne peuvent pas être utilisés pour l'analyse statique-comparative, impliquant des changements

des coûts de transactions, pour laquelle ils sont utilisés (Bergeijk et Brakman, 2010). De ce fait, d'autres méthodes ont été proposées pour tenir compte des TRM.

**Deuxièmement**, les travaux de Anderson et van Wincoop (2003) ont le mérite de pouvoir proposer un cadre théorique approprié prenant en compte l'interdépendance spatiale. En effet, les auteurs proposent une équation de gravité accompagnée d'un système d'équations de prix non-linéaires captant l'interdépendance spatiale entre les pays. Cependant, leur méthodologie est peu utilisée dans la pratique, car elle nécessite l'utilisation d'une optimisation numérique complexe pour le système d'équations de prix. Straathof (2008) a montré que les indices de prix peuvent être résolus de manière analytique, de telle sorte qu'une approximation numérique ne soit plus nécessaire. La solution analytique donne une équation de gravité log-linéaire qui peut être estimée en utilisant les techniques économétriques standard. Cependant, Straathof (2008) lui-même souligne que les résultats de cette méthode souffrent d'un problème d'endogénéité. Par conséquent, la résolution analytique ne semble pas être appropriée pour le traitement des indices de prix.

**Troisièmement**, Baier et Bergstrand (2009) ont proposé une méthode qui traite à la fois la question de l'estimation des TRM ainsi que l'applicabilité à des exercices statique-comparative et qui ne souffre pas de problème d'endogénéité comme dans Straathof (2008). La méthode consiste à linéariser le système Anderson et van Wincoop, de telle sorte que les TRM soient capturés par une fonction linéaire de coûts commerciaux observables. Pour ce faire, Baier et Bergstrand (2009) appliquent le développement en série de Taylor au log-linéaire du système d'équations de prix. L'équation de gravité ainsi obtenue peut être estimée par les techniques d'économétrie standard, en l'occurrence les MCO. L'avantage de cette méthode par rapport à celle proposée par Anderson et van Wincoop (2003) est qu'elle permet d'estimer les effets de résistance multilatérale sans passer par une optimisation numérique. De plus, cette méthode décompose les effets de résistance en effet bilatéral de résistance multilatérale et effet de résistance globale. En utilisant les conditions du premier ordre, Baier et Bergstrand (2009) ont exprimé les TRM ainsi :

$$\ln (P_i)^{1-\sigma} = (\sigma - 1) \left[ \sum_{j=1}^N s_j \ln \tau_{ij} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N s_i s_j \ln \tau_{ij} \right] \quad (1.10)$$

$$\ln(P_j)^{1-\sigma} = (\sigma - 1) \left[ \sum_{i=1}^N s_i \ln \tau_{ij} - \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N s_i s_j \ln \tau_{ij} \right] \quad (1.11)$$

La première composante dans les expressions (1.10) et (1.11) correspond aux coûts moyens des transactions, pondérés par la part du PIB, auxquels le pays  $i$  ou  $j$  fait face dans tous les pays. Plus ces coûts sont élevés plus les termes de résistance globale seront élevés dans  $i$  ou  $j$ . La seconde composante capture les effets *de résistance mondiale*, qui est identique pour tous les pays. Les expressions (1.10) et (1.11) indiquent que le niveau des échanges bilatéraux est influencé non seulement par les effets bilatéraux de résistance multilatérale, mais aussi par les effets de résistance mondiale. En remplaçant les expressions (1.10) et (1.11) dans (1.6), nous éliminons les indices de prix qui sont non-observables. Nous obtenons ainsi une équation de gravité qui dépend seulement des variables observables. L'estimation de cette équation ne nécessite pas l'utilisation d'une méthode particulière telle que celle des MCO.

$$\frac{X_{ij}}{Y_i Y_j / Y^w} = \left( \frac{\tau_{ij}}{\tau_i(s) \tau_j(s) / \tau^w(s)} \right)^{-(\sigma-1)} \quad (1.12)$$

où  $\tau_i(s) = \prod_{j=1}^N \tau_{ij}^{s_j}$ ;  $\tau_j(s) = \prod_{i=1}^N \tau_{ij}^{s_i}$ ;  $\tau^w(s) = \prod_{i=1}^N \prod_{j=1}^N \tau_{ij}^{s_i s_j}$ ;  $s_i(s_j)$  désigne  $Y_i / Y^w (Y_j / Y^w)$  et  $\tau_{ij} = \tau_{ji}$  (par hypothèse). L'équation (1.12) est une forme réduite du modèle de gravité, permettant de capturer les influences théoriques de coûts bilatéraux, multilatéraux, et mondiaux sur les flux commerciaux bilatéraux. Comme mentionné précédemment, les résistances bilatérales et mondiales sont pondérées par la part du PIB de chaque pays.

Une variante du modèle de Baier et Bergstrand (2009) a été utilisée par Behar et i Crivillé (2013) pour mener une analyse statique-comparative des blocs régionaux. Il ressort de cette analyse que les effets de résistance multilatérale sont plus faibles pour les blocs régionaux impliquant seulement des petites économies (pays du sud). Donc, les effets seraient plus élevés pour les blocs régionaux impliquant de grandes économies, par exemple un accord régional entre pays du nord et du sud ou entre pays du nord. L'avantage de l'approche de Baier et Bergstrand (2009) est qu'elle permet d'identifier les facteurs exogènes qui déterminent les indices de prix dans les équations (1.6)–(1.8) de façon cohérente avec le modèle théorique. Cependant, cette approche implique l'utilisation d'un pays de référence pour calculer les effets

de résistance multilatérale. Ainsi, chaque effet de résistance multilatérale doit être interprété par rapport au pays de référence choisi au départ.

Le modèle de Anderson et van Wincoop (2003) et ses ramifications offrent une base théorique pour la modélisation de l'interdépendance spatiale en commerce international ; toutefois, les questions spatiales ne sont généralement pas prises en compte de manière satisfaisante. Outre le problème d'endogénéité dans Straathof (2008) ou le choix d'un pays de référence dans Baier et Bergstrand (2009), ces modèles supposent implicitement que l'interdépendance spatiale provient uniquement des coûts de transactions. Or, avec une fonction d'utilité de type CES où les variétés sont des substituts bruts, il peut exister une interdépendance spatiale entre les flux commerciaux, traduisant une autocorrélation spatiale entre les flux commerciaux. La présence de cette autocorrélation nécessite une méthode d'estimation appropriée.

**Quatrièmement**, Behrens *et al.* (2012) ont récemment proposé une méthodologie élégante pour contrôler la résistance multilatérale, utilisant les techniques de l'économétrie spatiale. Comme nous venons de l'établir, les méthodes d'estimation d'un modèle de gravité basé sur une fonction d'utilité de type CES dépend du traitement réservé aux indices de prix, qui ne sont pas observables. Partant de ce constat, Behrens *et al.* (2012) ont développé une approche structurelle qui fait dépendre l'équation de gravité uniquement de variables observables. Basée sur une fonction de type CES, les auteurs dérivent une équation de gravité en exploitant le fait que les indices de prix sont eux-mêmes une fonction implicite des flux commerciaux. L'idée de base est d'éliminer les indices de prix en utilisant les fonctions de demande inverse. Les auteurs obtiennent ainsi une structure auto-régressive dans les flux commerciaux. Étant donné que les variétés sont des substituts bruts, les exportations d'un pays quelconque vers un marché dépendent négativement des exportations de tous les pays vers ce même marché. Ces exportations dépendent elles aussi des barrières commerciales. Contrôler l'interdépendance des flux commerciaux en utilisant l'économétrie spatiale revient alors à contrôler les TRM, améliorant ainsi les techniques d'estimation du modèle de gravité. Une autre variante du modèle de gravité spatiale a été utilisée dans Kelejian *et al.* (2012). Les auteurs utilisent une équation de gravité dans laquelle les termes d'erreur sont à la fois auto-corrélés spatialement et temporellement. Cela leur permet de contrôler l'effet du "pays tiers." L'avantage

de la méthodologie de Behrens *et al.* (2012) est qu'elle rend plus explicite l'interdépendance spatiale. Cette méthode permet non seulement de contrôler la résistance multilatérale, mais aussi de prendre en compte l'interdépendance spatiale entre les flux commerciaux. C'est pourquoi nous privilégions cette méthode dans l'application empirique. Afin de rendre l'interdépendance spatiale plus explicite, nous présentons une variante du modèle de gravité augmenté des effets spatiaux à la Behrens *et al.* (2012) dans la sous-section suivante.

## 2.4 L'interdépendance spatiale entre les flux commerciaux

Après avoir présenté les comportements des consommateurs et des producteurs, nous dérivons une équation de gravité qui ne dépend pas des indices de prix non-observables, mais qui décrit l'interdépendance en termes d'équilibre général du système commercial. A cet effet, nous nous baserons sur un modèle de concurrence monopolistique de type CES à la Dixit et Stiglitz (1977) et Krugman (1980). Plus précisément, nous dérivons une équation de gravité basée sur le modèle CES en exploitant le fait que les indices de prix sont eux-mêmes des fonctions implicites des flux commerciaux (Behrens *et al.*, 2012). Nous obtenons ainsi un système d'équations implicites qui dépendent seulement des variables observables. L'estimation de ce système d'équations nécessite de recourir aux techniques d'économétrie spatiale.

### Les consommateurs

Considérons une économie avec  $n$  pays. Chaque pays  $i$  est doté de  $L_i$  consommateurs/travailleurs et chacun d'eux offre de manière inélastique une unité de travail. Le travail est le seul facteur de production, de sorte que  $L_i$  représente à la fois la taille et l'offre globale de travail dans le pays  $i$ . Les consommateurs ont des préférences identiques et homothétiques sur un continuum de variétés de biens différenciés horizontalement. Un consommateur représentatif dans le pays  $j$  résout le programme de maximisation suivant :

$$\max U_j \equiv \sum_i \int_{\Omega_i} q_{ij}(\nu)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} d\nu \quad \text{s.c.} \quad \sum_i \int_{\Omega_i} q_{ij}(\nu) p_{ij}(\nu) d\nu = y_j \quad (1.13)$$

où  $\sigma > 1$  désigne l'élasticité de substitution constante entre les différentes variétés de biens ;  $y_j$  représente le revenu individuel dans le pays  $j$  ;  $p_{ij}(\nu)$  et  $q_{ij}(\nu)$  désignent respectivement le prix et la consommation par tête de la variété  $\nu$  produite dans le pays  $i$  et  $\Omega_i$  désigne le nombre de variétés dans le pays  $i$ . Étant donné que les différents types de variétés produites dans un pays sont supposées être symétriques, nous pouvons alléger la notation en négligeant l'indice des variétés  $\nu$ . Notons  $m_k$ , la quantité permettant de mesurer  $\Omega_k$  (i.e., la masse de variétés produites dans le pays  $k$ ). Au lieu d'utiliser la demande agrégée pour chaque variété comme dans Anderson et van Wincoop (2003), nous allons plutôt utiliser la demande inverse agrégée comme dans Behrens *et al.* (2012). Cette demande inverse est donnée par :

$$p_{ij} = \frac{Q_{ij}^{-1/\sigma}}{\sum_k m_k Q_{kj}^{1-1/\sigma}} Y_j \quad (1.14)$$

où  $Q_{ij} \equiv L_j q_{ij}$  désigne la demande agrégée dans le pays  $j$  pour une variété produite dans le pays  $i$  et  $Y_j \equiv L_j y_j$  représente le niveau de revenu agrégé dans le pays  $j$ .

### Les producteurs

Il est supposé que les variétés sont différenciées horizontalement. Les coûts de différenciation sont supposés suffisamment faibles pour que chaque variété ne soit produite que par une seule firme. La fonction de production de chaque variété de biens est soumise à des rendements croissants avec une technologie commune à tous les pays. On suppose que le travail est le seul facteur de production. La quantité de travail nécessaire pour produire une quantité  $q$  unités d'output est  $cq + F$  unités de travail. On note  $c$  le coût marginal et  $F$  le coût fixe à l'origine des rendements croissants. Étant donné que le transport des produits à l'intérieur ou entre les pays est coûteux, l'expédition d'une unité de bien entre les pays  $j$  et  $k$  nécessite l'envoi de  $\tau_{jk} > 1$  unités de biens du pays d'origine  $j$  vers le pays destinataire  $k$ , de sorte que  $p_{jk} = \tau_{jk} p_j$  avec  $p_j$  le prix dans le pays d'origine. C'est ce que l'on appelle l'hypothèse *iceberg* selon laquelle une partie des biens échangés internationalement est consommée dans le transport. La quantité consommée est donc inférieure à la quantité produite, la différence étant absorbée par le transport (Samuelson, 1952).

Une firme localisée dans le pays  $j$  maximise son profit sous contrainte de la demande inverse (1.14). La fonction de profit est donnée par l'expression suivante :

$$\pi_j = \sum_k (p_{jk} - cw_j \tau_{jk}) Q_{jk} - Fw_j \quad (1.15)$$

où  $w_j$  est le niveau de salaire en vigueur dans le pays  $j$ . Dans ce modèle de concurrence monopolistique, les firmes négligent leur impact sur le niveau général des prix. En utilisant l'équation (1.14) dans le processus de maximisation du profit de la firme, nous obtenons :

$$\pi_j = \sum_k \left( \frac{Q_{jk}^{-1/\sigma}}{\sum_k m_i Q_{ik}^{1-1/\sigma}} Y_k - cw_j \tau_{jk} \right) Q_{jk} - Fw_j$$

La condition de premier ordre,  $\frac{\partial \pi_j}{\partial Q_{jk}} = 0$ , donne la marge constante par rapport au coût marginal, décrite dans l'équation (1.16).

En effet,

$$\sum_k \left( \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \frac{Q_{jk}^{-1/\sigma}}{\sum_k m_i Q_{ik}^{1-1/\sigma}} Y_k - cw_j \tau_{jk} \right) = 0$$

En utilisant à nouveau l'équation (1.14), nous obtenons :

$$\sum_k \left( \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) p_{jk} - cw_j \tau_{jk} \right) = 0$$

On remplace l'expression  $p_{jk} = \tau_{jk} p_j$  afin d'obtenir :

$$\sum_k \left( \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} \right) \tau_{jk} p_j - cw_j \tau_{jk} \right) = 0$$

$$\sum_k \tau_{jk} \left( \frac{\sigma - 1}{\sigma} p_j - cw_j \right) = 0$$

Il s'en suit que le prix optimal est :

$$p_j \equiv cw_j \frac{\sigma}{\sigma - 1} \quad (1.16)$$

Toutes les variétés produites dans le pays  $j$  ont donc le même prix (hors coûts de transport). On retrouve facilement la quantité d'équilibre de chaque firme, résultant de la libre entrée et sortie des firmes et des profits nuls à l'équilibre. Cette quantité est donnée par l'équation (1.17).

En effet,

$$\sum_k (p_{jk} - cw_j \tau_{jk}) Q_{jk} - Fw_j = 0$$

En utilisant l'équation du prix, nous obtenons,

$$\sum_k \left( cw_j \frac{\sigma}{(\sigma - 1)} - cw_j \right) \tau_{jk} Q_{jk} - Fw_j = 0$$

$$\frac{cw_j}{(\sigma - 1)} \sum_k \tau_{jk} Q_{jk} - Fw_j = 0$$

Cela implique que chaque firme doit produire une quantité égale à :

$$\sum_k \tau_{jk} Q_{jk} = \frac{F(\sigma - 1)}{c} \equiv \bar{Q} \quad (1.17)$$

Dès lors, si tous les pays partagent la même technologie, les productions individuelles sont identiques à l'équilibre dans tous les pays et on a donc

$$\sum_k \tau_{jk} Q_{jk} \equiv \bar{Q}$$

Connaissant les comportements des consommateurs et des firmes, nous pouvons déterminer les flux commerciaux à l'équilibre.

### L'équilibre général

Pour dériver l'équation de gravité, il est nécessaire de connaître la valeur des flux commerciaux du pays  $i$  vers le pays  $j$  à l'équilibre. Cela est donné par l'expression suivante :

$$X_{ij} \equiv m_i p_{ij} Q_{ij}$$

Utilisant l'équation (1.14), nous obtenons :

$$X_{ij} = m_i \frac{Q_{ij}^{1-1/\sigma}}{\sum_k m_k Q_{kj}^{1-1/\sigma}} Y_j \quad (1.18)$$

Le revenu national du pays  $i$  à l'équilibre est donné par

$$Y_i = \sum_k m_i p_{ik} Q_{ik} = m_i p_i \bar{Q} \quad (1.19)$$

En tirant  $m_i = Y_i/(p_i\bar{Q})$  et en la remplaçant dans l'équation (1.18), nous éliminons la masse des variétés qui sont non-observables. Finalement, nous obtenons :

$$X_{ij} = Y_i Y_j \frac{Q_{ij}^{1-1/\sigma}}{\sum_k \frac{p_i}{p_k} Y_k Q_{kj}^{1-1/\sigma}} \quad (1.20)$$

Soit

$$Q_{ij} = \frac{X_{ij}}{m_i p_{ij}} = \frac{X_{ij} \bar{Q}}{Y_i \tau_{ij}}$$

En remplaçant  $Q_{ij}$  dans l'équation (1.20), nous obtenons :

$$\begin{aligned} X_{ij} &= Y_i Y_j \frac{\left(\frac{X_{ij} \bar{Q}}{Y_i \tau_{ij}}\right)^{1-1/\sigma}}{\sum_k \frac{p_i}{p_k} Y_k \left(\frac{X_{kj} \bar{Q}}{Y_k \tau_{kj}}\right)^{1-1/\sigma}} \\ X_{ij} &= Y_j \frac{\tau_{ij}^{1/\sigma-1} \left(\frac{X_{ij}}{Y_i}\right)^{1-1/\sigma}}{\sum_k \frac{L_k}{L_i} \tau_{kj}^{1/\sigma-1} \left(\frac{X_{kj}}{Y_k}\right)^{1-1/\sigma}}, \end{aligned} \quad (1.21)$$

où nous avons à l'équilibre la relation suivante  $p_i/p_k = w_i/w_k$ , et la relation entre le salaire et le revenu global est donnée par la contrainte suivante  $w_i = Y_i/L_i$ . En utilisant ces expressions dans l'équation (1.21), nous obtenons :

$$X_{ij} = Y_j^\sigma \left[ \sum_k \frac{L_k}{L_i} \left( \frac{\tau_{kj} Y_k}{\tau_{ij} Y_i} \right)^{1/\sigma-1} X_{kj}^{1-1/\sigma} \right]^{-\sigma} \quad \forall i, j \quad (1.22)$$

L'équation (1.22) est un système d'équations captant l'interdépendance entre tous les flux commerciaux à destination du pays  $j$ . Pour achever le système d'équilibre, nous imposons de la façon suivante une contrainte au revenu national :

$$Y_i - \sum_k X_{ik} = 0, \quad \forall i \quad (1.23)$$

Les expressions (1.22) et (1.23) montrent qu'à l'équilibre tous les flux (y compris les flux  $X_{ii}$ ) sont directement liés, car les variétés sont des substituts bruts. Ils sont indirectement liés à travers le revenu national. Nous pouvons aussi constater que les flux commerciaux du pays  $i$  vers le pays  $j$  dépendent non seulement des obstacles entre les deux pays  $\tau_{ij}$ , mais aussi des obstacles rencontrés dans les autres pays. Dans la section suivante, nous dérivons une équation de gravité spatiale prenant en compte toutes ces interdépendances spatiales. Pour cela, nous linéarisons l'expression (1.22).

### La spécification économétrique

Pour obtenir une spécification économétrique, nous écrivons l'équation (1.22) sous forme logarithmique :

$$\ln X_{ij} = \sigma \ln Y_j - \sigma \ln \left[ \sum_k \frac{L_k}{L_i} \left( \frac{\tau_{kj} Y_k}{\tau_{ij} Y_i} \right)^{1/\sigma-1} X_{kj}^{1-1/\sigma} \right] \equiv f(\sigma) \quad (1.24)$$

De toute évidence, il y a une interdépendance entre les flux commerciaux,  $X_{ij}$  dépend négativement des exportations des autres pays vers le pays  $j$ . Pour obtenir une spécification qui peut être estimée par les techniques d'économétrie spatiale, nous linéarisons l'équation (1.24) autour de  $\sigma = 1$ .

En effet, l'approximation linéaire de  $f$  à  $\sigma = 1$  est donnée par  $\ln X_{ij} = f(1) + (\sigma - 1)f'(1)$ . Soit  $L \equiv \sum_k L_k$ , nous avons :

$$f(1) = \ln Y_j - \ln \left( \sum_k \frac{L_k}{L_i} \right) = \ln Y_j - \ln L + L_i.$$

En calculant la dérivée, nous obtenons :

$$f'(\sigma) = \ln Y_j - \ln \left[ \sum_k \frac{L_k}{L_i} \left( \frac{\tau_{kj} Y_k}{\tau_{ij} Y_i} \right)^{\frac{1}{\sigma}-1} X_{kj}^{1-\frac{1}{\sigma}} \right] \\ - \sigma \frac{\sum_k \frac{L_k}{L_i} \left( \frac{1}{\sigma^2} \right) \left[ - \left( \frac{\tau_{kj} Y_k}{\tau_{ij} Y_i} \right)^{\frac{1}{\sigma}-1} X_{kj}^{1-\frac{1}{\sigma}} \ln \left( \frac{\tau_{kj} Y_k}{\tau_{ij} Y_i} \right) + \left( \frac{\tau_{kj} Y_k}{\tau_{ij} Y_i} \right)^{\frac{1}{\sigma}-1} X_{kj}^{1-\frac{1}{\sigma}} \ln X_{kj} \right]}{\sum_l \frac{L_l}{L_i} \left( \frac{\tau_{lj} Y_l}{\tau_{ij} Y_i} \right)^{\frac{1}{\sigma}-1} X_{lj}^{1-\frac{1}{\sigma}}},$$

Cela implique que

$$f'(1) = \ln Y_j - \ln L + \ln L_i + \sum_k \frac{L_k}{L} \ln \frac{\tau_{kj}}{\tau_{ij}} + \sum_k \frac{L_k}{L} \ln \frac{Y_k}{Y_i} - \sum_k \frac{L_k}{L} \ln X_{kj}.$$

On utilise les expressions  $f(1)$  et  $f'(1)$  dans l'approximation linéaire de  $f$  à  $\sigma = 1$  pour obtenir

$$\ln X_{ij} = \sigma \ln Y_j - \sigma \ln L + \sigma \ln L_i - (\sigma - 1) \ln Y_i - (\sigma - 1) \ln \tau_{ij} \\ + (\sigma - 1) \sum_k \frac{L_k}{L} \ln \tau_{kj} + (\sigma - 1) \sum_k \frac{L_k}{L} \ln Y_k - (\sigma - 1) \sum_k \frac{L_k}{L} \ln X_{kj},$$

En utilisant la contrainte sur le revenu national  $Y_i = w_i L_i$ , nous pouvons réécrire l'expression précédente de la façon suivante :

$$\ln \left( \frac{X_{ij}}{Y_i Y_j} \right) = \sigma \sum_k \frac{L_k}{L} \ln \frac{L_k}{L} + (\sigma - 1) \ln Y_j - (\sigma - 1) \left( \ln \tau_{ij} - \sum_k \frac{L_k}{L} \ln \tau_{kj} \right) \\ - \sigma \left( \ln w_i - \sum_k \frac{L_k}{L} \ln w_k \right) - \sum_k \frac{L_k}{L} \ln Y_k - (\sigma - 1) \sum_k \frac{L_k}{L} \ln X_{kj}.$$

En utilisant encore  $Y_i = w_i L_i$ , et le fait que  $\sum_k \frac{L_k}{L} = 1$ , nous obtenons donc :

$$\begin{aligned} \ln \left( \frac{X_{ij}}{Y_i Y_j} \right) &= \sigma \sum_k \frac{L_k}{L} \ln \frac{L_k}{L} + (\sigma - 1) \ln Y_j - (\sigma - 1) \left( \ln \tau_{ij} - \sum_k \frac{L_k}{L} \ln \tau_{kj} \right) \\ &- \sigma \left( \ln w_i - \sum_k \frac{L_k}{L} \ln Y_k + \sum_k \frac{L_k}{L} \ln L_k \right) - \sum_k \frac{L_k}{L} \ln Y_k - (\sigma - 1) \sum_k \frac{L_k}{L} \ln X_{kj}. \\ \ln \left( \frac{X_{ij}}{Y_i Y_j} \right) &= \sigma \ln L - (\sigma - 1) \left( \ln \tau_{ij} - \sum_k \frac{L_k}{L} \ln \tau_{kj} \right) - \sigma \ln w_i - (\sigma - 1) \sum_k \frac{L_k}{L} \ln \left( \frac{X_{kj}}{Y_k Y_j} \right). \end{aligned}$$

L'expression ci-dessus a une structure auto-régressive par rapport à la variable dépendante

$$\ln Z_{ij} = -\sigma \ln L - (\sigma - 1) \left( \ln \tau_{ij} - \sum_k \frac{L_k}{L} \ln \tau_{kj} \right) - \sigma \ln w_i - (\sigma - 1) \sum_k \frac{L_k}{L} \ln Z_{kj} \quad (1.25)$$

où  $Z_{ij} \equiv X_{ij}/(Y_i Y_j)$ <sup>4</sup> sont les flux commerciaux normalisés par les PIB (nous disons simplement flux commerciaux par la suite); et où  $L \equiv \sum_k L_k$  désigne la population totale.

L'expression (1.25) montre l'essentiel de l'interdépendance spatiale dans l'équation de gravité : *les flux commerciaux du pays  $i$  vers le pays  $j$  dépendent aussi des flux commerciaux des autres pays indexés  $k$ , vers le pays  $j$* . Trois commentaires peuvent être faits à partir de l'expression (1.25). D'abord, les flux commerciaux de  $i$  vers  $j$  sont affectés par les barrières relatives, mesurées par la différence entre les barrières bilatérales et les barrières moyennes pondérées par la population des autres pays, (le second terme de l'équation (1.25)). Autrement dit, les comportements des autres pays doivent être pris en compte. Ensuite, les flux commerciaux de  $i$  vers  $j$  sont négativement affectés par les salaires  $w_i$  dans le pays d'origine (troisième terme). Des salaires plus élevés augmentent les coûts de production et rendent les entreprises du pays  $i$  moins compétitives par rapport aux concurrentes présentes sur le marché  $j$ , réduisant ainsi ses flux commerciaux. Enfin, les flux commerciaux de  $i$  vers  $j$  diminuent avec les flux commerciaux  $Z_{kj}$  de tous les autres pays  $k$  qui exportent vers le pays  $j$ , puisque les variétés sont des substituts bruts. Plus cet effet est fort plus

---

4. Ainsi, nous pouvons contrôler d'éventuels problèmes d'endogénéité entre les PIB des deux partenaires et les flux commerciaux (voir Emlinger *et al.* (2008))

les variétés sont des substituts proches. Dans notre estimation, l'interdépendance spatiale entre les flux commerciaux sera capturée par un coefficient auto-régressif. Ce coefficient pourrait être interprété comme une concurrence spatiale, englobant à la fois les aspects relatifs au pouvoir de marché des firmes et les préférences des consommateurs pour la diversité (via le paramètre  $\sigma$ ).

Concernant la forme fonctionnelle des coûts de transaction, nous supposons que  $\tau_{ij}$  est une fonction log-linéaire de la distance, des effets frontières, de l'enclavement, de l'usage d'une langue commune, de l'usage d'une monnaie commune et des termes d'erreur<sup>5</sup> (Anderson et van Wincoop, 2004) :

$$\tau_{ij} \equiv d_{ij}^{\gamma} e^{\xi b_{ij} + \zeta e_{ij} - \varsigma l_{ij} - \eta c_{ij} + \epsilon_{ij}} \quad (1.26)$$

où  $d_{ij}$  désigne la distance géographique entre  $i$  et  $j$  ; où  $b_{ij}$  est une variable muette prenant la valeur 1 si les flux commerciaux ont lieu entre un pays appartenant à un certain bloc régional (comme par exemple, une zone monétaire, une zone économique ou une union douanière) et un pays qui n'appartient pas à ce bloc régional, et 0 sinon<sup>6</sup> ;  $e_{ij}$  prend la valeur 1, si au moins un des deux pays est enclavé et 0 sinon (Faye *et al.*, 2004) ;  $l_{ij}$  est une variable muette qui est égale à 1 si les deux pays ont une langue commune<sup>7</sup> et 0 sinon (Melitz, 2008).  $c_{ij}$  est une autre variable muette prenant la valeur 1 si les deux pays ont une monnaie commune et 0 sinon (Frankel et Rose, 2002). Les termes  $\epsilon_{ij}$  sont indépendantes et identiquement distribuées.

En remplaçant l'équation (1.26) dans l'équation (1.25), nous obtenons donc l'expression suivante :

$$\begin{aligned} \ln Z_{ij} = & -\sigma \ln L - (\sigma - 1)\gamma \ln \tilde{d}_{ij} - (\sigma - 1)\xi \tilde{b}_{ij} - (\sigma - 1)\zeta \tilde{e}_{ij} + (\sigma - 1)\varsigma \tilde{l}_{ij} + (\sigma - 1)\eta \tilde{c}_{ij} \\ & -\sigma \ln w_i - (\sigma - 1) \sum_k \frac{L_k}{L} \ln Z_{kj} + \epsilon_{ij} \end{aligned} \quad (1.27)$$

---

5. Les termes d'erreur peuvent être introduits dans le modèle de plusieurs façons. Nous les intégrons ici via les coûts des échanges, permettant ainsi de justifier le fait que les coûts des échanges ne sont pas observables.

6. Cette variable muette permet d'estimer les effets frontières. Ces effets seront détaillés par la suite.

7. Nous considérons seulement la première langue officielle de chaque pays.

où  $\tilde{d}_{ij} \equiv d_{ij}/\Pi_k d_{kj}^{L_k/L}$  sont des distance relatives ;  $\tilde{b}_{ij} \equiv b_{ij} - \sum_k \frac{L_k}{L} b_{kj}$  sont des effets frontières relatifs. Plus, précisément, l'équation (1.27) reflète la résistance aux échanges entre les pays du bloc régional et le reste du monde.  $\tilde{e}_{ij} \equiv e_{ij} - \sum_k \frac{L_k}{L} e_{kj}$  captent les effets relatifs dus à l'enclavement d'au moins un des deux partenaires ;  $\tilde{l}_{ij} \equiv l_{ij} - \sum_k \frac{L_k}{L} l_{kj}$  mesurent les impacts relatifs à l'usage d'une langue commune ;  $\tilde{c}_{ij} \equiv c_{ij} - \sum_k \frac{L_k}{L} c_{kj}$  sont des effets relatifs à l'usage d'une monnaie commune. En ce qui concerne la structure des termes d'erreur, il existe plusieurs façons de les modéliser à propos desquelles la théorie en dit peu. Behrens *et al.* (2012) ont souligné que les termes d'erreur peuvent présenter une certaine forme d'auto-corrélation présentée comme suit :  $\varepsilon_{ij} = \lambda \sum_k \frac{L_k}{L} u_{kj} + u_{ij}$ , où  $u_{ij} \equiv -(\sigma - 1)\epsilon_{ij}$  est un terme d'erreur iid. A noter que dans l'équation (1.27) toutes les variables écrites avec un tilde sont mesurées en écart par rapport à leur moyenne pondérée par la population, permettant ainsi de contrôler implicitement les TRM. Par ailleurs, l'équation (1.27) nous permet de capter une éventuelle autocorrélation spatiale dans les termes d'erreur.

L'estimation de l'équation (1.27) nécessite d'avoir des données sur les salaires de chaque pays exportateur. Or ces données ne sont pas disponibles pour la plupart des pays, en particulier les pays africains et ceux du Sud-Est asiatique. Au lieu d'utiliser le PIB par tête comme *proxy* (comme dans Redding and Venables, 2004) ce qui est clairement une variable endogène, en particulier lorsque nous incluons les flux intra-nationaux  $X_{ii}$ , nous préférons plutôt introduire des effets fixes origine et destination en suivant Rose et van Wincoop (2001) et Feenstra (2002). Par ailleurs, l'utilisation des effets fixes nous permet aussi de capter d'éventuelles variables omises. Soit  $\delta_{1i}$ , une variable indicatrice<sup>8</sup> qui est égale à 1 si le pays  $i$  est l'exportateur et 0 sinon ; soit  $\delta_{2j}$  une variable indicatrice qui est égale à 1 si le pays  $j$  est l'importateur et 0

---

8. Le nombre de variables indicatrices introduites est égal au nombre de pays moins 1, de façon à éviter une colinéarité parfaite.

sinon . Donc, la forme économétrique <sup>9</sup>

$$\ln Z_{ij} = \beta_0 + \beta_1 \ln \tilde{d}_{ij} + \beta_2 \tilde{b}_{ij} + \beta_3 \tilde{e}_{ij} + \beta_4 \tilde{l}_{ij} + \beta_5 \tilde{c}_{ij} + \beta_{6i} \delta_{1i} + \beta_{7j} \delta_{2j} + \rho \sum_k \frac{L_k}{L} \ln Z_{kj} + \varepsilon_{ij} \quad (1.28)$$

où  $\beta_0 \equiv -\sigma \ln L < 0$  est le terme constant ;  $\beta_1 \equiv -(\sigma - 1)\gamma < 0$  est le coefficient associé à la distance relative. En effet,  $\tilde{d}_{ij}$  est une variable *proxy* pour la résistance naturelle aux échanges qui est composée des coûts de transport, du temps de transport et des éléments relatifs à l'horizon économique. Par conséquent, elle est supposée avoir un effet négatif sur les flux commerciaux bilatéraux ;  $\beta_2 \equiv -(\sigma - 1)\xi < 0$  est un coefficient qui capte les effets frontières relatifs. Puisque les effets frontières reflètent ici la résistance aux échanges à travers les blocs régionaux, nous nous attendons à un coefficient négatif.  $\beta_3 \equiv -(\sigma - 1)\zeta < 0$  est le coefficient relatif à l'enclavement ;  $\beta_4 \equiv (\sigma - 1)\varsigma > 0$  capte l'effet d'une langue commune ;  $\beta_5 \equiv (\sigma - 1)\eta > 0$  est le coefficient associé à l'utilisation d'une monnaie commune.  $\beta_{6i}$  sont les coefficients associés aux effets fixes "origine" ;  $\beta_{7j}$  sont les coefficients associés aux effets fixes "destination" et  $\rho \equiv -(\sigma - 1) < 0$  est le coefficient auto-régressif. Vu que les flux commerciaux  $X_{ij}$  du pays  $i$  vers le pays  $j$  dépendent aussi de tous les flux commerciaux des autres pays  $k$  vers le pays  $j$ , nous définissons une matrice d'interaction spatiale  $\mathbf{W}$  de dimension  $n^2 \times n^2$ , avec  $\mathbf{W} = [\mathbf{S} \text{diag}(\mathbf{L})] \otimes \mathbf{I}_n$  où  $\mathbf{S}$  est une matrice  $n \times n$  dont tous les éléments sont égaux à 1 ;  $\otimes$  est le produit *Kronecker* et  $\text{diag}(\mathbf{L})$  définie comme étant une matrice diagonale  $n \times n$  d'éléments  $L_k/L$ . <sup>10</sup>

Pour être plus explicite à propos de la matrice  $\mathbf{W}$ , notons  $\mathbf{W}_{\text{diag}} = \text{diag}(\mathbf{L}) \otimes \mathbf{I}_n$  la matrice diagonale de  $\mathbf{W}$ . L'équation (1.28) peut être réécrite sous forme matricielle de façon suivante :

$$\begin{aligned} (\mathbf{I} - \rho \mathbf{W}_{\text{diag}}) \mathbf{Z} &= \beta_0 \tilde{\mathbf{J}} + \beta_1 \tilde{\mathbf{d}} + \beta_2 \tilde{\mathbf{b}} + \beta_3 \tilde{\mathbf{e}} + \beta_4 \tilde{\mathbf{l}} + \beta_5 \tilde{\mathbf{c}} + \beta_6 \delta_1 + \beta_7 \delta_2 \\ &+ \rho (\mathbf{W} - \rho \mathbf{W}_{\text{diag}}) \mathbf{Z} + (\mathbf{W} - \rho \mathbf{W}_{\text{diag}}) \varepsilon. \end{aligned}$$

---

9. L'espace des paramètres  $\rho$  et  $\lambda$  qui assure l'inversibilité de  $(I - \rho W)$  et  $(I - \lambda W)$  et la positivité des déterminants associés dans la log vraisemblance correspond à :  $\rho \in (\min(\omega)^{-1}, \max(\omega)^{-1})$  et  $\lambda \in (\min(\omega)^{-1}, \max(\omega)^{-1})$ ,  $\omega$  étant la valeur propre de  $\mathbf{W}$  (Ord, 1975).

10. Il convient de noter que la matrice d'interaction vient structurellement du modèle théorique (Behrens *et al.*, 2012). Les éléments de cette matrice sont définis par la part des populations  $L_k/L$ , et non une certaine définition *ad hoc* de la distance.

Puisque  $\mathbf{I} - \rho \mathbf{W}_{\text{diag}}$  est, par construction une matrice diagonale inversible, nous pouvons multiplier l'expression précédente par son inverse afin d'obtenir l'expression suivante :

$$\mathbf{Z} = \bar{\beta}_0 \mathcal{J} + \bar{\beta}_1 \tilde{\mathbf{d}} + \bar{\beta}_2 \tilde{\mathbf{b}} + \bar{\beta}_3 \tilde{\mathbf{e}} + \bar{\beta}_4 \tilde{\mathbf{l}} + \bar{\beta}_5 \tilde{\mathbf{c}} + \bar{\beta}_6 \delta_1 + \bar{\beta}_7 \delta_2 + \bar{\rho} (\mathbf{W} - \mathbf{W}_{\text{diag}}) \mathbf{Z} + (\mathbf{I} - \rho \mathbf{W}_{\text{diag}}) \varepsilon.$$

Les éléments entre la position  $i \times (n+1)$  et  $(i+1) \times n$  de  $(\mathbf{I} - \rho \mathbf{W}_{\text{diag}})^{-1}$ , donnés par  $\left[1 + (\sigma - 1) \frac{L_i}{L}\right]^{-1}$ , dépendent uniquement de l'indice du pays d'origine  $i$  qui est fixe et identique pour toutes les destinations. Par conséquent, les vecteurs des coefficients transformés (avec la barre) sont donnés par :

$$\begin{aligned} \bar{\beta}_{1i} &\equiv \beta_1 \left[1 + (\sigma - 1) \frac{L_i}{L}\right]^{-1}, & \bar{\beta}_{2i} &\equiv \beta_2 \left[1 + (\sigma - 1) \frac{L_i}{L}\right]^{-1}, & \bar{\beta}_{3i} &\equiv \beta_3 \left[1 + (\sigma - 1) \frac{L_i}{L}\right]^{-1}, \\ \bar{\beta}_{4i} &\equiv \beta_4 \left[1 + (\sigma - 1) \frac{L_i}{L}\right]^{-1}, & \bar{\beta}_{5i} &\equiv \beta_5 \left[1 + (\sigma - 1) \frac{L_i}{L}\right]^{-1}, & \bar{\beta}_{6i} &\equiv \beta_6 \left[1 + (\sigma - 1) \frac{L_i}{L}\right]^{-1}, \\ \bar{\beta}_{7i} &\equiv \beta_7 \left[1 + (\sigma - 1) \frac{L_i}{L}\right]^{-1}, & \bar{\rho}_i &\equiv \rho \left[1 + (\sigma - 1) \frac{L_i}{L}\right]^{-1}. \end{aligned}$$

Nous obtenons ainsi une spécification avec un ensemble distinct de paramètres pour chaque pays. Le modèle complet a donc une structure de “club” puisque tous les paramètres (y compris ceux relatifs à l'autorégressif) doivent être estimés localement pour chaque pays. Behrens *et al.* (2012) appellent ce modèle un “*modèle à coefficients hétérogènes*”. Étant donné que l'un de nos objectifs est d'évaluer l'impact des différents accords régionaux, nous n'aurons pas besoin d'estimer localement les paramètres pour chaque pays. C'est pourquoi, nous contraignons tous les coefficients à être identiques pour tous les pays. Ce dernier modèle est appelé “*modèle à coefficients homogènes*”. De plus, les coefficients sont supposés être homogènes dans la plupart des études portant sur le modèle de gravité (Anderson et van Wincoop, 2003 ; 2004 ; Baier et Bergstrand, 2001 ; 2009). Ainsi, contraindre les coefficients à être identiques pour tous les pays implique que les éléments sur la diagonale de la matrice  $\mathbf{W}$  dans l'équation (1.28) sont tous égaux à 0. Dans ce cas, le modèle se simplifie considérablement et peut être facilement estimé par les outils d'économétrie spatiale standard. Par ailleurs, dans la littérature sur l'économétrie spatiale un pays ne peut être contigu à lui-même par convention, de sorte que les éléments de la diagonale soient tous égaux à 0 ( $\mathbf{w}_{ii} = 0$ ). L'équation (1.28) devient alors une variante de modèle spatial connu sous le nom de *General Spatial Model (GSM)* dans

la littérature consacrée à l'économétrie spatiale. Ce type de spécification compte un décalage spatial à la fois pour la variable endogène et pour les termes d'erreur parmi les variables exogènes. Il convient de préciser que le modèle (1.28) n'est pas la forme réduite qui découle du modèle structurel de Behrens *et al.* (2012). En effet, le processus d'erreur qui découle leur modèle correspond à une structure moyenne mobile spatiale. Nonobstant cela, le développement théorique montre comment un modèle structurel spatial peut être obtenu à partir d'un modèle théorique préalablement développé.

Dans l'équation (1.28), toutes les variables sont mesurées en écart par rapport à leur moyenne pondérée par la population, c'est à dire que chaque variable doit être interprétée en terme relatif. Si l'interprétation des variables relatives à la distance, à la langue ou à la monnaie peut s'effectuer facilement, celle des effets frontières parait être plus compliquée. Au lieu de choisir un pays de référence par rapport auquel se feront les calculs et les interprétations (comme dans Baier et Bergstrand (2009)), nous décomposons plutôt les effets frontières en effet *intra-bloc* et effet *inter-bloc*. Cela permet de contrôler au passage les effets de résistance multilatérale et d'établir l'existence de l'interdépendance spatiale. L'estimation des effets frontières se fera en deux temps. Nous estimons d'abord les coefficients relatifs, ensuite nous calculons les effets frontières intra-bloc, inter-bloc et totaux à partir de ces coefficients estimés. Avant de procéder à l'estimation de l'équation (1.28), il convient de définir les effets *intra-bloc* et *inter-bloc* et d'explicitier leurs méthodes de calcul.

### **Les effets intra-blocs et inter-blocs**

A partir de l'équation (1.28), nous décomposons les effets frontières en deux composantes, la première capte les effets à l'intérieur du bloc régional, l'effet intra-bloc, la deuxième capte les effets entre les pays membres d'un bloc régional et les pays qui ne font pas partie de ce bloc, *l'effet inter-bloc*. Afin de bien distinguer les deux effets et de calculer l'effet total, nous procédons comme suit. Premièrement, nous définissons la frontière comme étant le ratio entre les flux commerciaux dans un monde avec frontière ( $Z_{ij}$ ) et les flux commerciaux dans un monde sans frontière ( $\bar{Z}_{ij}$ ). Formellement, cela revient à faire le rapport de l'équation (1.28) sur elle-même,

mais sans tenir compte de la variable  $\tilde{b}_{ij}$  au dénominateur. Ainsi, nous obtenons :

$$B_{ij} \equiv \frac{Z_{ij}}{\bar{Z}_{ij}} = e^{\theta[b_{ij} - \sum_k \frac{L_k}{L} b_{kj}]} \prod_k \left( \frac{Z_{ij}}{\bar{Z}_{ij}} \right)^{\rho \frac{L_k}{L}}, \quad (1.29)$$

où le terme  $e^{\theta[b_{ij} - \sum_k \frac{L_k}{L} b_{kj}]}$  englobe les frictions liées à la frontière, mesurées en écart par rapport à leurs moyennes pondérées par la population. A noter que l'équation (1.29) peut être réécrite comme un système log-linéaire de tous les flux commerciaux relatifs, qui dépendent aussi de tous les effets frontières. Considérons  $\mathbf{B}$  un vecteur de dimension  $n^2 \times 1$  de  $\ln\left(\frac{Z_{ij}}{\bar{Z}_{ij}}\right)$ ; et  $\mathbf{b}$ , un vecteur de dimension  $n^2 \times 1$  de  $[b_{ij} - \sum_k \frac{L_k}{L} b_{kj}]$ . La version log-linéarisée du système a pour solution

$$\mathbf{B} = \theta(\mathbf{I} - \rho\mathbf{W})^{-1}\mathbf{b}$$

,

L'équation (1.29) montre que les effets frontières dépendent de l'endroit où sont situés les pays  $i$  et  $j$ , c'est-à-dire si les pays  $i$  et  $j$  appartiennent à un bloc régional ou non. Quatre cas peuvent se présenter selon qu'il s'agit des échanges à l'intérieur d'un bloc régional ou des échanges entre des pays n'appartenant pas au même bloc régional. Considérons  $\text{pop}_{\text{bloc}} \equiv \sum_{k \in \text{bloc}} \frac{L_k}{L}$  (resp.,  $\text{pop}_{\text{row}} \equiv \sum_{k \notin \text{bloc}} \frac{L_k}{L}$ ) désignant la part de la population du bloc-régional (resp., du reste du monde). A partir de la définition suivante,

$$b_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si } (i \in \text{BLOC et } j \notin \text{BLOC}) \text{ ou } (i \notin \text{BLOC et } j \in \text{BLOC}) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$$

il est plus facile de vérifier que

$$\theta \left[ b_{ij} - \sum_k \frac{L_k}{L} b_{kj} \right] = \begin{cases} -\theta \text{pop}_{\text{row}} & \text{si } (i \in \text{BLOC et } j \in \text{BLOC}) \\ \theta \text{pop}_{\text{row}} & \text{si } (i \in \text{BLOC et } j \notin \text{BLOC}) \\ \theta \text{pop}_{\text{bloc}} & \text{si } (i \notin \text{BLOC et } j \in \text{BLOC}) \\ -\theta \text{pop}_{\text{bloc}} & \text{si } (i \notin \text{BLOC et } j \notin \text{BLOC}) \end{cases} \quad (1.30)$$

La solution explicite pour  $\ln B_{ij}$  est donc donnée par :

$$\ln B_{ij} = \theta[(\mathbf{I} - \rho\mathbf{W})^{-1}]_i \mathbf{b} = \theta[(\mathbf{I} + \rho\mathbf{W} + \rho^2\mathbf{W}^2 + \rho^3\mathbf{W}^3 + \dots)]_i \mathbf{b} \quad (1.31)$$

où  $[(\mathbf{I} - \rho \mathbf{W})^{-1}]_i$  désigne la  $i^{\text{ème}}$  ligne de la matrice  $\mathbf{W}$ . Il convient de noter que la matrice  $\mathbf{W}$  est normalisée en ligne et qu'elle a une structure spéciale, cela implique que  $\mathbf{W}\mathbf{b} = 0$ . En utilisant les équations (1.30) et (1.31), les effets frontières seront finalement données par :

$$\ln B_{ij} = \begin{cases} -\theta \text{pop}_{\text{ROW}} & \text{si } (i \in \text{BLOC et } j \in \text{BLOC}) \\ \theta \text{pop}_{\text{ROW}} & \text{si } (i \in \text{BLOC et } j \notin \text{BLOC}) \\ \theta \text{pop}_{\text{BLOC}} & \text{si } (i \notin \text{BLOC et } j \in \text{BLOC}) \\ -\theta \text{pop}_{\text{BLOC}} & \text{si } (i \notin \text{BLOC et } j \notin \text{BLOC}) \end{cases} \quad (1.32)$$

L'équation (1.32) révèle plusieurs points intéressants. Premièrement, les expressions BLOC–BLOC et ROW–ROW peuvent être interprétées comme des *effets stimulant les échanges* à l'intérieur des blocs régionaux. En effet, les blocs régionaux se traduisent par la création d'une frontière<sup>11</sup> qui protège les entreprises régionales de la concurrence internationale et leur donne un avantage sur le marché régional. Ainsi, les flux commerciaux à l'intérieur de chaque bloc régional sont plus importants dans un monde avec frontière que dans un monde sans frontière. Deuxièmement, les expressions BLOC–ROW et ROW–BLOC peuvent être interprétées comme des *effets réduisant les échanges* entre les pays du bloc et le reste du monde. En effet, les échanges commerciaux entre pays appartenant à différents blocs régionaux subissent les effets engendrés par la présence des frontières, réduisant ainsi le volume des échanges entre ces pays. Autrement dit, les flux commerciaux inter-blocs seront plus petits dans un monde avec des frontières que dans un monde sans frontières. Troisièmement, les petits blocs ont des effets de frontières implicites plus importants que les grands blocs puisque l'ampleur de ceux-ci dépend positivement de la taille des partenaires commerciaux, mesurée par la part de la population. La raison en est que la frontière crée des frictions commerciales, empêchant les entreprises des petits blocs de desservir une plus grande part de la demande totale. La frontière affecte donc plus les petits blocs que les grands blocs. Enfin, l'effet total<sup>12</sup> s'obtient en faisant le rapport des *effets stimulant les échanges* à l'intérieur des blocs aux *effets réduisant les échanges* entre les blocs et le reste du monde. Il est donné

11. La frontière correspond aux barrières tarifaires et non tarifaires.

12. L'effet total correspond à l'effet frontière habituellement calculé dans la littérature (McCallum, 1995 ; Anderson et van Wincoop, 2003).

par  $e^{-2\theta_{\text{POP}_{\text{ROW}}}}$  pour les pays appartenant à un bloc et par  $e^{-2\theta_{\text{POP}_{\text{BLOC}}}}$  pour le reste du monde<sup>13</sup>. Avant de procéder à l'estimation de notre modèle structurel spatial, il nous semble intéressant de déterminer les caractéristiques des regroupements régionaux en Afrique.

### 3 L'intégration régionale en Afrique

Le vocable intégration est omniprésent dans la littérature économique depuis la fin de la 2<sup>ème</sup> Guerre Mondiale. Certes, le concept n'est pas nouveau, mais la mondialisation lui a donné un nouveau souffle de telle manière qu'on parle de seconde génération d'intégration ; ses mécanismes et ses formes sont devenus différents et ses implications apparaissent extrêmement importantes. C'est ainsi que l'on assiste, sur le terrain, à l'émergence et au renforcement de groupements régionaux à travers tous les continents.

L'intégration régionale peut être définie comme étant à la fois une stratégie et une méthode d'action permettant de concevoir et de mettre en œuvre dans un cadre institutionnel convenu entre plusieurs États, une série de politiques communes de développement et de croissance ainsi que de défense et de paix, au bénéfice exclusif des peuples de l'union économique en vue de l'objectif final qui est l'unité politique. C'est un processus résultant d'une démarche volontaire de deux ou de plusieurs partenaires, appartenant à des États différents, en vue d'une mise en commun d'une partie de leurs ressources. Ce processus a pour finalité l'émergence et le renforcement de relations techniques et économiques d'interdépendance structurelle à effets d'entraînement positif sur les revenus.

La réussite de tout regroupement économique régional est intimement liée au respect de certaines conditions, ces dernières peuvent être de plusieurs formes : économiques, politiques ou culturelles...

---

13. Etant donné que notre objectif est de tester l'impact des blocs régionaux, nous nous concentrons uniquement sur les effets *intra*, *inter* et total des blocs régionaux.

### 3.1 Les conditions préalables à une intégration économique

De nombreux économistes notables, parmi lesquels nous pouvons citer Viner (1950), Lipsey (1957) et Balassa (1961), ont soutenu l'idée qu'une intégration régionale réussie doit remplir plusieurs conditions.

**Les conditions économiques :** l'intégration régionale suppose l'existence de potentiel économique de niveau relativement comparable dans les pays qui se proposent de se regrouper, car l'intégration entre pays développés et pays moins développés risquerait d'amputer le développement des pays les plus avancés. De plus, cela permet d'éviter une émigration de masse de la population des pays moins développés vers les pays développés, une dominance de un ou quelques pays dans la production et la distribution des biens et services, des différences dans l'emploi, les normes environnementales ou la bonne qualité des produits. L'intégration régionale suppose également le respect d'intérêts réciproques par la spécialisation de chaque pays dans la production de biens pour lesquels les coûts sont moindres pour satisfaire les besoins de tous les pays membres du groupe. Par ailleurs, les pays doivent avoir des secteurs de productions diversifiés. La raison en est que les pays qui ont des secteurs de production plus diversifiés sont plus susceptibles de produire une plus grande gamme de produits qui peuvent être échangés avec les partenaires régionaux. De plus, les pays pourraient devenir moins vulnérables à l'instabilité des exportations, les incitant à se regrouper.

**Les conditions politiques :** l'intégration régionale suppose la paix et la stabilité politique dans tous les pays désirant se regrouper. Elle suppose également l'existence d'une volonté politique commune de regrouper les potentialités respectives de chaque pays, et d'en minimiser les différences par la création de nouvelles entités politiques. Cela permet une bonne coordination entre les pays membres de l'union ainsi qu'une veille sur la bonne exécution des projets communs. Les États doivent s'engager sans réserve sur les plans économiques, politiques et sociaux dans tous les projets de construction commune.

**Les Conditions socioculturelles et géographiques :** les regroupements se font généralement entre les pays ayant une même culture (ayant les mêmes cou-

tumes et utilisant une ou plusieurs langues en commun), permettant ainsi d'éviter les tensions sociales entre les peuples. La dimension spatiale est aussi importante dans le cadre d'un regroupement régional, la proximité géographique permet au groupe de créer un espace homogène. Elle permet également de développer un système de transport efficace pour la distribution des biens au sein de leur économie régionale.

### 3.2 Le processus de regroupement régional en Afrique

L'une des caractéristiques de l'évolution actuelle de l'activité économique est sans conteste la part de plus en plus importante qui revient à la coopération économique et technique entre États (au niveau régional comme au niveau mondial), ainsi qu'aux processus d'intégration multiformes qui se sont développés et qui se développent encore à travers le monde.

Ce processus d'intégration, qui a commencé à la fin de la seconde guerre mondiale a d'abord concerné l'Europe, à l'Ouest, puis à l'Est de ce continent. Il a ensuite accompagné les tentatives latino-américaines. L'Afrique n'est restée en marge ni des politiques ni des théories de l'intégration. En effet, dès les années 60 et les indépendances, il est apparu que la "balkanisation"<sup>14</sup> de l'Afrique constituait un facteur de vulnérabilité extérieure. Cette "balkanisation" limitait non seulement les possibilités de croissance interne de la sous-région, mais aussi elle réduisait son poids dans les échanges commerciaux mondiaux. L'exiguïté des marchés nationaux a amoindri le jeu des économies d'échelle et l'absence de coordination des politiques nationales de développement a conduit à des duplications des projets concurrents non viables dans une même région. L'intégration en Afrique apparaît ainsi comme une idée forte pour surmonter les inconvénients économiques de la "balkanisation" du continent. Elle vise, face à la compétitivité internationale et à la mondialisation, non seulement à accroître les capacités des pays de la sous-région, mais aussi à augmenter la crédibilité et à restaurer la confiance des opérateurs économiques de ces pays. La volonté de surmonter les inconvénients économiques de la "balkanisation" du continent a conduit à un foisonnement d'accords régionaux dont l'objectif primordial

---

14. Morcellement politique de l'Afrique en petits pays autonomes.

était de promouvoir le développement auto-centré des États membres (BAD, 2013).

En plus des motivations économiques, l'aspiration politique panafricaine à une identité, une unité et une cohésion continentales a également influencé les premiers efforts d'intégration régionale en Afrique. Cette aspiration politique à l'unité africaine découle principalement de la volonté de surmonter les obstacles inhérents à l'héritage colonial ayant conduit au morcellement politique et économique du continent.<sup>15</sup>

C'est dans ce contexte que des accords de coopération et d'intégration économiques ont été conclus. Les objectifs et missions de ces accords sont divers et variés, et ils englobent notamment

**des zones de libre échange :** un accord de libre échange est fondé sur la réciprocité. Il prévoit la réduction ou l'élimination des tarifs douaniers à l'intérieur de la zone considérée, il est souvent d'application progressive. Dans une zone de libre échange, les États membres conservent la liberté de mener des politiques commerciales indépendantes vis-à-vis de l'extérieur. Elle suppose la disparition des freins aux échanges entre les pays membres, ces derniers éliminent les droits de douane et les restrictions quantitatives qui freinent la circulation des marchandises ;

**des unions douanières :** outre la suppression des obstacles internes aux échanges, elles exigent des pays membres qu'ils harmonisent leur politique commerciale extérieure, cela suppose l'imposition d'un tarif extérieur commun sur des produits provenant des pays tiers. L'union douanière est une zone de libre échange qui intègre des domaines relevant de la politique commerciale des États membres. Elle implique la mise en place d'un tarif extérieur commun et prévoit le mode de partage de recettes douanières ;

**des marchés communs :** un marché commun représente un pas important dans l'intégration économique. Au delà des dispositions habituelles, il supprime les obstacles à la libre circulation des personnes, des capitaux et d'autres ressources à l'intérieur de la zone. Un marché commun est une union douanière étendue à la liberté de circulation des facteurs de productions : le travail, le

---

15. Pour plus d'informations voir UNESCO (2005).

capital financier et technique ;

**des unions économiques :** une union économique suppose un marché commun auquel s'ajoute l'harmonisation d'un certain nombre de domaines stratégiques clés, plus particulièrement des politiques monétaires et budgétaires ainsi que des politiques relatives au marché de travail, au transport, à l'industrie... Il s'agit d'un marché commun qui est accompagné d'une harmonisation ou d'une coordination des politiques économiques, sociales et monétaires des pays membres ;

**des unions économiques et monétaires :** l'union économique s'accompagne souvent d'une monnaie commune et d'une politique monétaire unifiée. La suppression des incertitudes liées au taux de change permet sur le plan économique d'effectuer des échanges commerciaux de manière efficace sans être inutilement touchés par les fluctuations des devises. Elle constitue une forme d'intégration régionale, dans laquelle, soit les pays partenaires ont la même monnaie, soit leurs monnaies sont entièrement convertibles et les taux de changes fixés irrévocablement avec une politique monétaire commune.

Ainsi, de nombreuses organisations ont été créées dont l'Union Douanière et Économique de l'Afrique Centrale (UDEAC) qui est devenue plus tard la Communauté Économique et Monétaire de l'Afrique Centrale (CEMAC) ; la Communauté de l'Afrique de l'Est (EAC) ; l'Union douanière d'Afrique Australe (SACU) devenue par la suite la Communauté pour le développement de l'Afrique Australe (SADC) ; le Marché Commun d'Afrique Orientale et Australe (COMESA) ; la Communauté Économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO) ; l'Union Économique et Monétaire Ouest-Africaine (UEMOA) ; l'Union du Maghreb arabe (UMA). L'UEMOA et la CEMAC sont simultanément des blocs commerciaux et des unions monétaires, avec chacune une monnaie commune. Cependant, le même acronyme, *le franc CFA*<sup>16</sup>, est utilisé pour les deux monnaies. Ces deux monnaies sont toutes liées à l'euro avec le même taux de conversion. Bien qu'elles portent le même nom (Franc CFA) et aient la même valeur de conversion par rapport à l'euro, elles ne sont pas mutuellement interchangeables ou convertibles (Abdih et Tsangarides, 2010). La zone franc ne constitue donc pas une zone monétaire, mais deux blocs juxtaposés

---

16. Le franc de la Communauté Financière d'Afrique pour l'UEMOA et le franc de la Coopération Financière d'Afrique pour la CEMAC.

avec des monnaies différentes.

Plusieurs organisations sous-régionales ont été créées depuis lors. Il existe aujourd'hui davantage d'organisations régionales en Afrique que sur tout autre continent, et la plupart des pays africains participent à plusieurs initiatives d'intégration régionale (voir Table 1.1). On s'accorde à dire que l'intégration régionale offrirait un cadre qui permettrait de surmonter les obstacles au commerce intra-africain et que la suppression de ces obstacles créerait des marchés régionaux plus vastes permettant de réaliser des économies d'échelle, de soutenir les systèmes de production et les marchés, et de renforcer la compétitivité de l'Afrique (Adedeji, 2002). Cependant, cette profusion d'arrangements et d'institutions et ces appartenances multiples à l'intérieur d'une même région brouillent quelque peu les objectifs d'intégration et induisent une concurrence contre-productive entre pays et entités (CEA, 2008). Par ailleurs, la plupart des blocs régionaux regroupent des pays qui ont fait la guerre entre eux, ou des pays qui sont politiquement instables. Les négociations régionales se font davantage pour neutraliser les conflits frontaliers et régionaux que pour soutenir le processus d'intégration économique.

## CHAPITRE 1. MODÉLISATION DE L'INTERDÉPENDANCE EN COMMERCE INTERNATIONAL

Tableau 1.1 – Les principaux blocs régionaux en Afrique

Principaux blocs	Type	Domaine d'intégration et de coopération	Date d'entrée en vigueur	États membres	Objectif spécifié
Union du Maghreb Arabe (UMA)	Zone de libre échange	Biens, services, investissements, migrations	17 fév 1989	Algérie, Libye, Maroc, Mauritanie, Tunisie	Union Économique
Marché commun de l'Afrique de l'Est et de l'Afrique Australe (COMESA)	Zone de libre échange	Biens, services, investissements, migrations	8 déc. 1994	Angola, Burundi, Comores, Djibouti, Égypte, Érythrée, Éthiopie, Kenya, Madagascar, Malawi, Maurice, Namibie, Ouganda, République démocratique du Congo, Rwanda, Seychelles, Soudan, Swaziland, Zambie, Zimbabwe	Marché Commun
Communauté économique des États de l'Afrique centrale (CEEAC)	Zone de libre échange	Biens, services, investissements, migrations	1 juil. 2007	Angola, Burundi, Cameroun, Congo, Gabon, Guinée équatoriale, République centrafricaine, République démocratique du Congo, Rwanda, Sao Tomé et Príncipe, Tchad	Union Économique
Communauté économique des États de l'Afrique de l'Ouest (CEDEAO)	Zone de libre échange	Biens, services, investissements, migrations	24 juil. 1993	Benin, Burkina Faso, Cap Vert, Côte d'Ivoire, Gambie, Ghana, Guinée, Guinée-Bissau, Libéria, Mali, Niger, Nigeria, Sénégal, Sierra Leone, Togo	Union Économique
Communauté de développement de l'Afrique australe (SADC)	Zone de libre échange	Biens, services, investissements, migrations	1 sep. 2000	Afrique du Sud, Angola, Botswana, Lesotho, Malawi, Maurice, Mozambique, Namibie, République démocratique du Congo, Tanzanie, Swaziland, Zambie, Zimbabwe	Union Économique
Communauté économique et monétaire de l'Afrique centrale (CEMAC)	Union douanière	Biens, services, investissements, migrations	24 jui. 1999	Cameroun, Congo, Gabon, Guinée équatoriale, République centrafricaine, Tchad	Union Économique
Communauté d'Afrique de l'Est (CAE)	Union douanière	Biens, services, investissements, migrations	7 juil. 2000	Kenya, Tanzanie, Ouganda, Rwanda, Burundi	Union Économique
Union douanière d'Afrique australe (UDAA)	Union douanière	Biens, services, investissements, migrations	15 juil. 2004	Botswana, Lesotho, Namibie, Afrique du Sud, Swaziland	Union douanière
Union économique et monétaire ouest africaine (UEMOA)	Union douanière	Harmonisation du droit commercial, convergence des politiques macroéconomiques	10 jan 1994	Benin Burkina Faso, Côte d'Ivoire, Guinée-Bissau, Mali, Niger Sénégal, Togo	Union Économique

*Source* : Secrétariat de la CNUCED.

### LES ZONES ÉCONOMIQUES EN AFRIQUE

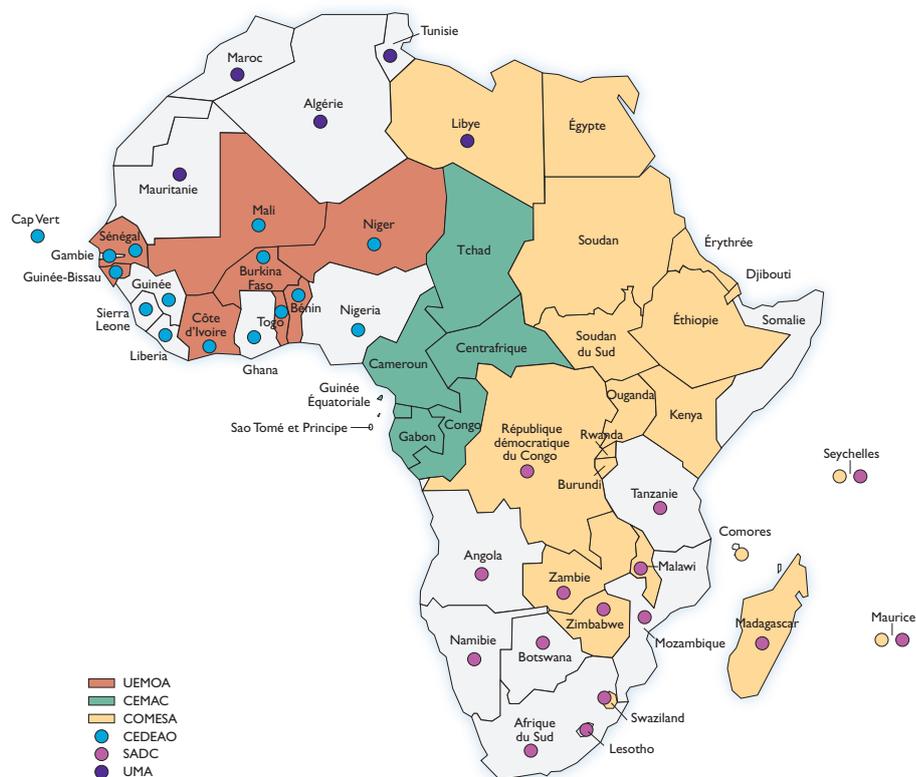


FIGURE 1.1 – Source : Banque de France

### 3.3 L'impact des blocs régionaux en Afrique

L'intégration régionale en Afrique répond à deux nécessités. La première est de renforcer l'unité politique au niveau panafricain. La seconde consiste à promouvoir la croissance économique et le développement (Collier et Venables, 2009). Elle est considérée comme un moyen d'aider les pays africains à surmonter les problèmes structurels auxquels ils sont confrontés. Grâce aux regroupements régionaux, les pays africains espèrent augmenter la taille de leurs marchés et assurer le bien-être associé à l'augmentation des échanges (Ncube *et al.*, 2015).

Un certain nombre d'auteurs ont essayé d'évaluer l'effet de blocs régionaux sur les flux commerciaux des pays d'Afrique sub-saharienne. Les résultats de ces auteurs conduisent à des conclusions mitigées. Certaines conclusions soutiennent l'hypothèse selon laquelle la suppression unilatérale et préférentielle des barrières tarifaires et non-tarifaires accroît le commerce interne dans un groupement. Les blocs régionaux produisent donc un effet positif sur le commerce intra-régional. Cassim (2001) a utilisé le modèle de gravité pour comparer les échanges potentiels et les échanges réels entre les pays de la SADC. Dans cette optique, Cassim (2001) a constaté que les échanges potentiels sont plus élevés que les échanges réels, à l'exception des exportations sud-africaines et zimbabwéennes vers la région (SADC). L'auteur a souligné que les exportations potentielles sud-africaines sont nettement inférieures aux exportations réelles, car la structure des échanges est biaisée en faveur de l'Afrique du Sud, les pays de la région dépendant fortement de l'Afrique du Sud comme source d'importation. On retrouve les mêmes conclusions dans Chauvin et Gaulier (2002). Utilisant un modèle de gravité pour évaluer l'impact des blocs régionaux sur le commerce des membres en Afrique sub-saharienne (le commerce intra-régional ainsi que le commerce avec le reste du monde), Carrère (2004) a constaté que les blocs régionaux africains ont engendré une augmentation significative dans les échanges entre les membres, même si au départ il existait un détournement des échanges vers l'extérieur. Pour l'UEMOA et la CEMAC, les monnaies communes ont largement renforcé les effets positifs de ces deux blocs sur les échanges intra-régional, tout en amortissant leurs effets de détournement des échanges. Musila (2005) quant à lui a souligné les effets positifs de la CEDEAO et du COMESA sur le commerce

intra-continentale. Utilisant un modèle de gravité pour estimer les déterminants du commerce intra-UEMOA et en mettant l'accent sur l'impact des réformes économiques des années 1980 et 1990, Avom et Gbetnkom (2005) ont montré qu'avant les réformes, le détournement des échanges était intense dans l'UEMOA et que la création du commerce l'a supplanté au cours des années 1996-2000. Behar et Edward (2011) se sont intéressés au cas de la SADC en montrant que les membres échangent en moyenne deux fois plus entre eux qu'ils ne le font avec d'autres pays.

Tandis que les travaux précédemment cités mettent en avant l'effet positif des blocs régionaux, d'autres travaux préfèrent plutôt insister sur les obstacles qui restent encore à franchir. Ces travaux soulignent que les résultats d'intégration en ce qui concerne le commerce intra-régional ne reflètent pas les ambitions fixées au départ, de même que les efforts et moyens investis. L'impact des blocs régionaux en matière d'industrialisation et surtout de commerce réalisé est souvent jugé très insuffisant, comparativement à d'autres expériences de régionalisme dans le monde. D'une manière générale, ces échanges ne constituent qu'une faible part du commerce extérieur des pays. Cela s'explique fondamentalement par l'incapacité ou le manque de volonté de la part de ces États à entreprendre les réformes commerciales préférentielles qui sont des préalables à la création des échanges entre les pays membres (Foroutan et Pritchett, 1993). Comme nous l'avons souligné précédemment, la diversification des secteurs d'exportations est primordiale à la réussite de toute forme d'intégration régionale. La concentration des exportations sur seulement quelques secteurs augmente fortement la dépendance des pays du bloc régional à l'égard des pays tiers pour une part importante de leurs importations et comme destination de leurs principales exportations. Cela réduit probablement l'engagement des pays en faveur de l'intégration régionale (Yeats, 1999). La plupart des pays d'Afrique subsaharienne sont producteurs de produits de base avec des secteurs d'exportation peu diversifiés. Beaucoup de ces produits de base ne répondent pas aux besoins d'importations d'autres pays africains, ce qui limite fortement la portée des regroupements régionaux. Les avantages comparatifs des pays d'Afrique subsaharienne résident dans la production de produits similaires, en particulier de produits primaires. Ils ont les mêmes désavantages comparatifs, en particulier dans des produits industriels. Ainsi, les pays industrialisés sont leurs partenaires commerciaux privilégiés en ma-

tière d'importations pour les biens industriels et en matière d'exportations pour les produits primaires (Coe et Hoffmaister, 1999b ; Chauvin et Gaulier, 2002).

Plusieurs travaux empiriques ont mis en évidence d'autres facteurs susceptibles d'influencer aussi les flux de commerce intra-zone. Pour certains auteurs, l'un des premiers éléments considérés comme un obstacle aux échanges des pays d'Afrique sub-saharienne est l'importance des barrières géographiques (Limão et Venables, 2001). Les infrastructures matérielles et immatérielles, en particulier les infrastructures de transport routier et de télécommunications (Longo et Sekkat, 2004), sont insuffisantes pour franchir cet obstacle. Cette faiblesse des infrastructures freinerait même les échanges commerciaux de ces pays (Limao et Venables, 2001). Ce mauvais état des infrastructures devient un enjeu majeur, notamment pour les pays n'ayant pas accès à un littoral (Mali, Burkina Faso et Niger dans l'UEMOA), aussi bien pour le commerce intra-régional que pour les échanges avec les pays des autres continents. Longo et Sekkat (2004) ont montré que le manque d'infrastructures, la mauvaise gouvernance et les tensions politiques internes ont un impact négatif sur les échanges entre pays africains. Excepté les tensions politiques, tous ces obstacles influent plus sur le commerce intra-africain que sur les échanges avec les pays développés. A l'aide d'exercices de simulations, Coulibaly et Fontagné (2006) ont estimé que le commerce intra-UEMOA pourrait presque tripler si l'ensemble des routes reliant les pays membres étaient revêtues en dur. Des travaux plus récents ont également mis en avant la faible qualité des infrastructures pour expliquer le faible niveau des échanges intra-africains (Bosker et Garretsen, 2012 ; De Sousa et Lochard, 2012). Avom (2007) quant à lui a mis en avant la qualité des institutions et le manque de coopération entre États membres, pour justifier la faible part des échanges intra-régionaux, notamment dans le cas du CEMAC. D'autres facteurs comme le commerce informel transfrontalier influe négativement sur le commerce formel intra-africain (Agbodji, 2007). La performance des blocs régionaux est aussi affectée par l'appartenance de pays à plusieurs blocs régionaux, le manque d'harmonisation des politiques économiques, des structures productives non diversifiées et l'absence de secteur privé dans le système de production nationale (Geda et Kebret, 2008). Niang et Djembissi (2014) quant à eux ont étudié les effets de la contrainte du crédit sur la convergence des pays de la communauté financière africaine (cfa)

vers la frontière de croissance mondiale. Leurs résultats établissent que le bas niveau de développement financier peut ralentir considérablement la vitesse de convergence de ces pays.

La caractéristique inquiétante et commune à toutes les études précédemment citées, réside dans l'hypothèse implicite selon laquelle les flux commerciaux entre deux partenaires ne dépendent pas de ce qui se passe dans le reste du monde. Il s'agit clairement d'une hypothèse forte et peu probable. Par conséquent, les estimateurs peuvent être biaisés et non convergents, et les inférences statistiques ne seront plus en mesure de produire des résultats satisfaisants. De plus, l'une des caractéristiques notables de l'intégration régionale en Afrique est l'existence d'une multitude de blocs régionaux et, par conséquent, de la participation des pays à divers blocs. Ce chevauchement montre clairement que ce qui se passe dans un bloc peut dépendre de ce qui se passe dans d'autres blocs, en matière d'harmonisation des politiques commerciales par exemple. Cette dépendance peut pourtant être source de deux effets spatiaux : l'hétérogénéité spatiale et l'autocorrélation spatiale. C'est pourquoi, nous mobilisons les outils d'économétrie spatiale.

A notre connaissance, il n'existe aucune étude analytique portant sur les flux commerciaux africains ayant pris en compte l'interdépendance spatiale. Un des objectifs de ce chapitre est de combler cette lacune en intégrant les effets spatiaux. En mettant l'accent sur l'interdépendance entre les flux commerciaux, nous estimons les effets frontières pour cinq blocs régionaux africains : CEMAC, UEMOA, CEDEAO, COMESA et SADC. Cela nous permet non seulement de connaître la nature des relations entre les flux commerciaux, mais aussi de calculer les effets frontières intra, inter et totaux pour chacun des blocs.

## 4 Validation empirique

### 4.1 Données et méthodes d'estimation

Notre échantillon est constitué de 150 pays avec 22500 flux commerciaux. Parmi ces pays, 37 sont des pays africains, 36 sont américains, 34 sont asiatiques, 38 sont européens et 5 pays appartiennent au continent Océanique. La base de données

contient des informations sur les flux commerciaux, ici les exportations  $X_{ij}$ , les PIB des partenaires commerciaux  $Y_i$  et  $Y_j$ . Toutes ces variables sont mesurées en millions de dollars US pour l'année 2010 ; ce sont donc des données en coupe transversale. Les exportations proviennent de la base de données des Nations Unies UN COMTRADE.<sup>17</sup> La consommation intérieure est calculée de la manière suivante :  $X_{ii} = Y_i - \sum_{j=1}^n X_{ij}$ . Les informations concernant les PIB, la population et la monnaie utilisée par chaque pays ont été recueillies via le *Penn World Table 7.0*<sup>18</sup> La base contient également des informations concernant les distances géographiques (en kilomètre) entre les différentes capitales. Nous avons utilisé la formule de la distance du grand cercle (Head et Mayer, 2002) afin d'obtenir les distances entre les différents pays. Les coordonnées géographiques ont été extraites de la base du CEPII.<sup>19</sup> En ce qui concerne la distance interne, nous suivons Redding and Venables (2004) en la calculant de façon suivante :  $d_{ii} \equiv \kappa \sqrt{\text{surface}_i / \pi}$ . Comme les résultats des estimations sont connus pour être peu sensibles à la mesure de la distance interne (Head et Mayer, 2002), nous utilisons 1/3, 2/3 et 1 pour  $\kappa$ . Cependant, étant donné que nos résultats sont assez robustes pour ces différentes valeurs de  $\kappa$ , nous nous focalisons uniquement sur les résultats pour  $\kappa = 2/3$ .<sup>20</sup> Les informations concernant l'enclavement des pays et la langue officielle de chaque pays ont également été extraites de la base du CEPII. La matrice d'interaction  $\mathbf{W}$  est construite en utilisant les données sur la population totale de chaque pays exportateur. Enfin, il convient de noter que cette matrice provient directement du modèle théorique.

Un autre problème important lié à l'analyse empirique du modèle de gravité est celui qui est associé aux flux nuls. Ces flux nuls peuvent provenir des erreurs d'arrondi, d'observations manquantes ou de vrais zéros. Il arrive que tous les pays n'échangent pas avec tous les autres pays dans un échantillon, engendrant des flux zéros. L'absence de relation commerciale peut concerner jusqu'à 50% des pays dans certains échantillons (Helpman *et al.*, 2008). Par conséquent, un sous-ensemble des observations sont supposées représenter des valeurs tronquées, traduisant une distribution censurée de la variable dépendante. Dans la mesure où l'un de nos objectifs

---

17. <http://comtrade.un.org/>

18. <https://pwt.sas.upenn.edu>.

19. <http://www.cepii.fr/>

20. Les résultats pour les valeurs 1/3 de 1 de  $\kappa$  seront disponibles sur demande.

est d'évaluer l'impact des différents accords régionaux en Afrique, nous devons traiter le problème bien connu dans la littérature. Cependant, il n'existe pas de méthode générale pour traiter cette situation (Anderson et van Wincoop, 2004). La procédure standard consiste à supprimer tout simplement les observations nulles de l'échantillon, si cela est possible. Certains auteurs ajoutent une constante (en général 1) à tous les flux commerciaux afin d'être en mesure d'estimer l'équation de gravité en log-linéaire. Helpman et al. (2008) soulignent que ces approches sont correctes si les valeurs nulles sont distribuées de manière aléatoire. Toutefois, si elles ne sont pas aléatoires, elles peuvent introduire des biais de sélection. Pour corriger ce biais, Helpman et al. (2008) proposent d'utiliser une estimation en deux étapes. Emlinger *et al.* (2008) proposent également d'utiliser une estimation en deux étapes, en l'occurrence la procédure de Heckman. D'autres méthodes ont été utilisées, par exemple le Tobit. Cependant, aucune de ces méthodes n'est réputée être meilleure que d'autres ou être théoriquement efficace (Felbermayr et Kohler, 2006). Dans le cadre de ce travail, nous utilisons deux méthodes pour remédier au problème causé par les flux nuls. La première consiste à augmenter tous les flux commerciaux de la valeur 1 afin de passer au log, ensuite nous utilisons une variable indicatrice qui prend la valeur 1 pour les flux nuls et 0 sinon. La deuxième consiste à utiliser un Tobit spatial (LeSage et Pace, 2009).

Nous effectuons deux séries d'estimations<sup>21</sup> selon la méthode utilisée pour traiter les flux, et selon la structure des termes d'erreur. Premièrement, nous estimons le modèle (1.28) sans les effets spatiaux (i.e.  $\rho = 0$ ) en utilisant les MCO. Deuxièmement, nous estimons deux versions du modèle (1.28) : (i) un modèle autorégressif spatial (SAR) où les erreurs sont supposées iid, (iii) un modèle spatial général connu sous le nom de *General Spatial Model (GSM)* où les erreurs ont une structure autorégressive spatiale  $\varepsilon_{ij} = \lambda \sum_{k \neq i}^{n^2} w_{kj} \varepsilon_{kj} + u_{ij}$ . Dans ce dernier cas, nous approximons la moyenne mobile par une structure autorégressive.

Pour les estimations, nous retenons le modèle (1.28) auquel nous ajoutons des variables relatives aux facteurs qui encouragent ou qui découragent le commerce bilatéral, telles que une union douanière comme la CEMAC et l'UEMOA, une zone

---

21. Pour les estimations nous avons utilisé les routines de James LeSage qui sont disponibles à cette adresse : <http://www.spatial-econometrics.com/>.

de libre échange comme la CEDEAO et la SADC et un marché commun comme le COMESA. Ainsi, pour mettre en évidence les effets intra-blocs et inter-blocs, nous intégrons des variables indicatrices relatives aux cinq blocs régionaux précédemment cités. Les tableaux 1.2 et 1.3 présentent les résultats complets des différentes estimations. Le premier table concerne les résultats avec la variable indicatrice pour les flux nuls et le second est relatif au modèle Tobit spatial.

## 4.2 Résultats

Tableau 1.2 – Estimation incluant la variable indicatrice captant les flux nuls

Model	OLS	OLS	SAR	SAR	SAC	SAC
F. E.	NO	YES	NO	YES	NO	YES
D. V.	$\ln Z_{ij}$					
distance	-1.003*** (0.022)	-1.486*** (0.022)	-1.198*** (0.020)	-1.479*** (0.020)	-1.156*** (0.021)	-1.378*** (0.022)
UEMOA	0.091 (0.121)	-0.236 (0.217)	0.141 (0.113)	-0.250 (0.187)	0.163 (0.112)	-0.459** (0.190)
CEDEAO	-0.708*** (0.105)	-0.519*** (0.143)	-0.802*** (0.095)	-0.513*** (0.121)	-0.452*** (0.127)	-1.539*** (0.124)
CEMAC	-0.324*** (0.119)	-0.403 (0.646)	-0.388*** (0.116)	-0.411 (0.324)	-0.367*** (0.115)	-0.536* (0.311)
COMESA	-0.602*** (0.074)	-0.438*** (0.116)	-0.643*** (0.070)	-0.434*** (0.091)	-0.637*** (0.069)	-0.315*** (0.097)
SADC	0.079 (0.078)	-0.701*** (0.136)	0.155** (0.078)	-0.702*** (0.129)	0.126* (0.078)	-0.720*** (0.134)
Enclavé	-0.391*** (0.048)	-0.429*** (0.082)	-0.437*** (0.046)	-0.424*** (0.082)	-0.451*** (0.046)	-0.306*** (0.081)
Langue	0.969*** (0.057)	1.069*** (0.052)	0.921*** (0.055)	1.064*** (0.049)	0.928*** (0.055)	0.860*** (0.042)
Monnaie	2.419*** (0.117)	1.171*** (0.121)	2.154*** (0.123)	1.164*** (0.109)	2.215*** (0.122)	1.025 *** (0.104)
Dummy-Zero	-3.883*** (0.039)	-3.569*** (0.047)	-3.560*** (0.037)	-3.562*** (0.040)	-3.732*** (0.038)	-3.556*** (0.040)
$\rho$			0.567*** (0.009)	-1.070*** (0.037)	0.494*** (0.021)	-0.114*** (0.005)
$\lambda$					0.502*** (0.024)	-28.747*** (0.096)
$R^2$	0.478	0.683				
AIC			-3.880	-3.397	-3.870	-3.273
BIC			-3.876	-3.287	-3.865	-3.163

*Notes* : Les écart-types types sont indiqués entre parenthèses. \*\*\* significatifs à 1% ; \*\* significatifs à 5% et \* significatifs à 10%. Les colonnes 1 et 2 présentent les estimations avec les MCO, les colonnes 3 et 4 présentent les coefficients estimés avec le SAR et les deux dernières colonnes présentent les estimations avec le GSM. Le nombre d'observations est de 22500. AIC et BIC sont respectivement les critères d'information d'Akaike et de Schwarz.

L'estimation de l'équation (1.28) sans effets fixes montre que toutes les variables sont significatives, sauf UEMOA (voir Tableau 1.2 colonnes 1, 3 et 5) et SADC (Tableau 1.2 colonne 1). En incluant les effets fixes, nous trouvons que les coefficients associés à UEMOA et CEMAC ne sont pas significatifs en utilisant les MCO et le SAR (Tableau 1.2 colonnes 2 et 4). La première colonne du tableau 1.2 correspond à une estimation à la McCallum (1995) sans tenir compte des termes de résistance multilatérale. La deuxième correspond à une estimation avec les termes de résistance multilatérale à la Feenstra (2004). La significativité du coefficient associé à la variable dummy qui capte les flux nuls et le pourcentage élevé de ces flux nuls dans la base de données nous conduisent à procéder à d'autres estimations à des fins de comparaison. C'est pourquoi nous avons utilisé le modèle Tobit spatial, en particulier le SAR Tobit, car le test du Multiplicateur de Lagrange montre qu'il n'y a pas d'autocorrélation dans les erreurs, avec  $LM = 11.31$  et  $prob = 0$  (voir Anselin (1988a))Anselin (1988b). L'estimation de l'équation (1.28) avec le Tobit spatial et sans les effets fixes montre que toutes les variables sont significatives, sauf UEMOA ( voir le Tableau 1.3 colonne 5).

Tableau 1.3 – Les résultats basés sur le modèle Tobit Spatial

Model	OLS	OLS	SAR	SAR	TOBIT	TOBIT
F. E.	NO	YES	NO	YES	NO	YES
D. V.	$\ln Z_{ij}$					
distance	-1.003*** (0.022)	-1.486*** (0.022)	-1.198*** (0.020)	-1.479*** (0.020)	-1.480*** (0.024)	-1.852*** (0.024)
UEMOA	0.091 (0.121)	-0.236 (0.217)	0.141 (0.113)	-0.250 (0.187)	0.224 (0.139)	-0.882*** (0.225)
CEDEAO	-0.708*** (0.105)	-0.519*** (0.143)	-0.802*** (0.095)	-0.513*** (0.121)	-1.539*** (0.124)	-0.554*** (0.143)
CEMAC	-0.324*** (0.119)	-0.403 (0.646)	-0.388*** (0.116)	-0.411 (0.324)	-1.171*** (0.137)	-0.931** (0.373)
COMESA	-0.602*** (0.074)	-0.438*** (0.116)	-0.643*** (0.070)	-0.434*** (0.091)	-0.779*** (0.082)	-0.736*** (0.103)
SADC	0.079 (0.078)	-0.701*** (0.136)	0.155** (0.078)	-0.702*** (0.129)	0.416*** (0.094)	-0.593*** (0.153)
Enclavé	-0.391*** (0.048)	-0.429*** (0.082)	-0.437*** (0.046)	-0.424*** (0.082)	-0.714*** (0.057)	-0.427*** (0.096)
Langue	0.969*** (0.057)	1.069*** (0.052)	0.921*** (0.055)	1.064*** (0.049)	1.039*** (0.067)	1.344*** (0.059)
Monnaie	2.419*** (0.117)	1.171*** (0.121)	2.154*** (0.123)	1.164*** (0.109)	1.867*** (0.147)	0.414 *** (0.130)
Zero	-3.883*** (0.039)	-3.569*** (0.047)	-3.560*** (0.037)	-3.562*** (0.040)		
$\rho$			0.567*** (0.009)	-1.070*** (0.037)	0.556*** (0.012)	-0.040** (0.021)
$R^2$	0.478	0.683				
AIC			-3.880	-3.397	-3.273	-3.164
BIC			-3.876	-3.287	-3.163	-3.068

*Notes* : Les écart-types types sont indiqués entre parenthèses. \*\*\* significatifs à 1%, \*\* significatifs à 5% et \* significatifs à 10%. Les colonnes 1 et 2 présentent les estimations avec les MCO, les colonnes 3 et 4 présentent les coefficients estimés avec le SAR et les deux dernières colonnes présentent les estimations avec le Tobit Spatial. Le nombre d'observations est de 22500. AIC et BIC sont respectivement les critères d'information d'Akaike et de Schwarz.

L'estimation du paramètre  $\rho$  est significativement différente de zéro, suggérant que les estimations avec les MCO sont biaisées et non convergentes. Le coefficient associé est positif pour les estimations sans les effets fixes, mais négatif avec les effets fixes. Le signe négatif pour ce coefficient pourrait justifier l'utilisation des effets fixes pour capter les salaires qui ne sont pas disponibles pour la plupart des pays. En effet, le modèle théorique prédit un signe négatif pour le coefficient d'autocorrélation spatiale, signifiant que les flux commerciaux de  $i$  vers  $j$  diminuent les flux des pays tiers  $k$  vers  $j$ , car les variétés sont des proches substituts. C'est pour cette raison que nous nous concentrons uniquement sur les résultats donnés par les modèles spatiaux (en particulier les modèles SAC et SAR Tobit) avec effets fixes, qui résultent directement du modèle théorique. Le paramètre  $\rho$  peut être aussi interprété comme une mesure de la *concurrence spatiale* décrivant à la fois la structure de marché et les préférences des consommateurs pour la diversité.

Par ailleurs, il ressort de nos estimations que toutes les variables traditionnelles ont produit des signes attendus. Ainsi, on observe un signe négatif pour la distance, signifiant que les pays éloignés ont tendance à échanger moins entre eux. En effet, la distance entre les partenaires commerciaux est considérée comme étant une mesure qui affecte grandement les échanges. Elle sert en quelque sorte de *proxy* pour les coûts de transport. Par conséquent, plus la distance entre deux partenaires est grande, plus les coûts de transport seront élevés, augmentant par la même occasion les prix des produits échangés. Cela réduit la compétitivité du pays avec son partenaire et donc affecte négativement les échanges commerciaux bilatéraux.

Le coefficient associé à l'enclavement des pays est négatif et significatif, ce qui confirme l'intuition que les pays enclavés ont un handicap en matière de commerce extérieur par rapport à leurs voisins qui ont des débouchés sur la mer. Ce handicap peut être attribué à plusieurs facteurs qui augmentent les coûts et le temps de transport des biens importés ou exportés. Outre la distance par rapport aux ports, d'autres facteurs entravent le commerce extérieur de ces pays ; comme par exemple la qualité des infrastructures des pays traversés, la nature des relations commerciales, la stabilité des pays ou les pratiques administratives. Quoiqu'il en soit, il est évident qu'une zone difficilement accessible reçoit moins de biens, et est confrontée à une hausse du prix des biens importés. Le désenclavement est le seul moyen par lequel

cette zone retrouve sa place dans le concert des réseaux fonctionnels qui l'avoisinent. Ce désenclavement revêt plusieurs formes, du développement des infrastructures routières et de télécommunication à la simplification des pratiques administratives sans oublier les tensions politiques.

La langue commune s'est révélée être un déterminant important dans l'explication des flux commerciaux bilatéraux. Le coefficient qui y est associé est positif et significatif, établissant que l'usage d'une langue commune serait de nature à favoriser le commerce international. En effet, deux individus qui parlent la même langue peuvent communiquer et échanger directement entre eux, tandis que ceux qui ne parlent pas la même langue ou n'ont pas une connaissance suffisante de la langue doivent recourir au service d'un intermédiaire, par exemple un interprète. Outre les risques d'erreur, les coûts élevés d'une telle médiation peuvent empêcher certaines transactions qui sont pourtant mutuellement avantageuses pour les deux parties. Par ailleurs, l'usage d'une langue commune est souvent inhérent à une histoire commune ou une culture commune, deux phénomènes qui sont de nature à encourager les échanges. Cela peut expliquer en partie la part de l'Union européenne, en particulier la France, dans le commerce extérieur des pays de l'UEMOA et de la CEMAC.

Les résultats montrent également un coefficient positif et significatif pour l'usage d'une monnaie commune. Cela signifie qu'en réduisant les coûts des transactions, l'emploi d'une monnaie commune favorise les échanges bilatéraux. L'intuition est que les échanges entre les pays qui utilisent une monnaie commune sont moins coûteux qu'avec les pays qui utilisent leur propre monnaie. En effet, l'emploi de monnaies différentes crée une entrave additionnelle aux échanges puisque les transactions transfrontalières nécessitent une conversion monétaire et, dans certains cas, la couverture du risque de change.<sup>22</sup> En outre, les écarts de prix sont moins visibles et l'arbitrage se fait donc plus difficilement. Ces coûts seraient aussi proportionnels à la volatilité du taux de change.

En ce qui concerne les effets frontières, tous les coefficients associés aux différents blocs régionaux sont négatifs et significatifs. Ils nous permettent de capter les résistances aux échanges dues à l'établissement des blocs régionaux. Autrement

---

22. Ce risque disparaît dans le cas d'un taux de change fixe entre les monnaies, comme par exemple l'euro et le franc CFA.

dit, ils permettent de capter les effets frontières inhérents aux blocs régionaux. Pour évaluer l'ampleur des effets frontières, nous nous tournons vers les effets intra-bloc, inter-bloc et totaux présentés dans le tableau [1.4](#).

Tableau 1.4 – Effet frontières

Blocs	UEMOA	CEDEAO	CEMAC	COMESA	SADC
OLS					
Full	0.834 <sup>ns</sup>	3.873	1.908	3.115	0.856 <sup>ns</sup>
OLS FE					
Full	1.592 <sup>ns</sup>	2.697	2.230 <sup>ns</sup>	2.287	3.905
SAR					
Intra	0.870 <sup>ns</sup>	2.154	1.471	1.835	0.859
Inter	1.149 <sup>ns</sup>	0.464	0.679	0.544	1.163
Full	0.757 <sup>ns</sup>	4.642	2.165	3.369	0.738
SAR FE					
Intra	1.279 <sup>ns</sup>	1.633	1.505 <sup>ns</sup>	1.506	1.977
Inter	0.781 <sup>ns</sup>	0.612	0.664 <sup>ns</sup>	0.663	0.505
Full	1.637 <sup>ns</sup>	2.667	2.267 <sup>ns</sup>	2.270	3.911
SAC					
Intra	0.851	2.123	1.442	1.824	0.884
Inter	1.174	0.471	0.693	0.548	1.130
Full	0.724 <sup>ns</sup>	4.508	2.079	3.327	0.781
SAC FE					
Intra	1.573	1.542	1.706	1.347	2.013
Inter	0.635	0.648	0.586	0.742	0.496
Full	2.474	2.377	2.910	1.815	4.052
TOBIT					
Intra	0.801 <sup>ns</sup>	4.357	3.209	2.086	0.667
Inter	1.248 <sup>ns</sup>	0.229	0.311	0.479	1.499
Full	0.642 <sup>ns</sup>	18.985	10.297	4.352	0.444
TOBIT FE					
Intra	2.385	1.699	2.526	2.003	1.779
Inter	0.419	0.588	0.395	0.499	0.562
Full	5.690	2.887	6.3840	4.013	3.165

Notes : ns : non significatif.

Le calcul des effets frontières (intra, inter et total) met en évidence les effets positifs de l'appartenance à des blocs régionaux sur les échanges des pays membres. D'une part les blocs régionaux créent du commerce entre les membres, d'autre part ils réduisent le commerce entre les membres et le reste du monde. Ainsi, l'effet intra-bloc mesure l'augmentation du commerce à l'intérieur du bloc, tandis que l'effet inter-bloc mesure la réduction des échanges entre les pays appartenant à un bloc et les pays n'appartenant pas à ce bloc. Les flux commerciaux entre les membres d'un bloc régional et le reste du monde subissent l'effet de la frontière, ce qui a pour conséquence de réduire ces flux commerciaux. L'effet total mesure l'augmentation des échanges à l'intérieur des blocs par rapport aux échanges qui sont réalisés avec le reste du monde.

Les effets frontières avec le modèle GSM pour les cinq regroupements régionaux se présentent comme suit. Pour l'UEMOA, les résultats montrent que grâce à la mise en place de ce bloc les échanges entre les pays membres sont multipliés par environ 1.57 et que les effets frontières subis par les échanges avec le reste du monde sont multipliés par environ 0.63. L'effet total montre que les échanges entre les pays de l'UEMOA sont environ 2.74 fois plus élevés que les échanges entre les pays de l'UEMOA et le reste du monde. Concernant la CEMAC, les résultats montrent un effet intra-bloc d'un multiple de 1.70, traduisant l'ampleur du commerce à l'intérieur de la CEMAC. Autrement dit, la mise en place de la CEMAC a multiplié les échanges des pays membres de 1.70. L'effet inter-CEMAC est de 0.58, captant ainsi les effets frontières subis par les échanges entre les pays de la CEMAC et les autres pays non membres de la CEMAC. L'effet total montre que les pays de la CEMAC échangent 2.91 fois plus qu'ils ne le font avec les autres pays hors CEMAC. Les estimations pour le bloc SADC montrent que le coefficient relatif à l'effet intra-bloc est de 4.05, les échanges à l'intérieur de la SADC sont multipliés par 2.01 et ceux avec les pays hors SADC sont subissent 0.49 fois plus les effets frontières. Ces résultats résument le fait que les échanges entre les pays de la SADC ont augmenté par rapport à ceux qui sont effectués entre les pays de la SADC et les pays non-SADC ; la création de la SADC a conduit à une augmentation des échanges entre les pays membres et à une réduction des échanges avec le reste du monde. Il convient de noter qu'au début l'Afrique du Sud ne faisait pas partie des pays membres, mais aujourd'hui

elle constitue un membre dominant de la région. La région dépend de l'Afrique du Sud plus comme source d'importation que comme un marché d'exportation. Pour la CEDEAO, les résultats montrent que les pays de la CEDEAO échangent 2.37 fois plus entre eux qu'ils ne le font avec les pays non membres de la CEDEAO. Quant aux échanges à l'intérieur de la CEDEAO, ils ont augmenté de 1.54 et les échanges impliquant les pays de la CEDEAO et les pays tiers sont réduits de 0.64.

Certes, les résultats montrent un impact positif de la CEDEAO, il n'en demeure pas moins que cet impact est faible par rapport ce que l'on espérait. Nous nous attendions à un effet frontière plus élevé pour la CEDEAO, car l'espace CEDEAO englobe celui de l'UEMOA. Cela montre qu'en dépit des tentatives de rapprochement, il y a toujours un manque total de synergie entre les deux organisations. Nous constatons enfin que les pays membres du COMESA échangent 1.81 fois plus entre eux qu'avec le reste du monde, et les échanges avec le reste du monde subissent les effets frontières de l'ordre de 0.74 fois. Concernant les échanges à l'intérieur, ils ont été multipliés par 1.34 environ.

Les estimations avec le modèle Tobit spatial donnent des résultats plus optimistes qu'avec le SAC. A part pour la SADC, les effets frontières pour tous les blocs ont augmenté. Les résultats montrent que les pays de l'UEMOA échangent 5.7 fois plus qu'ils ne le font avec les autres pays. De plus, les échanges à l'intérieur de l'UEMOA sont multipliés par 2.38, tandis que les échanges avec le reste du monde sont réduits de 0.41. Ces derniers résultats confirment le manque de synergie entre l'espace l'UEMOA et celui de la CEDEAO, car les effets frontières pour la CEDEAO montrent un effet total de 2.88 tandis que cet effet est de 5.69 pour l'UEMOA. On fait le même constat pour l'effet intra-bloc qui est faible pour la CEDEAO. Pour la CEMAC, l'effet frontière total indique que les pays membres échangent 6.38 fois plus entre eux qu'ils ne le font avec le reste du monde. La création de la CEMAC a permis d'augmenter le commerce intra-zone de 2.52 et les échanges avec le reste du monde ont diminué de 0.39. Les échanges entre les pays du COMESA sont multipliés par 2, tandis que ceux qui sont réalisés avec le reste du monde sont réduits de 0.499.

Enfin, il résulte de tout ce qui précède que les blocs régionaux quelle que soit leur nature (union douanière, zone de libre échange, union monétaire etc.) ont globalement un effet positif sur les flux intra-bloc. Les échanges au sein des blocs régionaux

ont augmenté tandis que les échanges avec le reste du monde ont baissé. Nous pouvons noter que les effets intra-blocs sont plus élevés pour les blocs qui ont avancé dans leur processus d'intégration régionale. Par contre les effets inter-blocs sont plus faibles pour ces blocs. Cela peut s'interpréter comme le fait que plus les pays sont intégrés plus ils ont tendance à échanger entre eux, réduisant ainsi les échanges avec le reste du monde. Les résultats pour l'UEMOA et la CEMAC peuvent s'expliquer par le degré d'intégration de ces regroupements régionaux. En effet, les deux blocs sont à la fois une union douanière et une union monétaire, ce qui favorise les échanges entre les pays les membres. On peut dire que l'intégration régionale est plus avancée dans l'UEMOA et la CEMAC que dans les autres blocs régionaux. En outre, l'UEMOA et la CEMAC sont un important marché d'exportation pour les pays dominants dans les deux blocs (Cameroun pour la CEMAC et Sénégal, Bénin et Côte d'Ivoire pour l'UEMOA). Ils sont le premier marché d'exportation pour les pays enclavés dans les deux blocs. Le petit effet de frontière pour la CEDEAO peut être expliqué d'une part par le manque de synergie entre les pays de la CEDEAO et ceux de l'UEMOA, d'autre part par le retard dans la mise en oeuvre des accords régionaux. Par ailleurs, l'interdépendance est accentuée par le foisonnement des blocs régionaux qui peut entraîner une augmentation significative des effets inter-blocs, réduisant ainsi l'effet total. De plus, ce foisonnement des blocs régionaux entraîne non seulement des retards dans la mise en pratique, mais aussi alourdit les démarches administratives. Un autre obstacle majeur pour le développement du commerce intra-africain est le manque de diversification des secteurs d'exportations, dû à la faible industrialisation des pays. Cette faible industrialisation conduit les pays à n'exporter que des produits primaires qui ne répondent pas forcément aux besoins des autres pays africains. Ainsi, l'absence de complémentarité peut accroître les disparités entre les membres d'un bloc régional, diminuant leur engagement en faveur de l'intégration.

## 5 Conclusion du chapitre 1

Dans ce chapitre 1, nous avons montré la nécessité de tenir compte de l'interdépendance spatiale dans l'analyse des flux commerciaux. Cette interdépendance peut provenir des barrières aux échanges et aussi du degré de substituabilité entre les différents produits échangés. Utilisant le modèle de gravité à la Behrens *et al.* (2012), nous avons montré comment l'interdépendance spatiale peut être modélisée en commerce international. Cette modélisation a conduit à un modèle structurel spatial connu sous le vocable de *General Spatial Model*. Ce modèle nous a permis de mettre en évidence l'interdépendance spatiale, d'une part à travers l'interdépendance entre les flux commerciaux, d'autre part à travers les effets frontières. L'interdépendance spatiale dans les effets frontières s'est traduite par une décomposition de ceux-ci en deux éléments : le premier captant les effets à l'intérieur du bloc régional ( l'effet intra-bloc) et le deuxième captant les effets entre les pays membres d'un bloc régional et les pays qui ne font pas partie de ce bloc ( l'effet inter-bloc).

Afin de tester ce modèle spatial, nous avons utilisé des données concernant cinq regroupements régionaux africains. Grâce à la prise en compte de l'interdépendance spatiale, nous avons pu montrer que les échanges au sein des blocs régionaux ont augmenté tandis que les échanges avec le reste du monde ont baissé. Nous avons pu noter également que les effets intra-blocs sont plus élevés pour les blocs qui ont avancé dans leur processus d'intégration régionale, par contre les effets inter-blocs sont plus faibles pour ces blocs. Cela peut s'interpréter par le fait que plus les pays sont intégrés plus ils ont tendance à échanger entre eux, réduisant ainsi leur dépendance à l'égard des tiers. Pour le cas particulier de l'Afrique, l'interdépendance est accentuée par le foisonnement des blocs régionaux qui peut entraîner une augmentation significative des effets inter-blocs, réduisant l'effet total. Les résultats ont également montré que l'interdépendance spatiale entre les flux commerciaux s'est traduite par une relation négative, suggérant une *concurrence spatiale* décrivant à la fois la structure de marché et les préférences des consommateurs pour la diversité.

Ces résultats nous paraissent particulièrement intéressants car ils montrent la nécessité de prendre en compte l'interdépendance spatiale dans toute étude impliquant le commerce international, par exemple une étude portant sur la relation commerce

international et croissance, ou entre commerce international et développement. Dans le cas particulier de cette thèse dans laquelle nous étudions la relation entre les effets du commerce international et l'innovation, il nous semble intéressant de tenir compte de l'interdépendance spatiale. Cette interdépendance peut affecter la structure des échanges commerciaux et les transferts de technologie qui en résultent. Ainsi, ce chapitre 1 servira de base à la réflexion développée dans les prochains chapitres.

---

## Chapitre 2

# L'interdépendance spatiale et la diffusion technologique

### 1 Introduction

Les modèles de croissance endogène ont mis en évidence le rôle du commerce international dans la transmission des connaissances technologiques. Cependant, cette transmission n'est pas universelle car tous les pays n'en profitent pas de la même manière. En effet, les importations qui sont supposées contribuer à la transmission technologique sont influencées par des facteurs tels que les coûts de transport et le degré de substituabilité entre les biens importés. Ces deux facteurs sont susceptibles de créer une interdépendance spatiale entre les pays. En outre, la diffusion technologique dépend elle-même de la proximité physique entre émetteur et récepteur des connaissances et semble se confiner à des espaces géographiques réduits (Keller, 2002a). Par conséquent, il semble opportun de mettre en avant l'enjeu de l'interdépendance spatiale entre les pays pour étudier la diffusion technologique.

L'objectif de ce chapitre<sup>1</sup> est de proposer une méthode alternative pour estimer les externalités technologiques tout en tenant compte de l'interdépendance spatiale entre les pays. Plus précisément, nous proposons un modèle structurel en montrant comment un modèle Durbin spatial peut être obtenu à partir d'un cadre théorique. Nous contribuons ainsi au raffinement des méthodologies permettant de dériver un

---

1. Quelques idées de ce chapitre font l'objet d'une publication voir Tientao *et al.* (2015)

modèle spatial directement d'un modèle théorique (Ertur et Koch, 2007). A cet effet, nous nous basons sur un modèle de croissance endogène à variétés des biens, où chaque variété est le résultat d'une innovation. A partir de ce modèle, nous décomposons la productivité totale des facteurs (PTF) en deux composantes ; la première appelée *composante de qualité* permet de capter le niveau de la technologie en vigueur dans le pays, la seconde appelée *composante de variété* prend en compte l'effet des variétés sur la hausse de la PTF. Pour traiter la composante de qualité, nous utilisons la distance de chaque pays par rapport à la frontière technologique. Nous supposons ainsi que la qualité de la technologie dépend négativement de la distance de chaque pays à sa propre frontière technologique. Plus le pays est proche de la frontière technologique plus la qualité de sa technologie est élevée, contrairement aux pays qui sont loin derrière la frontière technologique. Quant à la composante de variété, nous supposons qu'elle dépend des dépenses en R&D combinées au capital humain. La raison en est que la technologie est souvent tacite et complexe, elle ne peut pas être simplement copiée et transplantée dans un autre pays. Le pays bénéficiaire doit plutôt posséder une main-d'œuvre qualifiée afin de maîtriser et d'adapter la technologie étrangère aux conditions de la production locale. Ce faisant, nous obtenons un modèle structurel correspondant à un modèle Durbin spatial. Ce modèle permet de mieux expliquer les externalités technologiques à travers le commerce international et la distance géographique. Par la même occasion, on capte mieux les effets indirects du commerce international sur les externalités soulignés par Lumenga-Neso *et al.* (2005) et la dépendance spatiale soulignée par Ertur et Musolesi (2015).

## 2 L'effet du commerce international dans la transmission de la technologie

Dans cette section, nous passons en revue la littérature sur la relation entre le commerce international et l'innovation. Nous commençons par présenter la littérature théorique analysant un effet favorable ou défavorable du commerce international sur l'innovation. Ensuite, nous présentons les principales études empiriques qui ont

essayé d'expliquer les externalités technologiques à travers le commerce international.

## 2.1 Le débat théorique

Sur le plan théorique, l'ouverture d'un pays au commerce mondial est justifiée par sa spécialisation qui dépend de son niveau technologique ou de l'abondance de ses ressources. Chaque pays se spécialise dans les secteurs pour lesquels il dispose d'un avantage comparatif lié à ses dotations factorielles. Cette spécialisation qui développe un commerce de produits différents (commerce interbranche) et augmente son bien-être. Cependant, deux remarques peuvent être faites à ce stade. Tout d'abord, le gain qui en résulte serait statique (donné une fois pour toute) et assez faible (Fontagné et Guérin, 1997). Ensuite, des pays à dotations factorielles identiques développent un commerce de produits similaires (commerce intra-branche) qui reflète les économies d'échelle et les préférences pour la diversité (Krugman, 1979, 1980). Ce commerce intra-branche permet d'augmenter le nombre de variétés des biens disponibles dans une économie. Si les variétés de biens sont utilisées comme *inputs* intermédiaires, l'augmentation de leur nombre accroît le potentiel de production. Cette augmentation permet à un stock donné de capital de s'étaler sur un plus grand nombre d'utilisations, procurant ainsi des rendements d'échelle croissants endogènes.

Ainsi sont nés les modèles de croissance endogène à variétés de biens (Romer, 1987, 1990 ; Rivera-Batiz et Romer, 1991b). Ces modèles sont basés sur l'idée selon laquelle l'innovation provoque une hausse de la productivité grâce à la création de nouvelles variétés de biens. Ces nouvelles variétés ne représentent pas nécessairement des améliorations par rapport aux anciennes variétés. La croissance de la productivité s'explique à la fois par une spécialisation accrue du travail, les travailleurs ayant à leur disposition un nombre croissant d'*inputs* intermédiaires, et par des externalités de la recherche qui bénéficient à chaque innovateur étant donné que ce dernier accède à l'ensemble du stock de connaissances. Les idées sont des biens non-rivaux, ce qui signifie que les nouveaux innovateurs ont la possibilité de les utiliser librement dans leur propre activité de recherche (Aghion et Howitt, 2009, Chap. 3). Ainsi, chaque variété de biens représente une innovation qui dépend des activités de

R&D et des externalités.

Il existe une abondante littérature théorique sur la relation entre l'ouverture au commerce international et l'innovation. L'ouverture au commerce génère à la fois des gains statiques avec une qualité plus élevée ou davantage de variétés de biens et des gains dynamiques avec un taux d'innovation plus rapide (Grossman et Helpman, 1991c,b,a). D'un côté, Rivera-Batiz et Romer (1991b,a) et Grossman et Helpman (1991c) expliquent que les producteurs ont accès à de nouvelles variétés de biens grâce aux importations. Le commerce international augmente le nombre de variétés de biens réduisant le coût de l'innovation et donc augmente la possibilité de créer des nouvelles variétés dans le futur. Cependant, l'impact d'une hausse du nombre de variétés sur la productivité dépend de l'élasticité de substitution entre différentes variétés ou d'une modification de la part des dépenses affectées aux biens nouveaux existants ou disparus. L'augmentation du nombre de variétés n'aura pas un impact important sur la productivité si ces nouvelles variétés sont de proches substituts pour les variétés déjà existantes ou si la part des nouvelles variétés est relativement faible par rapport à celles qui existent déjà (Broda *et al.*, 2006).

D'un autre côté, Young (1991), Stokey (1991) et Grossman et Helpman (1995) ont cherché à expliquer la relation entre l'ouverture à l'échange et l'innovation à travers un processus d'apprentissage par la pratique. La principale idée de Young (1991) est que l'ouverture au commerce international inhibe l'apprentissage par la pratique dans les économies moins développées. Ces économies se spécialisent alors dans des activités de production plus traditionnelles où les opportunités d'apprentissage par la pratique ont déjà été épuisées. En effet, les mouvements de spécialisation font que certains pays ne peuvent produire de l'innovation et se trouvent spécialisés dans des secteurs peu porteurs en termes de technologie. Dans ces conditions, le transfert technologique via les importations de biens d'équipement devient la seule source d'accumulation de connaissances. Les économies développées réalisent ainsi des niveaux de progrès technique élevés au détriment des économies moins développées (Stokey, 1991). Plus généralement, Grossman et Helpman (1995) ont montré que l'effet du commerce international sur l'accélération ou le ralentissement de la croissance dans un pays par rapport au cas d'autarcie dépend de l'effet du commerce sur la spécialisation du pays et aussi sur la portée internationale des externa-

lités d'apprentissage par la pratique. Le commerce international ne conduit pas à la convergence en taux de croissance des revenus par tête entre les pays lorsque les externalités d'apprentissage par la pratique ont une portée nationale, alors qu'il peut conduire à une convergence lorsque les externalités ont une portée internationale (Krugman, 1987). Dans cette même optique, Devereux et Lapham (1994) ont étendu le modèle de Rivera-Batiz et Romer (1991b) au cas de deux pays ayant des niveaux initiaux différents de productivité. Les auteurs montrent que l'ouverture au commerce international inhibe l'innovation dans les pays initialement plus pauvres.

Par ailleurs, Helpman (1993) a analysé l'interaction entre le commerce international et l'imitation en utilisant un modèle de variété de biens. Dans son travail, Helpman (1993) considère que la R&D et l'innovation se produisent dans la région la plus développée qu'il appelle le "Nord". Ensuite, une innovation sans coût prend place dans le Sud à un taux constant. Il en résulte qu'un accroissement des droits de propriété intellectuelle n'améliore pas forcément la croissance si les économies sont ouvertes, contrairement à ce qui se produirait dans des économies fermées. D'une part, la réduction de l'imitation accroît la durée de vie espérée de l'innovation, bénéficiant ainsi aux innovateurs du Nord. D'autre part, les entreprises dans le Nord consacrent plus de temps à la production, ce qui permet l'augmentation de la demande de travail qualifié et donc celle du salaire entraînant une augmentation du coût de l'innovation dans le Nord. Parente et Prescott (1994) ont mis l'accent sur l'importance des barrières à l'adoption de la technologie dans l'explication des différences au niveau des revenus par habitant dans les pays. Toutes les entreprises, quel que soit leur pays d'implantation, peuvent accéder à la technologie disponible dans l'économie mondiale, mais le coût d'un tel accès peut différer d'un pays à un autre. Cette différence est due aux barrières qui affectent l'adoption de la technologie. Ces barrières peuvent être d'ordre juridique, politique ou social et ne sont pas les mêmes dans tous les pays. Le commerce international peut affecter la croissance en réduisant les barrières à l'adoption de la technologie. Eaton et Kortum (2001, 2002) ont combiné la structure de la diffusion de technologie modélisée par Eaton et Kortum (1999) avec le modèle Ricardien de commerce international. Dans leur modèle, le commerce international permet à un pays d'accéder à des biens étrangers et aux technologies qui en résultent. En se spécialisant dans la production des biens

pour lesquels ils disposent d'un avantage comparatif, les pays peuvent tirer profit du commerce international car pour un niveau de ressources donné, le niveau optimal d'output est plus élevé en s'ouvrant qu'en autarcie. Melitz (2003) a développé un modèle dynamique avec des entreprises hétérogènes pour analyser les effets intra-industrie du commerce international. Il a montré que le commerce international permet seulement aux entreprises les plus productives de pénétrer le marché d'exportation. Parallèlement, les entreprises les moins efficaces vont quitter le marché, augmentant ainsi la productivité globale dans l'industrie.

Les travaux théoriques sur la relation entre le commerce international et l'innovation ne permettent pas de trancher quant à un effet favorable ou défavorable de l'ouverture internationale sur l'innovation. Toutefois, il en ressort que le commerce international affecte l'innovation de trois façons.

- D'abord, la libéralisation des échanges permet d'augmenter la taille des marchés que les innovateurs peuvent s'approprier. Elle permet aussi d'accroître l'échelle de production et donc l'étendue des externalités d'apprentissage par la pratique. Cela suggère que les économies de grande taille ont des taux de croissance plus élevés. Cependant, cette prédiction est en partie réfutée dans des études empiriques (Jones, 1995a,b). Quant à l'échelle de production, Broda *et al.* (2006) ont montré que les nouvelles variétés contribuent pour une faible part à la croissance de la productivité pour les pays développés, mais cette part est beaucoup plus importante pour les pays en développement.
- Ensuite, l'ouverture au commerce permet la transmission de la technologie entre les pays, via les importations. Quant aux exportations, elles permettent aux entreprises de couvrir les coûts de la R&D, ce qui ne serait pas toujours possible si la production était uniquement destinée au marché intérieur plus restreint. En effet, les exportations étendent la taille du marché sur lequel il est possible de faire des profits, d'où une plus grande incitation à investir dans l'innovation. Comme une grande partie des coûts de R&D sont fixes (ils ne varient pas en fonction du volume des ventes), une entreprise qui vend à la fois sur le marché intérieur et sur les marchés étrangers peut être en mesure d'imputer ses investissements en R&D sur un volume de vente plus important. De telles économies d'échelle revêtent une importance particulière pour les

pays dont le marché intérieur est plus limité. L'objet de ce chapitre porte sur ce deuxième effet du commerce international sur l'innovation.

- Enfin, la libéralisation des échanges augmente la concurrence sur le marché domestique en permettant aux entreprises étrangères de concurrencer les entreprises domestiques. Par exemple, une concurrence féroce découlant de l'entrée des multinationales (FMN) est jugée parfois préjudiciable à l'économie, car elle évince les entreprises domestiques les moins efficaces du marché (Kokko, 1996). Ce troisième effet sera traité dans le prochain chapitre.

## 2.2 Les externalités technologiques véhiculées par le commerce international

### L'approche structurelle

La plupart des études portant sur les externalités se posent la question de savoir comment les activités d'innovation dans les pays étrangers peuvent impacter le niveau de la technologie domestique. Ces études sont basées pour la plupart sur les prédictions des modèles de croissance endogène. Une variante de ces modèles suppose que la croissance à long terme est déterminée de manière endogène par les activités de R&D et les externalités technologiques transmises via les échanges des variétés de biens considérées comme des *inputs* intermédiaires (Keller, 2002b). Le bien final est produit selon la fonction de production suivante :

$$y = Al^\alpha d^{1-\alpha}, \quad 0 < \alpha < 1 \tag{2.1}$$

où  $A$  est une constante positive,  $l$  correspond à la main d'œuvre utilisée dans la production et  $d$  est un bien composite constitué d'*inputs* intermédiaires différenciés horizontalement, avec :

$$d = \left( \int_0^{n^u} x(s)^{1-\alpha} ds \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \tag{2.2}$$

où  $x(s)$  correspond à la quantité de la variété  $s$ ,  $n^u$  est la masse des biens intermédiaires utilisés dans le pays. La masse des biens intermédiaires  $n^u$  est différente de la masse des variétés  $n$  produites par ce pays. Cette dernière augmente avec les dépenses en R&D notée  $(\chi)$ . En supposant que les biens intermédiaires ne deviennent

pas obsolètes, la masse des variétés produites par le pays à chaque instant  $t$  est donnée par :

$$n = \int_{-\infty}^T \chi(t) dt \quad (2.3)$$

Chaque bien intermédiaire est produit selon la technologie un pour un. Ainsi, à l'équilibre le stock de capital est donnée par  $k = n^u x$ . En substituant  $x$  dans l'équation (2.2) puis  $d$  dans l'équation (2.3) on arrive à

$$y = A (n^u)^\alpha l^\alpha k^{1-\alpha} \quad (2.4)$$

En définissant la productivité totale des facteurs comme par  $z \equiv \frac{y}{l^\alpha k^{1-\alpha}}$ , nous pouvons écrire

$$\ln z = \ln A + \alpha \ln n^u \quad (2.5)$$

L'équation (2.5) montre que la productivité dépend positivement de la masse des variétés utilisées (Ethier, 1982). La masse des variétés utilisée dans le pays  $n^u$  est composée des variétés produites dans le pays  $n$  et de celles qui sont importées. Les travaux empiriques sur les externalités diffèrent selon le traitement réservé à cette masse des variétés. L'étude pionnière en la matière est celle de Coe et Helpman (1995).

### Coe et Helpman (1995) et ses extensions

L'un des papiers les plus influents est celui de Coe et Helpman (1995). Les auteurs ont testé les prédictions des modèles de croissance endogène de Grossman et Helpman (1991c) et Rivera-Batiz et Romer (1991a) en économie ouverte selon lesquelles les R&D étrangères créent de nouveaux *inputs* intermédiaires et des externalités auxquelles le pays domestique peut accéder grâce aux importations. Coe et Helpman (1995) se sont attachés à montrer que la PTF d'un pays dépend non seulement de sa propre accumulation de capital sous forme de R&D, mais aussi du stock de R&D de ses partenaires commerciaux. Étant donné qu'une partie des biens intermédiaires est importée, les variations dans la PTF sont expliquées à la fois par les stocks domestiques et étrangers de R&D. Coe et Helpman (1995) proposent d'estimer la relation suivante :

$$\ln \text{TFP}_i = \beta_0 + \beta_1 \ln \text{R\&D}_i + \beta_2 \ln \overline{\text{R\&D}}_i$$

où  $R\&D_i$  est le stock de R&D domestique et  $\overline{R\&D}_i$  est le stock de R&D étranger bénéficiant au pays  $i$ . Ce dernier est calculé en tenant compte à la fois de la structure des importations, de la part des différents partenaires et du niveau des importations :

$$\overline{R\&D}_i = \sum_{j \neq i} w_{ij} R\&D_j$$

où  $w_{ij}$  représente la part des importations en provenance du pays  $j$ . Cela permet de vérifier la prédiction du modèle de Grossman et Helpman (1991c) selon laquelle : *si un pays importe initialement depuis un partenaire qui a un niveau élevé des dépenses en R&D, il est fort probable qu'il bénéficie de transfert technologique important à travers les importations des biens intermédiaires. Cela se traduit par une hausse de la productivité.* En utilisant un échantillon de 21 pays de l'OCDE plus Israël pour la période allant de 1971 à 1990, Grossman et Helpman (1991c) ont montré que les deux stocks de R&D, national et étranger, ont des effets importants sur la PTF. Plus particulièrement, l'élasticité de la PTF par rapport au stock de R&D étranger est aussi important que celle qui est relative au stock de R&D domestique dans les petits pays. Par contre dans les grands pays (G7), l'élasticité de la PTF par rapport au stock de R&D domestique est plus importante que celle qui est relative au stock de R&D étranger. Par conséquent, les R&D ont un impact plus important dans les grands pays que dans les petits pays. Le stock de R&D étranger entraîne une hausse plus importante de la PTF si la part des importations est plus élevée dans le PIB du pays domestique. Il en résulte que *plus un pays est ouvert au commerce international, plus l'impact des R&D étrangères sera important.* Ce dernier résultat est mis en évidence par leur seconde spécification :

$$\ln TFP_i = \beta_0 + \beta_1 \ln R\&D_i + \beta_2 m_i \ln \overline{R\&D}_i$$

où  $m_i$  est la part des importations dans le PIB du pays  $i$ . Ce terme traduit l'idée que les pays qui importent plus par rapport à leur PIB bénéficient plus des R&D étrangères, même si au départ les pays ont la même structure des importations.

Depuis l'article pionnier de Coe et Helpman (1995), plusieurs études empiriques ont établi que les externalités de R&D entre les pays, via les échanges commerciaux, ont été un élément important dans la hausse de la PTF (Coe *et al.*, 1997 ; Bayoumi

*et al.*, 1999 ; Crespo *et al.*, 2004 ; Coe *et al.*, 2009 ; Seck, 2012). Coe *et al.* (1997) se sont appuyés sur l'article de Coe et Helpman (1995) pour étudier la transmission de la technologie des pays développés vers les pays moins développés. Ils ont montré qu'une hausse de 1% du stock de R&D dans les pays développés entraîne une croissance de la production de 0.06%. Concernant, la transmission de la technologie des pays industrialisés vers les pays moins développés, un schéma régional s'est dessiné. Les pays d'Amérique centrale et du Sud qui échangent beaucoup plus avec les États-Unis voient leurs productivités fortement influencées par les R&D effectuées aux États-Unis. De même pour les pays africains, leurs productivités sont fortement influencées par le niveau des dépenses européennes en R&D, car ces pays commercent beaucoup plus avec les pays européens. Le Japon étant le principal partenaire commercial des pays d'Asie, les R&D au Japon impactent fortement la productivité de ces pays.

Bayoumi *et al.* (1999) ont essayé d'évaluer quantitativement l'importance des dépenses en R&D et les échanges commerciaux dans la hausse des productivités et de la croissance. Les estimations des externalités de R&D entre pays développés et des pays développés vers les pays sous développés (Coe *et al.*, 1997) leur ont permis de développer un modèle macro-économétrique. L'objectif est de simuler l'influence des R&D et des échanges sur l'évolution de l'économie mondiale en mettant l'accent sur l'interaction entre les pays. En utilisant un échantillon de 12 pays (les pays du G7 plus cinq pays développés et sous-développés), les simulations ont montré que les externalités de R&D, via les échanges commerciaux, ont un rôle majeur dans la hausse des productivités. Les dépenses en R&D des pays développés augmentent non seulement la productivité de ces pays, mais aussi la productivité des pays sous-développés. Par conséquent, le commerce international donne aux pays sous-développés un accès à la technologie étrangère, contribuant ainsi à la croissance économique de ces pays en développement. Ceci implique que le pays le plus ouvert au commerce bénéficiera de la R&D étrangère. Cette idée selon laquelle le commerce international est un vecteur important de transmission technologique ou des externalités de R&D d'un pays à un autre, est aussi confirmée par Keller (2002b).

Crespo *et al.* (2004) ont modifié le modèle utilisé dans l'article de Benhabib et Spiegel (1994) en introduisant une mesure des externalités internationales de techno-

logie fondée sur la combinaison de deux variables : l'intensité et la structure géographique des importations combinées avec les capacités technologiques des différents pays qui sont à l'origine de ces importations. Les externalités de R&D contribuent à la hausse des productivités des pays de l'OCDE, mais dans une moindre mesure que les dépenses en R&D effectuées dans ces pays (Crespo *et al.*, 2004). On retrouve ici l'un des résultats de Coe et Helpman (1995), à savoir que l'élasticité de la PTF par rapport au stock de R&D domestique est plus importante que celle relative au stock de R&D étranger pour les pays développés. Ces résultats suggèrent que les pays développés bénéficient moins des externalités technologiques transmises par le commerce international que les pays sous-développés. Enfin, la contribution la plus importante de cette étude est le fait qu'elle montre que la capacité des pays à exploiter les technologies des partenaires commerciaux dépend de leur dépense en R&D et de leur dotation en capital humain.

Coe *et al.* (2009) ont revu l'analyse empirique de Coe et Helpman (1995) en utilisant un ensemble de données qui vont de 1971 jusqu'en 2004 pour un échantillon de 24 pays. Les résultats sont globalement similaires à ceux qui ont été trouvés par Coe et Helpman (1995). En outre, Coe *et al.* (2009) ont étendu l'analyse empirique pour examiner l'impact des facteurs institutionnels sur la hausse des productivités. Il ressort de cette étude que dans les pays où le climat des affaires est bon et où le niveau de l'éducation est plus élevé, les externalités technologiques contribuent au même titre que le capital humain et les efforts de R&D, à la hausse de la PTF. Une forte protection par des brevets est associée à un niveau élevé de productivité, des rendements de R&D plus élevés et des externalités technologiques plus importantes. Finalement, le système juridique d'un pays a une influence sur la manière dont il peut profiter de ses propres R&D et des R&D étrangères. La qualité des institutions et la bonne gouvernance sont considérées comme des facteurs clés pour la R&D et les externalités technologiques. Les États doivent garantir leur neutralité et laisser le marché conduire les affaires économiques. Les domaines très sensibles comme le marché de devises ou le processus d'attribution des marchés publics nécessitent un État crédible pour rassurer les investisseurs privés nationaux ou étrangers. Ainsi, une bonne gouvernance offre un cadre favorable pour la politique de R&D et, par la même occasion, à la croissance économique. Elle peut promouvoir le libre accès aux marchés

ainsi que le respect des contrats engagés en suivant des normes internationales. Ceci au niveau de l'attribution des contrats, en faisant appel à la concurrence, qu'au niveau de leur exécution (Sahbi, 2011).

Seck (2012) s'est attaqué à certaines limites de Coe *et al.* (1997) dans l'analyse des externalités technologiques Nord-Sud et dans une moindre mesure aux autres travaux sur les externalités technologiques. Les importations et les investissements directs étrangers sont les principaux canaux de transmission de technologie des pays développés vers les pays sous-développés et la grande partie de ces externalités est véhiculée par les importations (Seck, 2012). Les externalités technologiques Nord-Sud sont plus importantes chez Seck (2012) que chez Coe *et al.* (1997), mais les externalités Nord-Nord sont moins importantes. En outre, la différence en matière de transfert de technologie entre les pays sous-développés peut être attribuée à des facteurs tels que la qualité du capital humain, la qualité des institutions ou encore le degré d'ouverture de ces pays. Bianco et Niang (2012) quant à eux ont utilisé des techniques économiques qui sont basées sur les facteurs communs pour estimer les externalités technologiques. Leurs résultats mettent en évidence l'importance des externalités de R&D et celles du capital humain dans la hausse de la PTF.

Certaines études ont révélé que les externalités découlant de l'ouverture internationale sont largement déterminées par la capacité du pays domestique à adapter la technologie étrangère à la production locale (Keller, 1996 ; Blomstrom et Sjöholm, 1999). En effet, un écart technologique plus important entre le pays d'origine et le pays étranger peut entraîner des difficultés pour le pays d'origine à utiliser la technologie étrangère pour innover, traduisant une faible capacité d'absorption du pays d'origine. De plus, la possibilité de rattrapage pourrait être mise en cause. Par conséquent, la disponibilité du capital humain adéquat et d'infrastructures de base est cruciale pour l'adoption et le développement de technologies de pointe (Borensztein *et al.*, 1998). Busson et Villa (1997) quant à eux ont mis l'accent sur la spécialisation des pays. Les auteurs ont souligné qu'il existe deux cas où l'ouverture favorise la croissance. Dans le premier, le pays se spécialise dans des produits dont la demande mondiale croît rapidement ; il réalise alors une bonne spécialisation inter-branche qui tire sa croissance. Au cours de son développement, une augmentation naturelle de son commerce intra-branche évincera progressivement la spécialisation

inter-branche initiale. Dans le second, le pays ne parvient pas à ce type de spécialisation ; il gagnera alors à développer fortement le commerce intra-branche qui lui apportera une grande diversité de biens capitaux et lui permettra donc d'augmenter la productivité globale de ses facteurs de production, ce qui sera bénéfique à sa croissance. Il évitera ainsi le piège d'une spécialisation excessive sur des produits peu porteurs ou très risqués du point de vue de la demande en volume.

Plusieurs travaux ont critiqué les variables construites et les hypothèses développées par Coe et Helpman (1995). Les critiques ont porté essentiellement sur la construction du stock de capital de la R&D étranger. Dans cette optique, Lichtenberg et v. Pottelsberghe de la Potterie (1998) ont proposé une nouvelle variable permettant de capter le stock de R&D étranger. En estimant les mêmes équations que Coe et Helpman (1995), les auteurs confirment l'hypothèse d'existence d'une corrélation positive entre le taux d'ouverture à l'échange et les externalités de la R&D étrangère appropriée par chaque pays. Plus un pays est ouvert, plus il bénéficie des externalités technologiques de la part de ses partenaires commerciaux. Par ailleurs, Keller (1998) a essayé de tester la validité statistique de la relation entre les échanges internationaux et les externalités technologiques. Dans la construction du stock de capital de R&D étranger, il utilise des pondérations fictives calculées par des simulations de *Monte Carlo* plutôt que de considérer des pondérations basées sur les proportions d'importations réelles. Cette nouvelle mesure du stock de R&D étrangère donne des résultats similaires à ceux qui sont obtenus par les importations. Par conséquent, l'analyse de Coe et Helpman (1995) ne permet pas de tirer des conclusions quant à l'importance des importations comme canal de diffusion pour la technologie.<sup>2</sup> Les résultats sont statistiquement plus significatifs et les coefficients plus élevés ont remis en cause les estimations de Coe et Helpman (1995), et donc la relation entre les externalités technologiques et le commerce international.

A la différence des travaux théoriques sur la relation entre l'ouverture et l'innovation, les travaux empiriques ont abouti dans la plupart des cas à des résultats homogènes précisant un effet positif de l'ouverture sur l'innovation. Cependant, ces travaux présentent des insuffisances liées aux indicateurs retenus pour mesurer l'ou-

---

2. Cependant, Keller (1998) a été lui-même critiqué par Coe et Hoffmaister (1999a) sur la base des pondérations aléatoires qu'il a utilisées.

verture et notamment aux méthodes économétriques utilisées qui ne permettent pas de contrôler de façon rigoureuse les externalités technologiques. De plus, les résultats empiriques suggèrent que les externalités technologiques profitent à tous les pays et notamment aux pays en développement. Or, cette uniformité supposée de la diffusion des externalités technologiques est peu vraisemblable. Les importations qui sont supposées contribuer à la diffusion technologique, sont influencées par des facteurs géographiques et, en particulier, par la distance physique séparant importateurs et exportateurs. Ceci nous amène à étudier le rôle de l'espace dans la transmission de la technologie.

### **3 Le rôle de l'espace dans la diffusion des externalités technologiques**

#### **3.1 Les caractéristiques des externalités technologiques**

On attribue généralement les premiers travaux sur les externalités de connaissances à Arrow (1962b). Afin de répondre aux critiques adressées aux modèles de croissance néoclassique, Arrow (1962b) propose une solution qui consiste à supposer que la croissance du progrès technique est le produit fortuit de l'expérience acquise lors de la production de nouveaux biens d'investissement, phénomène qu'il qualifie d'apprentissage par la pratique. La croissance à long terme est ainsi expliquée par les externalités de connaissances dues à l'apprentissage par la pratique. C'est aussi dans le but d'expliquer la croissance économique que Romer (1986, 1990) a mis en avant les externalités technologiques. En effet, la connaissance technologique est un bien particulier, dont les lois d'usages se distinguent de celles des biens économiques usuels. C'est d'abord un bien non rival (ou partageable) : l'utilisation d'une connaissance par un agent n'empêche pas l'usage simultané par un autre. Cette propriété est partagée par la plupart des biens immatériels. C'est ensuite un bien partiellement exclusif : s'il est possible d'interdire l'utilisation d'une connaissance par un agent pour produire un bien, cela est par contre difficile lorsque cette connaissance est utilisée pour produire une autre connaissance. Le droit de propriété sur une découverte ne peut donc être que partiel. Chaque chercheur peut donc utiliser l'ensemble

des connaissances existantes pour produire des inventions. Ainsi, chaque unité supplémentaire de main-d'œuvre affectée à la recherche augmente le taux de croissance du progrès technique et par conséquent le taux de croissance du produit final. On retrouve l'idée de Lucas (1988) selon laquelle, la création et la transmission de la connaissance se réalisent à travers l'accumulation du capital humain. En étudiant les mécanismes par lesquels le commerce international favorise la croissance économique, Grossman et Helpman (1991c) supposent que la productivité des R&D dépend de l'état général des connaissances scientifiques et techniques, et du savoir-faire dans le pays. Comme nous l'avons précédemment décrit, le niveau général de la connaissance augmente avec l'ouverture internationale. Car elle donne un accès aux inventions réalisées à l'étranger, soit par simple transmission d'informations, soit par l'échange des biens et services, ou encore par les investissements directs étrangers ou la mobilité des chercheurs. Les travaux précédemment cités reposent sur la mise en évidence de facteurs qui, parce qu'ils sont à l'origine de rendements croissants, représentent de véritables moteurs de la croissance. Or, le processus d'accumulation de ces facteurs repose sur des externalités dont l'intensité est implicitement contrainte par l'espace.

### **3.2 Le caractère spatial des externalités technologiques**

Lucas (1988) explique la croissance économique par l'accumulation continue de capital humain, grâce aux efforts d'éducation et de formation. Son modèle introduit une externalité simple : plus la densité du capital humain est importante, plus la productivité du travail est élevée. Autrement dit, Lucas (1988) suppose qu'un ingénieur ne pourra pleinement exploiter ses connaissances que s'il travaille avec d'autres ingénieurs. Le moteur de la croissance repose sur cette externalité : les travailleurs des régions qui accueillent une forte densité de capital humain ont des incitations plus fortes à investir dans l'éducation. Le capital humain tend progressivement à se concentrer dans les régions les plus riches qui bénéficient d'une plus grande productivité, source d'une forte croissance. On retrouve la même relation implicite chez Romer (1990). La dynamique de l'innovation repose en partie sur les externalités engendrées par le stock global de connaissances : l'activité de recherche est plus aisée

dans les régions qui ont déjà produit davantage d'innovations. Or, pour admettre l'existence de telles externalités, il faut supposer que les échanges entre chercheurs contribuent à accroître la productivité de la R&D. La concentration spatiale facilite de tels échanges de connaissances entre chercheurs, donc l'innovation, et par conséquent la croissance économique (Crozet et Lafourcade, 2009).

Par ailleurs, de nombreux travaux ont montré l'importance des externalités et du caractère spatialisé de leur influence sur l'activité de production ou d'innovation. Dans cette littérature, deux grands types d'approches peuvent être distingués. La première tente de montrer que les échanges commerciaux qui sont supposés transmettre la technologie dépendent des facteurs géographiques tels que la distance géographique, les coûts de transport etc. Dans cette perspective, Eaton et Kortum (2002) ont développé un modèle de commerce international *à la* Ricardienne (basé sur les différences technologiques) qui incorpore le rôle de la géographie. Le modèle décrit comment l'avantage comparatif encourage les échanges commerciaux bilatéraux et comment les barrières géographiques les freinent. Ces barrières géographiques englobent les coûts de transport, les droits de douane, les quotas, les retards de livraison et les problèmes liés à la conclusion des contrats. Le développement du modèle conduit à une équation de gravité qui relie les flux commerciaux bilatéraux à la technologie et aux barrières géographiques. A travers cette équation, les auteurs montrent d'une part, que l'ouverture commerciale profite à tous les pays, mais il se trouve que les petits pays gagnent plus que les grands ; d'autre part, le rôle prépondérant des échanges commerciaux dans la diffusion de la technologie. Cependant, cette diffusion technologique dépend de la proximité géographique entre émetteur et récepteur.

La seconde approche concerne la géographie de l'innovation : elle tente de mesurer directement l'importance de la proximité géographique sur les externalités technologiques qui sont elles-mêmes censées améliorer les performances d'innovation des entreprises. Dans cette optique, Jaffe *et al.* (1993) ont cherché à mettre en évidence des traces directes de la diffusion technologique à travers les citations de brevets. L'exercice consiste à comparer statistiquement les localisations des brevets d'origines avec les localisations des nouveaux brevets qui citent les premiers. Grâce aux informations fournies par les brevets, on peut savoir si une innovation a permis

de réaliser une autre innovation dans une localisation différente de celle de l'innovation antérieure. Les auteurs ont pu mettre en évidence des traces des externalités grâce à la citation des brevets. Ces traces sont géographiquement locales, mais le caractère local des externalités a tendance à disparaître avec le temps. A long terme les externalités seraient globales.

Jaffe (1989), quant à lui, s'est intéressé à la relation entre la capacité d'innovation des entreprises et leur proximité réciproque ou par rapport aux universités. Pour cela, il a intégré un indice de coïncidence géographique dans la fonction de production de connaissances développée par Griliches (1979). Il s'agit de mesurer la corrélation entre l'output d'innovation d'une zone géographique et la proximité des entreprises et des universités à l'intérieur de cette zone. Si l'innovation croît lorsque la coïncidence géographique est élevée, alors on peut penser que les efforts de R&D des uns rejaillissent localement sur l'innovation des autres. Jaffe (1989) a trouvé une corrélation positive entre l'innovation des entreprises et l'indice de coïncidence géographique dans les domaines de la santé, de l'électronique et du nucléaire. Cela montre que les externalités sont limitées à des domaines spécifiques, mais ne s'étendent pas à tous les domaines de l'économie. Toutefois, il convient de noter que la recherche universitaire favorise l'innovation des industries même si le contraire n'est pas vérifié. Ainsi, un État qui améliore son système de recherche universitaire peut accroître l'innovation et la productivité des industries locales.

Anselin *et al.* (1997) ont également étudié la question portant sur les externalités géographiques locales entre la recherche universitaire et l'innovation de haute technologie. En se basant sur Jaffe (1989), ils ont estimé la fonction de production de connaissances en ajoutant des mesures alternatives de l'indice de coïncidence géographique. En utilisant les techniques d'économétrie spatiale, Anselin *et al.* (1997) ont mis en évidence l'existence d'externalités spatiales dues à la proximité des entreprises par rapport aux universités. Ils montrent également que ces externalités sont susceptibles de dépasser les frontières.

Autant-Bernard (2001) a testé la présence des externalités technologiques sur les entreprises françaises en utilisant une fonction de production de connaissances. Dans cette étude, la proximité est définie en termes de proximité géographique et en termes de proximité technologique. La proximité technologique signifie, ici, que les

entreprises ou groupes ont des technologies similaires. Dans ce cas de figure, les résultats économétriques ont montré la présence d'externalités technologiques, qui sont d'autant plus fortes que les entreprises sont technologiquement proches. Il apparaît aussi que les externalités technologiques sont plus importantes que les externalités spatiales. Cependant, contrairement à ce qu'on pourrait croire, ces externalités ne proviennent pas du stock de connaissances externes mais du capital humain. Fischer *et al.* (2009) se sont également appuyés sur le modèle de connaissances proposé par Griliches (1979) pour étudier l'impact des stocks de connaissances sur la PTF des régions européennes. En utilisant les stocks annuels de brevets de 203 régions pour la période 1997–2002, les auteurs montrent que les externalités technologiques contribuent largement à expliquer la différence de productivités entre les régions et que ces externalités ont une dimension spatiale, à savoir qu'elles augmentent avec la proximité géographique.

Keller (2002a) quant à lui s'est intéressé à la portée des externalités technologiques, à savoir le caractère global ou local des externalités. Les externalités sont globales lorsqu'elles sont largement diffusées à travers le monde. En revanche, elles sont dites locales lorsque la diffusion technologique est limitée géographiquement. Une diffusion globale de la technologie peut favoriser la convergence au niveau des villes, régions et même au niveau des pays ; cela permettra, par exemple, aux pays pauvres de rattraper leur retard par rapport aux pays riches, tandis qu'une diffusion locale conduit à la formation des pôles économiques, elle engendre souvent des inégalités de revenus entre les villes, les régions ou les pays. Dans ces conditions, les pays industrialisés restent en permanence plus riches. La portée des externalités détermine aussi l'efficacité des politiques macroéconomiques visant à augmenter le taux de croissance de la technologie. Si les externalités sont limitées, les investissements en R&D influent plus sur la croissance domestique que sur la croissance des pays étrangers. Par contre, si elles sont globales, une politique visant à augmenter la croissance ne change pas la position du pays par rapport aux autres pays du globe. Les externalités locales impliquent aussi que la distance joue un rôle important dans la diffusion technologique, alors que le caractère global des externalités montre que la distance n'a aucune influence sur la diffusion technologique. Keller (2002a) a estimé les effets spatiaux des R&D pour cinq pays de l'OCDE. Les résultats montrent

que les externalités sont locales en ce sens qu'elles diminuent avec la distance géographique. La proximité géographique joue donc un rôle important dans la diffusion des connaissances. Plus récemment, Fracasso et Marzetti (2015) ont mis en avant les facteurs qui influent sur les échanges commerciaux pour montrer que la portée de la diffusion des connaissances est limitée dans l'espace. Les auteurs constatent que les relations commerciales bilatérales relativement intenses sont statistiquement associées à de plus grandes externalités. Puisque l'intensité des échanges commerciaux diminue avec la distance, la diffusion technologique serait plutôt locale. Cela implique que la diffusion technologique dépend elle-même de la proximité physique entre émetteur et récepteur de connaissances et semble se confiner à des espaces géographiques réduits.

Au regard des travaux présentés ci-dessus, on se rend compte que l'uniformité et la portée internationale de la diffusion technologique ne sont pas évidentes, même s'il est tout à fait possible d'apprendre à travers les externalités technologiques. Par conséquent, il semble utile de réexaminer la diffusion technologique tout en tenant compte de l'enjeu de l'interdépendance spatiale. Par ailleurs, les résultats empiriques permettent seulement de capter l'effet direct des échanges commerciaux sur l'innovation. Or, il est possible qu'un pays  $i$  bénéficie de la technologie d'un autre pays  $k$  sans qu'un échange commercial ait lieu entre ces deux pays, si le pays  $k$  exporte vers un pays  $j$  et que ce dernier exporte à son tour vers le pays  $i$  (Lumenga-Neso *et al.*, 2005). Pour remédier à ce problème, Lumenga-Neso *et al.* (2005) ont construit une nouvelle variable qui explique les externalités technologiques, à savoir que les *spillovers* internationaux de R&D sont indirectement liés au commerce. Les auteurs ont également mis en évidence l'importance du commerce dans la transmission des connaissances au niveau international, mais ils contredisent les idées de Coe et Helpman (1995) concernant la forte dépendance entre les flux des R&D étrangers d'un pays avec ses importations. L'intérêt de leur travail est de souligner l'existence des effets indirects du commerce international dans la diffusion technologique. Cependant leur spécification économétrique ne permet pas de capter les effets indirects de manière efficace. En effet, leur modèle économétrique contient un paramètre  $\rho$  nommé "paramètre d'absorption" qui correspond au paramètre autorégressif spatial dans une spécification économétrique spatiale. Ce modèle économétrique spatial est

estimé sous forme extensive alors qu'il devrait être estimé sous forme réduite avec des outils économétriques appropriés. De ce fait, il est utile de recourir aux techniques de l'économétrie spatiale pour traiter la diffusion technologique (LeSage et Pace, 2009).

## 4 Le rôle de l'économétrie spatiale

### 4.1 L'utilisation de l'économétrie spatiale dans l'estimation des externalités technologiques

Les outils de l'économétrie spatiale ont été utilisés dans divers domaines de l'économie appliquée (économie agricole, économie de la santé, analyse de convergence de la croissance, études de marketing, plus récemment, économie fiscale, etc.), et en particulier dans l'analyse de l'innovation régionale et de la croissance. Trois principaux arguments peuvent être avancés pour justifier l'utilisation de l'économétrie spatiale dans l'analyse de l'innovation et de la croissance. Le premier concerne l'existence d'une dépendance spatiale entre les variables. Dans cette perspective, Ying (2000) a utilisé des méthodes d'analyse exploratoire des données spatiales afin d'expliquer la disparité des revenus entre les régions chinoises de 1978 à 1994. A cet effet, il a fait le test d'autocorrélation spatiale de l'indice de Moran. Ce test d'absence d'autocorrélation spatiale de Moran est le premier test de spécification ayant été proposé en économétrie spatiale. Il permet de se prononcer sur l'opportunité d'une modélisation intégrant les effets spatiaux même si, en lui-même, il ne donne pas d'indication sur la forme potentielle de l'autocorrélation spatiale. Si l'on trouve une autocorrélation spatiale globale positive, on peut en conclure que les régions riches (respectivement pauvres) ont tendance à être localisées près d'autres régions riches (respectivement pauvres) plus souvent que si cette localisation était purement aléatoire. Cette technique a également été utilisée par Ertur et Koch (2006) pour étudier la disparité des revenus dans l'Europe pour 27 pays sur la période allant de 1995 à 2000. Il en ressort une forte autocorrélation spatiale globale et locale, ainsi qu'une hétérogénéité dans la distribution des richesses. On observe également un schéma de polarisation Nord-Ouest à la place du schéma Nord-Sud traditionnellement mis en évidence dans

la littérature (Ertur et Koch, 2006). La forte polarisation des activités économiques dans l'espace signifie qu'il y a une hétérogénéité spatiale élevée dans les processus d'innovation qui devrait être prise en compte. En effet, l'hétérogénéité spatiale peut conduire à une dépendance spatiale dans les perturbations d'un modèle économétrique (Autant-Bernard, 2011). Ainsi le second argument en faveur de l'utilisation de l'économétrie spatiale est la présence d'hétérogénéité spatiale. Outre la présence de l'autocorrélation spatiale et de l'hétérogénéité spatiale, l'utilisation de l'économétrie spatiale peut être motivée par l'existence des impacts indirects du commerce international dans le processus de diffusion de l'innovation (Lumenga-Neso *et al.*, 2005).

Aujourd'hui, l'économétrie spatiale est de plus en plus utilisée dans l'analyse de l'innovation et de la croissance. D'un côté, l'analyse de la croissance fait appel de plus en plus à l'économétrie spatiale. Dans cette optique, Moreno et Trehan (1997) ont cherché à savoir si le taux de croissance d'un pays dépend de ceux des pays voisins. Pour cela, ils ont testé plusieurs modèles spatiaux qui leur ont permis de mettre en évidence une relation positive forte entre le taux de croissance d'un pays et ceux de ses voisins. Cette relation est d'autant plus forte que les pays subissent un choc commun ou qu'ils soient géographiquement proches. Dans ce même ordre d'idée, Ertur et Koch (2007) ont introduit l'effet de voisinage dans le modèle de croissance de Solow (1956). Dans leur modèle, le niveau de progrès technique d'une région dépend positivement de son stock de capital physique, mais aussi du stock de capital physique accumulé dans les régions voisines. Cette modélisation crée une interdépendance technologique entre les régions qui est d'autant plus intense qu'elles sont géographiquement proches. Par conséquent, une politique économique visant à augmenter le taux d'investissement dans une région influence l'ensemble des régions par un effet multiplicateur spatial qui agit d'autant plus sur le revenu par tête que les régions sont géographiquement proches. Fischer (2011) s'est appuyé sur les travaux d'Ertur et Koch (2007) pour introduire les externalités spatiales dans le modèle de Mankiw *et al.* (1992) afin de prendre en compte les interdépendances technologiques entre différentes régions. Les travaux d'Ertur et Koch (2007) permettent une transition entre les modèles théoriques et les modèles économétriques spatiaux. Partant d'un modèle théorique, les auteurs dérivent un modèle économétrique spatial ; le

modèle économétrique ainsi obtenu correspond à un modèle Durbin spatial. S'appuyant sur le modèle de croissance schumpétérien multi-pays élaboré par Howitt (2000), Ertur et Koch (2011) proposent un cadre théorique et méthodologique intégrant les interactions technologiques pour expliquer les processus de croissance. La formulation des interactions technologiques proposée dans Ertur et Koch (2011) est semblable à celle qui est proposée par Ertur et Koch (2007). Ils développent un modèle général permettant de différencier le modèle multi-pays de Howitt (2000) et le modèle multi-pays de Solow (1956). De plus, la prise en compte des interactions technologiques conduit à un modèle économétrique spatial. Plus récemment, Ertur et Musolesi (2015) ont proposé un nouvel examen de la diffusion internationale de technologie sous l'angle des effets de débordement géographique de R&D entre pays, en traitant explicitement le problème de la dépendance en coupe transversale dans des modèles de type Coe *et al.* (2009). La raison évoquée est d'une part, une possible présence d'auto-corrélation spatiale dans la spécification de Coe *et al.* (2009). Cette dernière complique l'estimation et l'inférence statistique standard de la spécification de Coe et Helpman (1995). D'autre part, une structure de dépendance spatiale peut être une méthode alternative pour évaluer les externalités de R&D. En appliquant des tests de racine unitaire en panel de différentes générations, Ertur et Musolesi (2015) montrent d'abord que lorsque le nombre de retards de la composante autorégressive des tests de type Dickey et Fuller augmentés ou lorsque le nombre de facteurs communs est estimé dans le cadre d'un processus de sélection de modèle, les variables d'intérêt que sont la PTF, la R&D étrangère, la R&D domestique et le stock de capital humain apparaissent comme étant stationnaires. Cela permet d'estimer deux types de modèles, le premier basé sur la prise en compte d'un processus autorégressif dans les erreurs et le second fondé sur les facteurs communs qui sont inobservables. Ces modèles intègrent différents types de dépendances en coupe transversale en relation avec les concepts de dépendance faible ou forte récemment développés dans la littérature.

D'un autre côté, l'analyse géographique de l'innovation recourt de plus en plus aux outils de l'économétrie spatiale. On distingue d'une part, l'utilisation de l'économétrie spatiale à travers la fonction de production de connaissance (Anselin *et al.*, 1997); d'autre part, nous avons les modèles d'interactions spatiales (LeSage *et al.*,

2007). Anselin *et al.* (1997) ont été les premiers à utiliser l'économétrie spatiale pour quantifier les externalités technologiques. Ils ont intégré un indicateur des variables spatiales pour tenir compte des externalités technologiques à différents niveaux géographiques dans le modèle de Jaffe (1989). Il s'agit de prendre en compte les dépenses de recherche privée et publique effectuées à la périphérie de l'aire métropolitaine. Anselin *et al.* (2000a,b) ont étendu les travaux de Anselin *et al.* (1997) en proposant une autre méthode de formalisation des externalités technologiques permettant d'utiliser directement les outils de l'économétrie spatiale. La dépendance spatiale est introduite sous la forme d'un processus spatial autorégressif et l'hétérogénéité sous forme de deux régimes spatiaux qui rendent compte des différences dans la production de l'innovation à l'œuvre entre les aires métropolitaines interconnectées et les aires métropolitaines isolées. A travers une série de tests économétriques, Mairesse et Mulkay (2007) ont spécifié un modèle autorégressif spatial (SAR) pour évaluer l'importance des externalités de R&D en France. La fonction de production de connaissances est étendue en incluant deux stocks de capital de R&D, mesurés respectivement au niveau local de chaque bassin d'emploi et à celui des bassins d'emploi voisins. Dans la même lignée, Autant-Bernard et LeSage (2010) ont utilisé un modèle Durbin spatial (SDM) pour quantifier les externalités technologiques au niveau des industries françaises. Ce modèle inclut un décalage spatial à la fois dans la variable dépendante et dans les variables indépendantes.

Les modèles d'interaction spatiale reposent sur l'utilisation d'un modèle de gravité pour quantifier la diffusion technologique. Le modèle de gravité permet d'exprimer de façon synthétique le principe d'interaction spatiale et de lui donner une mesure empirique, sur la base d'une analogie avec la physique Newtonienne. Bien que le modèle fonctionne convenablement dans les applications statistiques et économétriques, sa déduction par analogie d'une théorie conçue dans une autre discipline pour expliquer des phénomènes territoriaux a été longtemps considérée comme une faiblesse intrinsèque. La réflexion théorique consacrée aux fondements du modèle de gravité ne s'est développée que dans les années 70 (Anderson, 1979). Il est souvent utilisé pour expliquer les flux origine-destination des marchandises, de la population, des matières premières ou encore des flux de connaissances. Dans le domaine du commerce international, le modèle fait dépendre l'interaction entre deux pays de

leur taille respective et de la distance qui les sépare. L'interaction est forte plus entre les pays qui ont des tailles relativement comparables et qui sont géographiquement proches. Dans le cadre de la diffusion des connaissances, l'interaction spatiale est plus forte entre les pays qui ont des stocks de connaissances équivalents et qui sont géographiquement proches. Dans cette perspective, LeSage *et al.* (2007) ont utilisé un modèle d'interaction spatiale pour quantifier l'intensité des flux de connaissances en Europe. Dans ce modèle, l'interaction spatiale est mesurée par les citations de brevets et la taille des pays par le stock de brevets. Dans la même lignée, Scherngell et Barber (2009) ont utilisé un modèle d'interaction spatiale pour évaluer l'intensité des collaborations dans la R&D à travers les régions européennes. Les résultats montrent que les facteurs géographiques sont d'importants déterminants de l'intensité de collaboration entre chercheurs, mais l'effet de proximité technologique y est plus fort. Les collaborations en R&D se produisent le plus souvent entre des organisations qui sont technologiquement proches. Le modèle fréquemment utilisé dans ces types d'études est un modèle de poisson d'interaction spatiale (LeSage et Pace, 2009, Chap.8).

## 4.2 Les critères de choix des modèles économétriques

Deux méthodologies sont utilisées dans la littérature pour spécifier les modèles spatiaux. La première repose sur des critères statistiques, elle consiste à faire une série de tests afin de trouver le modèle le plus adapté aux données (Anselin, 1988a,b). Dans cette première méthodologie, on distingue deux principales approches. La première, dite "approche ascendante", consiste à commencer avec un modèle non-spatial puis à tester la présence ou non des interactions spatiales afin de savoir si le modèle non-spatial doit être étendu. Cette approche part d'un cas particulier pour aboutir à un cas général (Elhorst, 2010). C'est cette approche qui est plébiscitée dans la majorité des travaux empiriques. Le modèle de départ le plus souvent utilisé est un modèle de régression linéaire<sup>3</sup> non-spatial de la forme suivante :

$$Y = X\beta + \varepsilon \tag{2.6}$$

---

3. Ce modèle est connu sous le nom de modèle OLS, car il est le plus souvent estimé par la méthode des moindres carrés ordinaires dont l'acronyme en anglais est (OLS).

où  $Y$  est un vecteur de  $N \times 1$  contenant les observations de la variable dépendante ;  $X$  est une matrice  $N \times (K + 1)$  des variables explicatives et  $\beta$  un vecteur de  $(K + 1) \times 1$  de paramètres à estimer, et  $\varepsilon$  le vecteur  $N \times 1$  des perturbations qui sont indépendamment et identiquement distribuées. Le modèle le plus général que l'on puisse obtenir est le modèle de Manski (1993). Ce modèle prend en compte trois types d'interactions :

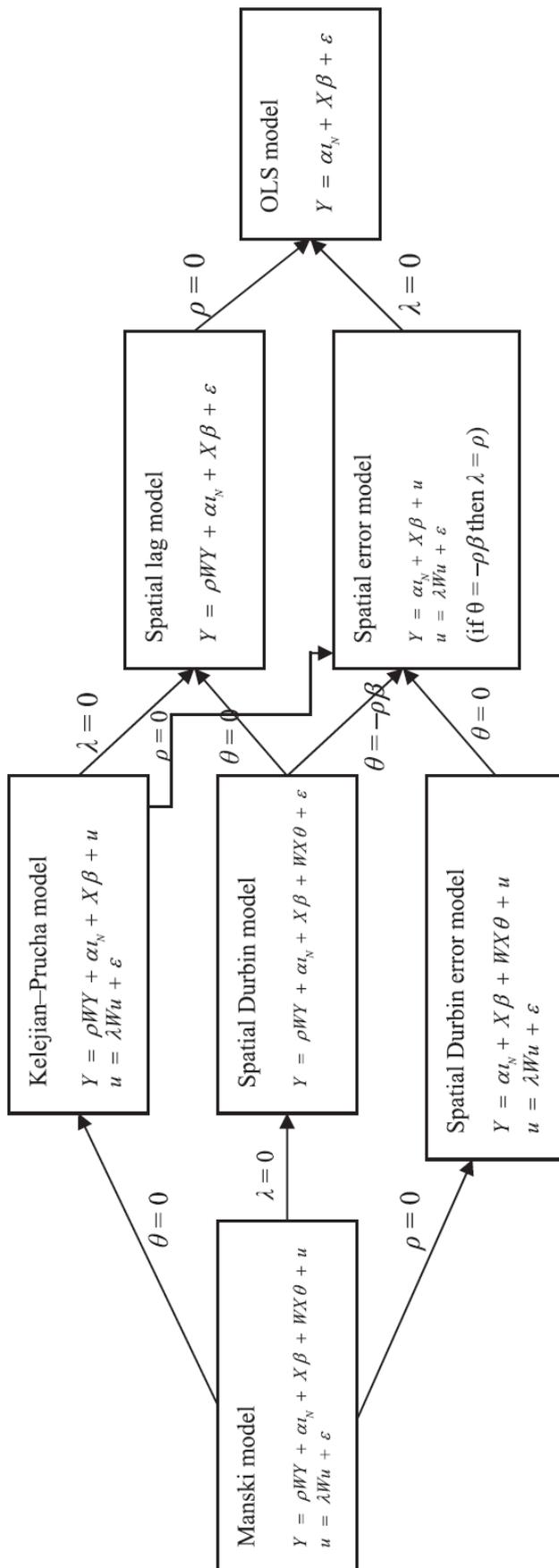
- une interaction endogène où la décision d'un agent économique dépend de la décision de ses voisins ;
- une interaction exogène où la décision d'un agent économique dépend des caractéristiques de ses voisins ;
- et enfin des effets de corrélation dans les caractéristiques inobservées.

Le modèle est de la forme suivante :

$$\begin{aligned}
 Y &= \rho WY + X\beta + WX\theta + \mu \\
 \mu &= \lambda W\mu + \varepsilon
 \end{aligned}
 \tag{2.7}$$

La seconde dite, “approche descendante”, consiste à commencer à partir du modèle général, par exemple du modèle (2.7), pour arriver à un modèle simple le plus adapté aux observations, spatial ou non. Elhorst (2010) a tenté de représenter ces deux approches dans un schéma donné ci-dessous. De droite à gauche, on trouve la première approche, c'est-à-dire celle du modèle (2.6) au modèle (2.7) ; et de gauche à droite on aboutit donc à la deuxième approche, c'est-à-dire du modèle (2.7) au modèle (2.6).

FIGURE 2.1 – Choix d'un modèle d'économétrie spatiale (Elhorst, 2010)



La seconde méthodologie consiste à introduire des interdépendances spatiales dans un modèle théorique préalablement développé pour ensuite obtenir un modèle économétrique spatial. La spécification du modèle provient directement du cadre théorique utilisé. Jusqu'aux années 2000, le choix des modèles repose sur des critères statistiques. Les premiers travaux ayant développé un modèle structurel spatial sont ceux de Ertur et Koch (2007) ; ils ont travaillé à partir du modèle de croissance de Solow (1956) et introduit l'interdépendance spatiale. Leur point de départ est la fonction de production Cobb–Douglas :

$$Y_{it} = A_{it} K_{it}^{\alpha} L_{it}^{1-\alpha} \quad (2.8)$$

où  $Y_{it}$  correspond au niveau de production du pays  $i$  à l'instant  $t$ ,  $K_{it}$  est le capital physique utilisé dans le processus de production dans le pays  $i$  à la date  $t$ ,  $L_{it}$  est la quantité de travail utilisée dans le pays  $i$  à la date  $t$  et  $A_{it}$  correspond au niveau agrégé de la technologie dans le pays  $i$  à la date  $t$ . Afin de prendre en compte l'interdépendance spatiale, Ertur et Koch (2007) spécifient une fonction pour le niveau agrégé de la technologie de la manière suivante :

$$A_{it} = \Omega_t k_{it}^{\phi} \prod_{j \neq i}^N A_{ji}^{\gamma w_{ij}} \quad (2.9)$$

Le niveau agrégé de la technologie dépend ainsi de trois termes. Premièrement, les auteurs supposent qu'une partie de la technologie est exogène et identique pour tous les pays  $\Omega_t = \Omega_0 e^{\mu t}$ , cette dernière croît de manière constante avec un taux de croissance égale à  $\mu$ . Deuxièmement, le niveau agrégé de la technologie de chaque pays  $i$  dépend de son niveau de capital physique par tête  $k_{it} = \frac{K_i}{L_i}$ . Le paramètre  $\phi$ , avec  $0 < \phi < 1$ , capte l'intensité des externalités générées par l'accumulation du capital physique dans le pays  $i$ . Enfin, le niveau agrégé de la technologie dépend de celui de ses voisins  $A_{jt}$  où  $\gamma$  mesure la sensibilité de la technologie domestique par rapport à la technologie étrangère et  $w_{ij}$  désigne la connectivité entre les pays  $i$  et  $j$ . Ainsi, les auteurs obtiennent une fonction de production spatiale, une spécification économétrique correspondant à un modèle Durbin spatial. Cette spécification pour la technologie a également été utilisée par Fischer (2011) pour dériver un modèle structurel spatial. Plus précisément, Fischer (2011) l'a intégrée dans le modèle de croissance élaboré par Mankiw *et al.* (1992). Tout comme Ertur et Koch (2007), il

obtient un modèle Durbin spatial. Dans la même lignée, Ertur et Koch (2011) ont étendu le modèle de croissance schumpétérienne élaboré par Howitt (2000). La spécification utilisée par Ertur et Koch (2011) est semblable à celle utilisée dans leur article de 2007. Le modèle structurel obtenu est une forme contrainte du modèle Durbin spatial. On relève également des travaux, dans le domaine du commerce international qui ont développé des modèles structurels spatiaux. Dans cette optique, Behrens *et al.* (2012) ont développé un modèle d'équilibre général afin d'estimer les flux commerciaux bilatéraux. En voulant contrôler les interdépendances entre les partenaires commerciaux, connues sous le nom d'*effets de résistance multilatérale* dans la littérature, les auteurs ont dérivé un modèle de gravité spatialement augmenté. Le modèle structurel ainsi obtenu correspond à un modèle *Spatial Autoregressive Moving Average (SARMA)*. Dans ce même ordre d'idée, Koch et LeSage (2015) ont montré récemment que les indices de résistance multilatérale ont une forme autorégressive spatiale. En effet, en linéarisant les indices de prix, les auteurs constatent que ces derniers ont une structure autorégressive, traduisant une spécification spatiale.

Un grand nombre de travaux utilisant les outils d'économétrie spatiale choisissent leurs modèles selon les critères statistiques, à travers une série de tests de spécification afin de déterminer le modèle spatial qui est cohérent avec les données. Cependant, les travaux qui choisissent de dériver leur modèle spatial directement d'un cadre théorique sont limités. Un des objectifs du présent chapitre est de contribuer au raffinement de la méthodologie consistant à dériver un modèle structurel spatial directement d'un cadre théorique. C'est pourquoi cette méthodologie est privilégiée dans ce chapitre. Ainsi, dans ce chapitre nous proposons une méthode alternative pour estimer les externalités technologiques tout en tenant compte de l'interdépendance spatiale entre les pays. Plus précisément, nous proposons un modèle structurel en montrant comment un modèle Durbin spatial peut être obtenu à partir d'un cadre théorique. Cette procédure conduit à un raffinement des méthodologies permettant de dériver un modèle spatial directement d'un modèle théorique (Ertur et Koch, 2007). A cet effet, nous nous basons sur un modèle de croissance endogène avec variétés des biens, modèle dans lequel chaque variété est le fruit d'une innovation. A partir de cette spécification, nous séparons la productivité totale des

facteurs (PTF) en deux composantes. La première dénommée *composante de qualité* permet de capter le niveau de la technologie en vigueur dans le pays. La seconde appelée *composante de variété* prend en compte l'effet des variétés sur la hausse de la PTF. Pour traiter la composante de qualité, nous utilisons la distance de chaque pays par rapport à la frontière technologique. Nous supposons ainsi que la qualité de la technologie dépend négativement de la distance de chaque pays à sa propre frontière technologique. Cette dernière est définie comme une moyenne géométrique des productivités des autres pays. Plus le pays est proche de la frontière technologique plus la qualité de sa technologie est élevée, contrairement aux pays qui sont loin de la frontière technologique. Cela peut aussi être utilisé dans une étude de la convergence. En effet, un pays qui est loin de la frontière technologique tire un certain avantage de ce retard, car il peut croître rapidement en adoptant plus simplement les technologies qui ont déjà été développées dans les pays les plus avancés. Le transfert de technologie permettra ainsi de réduire l'écart entre pays riches et pays pauvres, permettant aux pays pauvres de se développer aussi vite que les riches. Quant à la composante de variété, nous supposons qu'elle dépend des dépenses en R&D et du capital humain. La raison en est que la technologie est souvent tacite et complexe, elle ne peut pas être simplement copiée et transplantée dans un autre pays. Le pays bénéficiaire doit plutôt avoir une main d'œuvre qualifiée afin de maîtriser et d'adapter la technologie étrangère aux conditions de la production locale. Ce faisant, nous obtenons un modèle structurel correspondant à un modèle Durbin spatial. Cela permet de mieux expliquer les externalités technologiques à travers le commerce international et la distance géographique. Cela permet également de mieux capter les effets indirects du commerce international sur les externalités soulignées par Lumenga-Neso *et al.* (2005), et la dépendance spatiale soulignée par Ertur et Musolesi (2015).

## 5 Le cadre théorique

Le modèle que nous présentons dans cette section est basé sur l'idée qu'une extension de la variété des biens intermédiaires explique la croissance de la productivité. Le progrès technique se manifeste sous forme d'une augmentation de la variété de

production ou de consommation. A mesure que les variétés se multiplient, de nouvelles industries apparaissent (Romer, 1986, 1990). Pour chaque nouveau bien, il y a un coût de production irrécupérable de l'innovation qui est supporté juste qu'une fois lors de sa mise en œuvre. Les coûts irrécupérables peuvent s'interpréter comme des coûts de recherche, une activité produisant des innovations qui s'ajoutent au stock de connaissances technologiques. Dans ce cas, la connaissance technologique est représentée par une liste de plans de production qui décrivent chacun la manière de produire un bien différent. Chaque innovation ajoute un nouveau plan de production à la liste. Naturellement, cette assimilation de la technologie au nombre croissant de variétés de biens n'est qu'une approximation qui ne retient qu'un seul aspect du progrès technique. Une autre simplification a été retenue dans laquelle le progrès technique se manifeste par l'amélioration de la qualité d'un ensemble donné de produits existants (Grossman et Helpman, 1991b,a ; Aghion et Howitt, 1992) . Ces deux procédures doivent être considérées comme complémentaires et non contradictoires (Barro et Sala-I-Martin, 2003).

## 5.1 La production du bien final

Considérons une économie avec  $n$  différents pays, chacun des pays étant doté d'un nombre fixé de  $L$  individus. Chaque individu vit indéfiniment et offre un flux constant de travail de manière inélastique (peu importe le taux de salaire), équivalent à une unité pouvant être utilisé dans la production du bien final. A chaque période, son utilité dépend uniquement de sa consommation :

$$u(c) = \frac{c^{1-\varepsilon}}{1-\varepsilon} \quad \varepsilon > 0$$

et il actualise l'utilité à l'aide d'un taux de préférence pour le présent constant  $\rho$ . Cela signifie qu'à l'état régulier le taux de croissance  $g$  et le taux d'intérêt  $r$  doivent respecter l'équation d'Euler qui peut s'écrire de la manière suivante :

$$g = \frac{r - \rho}{\varepsilon}$$

Il existe un seul bien final  $Y_i(t)$  produit à l'aide du travail  $L_i(t)$  et d'un ensemble de biens intermédiaires indicé  $v$  dans l'intervalle  $[0, M_i(t)]$  ;  $M_i(t)$  est une mesure de

la variété de biens. La fonction de production à chaque instant  $t$  peut s'écrire de la manière suivante :

$$Y_i(t) = (A_i(t)L_i(t))^{1-\alpha} \left[ \int_0^{M_i(t)} (x_{i,v}(t))^\nu dv \right]^{\frac{\alpha}{\nu}} \quad (2.10)$$

où  $Y_i(t)$  est l'*output* final dans le pays  $i$  à la date  $t$ ,  $A_i(t)$  est un paramètre de la productivité,  $\alpha \in [0, 1]$  est 1 moins la part de la rémunération du travail dans l'*output* et  $\nu \in [0, 1]$  mesure l'élasticité de substitution entre les variétés de biens intermédiaires  $x_{i,v}(t)$ .

Chaque unité de bien intermédiaire  $v$  produite nécessite une unité de bien final comme *input* ; en d'autres termes, chaque bien intermédiaire est produit selon une technologie un-pour-un. La quantité totale de bien final utilisée afin de produire les biens intermédiaires (autrement dit stock de capital agrégé) est

$$K_i(t) = \int_0^{M_i(t)} x_{i,v}(t) dv$$

Pour simplifier, nous supposons que la même quantité est demandée pour chaque bien intermédiaire et à l'équilibre, on a  $x_i(t) = x_{i,v}(t)$ . En utilisant cette expression dans la fonction de production, on obtient :

$$Y_i(t) = (A_i(t)L_i(t))^{1-\alpha} M_i(t)^{\frac{\alpha}{\nu}} x_i^\alpha(t). \quad (2.11)$$

Le stock de capital agrégé est donnée par :

$$K_i(t) = M_i(t)x_i(t)$$

Ceci nous permet d'écrire la fonction de production :

$$Y_i(t) = A_i(t)^{1-\alpha} L_i(t)^{1-\alpha} M_i(t)^{\left(\frac{1-\nu}{\nu}\right)\alpha} K_i(t)^\alpha \quad (2.12)$$

qui est croissante avec le nombre de variétés des biens pour des quantités de  $L$  et  $K$  données :

$$\frac{\partial Y_i(t)}{\partial M_i(t)} = \left(\frac{1-\nu}{\nu}\right)\alpha \frac{Y_i(t)}{M_i(t)} > 0$$

## 5.2 La production des biens intermédiaires

Le bien final est utilisé pour la consommation et pour la production. Chaque bien intermédiaire appartient à la personne qui l'a créé et qui en détient le monopole. Le

monopoleur cherche à maximiser le flux de profit à chaque date  $t$ , mesuré en unités de bien final :

$$\Pi_{i,v}(t) = p_{i,v}(t)x_{i,v}(t) - x_{i,v}(t)$$

où  $p_{i,v}(t)$  est le prix mesuré en unité de bien final. Ainsi son revenu est le prix multiplié par la quantité et son coût est égal à son output, étant donné la technologie un-pour-un. Puisque le prix d'un bien intermédiaire dans une industrie parfaitement concurrentielle est donné par sa productivité marginale, on a :

$$p_{i,v}(t) = \frac{\partial Y_i(t)}{\partial x_{i,v}(t)} = \alpha [A_i(t)L_i(t)]^{1-\alpha} x_{i,v}^{\alpha-1}(t) \quad (2.13)$$

Par conséquent le profit de monopole dépend de l'output de la manière suivante :

$$\Pi_{i,v}(t) = \alpha [A_i(t)L_i(t)]^{1-\alpha} x_{i,v}^\alpha(t) - x_{i,v}(t)$$

Le monopoleur choisit  $x_i(t)$  de manière à maximiser cette expression ce qui donne la condition du premier ordre :

$$\frac{\partial \Pi_{i,v}(t)}{\partial x_{i,v}(t)} = \alpha^2 [A_i(t)L_i(t)]^{1-\alpha} x_{i,v}^{\alpha-1}(t) - 1 = 0$$

On obtient la quantité d'équilibre constante suivante dans chaque secteur  $v$  :

$$x_i(t) = A_i(t)L_i(t)\alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} \quad (2.14)$$

L'équation (2.14) établit que tous les biens intermédiaires sont utilisés avec la même intensité. Le flux de profit est donné par :

$$\Pi_{i,v}(t) = p_{i,v}(t)x_{i,v}(t) - x_{i,v}(t) = [p_{i,v}(t) - 1] x_{i,v}(t)$$

En utilisant l'équation (2.13) afin d'y remplacer  $p_{i,v}(t)$  et l'équation (2.14) pour y remplacer  $x_{i,v}(t)$  on obtient

$$\Pi_{i,v}(t) = \left[ \alpha [A_i(t)L_i(t)]^{1-\alpha} \left( A_i(t)L_i(t)\alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} \right)^{\alpha-1} (t) - 1 \right] A_i(t)L_i(t)\alpha^{\frac{2}{1-\alpha}}$$

ce qui donne :

$$\Pi_{i,v}(t) = \frac{1-\alpha}{\alpha} A_i(t)L_i(t)\alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} \quad (2.15)$$

A un moment donné, la connaissance technologique existante permet de produire  $M_i(t)$  variétés de biens intermédiaires. Une augmentation de  $M_i(t)$  suppose une

avancée technologique, une invention ou une amélioration permettant de produire une nouvelle sorte de bien intermédiaire. Cette avancée implique un effort délibéré de R&D,  $R_i(t)$ . Nous supposons pour simplifier que le processus de l'innovation est déterministe. A chaque période l'*output* de la recherche est donné par le flux de nouveaux plans de production dont chacun permet le développement d'un nouveau bien. Nous avons donc :

$$\frac{dM_i(t)}{dt} \equiv aR_i(t)$$

où  $a$  est le paramètre positif mesurant la productivité de la R&D. Si le secteur de la R&D est parfaitement concurrentiel, alors le flux de profit doit être nul. Ainsi, chaque plan de production rapporte  $\frac{\Pi_{i,v}(t)}{r}$  à son investisseur, qui est la valeur présente du flux de profit  $Pi_{i,v}(t)$  actualisée au taux d'intérêt du marché  $r$ . Le flux de la R&D est donc :

$$\frac{\Pi_{i,v}(t)}{r} aR_i(t) - R_i(t)$$

En annulant le flux de profit de la R&D, on trouve :

$$r = a\Pi_{i,v}(t)$$

En insérant l'équation (2.15), on obtient l'équation d'arbitrage de la recherche :

$$r = a \frac{1-\alpha}{\alpha} A_i(t) L_i(t) \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} \quad (2.16)$$

Le taux d'intérêt doit donc être égal au flux de profit qu'un entrepreneur reçoit par unité investie dans la recherche.

En substituant l'équation (2.16) dans l'équation d'Euler, on obtient l'expression suivante pour le taux de croissance d'équilibre :

$$g = \frac{a \frac{1-\alpha}{\alpha} A_i(t) L_i(t) \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} - \rho}{\varepsilon}$$

### 5.3 Le rôle des externalités technologiques dans la hausse des PTF

A partir de l'équation (2.12) nous pouvons définir la PTF comme<sup>4</sup> :

$$Z_i(t) = \frac{Y_i(t)}{L_i(t)^{1-\alpha} K_i(t)^\alpha}$$

---

4. Voir Coe et Helpman (1995), Coe *et al.* (2009) et Keller (1998).

ce qui donne

$$Z_i(t) = A_i(t)^{1-\alpha} M_i(t)^{\left(\frac{1-\nu}{\nu}\right)\alpha} \quad (2.17)$$

A la différence de Coe et Helpman (1995), Coe *et al.* (2009) et Keller (1998), cette mesure de la PTF a deux composantes : une composante de variété qui est capturée par le terme  $M_i(t)^{\left(\frac{1-\nu}{\nu}\right)\alpha}$  et une composante de qualité capturée par  $A_i(t)^{1-\alpha}$ . Il convient de traiter les deux composantes afin d'estimer la hausse de la PTF. Dans ce qui suit, nous proposons deux approches permettant de modéliser ces composantes.

### La composante de qualité

Afin de capter la composante de qualité, nous supposons qu'elle dépend négativement de la distance à la frontière technologique. L'écart par rapport à la frontière technologique permet de déterminer la qualité de la connaissance technologique dans chaque pays. En effet, plus le pays est proche de la frontière technologique plus le niveau de la connaissance y est élevé. On peut donc faire le rapprochement avec la diffusion internationale de la technologie. Les pays qui ont un niveau de connaissance technologique élevé (proche de la frontière technologique) bénéficient moins du transfert technologique venant de l'extérieur (Coe *et al.*, 1997). Afin de formaliser le niveau de la connaissance technologique dans un pays, nous nous appuyons sur les travaux d'Ertur et Koch (2011) en définissant  $A_i(t)^{1-\alpha}$  ainsi :

$$A_i(t)^{1-\alpha} = \zeta \prod_{j=1}^n \left( \frac{Z_j(t)}{Z_i(t)} \right)^{\gamma w_{ij}} \quad (2.18)$$

où  $\gamma \in [-1, 1]$  permet de capter le degré de la diffusion technologique. Ici, la frontière technologique est définie comme étant une moyenne géométrique du niveau de la PTF dans tous les pays, noté  $Z_j(t)$  avec  $j = 1, 2, \dots, n$ . Nous pouvons aussi définir la frontière technologique comme étant le niveau de la technologie d'un pays leader (en général les États-Unis). Cependant, cette approche nécessite de normaliser la distance à la frontière par rapport à un pays de référence. Ainsi chaque écart technologique devra être calculé et interprété par rapport au pays de référence. Les termes  $w_{ij}$  permettent de capter les interactions entre les pays ; ils sont supposés être non négatifs, finis et non stochastiques. En intégrant l'équation (2.18) dans

l'équation (2.17), on obtient :

$$Z_i(t) = \zeta \prod_{j=1}^n \left( \frac{Z_j(t)}{Z_i(t)} \right)^{\gamma w_{ij}} M_i(t)^{\left(\frac{1-\nu}{\nu}\right)\alpha} \quad (2.19)$$

### La composante de variété

Concernant la composante de variété, nous nous appuyons sur les travaux de Grossman et Helpman (1991c) en supposant qu'elle dépend d'une part, des activités de R&D du pays  $i$  et de celles de ses partenaires commerciaux. D'autre part, elle dépend du stock de capital humain dans le pays  $i$  et de ceux des autres pays. En effet, la technologie peut être transmise par les échanges des biens et services et par le nombre de contacts que les agents locaux ont avec leurs partenaires extérieurs. Formellement, nous avons :

$$M_i(t)^{\left(\frac{1-\nu}{\nu}\right)\alpha} = R_i^\theta(t) H_i^\psi(t) \prod_{j=1}^n \left( R_j^\theta(t) H_j^\psi(t) \right)^{\gamma w_{ij}} \quad (2.20)$$

où  $\theta > 0$  et  $\psi > 0$  sont respectivement les élasticités de la R&D et du stock de capital humain par rapport aux innovations. Ainsi nous supposons que la productivité des variétés dans le pays  $i$  dépend de ses propres dépenses en R&D  $R_i(t)$  et de celles de tous les autres pays notées par  $R_j(t)$ ,  $j = 1, 2, \dots, n$ . Le terme  $H_i$  capte à la fois la capacité du pays  $i$  à transformer les R&D en innovation et sa capacité à adapter la technologie étrangère aux conditions de la production locale. En introduisant l'équation (2.20) dans l'équation (2.19), on obtient :

$$Z_i(t) = \zeta \prod_{j=1}^n \left( \frac{Z_j(t)}{Z_i(t)} \right)^{\gamma w_{ij}} R_i^\theta(t) H_i^\psi(t) \prod_{j=1}^n \left( R_j^\theta(t) H_j^\psi(t) \right)^{\gamma w_{ij}} \quad (2.21)$$

L'équation (2.21) établit que le niveau de la PTF du pays  $i$  dépend du niveau des productivités de ses voisins, de ses propres caractéristiques (R&D et capital humain) et des caractéristiques de ses voisins. Les termes  $w_{ij}$  dans cette équation peuvent être différents. Cependant, pour simplifier, nous supposons que la connectivité des pays ne change pas d'une spécification à une autre.

### Spécification économétrique

En écrivant l'équation (2.21) sous forme logarithmique et en réaménageant les termes, nous obtenons :

$$\begin{aligned} \ln Z_i(t) = & \ln \zeta/2 + \gamma/2 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln Z_j(t) + \theta/2 \ln R_i(t) + \psi/2 \ln H_i(t) + \\ & \gamma\theta/2 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln R_j(t) + \gamma\psi/2 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln H_j(t) \end{aligned} \quad (2.22)$$

L'équation (2.22) peut être réécrite comme :

$$\begin{aligned} \ln Z_i(t) = & \beta_0 + \beta_1 \ln R_i(t) + \beta_2 \ln H_i(t) + \rho \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln Z_j(t) + \lambda_1 \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln R_j(t) \\ & + \frac{\gamma\psi}{2} \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln H_j(t) \end{aligned} \quad (2.23)$$

où  $\beta_0 \equiv \frac{\ln \zeta}{2} > 0$  est le terme constant,  $\beta_1 \equiv \frac{\theta}{2} > 0$  le coefficient captant les dépenses en R&D dans le pays  $i$ ,  $\beta_2 \equiv \frac{\psi}{2} > 0$  le coefficient associé au capital humain dans le pays  $i$ ;  $\rho \equiv \frac{\gamma}{2} > 0$  le coefficient auto-régressif permettant de capter la diffusion de la connaissance technologique en provenance des pays voisins,  $\lambda_1 \equiv \frac{\gamma\theta}{2} > 0$  mesure l'impact moyen des R&D des autres pays sur la PTF du pays  $i$  et  $\lambda_2 \equiv \frac{\gamma\psi}{2} > 0$  est le coefficient associé à l'impact moyen des stocks de capital humain dans les pays voisins.

En écrivant l'équation (2.23) sous forme matricielle, nous obtenons à une date  $t$  l'expression suivante :

$$\mathbf{Z} = \mathbb{I}\beta_0 + \mathbf{R}\beta_1 + \mathbf{H}\beta_2 + \lambda_1 \mathbf{WR} + \lambda_2 \mathbf{WH} + \rho \mathbf{WZ} \quad (2.24)$$

où  $\mathbf{Z} = \ln Z_i(t)$  est un vecteur de dimension  $(n \times 1)$  contenant la PTF ;

$\mathbb{I}$  est un vecteur de dimension  $(n \times 1)$  dont tous les éléments sont égaux à 1 ;

$\mathbf{R} = \ln R_i(t)$  est un vecteur de dimension  $(n \times 1)$  contenant les dépenses en R&D,

$\mathbf{H} = \ln h_i(t)$  désigne un vecteur de dimension  $(n \times 1)$  du stock de capital humain et

$\mathbf{W} = \sum_{j=1}^n w_{ij}$  est la matrice d'interaction de dimension  $(n \times n)$ .

Pour terminer, nous ajoutons les termes d'erreur<sup>5</sup> à l'équation (2.24). Ce faisant, nous obtenons le modèle Durbin spatial suivant :

$$\mathbf{Z} = \mathbb{I}\beta_0 + \mathbf{R}\beta_1 + \mathbf{H}\beta_2 + \lambda_1\mathbf{WR} + \lambda_2\mathbf{WH} + \rho\mathbf{WZ} + \varepsilon \quad (2.25)$$

## 6 Validation empirique

### 6.1 Les données

L'échantillon est constitué de 107 pays dont 25 pays africains, 21 américains, 23 asiatiques, 36 européens et 2 océaniques pour la période allant de 2000 à 2011. Une partie de la base de donnée provient du travail de Feenstra *et al.* (2013) sur le *Penn World Table (PWT version 8.0)*. Cette base de données contient des informations sur la hausse de la PTF et sur l'indice du capital humain par tête (parmi d'autres variables) pour un grand nombre de pays. Afin de trouver un échantillon représentatif, nous prenons la moyenne de chaque variable sur la période d'étude. L'indice du capital humain est basé sur le nombre d'années de scolarisation (Barro et Lee, 2012) et sur les rendements de l'éducation (Psacharopoulos, 1994).

Les dépenses en R&D ont souvent un double objectif : le premier est qu'elles donnent lieu à une innovation, tandis que le second est qu'elles facilitent la compréhension et l'adoption des découvertes des autres. Ce dernier objectif est lié à la capacité d'absorption et prévoit un transfert technologique de manière efficace. Une grande part des dépenses en R&D est réalisée au sein des entreprises ou des industries, mais le fruit de ces dépenses permet de promouvoir le développement économique à travers la hausse des productivités. Les R&D peuvent s'effectuer au niveau domestique ou à l'étranger. Quoi qu'il en soit, il est clair que les deux types de R&D (domestique et étrangère) sont les canaux importants pour la hausse de la productivité. Les données concernant les dépenses en R&D proviennent de l'organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture.

La matrice d'interaction  $\mathbf{W}$  correspond à la matrice de poids couramment utilisée

---

5. Pour le moment, nous supposons que les termes d'erreur sont iid. Leur forme sera discutée par la suite.

en économétrie spatiale pour modéliser les interdépendances entre les observations. Elle est non négative, finie et souvent exogène. Elle est définie *a priori* par le modélisateur compte tenu de sa connaissance des relations et interactions entre les unités spatiales (Le Gallo, 2002). Plus précisément chaque pays est relié à un ensemble de pays voisins à l'aide d'un poids purement spatial introduit (le plus souvent) de manière exogène dans  $\mathbf{W}$ . Les éléments de la diagonale principale  $w_{ii}$  sont tous nuls car un pays ne peut pas être connecté à lui-même par convention. Les éléments en dehors de la diagonale décrivent la manière dont le pays  $i$  est spatialement connecté au pays  $j$ . Les matrices de poids sont souvent standardisées de telle sorte que la somme de chaque ligne est égale à 1. Les éléments d'une ligne standardisée sont égaux à :

$$w_{ij}^s = \frac{w_{ij}}{\sum_j w_{ij}}$$

Les poids sont alors compris entre 0 et 1 et cette opération rend les paramètres spatiaux comparables entre les modèles. Pour les matrices de contiguïté, cette opération facilite également l'interprétation des éléments du décalage spatial. L'opérateur spatial associé à la matrice de poids  $\mathbf{W}$  est défini par le vecteur  $Wx$ , appelé variable spatiale décalée. Lorsque la matrice de poids  $\mathbf{W}$  est une matrice standardisée, le  $i^{ime}$  élément de la variable spatiale décalée contient la moyenne pondérée des observations des pays voisins au pays  $i$ .

Traditionnellement, la connectivité est basée sur la proximité géographique et plusieurs matrices ont été utilisées dans ce sens, comme par exemple la matrice de contiguïté, la matrice des  $k$  plus proches voisins ou la matrice de distance. Cependant la définition de la connectivité est beaucoup plus large et peut être généralisée à toute forme de connexion permettant de mettre en évidence les interactions entre les observations. C'est pourquoi, nous utilisons le terme de matrice d'interaction.

Deux types de matrices d'interactions ont été spécifiés. La première notée  $\mathbf{W}_d$  est spécifiée en utilisant une fonction décroissante de la distance géographique. Elle est définie comme suit :

$$w_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{si } i = j \\ \frac{1}{d_{ij}^2} & \text{si } i \neq j \end{cases}$$

Les distances sont calculées en utilisant les coordonnées géographiques des capitales économiques selon la formule de la distance du grand cercle. Les coordonnées géographiques proviennent de la base de données du CEPII.<sup>6</sup>

La seconde notée  $\mathbf{W}_t$  est définie en utilisant les flux commerciaux comme suit :

$$w_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{si } i = j \\ M_{ij} & \text{si } i \neq j \end{cases}$$

où  $M_{ij}$  sont les importations moyennes du pays  $i$  en provenance du pays  $j$  sur la période 2000-2011. Les flux des importations proviennent de la base de données des Nations Unies UN COMTRADE<sup>7</sup>. Afin de traiter l'endogénéité des flux commerciaux, deux méthodes sont utilisées. La première consiste à utiliser des flux commerciaux décalés dans le temps, c'est-à-dire des importations moyennes sur la période allant de 1990 à 1999 ; la seconde consiste à instrumenter les importations. A cet effet, nous nous appuyons sur Frankel et Romer (1999) pour utiliser un modèle de gravité dans lequel les importations dépendent des caractéristiques géographiques des pays telles que l'existence d'une frontière commune entre les pays, l'accès à la mer, la superficie ou encore la population totale. Cela permet d'assurer que les importations dépendent uniquement des caractéristiques géographiques. Les informations concernant les caractéristiques géographiques des pays proviennent également de la base de données du CEPII.

Afin de visualiser les schémas potentiels d'interaction entre les pays, nous considérons quatre pays interdépendants. La structure d'interaction est représentée dans la matrice ( $4 \times 4$ ) suivante :

$$\mathbf{W}_t = \begin{pmatrix} 0 & M_{12} & M_{13} & M_{14} \\ M_{21} & 0 & M_{23} & M_{24} \\ M_{31} & M_{32} & 0 & M_{34} \\ M_{41} & M_{42} & M_{43} & 0 \end{pmatrix}$$

Les flux de la technologie vont du pays  $j$  vers le pays  $i$ , par exemple  $M_{23}$  représente les flux technologiques du pays 3 vers le pays 2. En d'autres termes, chaque ligne correspond au pays récepteur et chaque colonne au pays émetteur.

---

6. <http://www.cepii.fr/>

7. <http://comtrade.un.org/>

Étant donné que les tests de Moran et LM montrent qu'il n'y a pas d'autocorrélation spatiale dans les termes d'erreur (voir le tableau 2.1), nous n'aurons plus besoin d'utiliser un modèle spatial contenant des erreurs spatialement décalées, comme un modèle SEM, GSM ou un modèle Durbin spatial à erreur autocorrélée (Anselin, 1988b,a).<sup>8</sup>

Dans la section suivante, nous procédons à plusieurs estimations<sup>9</sup> du modèle (2.25) selon qu'il y ait une interdépendance spatiale ou pas. Nous commençons par estimer le modèle (2.25) sans les effets spatiaux (i.e.  $\rho = 0$ ) en utilisant les MCO. Ensuite, nous estimons les modèles SAR et SDM pour chacune de nos matrices d'interaction  $\mathbf{W}_t$  et  $\mathbf{W}_d$ . Nous conservons les estimations des modèles MCO et SAR pour contrôler la robustesse des paramètres.

## 6.2 Les résultats des estimations

Les variables explicatives utilisées sont les dépenses en R&D et l'indice du stock de capital humain. En plus de ces variables, le modèle contient leurs moyennes pour les pays voisins, lesquelles sont notées W-R&D et W-HC. Étant donné qu'il n'y a pas une grande différence entre les résultats donnés par les deux méthodes d'estimation, nous nous concentrons uniquement sur l'estimation avec variable instrumentale. Les autres résultats seront laissés pour étudier la robustesse. Le tableau 2.1 présente les résultats complets :

---

8. Les tests sont effectués sur les modèles MCO, SAR et SDM

9. Pour les estimations nous avons utilisé les routines de James LESAGE qui sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www.spatial-econometrics.com/>.

Tableau 2.1 – Estimation avec variable instrumentale

Model	OLS	SAR		SDM	
		$\mathbf{W}_d$	$\mathbf{W}_t$	$\mathbf{W}_d$	$\mathbf{W}_t$
Dependent V.	TFPG	TFPG	TFPG	TFPG	TFPG
R&D	0.007** (0.003)	0.006* (0.003)	0.007** (0.003)	0.005* (0.002)	0.010*** (0.002)
hc	0.024* (0.014)	0.023 (0.016)	0.023 (0.015)	0.029* (0.015)	0.025** (0.011)
$\rho$		0.436*** (0.114)	0.360*** (0.111)	0.386*** (0.120)	0.369*** (0.100)
w-R&D				0.009* (0.004)	0.021** (0.010)
w-HC				-0.019 (0.034)	-0.134 (0.087)
$R^2$	0.042				
AIC		-2.626	-2.518	-2.608	-2.503
BIC		-2.552	-2.443	-2.484	-2.378
LM stat	10.80		14.57		13.02
Probability	0.001		<0.001		<0.001
Moran I-stat	3.641		1.993		4.225
Probability	<0.001		0.046		<0.001

*Notes* : Les écart-types sont indiqués entre parenthèses. \*\*\* significatifs à 1% ; \*\* significatifs à 5% et \* significatifs à 10%. AIC et BIC sont respectivement les critères d'information d'Akaike et de Schwartz.

Le tableau 2.1 présente les résultats des estimations avec les modèles MCO, SAR et SDM compte tenu des deux matrices d'interactions. Les résultats établissent que le coefficient  $\rho$  associé à l'interdépendance spatiale est positif et significativement différent de zéro (Tableau 2.1 colonnes 2-5). Ce coefficient capte la diffusion technologique engendrée par la PTF des pays voisins. Étant donné que le paramètre autorégressif est significatif, les estimations avec les MCO ne sont plus en mesure de donner des résultats satisfaisants. Nous pouvons noter que le paramètre associé à la R&D est positif et significatif dans toutes les régressions, mais celui qui est associé à l'indice de capital humain s'est révélé non significatif pour le SAR.

Concernant les impacts moyens des pays voisins, les estimations pour le paramètre associé à la variable W-R&D s'est révélé être positif et significatif. Cependant, celui qui est associé à la variable W-HC est non significatif. Ces résultats suggèrent que le modèle SAR souffre d'un problème de variables omises. C'est pourquoi, nous nous focalisons exclusivement sur les résultats du modèle SDM (2.25) qui provient directement d'un cadre théorique.

Les deux principales critiques adressées à Coe et Helpman (1995) et ses extensions sont la non-prise en compte de l'interdépendance spatiale dans l'estimation de la PTF (Ertur et Musolesi, 2015) et de l'effet indirect du commerce international (Lumenga-Neso *et al.*, 2005). Le modèle SDM développé dans ce travail permet de tenir compte à la fois de l'interdépendance spatiale et des impacts directs. En effet, les modèles spatiaux exploitent une structure de dépendance complexe entre les observations qui peuvent être des pays, des régions etc. Ainsi les paramètres estimés donnent des informations sur la relation entre les observations. Les variables explicatives d'un pays  $i$  affectent non seulement l'observation correspondant au pays  $i$  (effet direct) mais peuvent aussi affecter indirectement tous les autres pays (effet indirect) (Behrens et Thisse, 2007). Pour évaluer l'ampleur des impacts découlant de changements dans les deux variables explicatives, nous nous tournons vers les impacts directs, indirects et totaux présentés dans le tableau 2.2.

Tableau 2.2 – Les impacts directs, indirects et totaux

Models	Variables	Direct	Indirect	Total
SAR- $\mathbf{W}_d$	R&D	0.006*	0.004	0.011*
		(0.003)	(0.002)	(0.006)
	hc	0.023	0.017	0.041
		(0.017)	(0.015)	(0.032)
SAR- $\mathbf{W}_t$	R&D	0.007*	0.004	0.011*
		(0.003)	(0.003)	(0.005)
	hc	0.020	0.010	0.030
		(0.018)	(0.012)	(0.024)
SDM- $\mathbf{W}_d$	R&D	0.006**	0.019*	0.026**
		(0.002)	(0.011)	(0.012)
	hc	0.029*	-0.016	0.012
		(0.015)	(0.473)	(0.043)
SDM- $\mathbf{W}_t$	R&D	0.012***	0.065***	0.077***
		(0.002)	(0.020)	(0.023)
	hc	0.030*	0.101	0.131
		(0.018)	(0.081)	(0.155)

*Notes* : Les écart-types sont indiqués entre parenthèses.

\*\*\* significatifs à 1% ; \*\* significatifs à 5% et \* significatifs à 10%.

Considérons d'abord les impacts directs de la R&D. Nous constatons que les estimations relatives à ces impacts sont assez proches de celles qui sont données par le SDM pour la variable R&D représentées dans le tableau (2.1, colonnes 4-5). La différence entre les estimations des coefficients et les impacts directs dans le tableau (2.2, lignes 9 et 13) représente l'effet *feedback*, elle est de 0.001 pour les estimations avec la matrice  $\mathbf{W}_d$  et de 0.002 pour  $\mathbf{W}_t$  (voir les tableaux 2.1 colonnes 4-5 et 2.2, lignes 9 et 13). L'effet *feedback* correspond à l'effet d'une variable qui affecte d'abord les pays voisins pour ensuite affecter le pays lui-même. En d'autres termes, la R&D du pays  $i$  affecte les productivités des autres pays qui à leur tour influence la productivité du pays  $i$ . Ces derniers résultats suggèrent un effet *feedback* positif. Cependant, il est tellement faible que nous ne pouvons conclure à une importance économique. Le but de la réflexion est de mettre en évidence un autre effet qui échappe aux travaux de Coe et Helpman (1995). Par ailleurs, le signe positif des impacts directs montre un effet positif. Une augmentation de 1% des dépenses en R&D dans le pays  $i$  engendre un effet direct sur la croissance de la PTF de 0.012% avec la matrice  $\mathbf{W}_t$  et 0.006% pour  $\mathbf{W}_d$ .

Les impacts indirects de la R&D permettent de capter les externalités de la R&D du fait qu'ils mesurent les effets des R&D étrangères sur la hausse de la productivité locale. Les impacts indirects sont ici plus élevés que les impacts directs; cela montre une contribution plus importante des externalités de R&D dans la hausse des productivités. Une augmentation de 1% des dépenses en R&D des voisins entraîne respectivement une hausse de la productivité de 0.019% (0.020%). Concernant l'effet total, il est positif et significatif. Ce dernier est composé principalement des impacts indirects. Les valeurs numériques montrent qu'une hausse des dépenses en R&D génère une hausse de la productivité de 0.026% (0.077%).

Concernant le capital humain, l'effet *feedback* trouvé est de 0.005 (voir les tableaux 2.1 colonnes 4-5 et 2.2, lignes 10 et 14). Les impacts directs de cette variable sont positifs, confirmant l'importance du capital humain dans la hausse des productivités. A noter que les effets indirects sont non significatifs au même titre que les effets totaux qui sont principalement composés des impacts indirects.

## 7 Conclusion du chapitre 2

Dans ce chapitre 2, nous avons étudié l'un des canaux par lesquels le commerce international affecte l'innovation moteur de la croissance, à savoir la transmission technologique. Les premières études portant sur la relation entre le commerce international et l'innovation concluent à une uniformité de la diffusion technologique. Or, cette uniformité est mise en cause par le fait que les flux commerciaux eux-mêmes dépendent des facteurs géographiques. Il nous a semblé opportun d'étudier l'enjeu de l'interdépendance spatiale dans la diffusion technologique à travers les échanges internationaux. A cet effet, nous avons proposé une méthode alternative pour estimer les externalités technologiques tout en tenant compte de l'interdépendance spatiale entre les pays. En nous basant sur un modèle de croissance endogène avec variétés des biens, nous avons pu montrer comment un modèle Durbin spatial peut être obtenu à partir d'un cadre théorique. Cela nous a permis de combler quelques lacunes des travaux empiriques étudiant l'impact du commerce international sur le progrès technologique. Alors que les travaux de Coe et Helpman (1995) ne prennent pas en compte l'autocorrélation spatiale (Ertur et Musolesi, 2015) et les impacts indirects du commerce international (Lumenga-Neso *et al.*, 2005), le modèle SDM développé dans ce chapitre a permis de tenir compte de ces effets spatiaux.

Le rôle joué par les externalités technologiques a été le principal centre d'intérêt dans ce chapitre. Les résultats ont montré qu'en plus des variables traditionnelles telles que les R&D et le capital humain, les externalités contribuent fortement à la hausse des productivités. Ces externalités technologiques ont été mises en évidence par le coefficient autorégressif et les impacts indirects de la R&D.

Ce chapitre nous a permis d'établir l'effet de l'ouverture internationale sur l'innovation par le biais des externalités technologiques. Toutefois, il existe un autre effet de l'ouverture internationale sur l'innovation qui n'a pas été traité dans ce chapitre, à savoir que libéralisation des échanges augmente la concurrence, en permettant aux entreprises étrangères de concurrencer les entreprises domestiques. L'objectif du prochain chapitre portera sur cet effet supplémentaire de l'ouverture internationale sur l'innovation.

---

# Chapitre 3

## L'effet du commerce sur l'innovation par le biais de la concurrence

### 1 Introduction

Dans le chapitre 2, nous avons établi que l'ouverture internationale favorise l'innovation et la croissance par l'intermédiaire des externalités technologiques. Grâce au commerce international, les technologies circulent plus librement entre les pays et bénéficient à un plus grand nombre d'entreprises et de personnes. En outre, l'ouverture internationale accroît la taille du marché, tant pour les innovateurs que pour ceux qui acquièrent leurs innovations et s'en servent. Elle permet aux producteurs d'accroître leur échelle de production et l'étendue des externalités d'apprentissage par la pratique (Arrow, 1962b). Elle permet également aux entreprises de couvrir les coûts de la R&D, ce qui ne serait pas toujours possible si la production était uniquement destinée au marché intérieur, plus restreint. En effet, comme une grande partie des coûts des R&D sont fixes, une entreprise qui vend sur les marchés domestiques et étrangers pourrait facilement rentabiliser les investissements en R&D sur une plus grande quantité de ventes. Ces économies d'échelle sont particulièrement importantes pour les pays dotés de petits marchés domestiques.

Cependant, il existe un effet supplémentaire de l'ouverture sur l'innovation qui n'a pas été abordé dans le chapitre précédent, à savoir l'ouverture internationale qui intensifie la concurrence sur le marché domestique (Mirza, 2006). En effet, en

éliminant les obstacles tarifaires et non tarifaires, la libéralisation des échanges améliore la concurrence en permettant aux firmes étrangères de concurrencer les firmes domestiques. Cette concurrence peut améliorer la productivité des firmes domestiques. D'une part, cela force les firmes les moins productives à quitter le marché au profit des firmes plus productives, augmentant ainsi la productivité moyenne (Melitz, 2003). Treffer (2004) a également montré que la libéralisation des échanges au Canada a provoqué une hausse de la productivité moyenne de 6%. D'abord l'augmentation de la concurrence oblige les firmes à innover afin d'échapper à la concurrence étrangère (Aghion et Howitt, 2009, Chp. 12). Cependant, la libéralisation des échanges pourrait avoir un effet négatif sur l'innovation. En effet en augmentant la pression concurrentielle, la libéralisation pousse les firmes improductives vers la sortie, donc moins de firmes et donc moins de sources d'externalités technologiques (Peretto, 2003). Car la présence de concurrents sur un marché peut être source de nouvelles connaissances pour chaque entreprise et peut favoriser leur processus d'innovation. Ensuite le dépôt d'un brevet dévoile aux concurrents la découverte de l'entreprise et leur permet donc d'utiliser les acquis correspondants pour développer leur propre politique d'innovation. D'autre part, lorsqu'une entreprise met sur le marché une innovation radicale, cette percée ouvre un marché à toutes les entreprises imitatrices qui vont décliner cette innovation dans autant de produits (Boyer et Didier, 1998). De ce fait il est nécessaire de prendre en compte l'effet de la concurrence lorsque l'on examine les effets du commerce international sur l'innovation.

Par ailleurs, les travaux étudiant l'impact du commerce international sur l'innovation et la croissance donnent peu d'importance à l'interdépendance spatiale en raison de l'hypothèse implicite que les flux commerciaux entre deux partenaires sont indépendants de ce qui se passe dans le reste du monde. Cependant, nous avons établi l'existence d'une interdépendance spatiale entre les flux commerciaux dans le chapitre 1. Cette interdépendance pourrait affecter la structure des échanges commerciaux et alimenter une sorte de concurrence spatiale entre les partenaires. Par conséquent il nous semble intéressant de tenir compte de l'interdépendance spatiale dans l'analyse de la relation entre l'ouverture internationale et l'innovation.

L'objectif du présent chapitre<sup>1</sup> est d'analyser l'effet de l'ouverture internationale

---

1. Quelques idées de ce chapitre font l'objet d'un article qui est en cours de publication.

sur l'innovation par le biais de la concurrence. Plus précisément, nous examinons les conséquences de la baisse des barrières commerciales sur l'innovation en prenant en compte l'interdépendance spatiale. Comme nous l'avons souligné dans les précédents chapitres, la prise en compte de cette interdépendance nécessite l'utilisation d'une méthodologie particulière concernant l'analyse empirique. En effet l'interdépendance est source de deux effets spatiaux : l'autocorrélation spatiale et l'hétérogénéité spatiale. Le traitement de l'autocorrélation spatiale nécessite de recourir aux outils de l'économétrie spatiale. Afin de répondre à cette exigence technique, nous développons une approche structurelle permettant de la prendre en compte (Fischer et Wang, 2011 ; Le Gallo, 2002 ; Lee, 2004). Nous établissons ainsi comment un modèle économétrique spatial peut être obtenu à partir d'un modèle théorique.

Afin de développer notre argumentation, nous nous appuyons sur un modèle de croissance endogène dit *schumpétérien* (Aghion *et al.*, 2014) dans lequel le progrès technique est généré par une séquence d'innovation améliorant la qualité de la productivité. L'amélioration de la qualité résulte des activités de R&D et par des externalités technologiques. Dans le modèle nous supposons que les pays s'engagent dans un commerce de biens intermédiaires et que ce marché mondial peut être monopolisé par l'entreprise ayant le coût de production le plus faible. Ce faisant le taux de croissance du PIB est capté par le taux de croissance du progrès technique et l'intensité des barrières commerciales. En outre le taux de croissance du progrès technique dépend du niveau de connaissances technologiques de chaque pays et des externalités. Nous supposons que les externalités dont bénéficie chaque pays dépendent de la hausse (ou baisse) des barrières commerciales et de la croissance technologique des pays voisins. Nous supposons également que l'intensité des barrières commerciales influence sur l'intensité concurrentielle. Cela nous permettra au passage de capter l'effet de la concurrence étrangère sur la croissance du progrès technique.

Le reste du chapitre est structuré comme suit. Dans la section 2 nous présenterons le débat sur la relation entre la concurrence et l'innovation. Deux paradigmes s'affrontent dans ce débat : d'un côté la concurrence semble néfaste pour l'innovation car elle réduit l'incitation des firmes à innover en réduisant les rentes de monopole ; de manière équivalente une imitation plus importante décourage les innovateurs. D'un

autre côté de nombreuses études empiriques confirment l'existence d'une relation positive entre concurrence et productivité au niveau sectoriel quelle que soit la manière de mesurer la concurrence. De même au niveau macroéconomique les travaux empiriques concluent qu'un renforcement de la concurrence exerce un effet favorable sur la productivité dans les secteurs où l'intensité concurrentielle est limitée au départ. La section 3 sera consacrée aux études portant sur l'impact du commerce international par la concurrence. Dans la section 4 nous dérivons une approche structurelle. Nous commencerons par présenter le modèle théorique en économie fermée, ensuite nous permettrons aux pays de s'engager dans un commerce de biens intermédiaires. La section 5 sera consacrée à l'analyse empirique du modèle spatial.

## 2 La relation entre la concurrence et l'innovation

La relation entre l'innovation et la concurrence a été d'abord étudiée par Joseph Schumpeter en 1942 et Arrow (1962a), puis par les théories de l'organisation industrielles dans le cadre de la course pour l'innovation. Les théories de la croissance endogène ont relancé le débat en étudiant l'effet de la concurrence sur le marché de biens sur l'innovation. Dans les prochaines sous-sections, nous présenterons les différents mécanismes mis en avant dans ces travaux.

### 2.1 Schumpeter versus Arrow

Selon Joseph Schumpeter, le capitalisme est en perpétuelle évolution grâce à un processus de « création destructrice ». Il donne une définition de ce processus, pour lui : « *en règle générale, le nouveau ne sort pas de l'ancien, mais apparaît à côté de l'ancien, lui fait concurrence jusqu'à le ruiner, et modifie toutes les situations de sorte qu'un processus de mise en ordre est nécessaire* ». L'économie capitaliste est ainsi caractérisée par la nécessité d'innover pour les entreprises. Ces dernières investissent dans la R&D en espérant obtenir une rente de monopole leur permettant de couvrir les dépenses en R&D et de dégager un profit. La concurrence dans ce contexte est néfaste pour l'innovation car elle réduit la rente de monopole et donc l'incitation à innover. Dans cette vision le monopole est la structure de marché qui favorise l'innovation. D'une part il est plus facile pour les grandes entreprises de

mener des activités de R&D qui sont parfois coûteuses. D'autre part l'innovation se diffuse plus facilement au sein des entreprises (Karklins-Marchay, 2004).

Contrairement à Schumpeter, Arrow (1962a) démontre que l'incitation à innover est plus grande dans un marché concurrentiel que dans un marché monopolistique. Dans son analyse l'incitation à innover provient du différentiel de profits (avant et après l'innovation); ce différentiel de profits est plus faible dans un marché monopolistique que dans un marché concurrentiel. En innovant le monopole gagne moins qu'une entreprise concurrentielle parce qu'il détruit sa précédente innovation et se remplace lui-même, alors qu'une entreprise concurrentielle devient un monopole. L'effet de remplacement incite moins le monopole à innover qu'une entreprise concurrentielle qui innove pour échapper à la concurrence.

## 2.2 La concurrence pour l'innovation

Il est fréquent dans la littérature de qualifier la compétition technologique de course au brevet. La première entreprise à concevoir l'innovation devient la gagnante et reçoit, par la protection du brevet, tous les gains associés à l'innovation. La question qui se pose dans ce courant de pensée théorique est de savoir à quelles conditions une entreprise décidera ou non de participer à la course? La réponse dépend d'abord de la structure de marché et de la position qu'occupe l'entreprise *ex ante* : est-elle monopoliste, oligopoliste, concurrentielle, ou entrante potentielle? Elle dépend ensuite de la taille de l'innovation, mineure ou drastique, qui conditionne la structure de marché *ex-post*. Les hypothèses sur le processus de recherche interviennent aussi : le résultat de la recherche est-il *a priori* certain? La durée requise est-elle connue *a priori*? Y a-t-il réévaluation des efforts de recherche au cours du processus ou la recherche est-elle aléatoire, sans mémoire? Y-a-t-il transmission d'information entre les participants à la course? Les conclusions des différents modèles sont très sensibles aux hypothèses retenues, il n'y a pas de résultat général, applicable à toutes les configurations de marchés et de dynamiques technologiques (Halmenschlager, 1992). Plusieurs auteurs se sont mis à modéliser ce type de compétition.

Kamien et Schwartz (1972) ont examiné l'effet de la rivalité entre les innovateurs potentiels sur la date d'introduction d'une probable innovation. Chaque entreprise

mène ses propres R&D et les coûts de l'innovation sont les mêmes quelle que soit l'entreprise (innovatrice ou imitatrice). Les brevets sont inexistantes ou inefficaces, mais l'égalité des coûts implique qu'aucune entreprise ne peut bénéficier des externalités liées à l'innovation de son concurrent. Les coûts de R&D (fixes) sont supposés dépendre de la vitesse à laquelle l'innovation est introduite sur le marché, une date d'introduction plus courte implique un coût plus élevé. Les gains pour une entreprise dépendent des dates auxquelles elle introduit son innovation et de la date à laquelle sa rivale introduit la sienne. Si l'entreprise innove en premier, elle récolte tous les revenus puisqu'elle monopolise le marché jusqu'à ce que sa rivale entre sur le marché. Si au contraire l'entreprise n'est pas la première à innover, elle aura une part des revenus dès qu'elle entrera sur le marché. Dans le cas où les deux entreprises innovent en même temps, elles se partagent les gains liés aux innovations. Dans ces conditions, l'intensification de la rivalité conduit à une dissipation de la rente de monopole et la concurrence pour l'innovation n'entraîne pas forcément l'accélération de la date d'introduction d'une innovation. En outre, la concurrence pour l'innovation entraîne un sur-investissement par rapport à ce qui est socialement optimal. Ce sur-investissement peut être évité si les deux entreprises se mettent à coopérer.

Kamien et Schwartz (1976) se sont basés sur leurs travaux de 1972 pour montrer que la relation entre l'intensité de la rivalité et la date d'introduction d'une innovation n'est pas monotone. En effet, cette relation dépend de l'ampleur des bénéfices que l'innovateur tire de son innovation. Le choix de la période d'introduction décroît avec l'intensité de la rivalité si les bénéfices sont importants. Par contre, la période de développement s'allonge avec l'intensité de la rivalité si les bénéfices de l'innovation sont moins profitables. Ces mêmes auteurs ont constaté, dans une autre étude en 1978, qu'une entreprise en situation de monopole qui est en sécurité en termes de profit est moins incitée à innover. De manière équivalente une entreprise entrante avec des flux de profits normaux est plus motivée à innover qu'une entreprise qui est déjà sur le marché (Kamien et Schwartz, 1978).

Loury (1979) s'est inspiré des travaux de Kamien et Schwartz (1976, 1978) en formulant un modèle dans lequel chaque entreprise investit en R&D dans un contexte d'incertitude technologique et du marché. L'incertitude technologique provient du fait que la relation entre les investissements en R&D et la date d'introduction de

l'innovation sur le marché n'est plus déterministe comme dans les travaux de Kamien et Schwartz (1972, 1976, 1978). Elle est supposée être stochastique. Quant à l'incertitude du marché elle provient du fait qu'aucune entreprise n'ignore quand les investissements en R&D d'une rivale aboutissent à une innovation. Cependant l'investissement en recherche a la nature d'une dépense fixe réalisée une fois pour toutes par chaque firme au début de la course. Loury (1979) montre que la concurrence pour l'innovation, mesurée par le nombre de participants à la course, est favorable à l'investissement agrégé en recherche. Une intensification de la concurrence rapproche la date espérée de la découverte. Cependant comme dans Kamien et Schwartz (1972), elle conduit à un niveau total de dépenses excessif par rapport à ce qu'il serait collectivement optimal de réaliser.

Une particularité du modèle de Loury (1979) est que l'investissement individuel décroît avec le nombre de participants à la course, même si l'investissement agrégé croît avec le nombre de participants. Cette particularité a amené Lee et Wilde (1980) à proposer une reformulation du problème. Au lieu de supposer que l'investissement en recherche est un coût fixe engagé une fois pour toute au début de la course, ces auteurs proposent de retenir l'hypothèse plus réaliste selon laquelle la dépense en recherche dure tant que la découverte n'a pas été réalisée. C'est donc d'un flux continu de dépenses qu'il s'agit. Les résultats montrent que la concurrence pour l'obtention de l'innovation mesurée par le nombre d'entreprises accroît l'investissement en R&D, tant au niveau individuel qu'au niveau agrégé.

Gilbert et Newbery (1982) ont adopté une approche déterministe<sup>2</sup> afin de savoir si l'innovation est réalisée par une entreprise qui est déjà installée sur le marché ou une entrante potentielle. Chacune des entreprises (installée et entrante) exprime sa disponibilité à investir. Si l'entreprise installée exprime la plus forte disponibilité à investir, elle conserve son monopole du marché. Si c'est l'entreprise entrante qui exprime la plus forte disponibilité, elle entre sur le marché en réalisant l'innovation et le marché est alors partagé entre l'entreprise installée et la nouvelle entrante. La

---

2. Dans une approche déterministe, chaque entreprise exprime sa disponibilité à investir sous forme d'une enchère donnant le montant de ressources qu'elle est prête à engager dans la recherche. Seule l'entreprise ayant exprimé l'enchère la plus élevée s'engage dans la recherche et réalise l'investissement correspondant (Dasgupta et Stiglitz, 1980).

disponibilité à investir de l'entreprise installée est ainsi égale à la différence entre le profit de monopole qu'elle obtient en réalisant elle-même l'innovation et le profit de duopole qu'elle obtient en laissant sa concurrente potentielle réaliser l'innovation. Si cette différence est supérieure au profit de duopole qu'obtient la concurrente en réalisant l'innovation, l'entreprise installée est incitée à réaliser l'innovation et à se maintenir en tant que monopole. Sa disponibilité à investir est donc la valeur qui annule le profit actualisé de la concurrente potentielle. Une protection par les brevets augmente l'incitation de l'entreprise installée à innover.

Reinganum (1983, 1984) a réexaminé la question de la persistance du monopole dans le cadre d'un modèle stochastique de course au brevet. Elle montre que si l'entreprise qui réussit à innover en premier parvient à capter une part suffisamment grande du marché après l'innovation, la disponibilité à investir de l'entreprise installée serait plus faible que celle de sa concurrente potentielle dans un équilibre de Nash. La persistance du monopole n'est donc plus assurée dans ce cadre et c'est plutôt une alternance de monopole que l'on constate. L'intuition est que si l'innovation est drastique, le premier innovateur capture tout le marché après l'innovation en pratiquant un prix de monopole. La date d'obtention de l'innovation étant incertaine, donc la période pendant laquelle l'entreprise installée perçoit son profit de monopole est une variable aléatoire qui, en probabilité, est d'autant plus courte que le montant investi en recherche (par l'entreprise installée ou par la concurrente) est élevé. L'entreprise installée est moins incitée à réduire cette période et donc moins incitée à innover. On constate alors une alternance de monopole entre les entreprises qui sont engagées dans la course.

Les courses aux brevets sont des déterminants importants de la structure du marché. Pour la nouvelle entreprise un brevet peut être un billet d'entrée sur le marché. Pour l'entreprise en place les brevets pour les technologies connexes peuvent veiller à ce qu'aucune nouvelle entreprise ne pénètre le marché. Ainsi certaines entreprises installées acquièrent des brevets uniquement pour empêcher des rivaux potentiels d'entrer sur le marché (Harris et Vickers, 1985).

Vickers (1986) quant à lui a exploré la question de savoir comment la structure du marché évolue quand il y a un processus d'innovation séquentiel. Est-ce qu'une entreprise dominante tente d'étendre sa supériorité technologique pour devenir de

plus en plus dominante, ou le *leadership* technologique change-t-il sans cesse de mains dans un processus d'« action-réaction » ? Dans ces conditions, deux issues peuvent se réaliser. La première est celle où il y a alternance des entreprises innovantes, c'est l'entreprise dont le coût de production est le plus élevé qui est la plus incitée à innover. La deuxième issue est celle où l'entreprise dont le coût de production est le plus bas a la plus forte incitation à innover. Vickers (1986) montre en effet que, si la concurrence sur les produits est de type *Cournot*, l'évolution de la structure de l'offre obéit à un principe d'alternance. En revanche, si la concurrence est plus vive, par exemple si elle porte sur les prix comme dans le modèle de *Bertrand*, le marché évolue vers une situation de domination persistante. Le modèle de Vickers (1986) relie la concurrence pour l'innovation à la concurrence sur le marché des produits.

Les modèles de course aux brevets étudient principalement la concurrence que se font les entreprises pour l'obtention d'un brevet. Une fois obtenu, le brevet confère à son détenteur un pouvoir de monopole sur le marché de produits. Ainsi dans ces modèles, c'est l'innovation qui conditionne la structure de marché *ex post*. D'autres travaux se sont intéressés à l'influence de la structure de marché *ex ante*. Ces travaux ont eu pour objectifs d'étudier sur le marché des produits l'effet de la concurrence sur l'innovation. Dans la sous-section suivante nous présenterons les idées essentielles des ces travaux.

### **2.3 Le marché des produits : l'effet de la concurrence sur l'innovation**

Une abondante littérature théorique et empirique est consacrée aux incidences de la concurrence sur l'innovation. Les prédictions de ces travaux ne permettent pas de trancher quant à une relation positive ou négative entre la concurrence et l'innovation. Certaines théories montrent un effet négatif de la concurrence sur l'innovation, tandis que la relation inverse peut aussi être démontrée. En revanche, la littérature empirique lui prête dans l'ensemble un effet positif. Par ailleurs d'autres travaux ont montré l'existence d'une relation non monotone entre la concurrence et l'innovation afin de concilier la théorie et les résultats empiriques. Dans ces travaux la concurrence est mesurée par le nombre d'entreprises présentes, l'importance des

barrières à l'entrée ou le degré de différenciation des produits (Aghion et Griffith, 2005).

Un grand nombre de théories prédisent qu'un affaiblissement de la concurrence s'accompagnerait d'une augmentation de l'innovation car une moindre concurrence se traduit pour les entreprises qui innovent par des perspectives de profits futurs plus conséquents. La concurrence sur les marchés des produits, en réduisant les profits, diminue d'autant l'incitation à innover pour l'entreprise. Il s'agit de l'effet souvent qualifié de « schumpetérien » de la concurrence sur le marché des produits. Cet effet est présent dans les modèles originaux de croissance endogène (Segerstrom *et al.*, 1990 ; Grossman et Helpman, 1991b).

Dans les modèles de variétés (Romer, 1990 ; Grossman et Helpman, 1991a) l'effet négatif est induit par la concurrence monopolistique à la Dixit et Stiglitz (1977). Dans ces modèles chaque innovation crée un nouveau bien qui constitue un substitut aux biens existants. Une augmentation de la concurrence se caractérise alors par une augmentation de la substitution entre les biens qui sont différenciés horizontalement, ce qui se traduit par une réduction de la rente *ex post* des firmes décourageant ainsi l'innovation.

Dans les modèles de croissance fondés sur une différenciation verticale des produits, les nouvelles inventions rendent les technologies ou produits anciens obsolètes : le progrès technique procède par « destruction créatrice » et seul l'effet de remplacement est pris en compte, c'est-à-dire que les nouvelles innovations remplacent les anciennes. L'incitation à innover provient de l'espoir d'obtenir une rente de monopole. Dans ces conditions, les incitations à innover croissent en même temps qu'augmentent les profits. L'intensification de la concurrence, en réduisant la rente tirée de l'innovation, diminue les incitations à innover. Ainsi le monopole constitue la structure de marché qui incite les entreprises à innover (Aghion et Howitt, 1992 ; Caballero et Jaffe, 1993).

D'autres modèles font des prédictions opposées. Certains d'entre eux suggèrent par exemple que les entreprises en situation de concurrence attachent une importance plus grande à l'innovation que les monopoles, car ces dernières récupèrent une partie de leurs profits antérieurs lorsqu'elles innovent. Aussi des structures de marché plus intensément concurrentielles favoriseront-elles l'émergence d'un plus grand nombre

d'innovations. Il s'agit de l'effet dit de remplacement dont on doit le concept à Arrow (1962a). Il ressort d'autres modèles qu'une concurrence accrue produirait un effet positif sur l'innovation en suscitant un processus d'incitation en vue de convaincre employés et dirigeants de délaissier les secteurs déprimés au profit d'activités plus productives. Il s'agit des modèles d'agence développés par Hart (1983) puis par Aghion *et al.* (1999).

D'un point de vue théorique, la relation entre la concurrence et l'innovation est ambiguë. Selon certains modèles, la concurrence favorise l'innovation, selon d'autres la concurrence constitue un frein à l'innovation. Cette absence de prédiction théorique claire rend la relation entre la concurrence et l'innovation particulièrement intéressante d'un point vue empirique.

Crepon *et al.* (1998) ont utilisé des données d'entreprises françaises et des brevets européens pour étudier les liens entre la productivité, l'innovation et la recherche au niveau de l'entreprise. Il ressort de leurs estimations que la probabilité de s'engager dans la R&D pour une entreprise augmente avec sa taille (nombre d'employés), sa part de marché et la diversité de ses produits. La probabilité augmente aussi avec la demande et l'effort de R&D de l'entreprise en question. Ces auteurs établissent une relation positive entre la part de marché et l'incitation à entreprendre des activités de R&D et donc une relation négative entre la concurrence et l'innovation. Cependant, Nickell (1996) et Blundell *et al.* (1999) ont mis en avant une relation positive entre la concurrence sur le marché des produits et l'innovation en utilisant des données d'entreprises britanniques.

Nickell (1996) et Blundell *et al.* (1999) ont été les premiers à avoir travaillé sur des données individuelles. Tous ont utilisé des données de panel d'entreprises cotées à la Bourse de Londres. Dans le travail de Nickell (1996), l'intensification de la concurrence s'accompagne d'une accélération de la croissance de la productivité globale des facteurs, laquelle ralentit avec le renforcement de la concentration du marché et la hausse du niveau des profits. Blundell *et al.* (1999) ont travaillé sur des données de comptage des innovations rassemblées par les chercheurs et les ingénieurs pour mesurer la production d'innovations. La concurrence est mesurée par les parts de marché, la concentration et la pénétration des importations. Il ressort de leurs travaux que les entreprises dominantes au sein d'un secteur d'activité innovent da-

vantage, et que les secteurs moins concurrentiels (où la concentration est plus forte et les importations moins présentes) produisent dans l'ensemble moins d'innovations. En utilisant des données industrielles Sud Africaines pour la période allant de 1970 à 2004, Aghion *et al.* (2008) ont montré que l'augmentation des pouvoirs de marché est associée à une faible productivité dans les industries Sud Africaines.

Les modèles théoriques et empiriques mentionnés ci-dessus décrivent tous une relation monotone négative ou positive entre la concurrence et l'innovation. D'autres auteurs se sont efforcés d'harmoniser les observations apparemment contradictoires entre la théorie qui prédit une relation négative et les travaux empiriques qui font apparaître en général un effet positif. Dans cette perspective Aghion *et al.* (1997, 2001) décrivent une relation non linéaire entre la concurrence et l'innovation. Ces auteurs se sont basés sur le modèle schumpétérien en substituant l'innovation de remplacement par l'innovation étape par étape. Dans cette approche une entreprise qui a une étape de retard par rapport à l'entreprise leader doit d'abord rattraper le *leader* avant de devenir elle même *leader*. Ainsi à tout moment du temps il existe deux types de secteurs dans l'économie : des secteurs avec leader technologique et des secteurs au « coude à coude ». Dans les secteurs avec leader la concurrence réduit l'incitation des firmes en retard à entamer des efforts de R&D. Tandis que dans les secteurs au « coude à coude » la concurrence oblige les firmes à innover pour survivre sur le marché. L'effet global de la concurrence sur l'innovation donne une relation en forme de U inversé. Aghion *et al.* (2005) testent les résultats obtenus par Aghion *et al.* (1997, 2001) en utilisant les données de panel relatives à l'activité de dépôt des brevets des entreprises britanniques. Comme chez Nickell (1996) la concurrence sur les marchés des produits est évaluée à l'aide d'un indicateur des profits. Ils obtiennent une relation en U inversé très nette entre innovation et concurrence. Le sommet du U inversé est proche de la médiane de la distribution (qui s'établit à 0,95).

Encaoua et Ulph (2005) ont étendu le modèle de Aghion *et al.* (1997) en introduisant une distinction entre les flux de connaissances et les flux technologiques. Les flux technologiques correspondent aux flux d'innovation et les flux de connaissances sont les informations données par les brevets sur une innovation. Selon ces auteurs, la protection d'une innovation par un brevet empêche seulement que celle-ci soit

imitée ou copiée par un concurrent mais elle n'empêche pas que ces informations soient utilisées par un concurrent pour une nouvelle innovation. Dans ce contexte une entreprise peut être rattrapée ou supplantée. Les auteurs trouvent que dans un contexte de diffusion de connaissances, la concurrence favorise l'innovation. En revanche avec les flux technologiques, la concurrence freine l'innovation.

Bianco (2009) analyse la relation entre la concurrence et la croissance, dans un modèle d'accumulation du capital humain et de la recherche, en distinguant la concurrence des rendements de la spécialisation afin d'avoir une meilleure mesure de la concurrence. Il constate que le taux de croissance dépend des paramètres décrivant les préférences, l'accumulation du capital humain, la technologie et l'activité de R&D. Il montre également que la relation entre la concurrence et la croissance est une forme de U inversé comme dans les travaux de Aghion *et al.* (2005).

La littérature sur la relation entre la concurrence et l'innovation ne permet pas de trancher quant à un effet positif ou négatif de la concurrence sur l'innovation. D'un côté la concurrence constitue est un frein à l'innovation, d'un autre côté elle la favorise en forçant les entreprises à innover afin de survivre sur le marché. Toutefois la présence des concurrents sur le marché peut être source de nouvelles connaissances pour chaque entreprise et peut favoriser leur processus d'innovation. D'une part le dépôt d'un brevet dévoile aux concurrents la découverte de l'entreprise et leur permet donc d'utiliser les acquis correspondants pour développer leur propre politique d'innovation. D'autre part lorsqu'une entreprise met sur le marché une innovation radicale, cette percée ouvre un marché à toutes les entreprises imitatrices qui vont décliner cette innovation dans autant de produits possibles.

Les études mentionnées ci-dessus tiennent compte uniquement de la concurrence domestique. Or l'ouverture commerciale peut modifier la structure du marché domestique. En se basant sur les indices de concentration de Herfindahl, Mirza (2006) a développé une mesure permettant de capter la contribution étrangère. Cette dernière est définie comme la part de concentration du marché qui est expliquée uniquement par les vendeurs étrangers. De plus la concurrence étrangère peut améliorer la productivité domestique (Trefler, 2004). Ceci nous conduit à analyser l'effet de la concurrence étrangère sur l'innovation.

### 3 L'effet concurrentiel du commerce international

De nombreuses études ont essayé d'analyser l'impact de l'ouverture commerciale à travers la concurrence. Deux approches peuvent être distinguées dans cette littérature. La première tente d'expliquer l'hétérogénéité des performances des firmes par l'ouverture commerciale ; la seconde tente de mesurer l'impact de la concurrence étrangère sur les activités d'innovation des entreprises en se basant sur les modèles de croissance endogène.

#### 3.1 L'ouverture commerciale et l'hétérogénéité des firmes

Les travaux de Bernard et Jensen (1999), Clerides *et al.* (1998) et Roberts et Tybout (1997) montrent que les entreprises exportatrices, qui ne sont pas nombreuses, sont concentrées dans un nombre limité de pays. Elles ont tendance à être plus productives et plus grandes. Elles exportent seulement une petite fraction de leurs productions. Cette hétérogénéité s'observe même au niveau industriel ou sectoriel. Partant de ce constat, Melitz (2003) a tenté de modéliser l'interdépendance entre le commerce international, l'hétérogénéité des firmes et la productivité moyenne. A cet effet, il a développé un modèle dynamique pour analyser le rôle du commerce international dans la distribution des parts de marché entre les firmes d'une même industrie. Il conclut que le commerce international permet seulement aux firmes les plus productives d'exporter pendant que les moins productives quittent le marché. Cette sortie conduit à une réallocation des parts au profit des plus productives permettant ainsi d'augmenter la productivité moyenne.

Simultanément Bernard *et al.* (2003) ont développé un modèle ricardien de commerce international afin de lier la théorie aux faits. Dans leur modèle l'hétérogénéité est prise en compte à travers une différence technologique entre les entreprises et entre les pays. Pour différencier les entreprises exportatrices de celles qui vendent seulement sur le marché domestique, ils supposent que les exportatrices supportent un coût *Iceberg* sous l'hypothèse de concurrence à la Bertrand. Au même titre que Melitz (2003) ils montrent que seules les entreprises les plus productives exportent et que les moins performantes se contentent du marché domestique. Ils trouvent également que les entreprises exportatrices se concentrent dans quelques pays déve-

loppés. Ils mettent ainsi en évidence l'hétérogénéité des performances des entreprises et aussi des pays.

Melitz et Ottaviano (2008) ont développé un modèle de concurrence monopolistique CES du commerce avec des entreprises hétérogènes en termes de différences de productivité. Dans ce modèle les marges des entreprises sont supposées être endogènes. Ils montrent que les barrières commerciales empêchent les marchés de s'intégrer. Les vastes marchés continuent toujours d'accueillir des entreprises performantes ainsi qu'une variété de biens. La libéralisation commerciale, en augmentant la concurrence, diminue les prix et les marges et pousse les entreprises les moins productives vers la sortie, ce qui augmente la productivité moyenne. Behrens et Murata (2012) partent de l'hypothèse d'une concurrence monopolistique avec des élasticités de substitutions variables pour développer un modèle de commerce international. Ils montrent qu'en autarcie un grand nombre de firmes opèrent dans des conditions d'inefficacité. La libéralisation augmente la masse des variétés, ce qui intensifie la concurrence et pousse les entreprises les moins productives hors du marché. Cependant Segerstrom et Sugita (2015) ont montré que les prédictions selon lesquelles l'ouverture commerciale augmente la productivité moyenne plus qu'en autarcie ne sont pas vérifiées dans le modèle de Melitz (2003) avec des industries multiples. Ils montrent au contraire que la productivité a augmenté dans les industries qui sont protégées.

Cette nouvelle littérature du commerce international a nourri beaucoup d'études empiriques. Ces études ont établi que la mondialisation a augmenté à la fois la concurrence en réduisant les marges des firmes et des dépenses en R&D, permettant une augmentation du niveau et de la croissance de la productivité. Les entreprises exportatrices peuvent obtenir des connaissances, de nouvelles idées auprès des clients leur permettant d'améliorer leur efficacité (apprentissage par l'exportation). En outre, les entreprises exportatrices doivent être compétitives afin de pouvoir rester sur le marché d'exportation. Cela confirme clairement l'idée selon laquelle les exportateurs sont plus productifs que les non-exportateurs. Les exportateurs peuvent être plus productifs que leurs homologues qui ne fournissent que le marché intérieur, tout simplement parce que seules les entreprises les plus productives sont en mesure de se livrer à des activités d'exportation et de rivaliser sur les marchés

internationaux (auto-sélection) (Van Biesebroeck, 2005 ; Alvarez et A.Lopez, 2005).

Dans le cadre du commerce de services, Gaulier *et al.* (2010) ont établi que les entreprises exportant des services sont environ dix fois moins nombreuses que celles qui exportent des biens et sont plus concentrées. Les 5 % des plus grosses entreprises exportatrices réalisent 85 % du chiffre d'affaires total à l'exportation, contre 70 % pour les exportateurs de biens. Les entreprises exportatrices ou importatrices de services sont à la fois plus grandes, plus productives et rémunèrent mieux leurs salariés que celles qui sont présentes uniquement sur le marché français. Il y a également une différence entre les entreprises exportatrices de services selon que leur activité principale est industrielle ou appartient au secteur des services. Au niveau mondial, l'analyse des données micro-économiques du commerce international montre que la proportion d'entreprises directement engagées dans une relation internationale est très fortement minoritaire. De plus la plupart des exportateurs n'ont qu'une présence extrêmement limitée sur les marchés mondiaux en n'étant actifs que sur quelques marchés, voisins de leur pays d'origine (Fontagné et Crozet, 2010). L'ouverture au commerce international induit parfois que les pays du Nord et ceux du Sud échangent les mêmes variétés de biens. Ceci pourrait être préjudiciable au Nord si le Sud a la capacité d'imiter les innovations du Nord. Toutefois le Nord peut gagner dans les échanges s'il augmente la qualité de ses produits en innovant (Lelarge et Benjamin, 2010).

Plus récemment, Yu (2015) a établi que la baisse des droits de douanes sur les *inputs* et *outputs* a amélioré la productivité des entreprises commerciales chinoises. Le même effet a été constaté pour les entreprises de transformations. Breinlich et Cuñat (2015) ont examiné les prédictions quantitatives des modèles de firmes hétérogènes à la Melitz (2003) dans le cadre de l'Accord de libre-échange canado-américain (ALE) de 1989. Ils utilisent une série de modèles à la Melitz (2003) pour comparer la hausse prédite des échanges et des productivités à celle qui est observée dans les données. Les résultats établissent que les prédictions des modèles ne sont pas vérifiées au niveau industriel, en ce sens que la hausse observée dans les données est plus importante que celle qui est prédite par les modèles. Toutefois en adaptant le modèle aux échanges intra-firmes, ils trouvent une concordance entre les valeurs qui sont prédites et celles qui sont observées dans les données. Par conséquent il serait plus

intéressant d'étudier l'impact de la libéralisation commerciale sur la productivité des firmes. En utilisant des données sur les entreprises de services ukrainiennes pour la période 2001-2007, Shepotylo et Vakhitov (2015) ont établi que la libéralisation des échanges au niveau des services a augmenté la productivité moyenne dans le secteur, cette augmentation est particulièrement importante pour les entreprises les plus productives.

D'autres travaux se sont appuyés sur les modèles de croissance endogène afin d'étudier l'impact de la concurrence internationale sur les comportements d'innovation des entreprises.

### **3.2 La concurrence internationale et l'innovation**

Les modèles de croissance endogène en économie ouverte donnent peu de place à la concurrence à cause de l'hypothèse de la concurrence monopolistique et le fait que l'innovation est réalisée par un potentiel entrant (Devereux et Lapham, 1994 ; Grossman et Helpman, 1991c ; Rivera-Batiz et Romer, 1991a). Chaque innovation correspond à une création de nouveaux biens et celle-ci est supposée être effectuée par un potentiel entrant. C'est pourquoi dans les modèles de croissance à variétés de biens, l'ouverture commerciale augmente le nombre de variétés.

Toutefois les modèles à variétés ont été le point de départ de la plupart des études de l'effet du commerce international sur l'innovation par la concurrence. Dans ces études l'ouverture commerciale n'augmente pas la masse des variétés mais le nombre de firmes concurrentes produisant chaque variété. De plus, les firmes réalisent des innovations de procédé permettant de réduire les coûts. Dans ces conditions l'incitation à innover dépend positivement de la quantité produite étant donné que l'innovation réduit le coût unitaire. Puisque l'innovation n'entraîne pas une nouvelle entrée sur le marché l'ouverture commerciale intensifie la concurrence seulement entre les firmes qui sont déjà en place. Contrairement aux modèles de croissance standard dans lesquels la concurrence réduit les motivations des firmes à innover, ces travaux aboutissent dans la plupart des cas à un effet positif de la concurrence sur l'innovation. Puisque les pays produisent les mêmes variétés, l'ouverture commerciale augmente la pression concurrentielle, réduisant ainsi les prix et augmentant

les quantités vendues.

Afin de comprendre comment les politiques commerciales influencent sur l'innovation, Traca (2001) a étudié les effets des pouvoirs de marché sur les activités de R&D d'une petite économie dans un contexte de croissance endogène. Les résultats montrent que les restrictions quantitatives ont un impact négatif sur les activités d'innovation et sur la productivité. Les effets des restrictions quantitatives sur la hausse des productivités dépendent de leur rôle dans la hausse des profits des entreprises domestiques. La suppression de ces restrictions, en réduisant les profits, poussent les entreprises à augmenter leur production, cela n'étant possible que si les entreprises procèdent à une innovation permettant d'améliorer la productivité. De plus cette suppression entraîne une baisse des coûts de R&D.

Traca (2002) a développé un modèle de croissance endogène permettant aux pays de commercer. Il montre que la présence accrue d'entreprises étrangères implique que les entreprises domestiques qui survivent à l'équilibre doivent constamment innover pour rester compétitives. Implicitement cela implique que les entreprises domestiques réagissent activement à la pression concurrentielle due à la baisse des prix engendrée par l'innovation étrangère. Elles doivent lutter pour maintenir leur avantage concurrentiel à l'équilibre. De plus la position technologique de l'entreprise domestique par rapport à ses concurrentes étrangères est un facteur déterminant de sa volonté de se battre. Pour survivre sur le marché les entreprises domestiques doivent posséder un niveau technologique suffisamment proche de leurs concurrentes étrangères.

Dans la même lignée que Traca (2002), Peretto (2003) a développé un modèle de croissance endogène dans lequel il analyse l'effet de la libéralisation commerciale sur l'innovation. Il montre que la libéralisation des échanges, par la baisse des barrières tarifaires, a un double effet sur l'innovation. D'un côté cela augmente la pression concurrentielle poussant les entreprises à augmenter leurs dépenses en R&D, l'effet direct de la libéralisation conduit à une augmentation de l'innovation. D'un autre côté la baisse des tarifs en augmentant la concurrence pousse les entreprises les moins productives hors du marché. Ceci se traduit par une baisse du nombre d'entreprises sur le marché, moins de concurrents et donc une baisse des externalités technologiques. Par conséquent, l'effet indirect de la libéralisation conduit à une réduction de l'innovation.

Licandro et Navas-Ruiz (2010) et Impullitti et Licandro (2010) ont développé un modèle de commerce international mettant en jeu deux pays symétriques. L'ouverture commerciale augmente la pression concurrentielle sur les marchés nationaux et étrangers ce qui réduit les profits des entreprises même si la taille du marché mondial augmente. La baisse des profits pousse les entreprises à entreprendre une innovation afin de réduire les coûts de production. Cette innovation conduit à une augmentation de la productivité et par conséquent de la production. L'effet concurrentiel de l'ouverture commerciale sur l'innovation est positif. Ainsi l'ouverture commerciale en augmentant la concurrence augmente l'innovation et la croissance. Les barrières commerciales renforcent le pouvoir de marché des entreprises nationales les incitant à moins innover. Les auteurs montrent également que les pays les moins productifs gagnent plus en autarcie que dans un environnement de libre-échange.

Aghion *et al.* (2013) ont analysé la relation entre la libéralisation du commerce et la croissance économique en utilisant un cadre schumpétérien de l'innovation technologique. Le modèle est ensuite testé en utilisant des données sectorielles sud-africaines. Dans leur modèle l'impact de la libéralisation du commerce sur l'innovation est analogue à celui de la concurrence sur l'innovation ; et la concurrence vient de l'extérieur. Les estimations montrent que la libéralisation commerciale produit un effet positif à la fois sur la productivité et sur le taux de croissance de la production par tête. Cet effet est particulièrement important pour les industries qui sont proches de la frontière technologique mondiale et qui avaient un niveau de concurrence faible avant la libéralisation.

Dans le but d'étudier l'impact de la concurrence étrangère sur les activités d'innovations des entreprises chinoises, Ding *et al.* (2015) ont construit des mesures de la proximité des entreprises et des industries chinoises à la frontière technologique mondiale. Les résultats montrent que la distance à cette frontière joue un rôle important dans la capacité des entreprises ou industries chinoises à faire face à la concurrence étrangère. De plus ils établissent la relation en U inversé entre la concurrence et l'innovation mise en avant par Aghion *et al.* (2005). La concurrence étrangère encourage les activités d'innovations des industries ou entreprises qui sont proches de la frontière technologique, en revanche elle diminue l'incitation à innover des industries ou entreprises qui sont loin de la frontière technologique.

## 4 Le modèle schumpétérien en économie fermée

L'économie est peuplée de  $L$  individus ayant une fonction d'utilité intertemporelle :

$$U(y) = \int_0^{\infty} y_t e^{-rt} dt$$

où  $r$  est à la fois le taux d'intérêt et le taux de préférence pour le présent. Chaque individu vit une période et offre une unité  $L$  de travail de manière inélastique. Son utilité dépend seulement de sa consommation. Il est neutre vis-à-vis du risque de telle sorte que son unique objectif est la maximisation de sa consommation espérée. Nous supposons que le travail a la possibilité d'être employé soit dans la production du bien final ( $L_1$ ) soit dans la recherche ( $L_2$ ). La somme du travail utilisé dans ces deux activités donne l'offre totale de travail  $L$  que nous supposons constante à l'état régulier. Ainsi,

$$L = L_1 + L_2$$

### 4.1 Le secteur du bien final

Le bien final est produit par des firmes en concurrence parfaite à l'aide du travail et un continuum de biens intermédiaires est indicé sur l'intervalle  $[0, 1]$ . La fonction de production est la suivante :

$$Y_t = L_1^{1-\alpha} \int_0^1 A_{jt}^{1-\alpha} x_{jt}^{\alpha} dj \quad 0 < \alpha < 1 \quad (3.1)$$

où  $Y_t$  est l'*output* du bien final à la période  $t$ ,  $x_{jt}$  est le flux du bien intermédiaire  $j$  en  $t$  et le paramètre de productivité  $A_{jt}$  reflète la qualité de ce bien. Ce dernier est généré par une séquence d'innovations améliorant la qualité de la productivité. Autrement dit l'augmentation du nombre de variétés de biens ne dépend pas des activités d'innovations. Cette éventuelle augmentation résulte seulement des externalités et non d'une innovation délibérée.

D'après l'équation (3.1) l'*output* final produit par chaque bien intermédiaire est déterminé par la fonction de production :

$$Y_{jt} = (A_{jt} L_1)^{1-\alpha} x_{jt}^{\alpha} \quad (3.2)$$

## 4.2 Le secteur de biens intermédiaires

Chaque bien intermédiaire est produit par un monopole en utilisant le bien final comme *input* selon une technologie un-pour-un. Son prix est égal à sa productivité marginale, qui d'après l'équation (3.2) est :

$$p_{jt} = \frac{\partial Y_{jt}}{\partial x_{jt}} = \alpha (A_{jt}L_1)^{1-\alpha} x_{jt}^{\alpha-1} \quad (3.3)$$

Par conséquent, le profit de monopole dépend de son *output* de la manière suivante :

$$\Pi_{jt} = p_{jt}x_{jt} - x_{jt} = \alpha (A_{jt}L_1)^{1-\alpha} x_{jt}^\alpha - x_{jt} \quad (3.4)$$

Le monopoleur choisit  $x_{jt}$  de manière à maximiser son profit. La condition du premier ordre donne :

$$\frac{\partial \Pi_{jt}}{\partial x_{jt}} = \alpha^2 (A_{jt}L_1)^{1-\alpha} x_{jt}^{\alpha-1} - 1 = 0$$

On obtient la quantité d'équilibre :

$$x_{jt} = \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_{jt}L_1 \quad (3.5)$$

et un profit d'équilibre :

$$\Pi_{jt} = p_{jt}x_{jt} - x_{jt} = (p_{jt} - 1) x_{jt}$$

On introduit l'équation (3.5) dans l'équation (3.3) pour obtenir l'expression du prix :

$$p_{jt} = \alpha (A_{jt}L_1)^{1-\alpha} \left[ \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_{jt}L_1 \right]^{\alpha-1} = \frac{1}{\alpha}$$

Ceci permet d'exprimer le profit d'équilibre de la manière suivante :

$$\Pi_{jt} = \left( \frac{1-\alpha}{\alpha} \right) x_{jt}$$

La substitution de l'équation (3.5) dans cette dernière expression du profit d'équilibre donne :

$$\Pi_{jt} = \frac{1-\alpha}{\alpha} \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} A_{jt}L_1 \quad (3.6)$$

## 4.3 La croissance

En utilisant l'équation (3.5) pour remplacer  $x_{jt}$  dans la fonction de production (3.1), on obtient :

$$Y_t = L_1^{1-\alpha} \int_0^1 A_{jt}^{1-\alpha} (A_{jt}L_1)^\alpha \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} dj$$

$$Y_t = \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} L_1 \int_0^1 A_{jt} dj$$

$$Y_t = \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} L_1 A_t \quad (3.7)$$

Le comportement agrégé de l'économie dépend du paramètre de technologie agrégée :

$$A_t = \int_0^1 A_{jt} dj$$

qui est la moyenne non pondérée de tous les paramètres de productivité individuelle. Le PIB  $y_t$  de l'économie est égal à l'*output* du bien final  $Y_t$  moins la quantité utilisée dans la production de chacun des biens intermédiaires. Puisque chaque bien intermédiaire est produit selon une technologie un-pour-un en utilisant l'*output final*, on a :

$$y_t = Y_t - \int_0^1 x_{jt} dj$$

En utilisant l'équation (3.5) pour remplacer chaque  $x_{jt}$  dans la formule du PIB et en la combinant avec l'équation (3.7), on obtient :

$$y_t = \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} (1 - \alpha^2) L_1 A_t \quad (3.8)$$

Le PIB de l'économie est proportionnel à l'offre de travail efficace  $A_t L_1$ . Étant donné que  $L$  est constant à l'état régulier, le taux de croissance du PIB est donné par le taux de croissance du progrès technologique. Ainsi, on a :

$$\frac{\dot{y}}{y_t} = \frac{\dot{A}}{A_t}$$

$$g = \frac{\dot{A}}{A_t}$$

#### 4.4 Le progrès technologique

La firme utilise  $L_2$  unités de travail dans les activités de R&D afin d'augmenter le niveau de la technologie. Cette dernière s'accroît selon la relation suivante (Peretto et Smulders, 2002) :

$$\dot{A}_{jt} = A_{jt}^{1-\psi} S_t^\psi L_2 \quad (3.9)$$

Nous pouvons noter que deux sources majeures ( $A_{jt}$  et  $S_t$ ) sont à l'origine de l'accroissement du niveau de la technologie ; la hausse de la productivité de la R&D

dépend du niveau des connaissances technologiques de la firme  $A_{jt}$  et des externalités technologiques  $S_t$ . A la différence de Peretto et Smulders (2002), nous supposons que les externalités technologiques proviennent du stock de connaissances accumulées antérieurement dans le pays. L'équation (3.9) montre deux effets importants. D'abord l'augmentation de la productivité dans le processus de production du bien  $j$  nécessite l'existence d'un niveau initial de technologie  $A_{jt}$ . Autrement dit les firmes qui ne disposent pas de technologie initiale dans la production d'un bien ne peuvent pas améliorer la qualité de ce bien. Ensuite l'opportunité d'exploiter les externalités technologiques dépend du niveau de la technologie du producteur. Le paramètre  $0 < \psi < 1$  mesure la part des externalités dans la hausse de la productivité de la R&D. L'hypothèse des rendements constants par rapport aux deux sources de connaissances technologiques permet d'assurer une croissance endogène de la productivité.

Nous supposons que la firme finance les dépenses de R&D en émettant des titres sur les profits additionnels générés par les innovations et notons  $R_{jt}$  la contrepartie financière de cette émission. La firme s'engage dans la recherche jusqu'à ce que la valeur de l'innovation  $R_{jt}$  soit égale à son coût  $L_2/\dot{A}_{jt}$ .

$$R_{jt} = \left( A_{jt}^{1-\psi} S_t^\psi \right)^{-1}. \quad (3.10)$$

Le bénéfice de l'innovation est déterminé par le profit marginal qu'elle génère et par la réduction des coûts due à l'accumulation des connaissances. Ainsi, sa valeur doit satisfaire la condition d'arbitrage suivante :

$$rR_{jt} = \frac{\partial \Pi_{jt}}{\partial A_{jt}} + \frac{dR_{jt}}{dt} \quad (3.11)$$

La dérivée du profit par rapport à  $A_{jt}$  nous donne :

$$\frac{\partial \Pi_{jt}}{\partial A_{jt}} = \frac{1-\alpha}{\alpha} \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} L_1 \quad (3.12)$$

En prenant le logarithme de l'équation (3.10) et en dérivant par rapport au temps, on obtient :

$$\frac{dR_{jt}}{dt} = \left[ -(1-\psi) \frac{\dot{A}_{jt}}{A_{jt}} - \psi \frac{\dot{S}_t}{S_t} \right] R_{jt} \quad (3.13)$$

En introduisant les équations (3.12) et (3.13) dans l'équation (3.11), on obtient :

$$rR_{jt} = \frac{1-\alpha}{\alpha} \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} L_1 + \left[ -(1-\psi) \frac{\dot{A}_{jt}}{A_{jt}} - \psi \frac{\dot{S}_t}{S_t} \right] R_{jt}$$

$$\begin{aligned}
 r &= \frac{1-\alpha}{\alpha} \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} L_1 R_{jt}^{-1} - (1-\psi) \frac{\dot{A}_{jt}}{A_{jt}} - \psi \frac{\dot{S}_t}{S_t} \\
 r &= \frac{1-\alpha}{\alpha} \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} L_1 A_{jt}^{1-\psi} S_t^\psi - (1-\psi) \frac{\dot{A}_{jt}}{A_{jt}} - \psi \frac{\dot{S}_t}{S_t} \\
 r &= \left( \frac{S_t}{A_{jt}} \right)^\psi \Pi_{jt} - (1-\psi) \left( \frac{S_t}{A_{jt}} \right)^\psi L_2 - \psi \frac{\dot{S}_t}{S_t} \\
 r &= [\Pi_{jt} - (1-\psi)L_2] \left( \frac{S_t}{A_{jt}} \right)^\psi - \psi \frac{\dot{S}_t}{S_t} \tag{3.14}
 \end{aligned}$$

Nous pouvons remarquer que :

- $r$  augmente avec le profit d'équilibre de la firme  $\Pi_{jt}$  ;
- $r$  diminue avec le niveau de connaissances technologiques  $A_{jt}$  de la firme, car les rendements des dépenses en R&D sont décroissants par rapport au niveau de connaissances technologiques de la firme ;
- $r$  augmente avec les externalités technologiques  $\left( \frac{S_t}{A_{jt}} \right)^\psi$ , mais diminue avec leur taux de croissance  $-\psi \left( \frac{\dot{S}_t}{S_t} \right)$ . Des externalités plus élevées entraînent une augmentation de la productivité de la firme. Cependant la firme n'internalise pas cette contribution afin de réduire les coûts des futurs R&D ; autrement dit les externalités ne permettent pas de donner un avantage concurrentiel à une entreprise ;
- $r$  diminue avec le nombre de travailleurs dans la recherche.

## 5 L'effet de la libéralisation du commerce international

L'analyse de la croissance en économie fermée est souvent suffisante mais il est tout de même important d'apprécier comment certains résultats sont modifiés par la prise en compte de l'ouverture de l'économie. Pour ce faire nous considérons un monde économique avec  $n$  différents pays. Chaque pays  $i$  est doté de  $L_i$  consommateurs /travailleurs et chacun d'eux offre de manière inélastique une unité de travail. Le travail est le seul facteur de production de sorte que  $L_i$  représente à la fois la taille et l'offre globale de travail dans le pays  $i$ . Nous supposons que les pays diffèrent en

termes de taille de la population et de politiques favorisant l'innovation. Les pays s'engagent dans un commerce de biens intermédiaires et de biens finaux. Les conséquences de cette ouverture sont un effet d'échelle, un effet des barrières commerciales sur les agrégats économiques et une augmentation de l'efficacité de la productivité grâce aux externalités technologiques (Aghion et Howitt, 2009, Chp.15).

## 5.1 La production du bien final et le commerce international

L'intervalle des biens intermédiaires et celui du produit final sont identiques dans chaque pays. Pour simplifier, nous associons l'indice  $i$  au pays domestique et  $k$  à un pays étranger quelconque. Grâce à l'ouverture commerciale le producteur du bien final a la possibilité d'utiliser des biens intermédiaires qui sont produits localement ou d'importer des *inputs* étrangers en supportant un coût qui est égale à  $\tau > 1$ . En utilisant les *inputs* domestiques, la fonction de production du bien final est donnée par :

$$Y_{it} = L_{1i}^{1-\alpha} \int_0^1 A_{ijt}^{1-\alpha} x_{ijt}^\alpha dj \quad 0 < \alpha < 1 \quad (3.15)$$

où  $Y_{it}$  est l'*output* final produit dans le pays  $i$  à l'instant  $t$ ,  $L_{1i}$  est la quantité de travail utilisée dans la production du bien final par le pays  $i$ ,  $x_{ijt}$  est le bien intermédiaire  $j$  utilisé en  $t$ ,  $A_{ijt}$  est le paramètre de productivité associé au bien intermédiaire  $j$  dans le pays domestique.

En utilisant les *inputs* étrangers, la fonction de production du bien final est donnée par :

$$Y_{it} = \frac{1}{\tau} L_{1i}^{1-\alpha} \int_0^1 A_{kjt}^{1-\alpha} x_{kjt}^\alpha dj \quad 0 < \alpha < 1 \quad (3.16)$$

où  $A_{kjt}$  est le paramètre de productivité associé au bien intermédiaire  $j$  dans le pays  $k$  et  $\frac{1}{\tau}$  le coût en termes de produit final par unité d'*inputs* importés. Le prix de chaque bien intermédiaire est donné par sa productivité marginale. Ainsi, nous avons :

$$\begin{aligned} p_{ijt} &= \alpha (A_{ijt} L_{1i})^{1-\alpha} x_{ijt}^{\alpha-1} \\ p_{kjt} &= \frac{\alpha}{\tau} (A_{kjt} L_{1i})^{1-\alpha} x_{kjt}^{\alpha-1} \end{aligned} \quad (3.17)$$

ce qui donne :

$$\begin{aligned} x_{ijt} &= A_{ijt} L_{1i} \left( \frac{p_{ijt}}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} \\ x_{ijt} &= \frac{A_{kjt}}{(\tau)^{\frac{1}{1-\alpha}}} L_{1i} \left( \frac{p_{kjt}}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} \end{aligned} \quad (3.18)$$

Le producteur du bien final utilise le bien intermédiaire le plus productif. Cela implique que le secteur de bien intermédiaire  $j$  est monopolisé par le producteur ayant le plus faible coût de production. Ainsi la fonction de production est donnée par :

$$Y_{it} = L_{1i}^{1-\alpha} \int_0^1 B_{ijt}^{1-\alpha} x_{ijt}^\alpha dj \quad 0 < \alpha < 1 \quad (3.19)$$

où

$$B_{ijt} = \max\{A_{ijt}, (\tau)^{\frac{1}{\alpha-1}} A_{kjt}\} \quad (3.20)$$

Les équations (3.19) et (3.20) montrent d'un côté que l'ouverture commerciale permet de gagner en efficacité car la production se fait avec une productivité plus élevée. D'un autre côté, l'ouverture commerciale a permis aux producteurs étrangers du bien intermédiaire  $j$  de concurrencer les producteurs domestiques. Dans le cadre d'un commerce entre pays qui ont des niveaux de productivités initiaux relativement comparables, une baisse des barrières commerciales augmente la pression concurrentielle sur le marché domestique car les entreprises étrangères gagnent en productivité. Cela pousse d'abord les entreprises domestiques à innover afin de survivre sur le marché. Ensuite les activités d'innovation des entreprises étrangères seront aussi stimulées.<sup>3</sup> Ces dernières ne voudront pas perdre l'avantage des coûts généré par la baisse des tarifs et être distancées par les entreprises domestiques.

Supposons maintenant que le commerce a lieu entre des pays qui ont des niveaux technologiques différents (un écart technologique élevé). Si les entreprises domestiques sont les plus productives l'incitation à innover dépendra du différentiel de productivité après la baisse des barrières. Une faible valeur de cette différence se traduira par une hausse de la concurrence poussant les entreprises domestiques et étrangères à innover. Les entreprises domestiques ne voudront pas perdre leur avantage concurrentiel. Quant aux entreprises étrangères elles seront incitées à innover

---

3. Nous supposons que les externalités technologiques ne donnent pas un avantage concurrentiel aux entreprises étrangères.

car l'écart technologique à rattraper est plus faible. En revanche un différentiel de productivité élevé diminuera l'incitation à innover de toutes les entreprises (domestiques et étrangères). Les entreprises étrangères ne seront plus motivées à l'idée de rattraper un écart technologique plus grand. Les entreprises domestiques quant à elles ne seront plus obligées d'innover afin de garder leur avantage concurrentiel.

Si les entreprises étrangères sont les plus productives sur le marché, une baisse des barrières réduit l'incitation des entreprises étrangères et domestiques à innover. Les entreprises étrangères ne s'engageront pas dans des activités d'innovation car elles disposent de suffisamment d'avantage concurrentiel pour ne pas être rattrapées. Les entreprises domestiques quant à elles ne seront plus motivées pour entamer une activité d'innovation.

## 5.2 La production du bien intermédiaire et le commerce internationale

Le marché mondial de chaque secteur intermédiaire peut être monopolisé par l'entreprise ayant le coût de production le plus faible. Le monopole du bien intermédiaire  $j$  a la possibilité de vendre dans chaque pays. De ce fait les producteurs du bien final de chaque pays achètent le bien intermédiaire  $j$  jusqu'à ce que sa productivité marginale soit égale à son prix. Pour les pays  $i$  et  $k$ , le prix du bien est donné par :

$$\begin{aligned} p_{ijt} &= \alpha (B_{ijt}L_{1i})^{1-\alpha} x_{ijt}^{\alpha-1} \\ p_{kjt} &= \alpha (B_{ijt}L_{1k})^{1-\alpha} x_{kjt}^{\alpha-1} \end{aligned} \tag{3.21}$$

ce qui donne la demande de chaque pays pour le bien intermédiaire  $j$  :

$$\begin{aligned} x_{ijt} &= B_{ijt}L_{1i} \left( \frac{p_{ijt}}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} \\ x_{kjt} &= B_{ijt}L_{1k} \left( \frac{p_{kjt}}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} \end{aligned} \tag{3.22}$$

Pour simplifier, nous supposons que le monopoleur réside dans le pays  $i$  et que le commerce de bien intermédiaire engendre un coût  $\tau > 1$ , ce qui implique que le prix du bien  $j$  dans le pays  $k$  soit supérieur au prix pratiqué dans le pays  $i$  de sorte que

$p_{kjt} = \tau p_{ijt}$  :

$$x_{ijt} = B_{ijt} L_{1i} \left( \frac{p_{ijt}}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}}$$

$$x_{kjt} = B_{ijt} L_{1k} \left( \frac{\tau p_{ijt}}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}}$$

La vente totale de la firme correspond à la somme des quantités demandées par chaque pays  $i$  :

$$X_{ijt} = \sum_{i=1}^n x_{ijt} = (x_{1jt} + \dots + x_{kjt} + \dots + x_{njt})$$

$$X_{ijt} = B_{ijt} \left( \frac{p_{ijt}}{\alpha} \right)^{\frac{1}{\alpha-1}} \left[ L_{1i} + \sum_{k \neq i} L_{1k} (\tau)^{\frac{1}{\alpha-1}} \right]$$

et le prix de vente est donné par :

$$p_{ijt} = \alpha B_{ijt}^{1-\alpha} \left( \left[ L_{1i} + \sum_{k \neq i} L_{1k} (\tau)^{\frac{1}{\alpha-1}} \right] \right)^{1-\alpha} X_{ijt}^{\alpha-1} \quad (3.23)$$

Puisque le bien intermédiaire est produit selon une technologie un-pour-un, le profit du monopole est égal :

$$\Pi_{ijt} = p_{ijt} X_{ijt} - X_{ijt} = \alpha B_{ijt}^{1-\alpha} \left( \left[ L_{1i} + \sum_{k \neq i} L_{1k} (\tau)^{\frac{1}{\alpha-1}} \right] \right)^{1-\alpha} X_{ijt}^{\alpha} - X_{ijt}$$

Le monopole choisit le niveau de  $X_{ijt}$  qui maximise son profit :

$$X_{ijt} = \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} B_{ijt} \left[ L_{1i} + \sum_{k \neq i} L_{1k} (\tau)^{\frac{1}{\alpha-1}} \right] \quad (3.24)$$

En introduisant l'équation (3.24) dans l'équation (3.23), on obtient :

$$p_{ijt} = \frac{1}{\alpha}$$

Finalement, le profit du monopole est donné par :

$$\Pi_{ijt} = (1 - \alpha) \alpha^{\frac{1+\alpha}{1-\alpha}} B_{ijt} \left[ L_{1i} + \sum_{k \neq i} L_{1k} (\tau)^{\frac{1}{\alpha-1}} \right] \quad (3.25)$$

L'équation (3.25) montre que le profit du monopole dépend de la quantité de travail utilisée dans le bien final des autres pays (l'effet d'échelle) et des barrières commerciales. Plus les barrières sont faibles, plus le profit du monopole est élevé. Étant

donné que la firme dispose de la meilleure technologie, une baisse des barrières commerciales renforcerait son monopole. L'effet d'une augmentation des barrières sera comparé à l'avantage des coûts engendrés par l'efficience technologique. Si l'effet d'une augmentation des obstacles est supérieur à l'avantage des coûts, la firme n'est plus compétitive par rapport à ses concurrentes, car son bien coûte plus cher que les leurs. Elle perd ainsi son monopole. Par contre elle conserve son monopole si l'avantage des coûts est supérieur à l'effet des barrières. L'intensité des barrières commerciales influence directement l'intensité concurrentielle. Une augmentation des barrières se traduit par une perte de compétitivité, favorisant l'émergence de concurrents potentiels.

### 5.3 La croissance du PIB et le commerce international

En remplaçant le prix  $p_{ijt} = \frac{1}{\alpha}$  dans les fonctions de demande données par l'équation (3.22), on obtient :

$$\begin{aligned} x_{ijt} &= \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} B_{ijt} L_{1i} \\ x_{kjt} &= \alpha^{\frac{2}{1-\alpha}} B_{ijt} L_{1k} (\tau)^{\frac{1}{\alpha-1}} \end{aligned}$$

En introduisant  $x_{ijt}$  dans l'équation (3.19), on obtient :

$$Y_{it} = \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} B_{it} L_{1i} \quad (3.26)$$

avec,

$$B_{it} = \int_0^1 B_{ijt}$$

Étant donné que chaque bien intermédiaire est produit en utilisant une unité de bien final, le PIB de l'économie est donné par :

$$y_{it} = Y_{it} - \int_0^1 X_{ijt} dj$$

En utilisant l'équation (3.24) dans la formule du PIB et en la combinant avec l'équation (3.26), on obtient :

$$y_{it} = \alpha^{\frac{2\alpha}{1-\alpha}} (1 - \alpha^2) B_{it} \left[ L_{1i} + \sum_{k \neq i} L_{1k} (\tau)^{\frac{1}{\alpha-1}} \right] \quad (3.27)$$

Outre l'effet d'échelle, l'équation (3.27) montre que le PIB dépend négativement des barrières commerciales. Cependant l'effet global de l'ouverture dépend du différentiel

des effets de niveau des connaissances technologiques et des barrières commerciales. Une baisse des barrières est bénéfique à la fois pour le pays exportateur et pour l'importateur. L'exportateur peut vendre sur un marché plus large et ainsi rentabiliser les dépenses en R&D. Cela conduit à un commerce de spécialisation, les pays se spécialisant dans les productions de biens dans lesquelles les entreprises domestiques ont le monopole. L'importateur quant à lui peut bénéficier de produits bon marché. Par contre une augmentation des barrières à des effets mitigés. Cette augmentation entraîne la baisse du PIB si le niveau des connaissances technologiques n'est pas suffisamment élevé pour permettre au pays de produire à un coût plus faible que les autres pays. Toutefois si le niveau des connaissances technologiques du pays est suffisamment élevé, le pays continue d'exploiter l'effet d'échelle et de réduire les coûts de l'innovation.

Étant donné que la quantité de travail utilisée dans la production du bien final est supposée être constante, le taux de croissance de l'économie dépend du taux de croissance du progrès technologique et de celui des barrières commerciales :

$$\frac{\dot{y}_{it}}{y_{it}} = \frac{\dot{B}_{it}}{B_{it}} \frac{\dot{\tau}}{\tau}$$

$$g_{it} = \frac{\dot{B}_{it}}{B_{it}} \frac{\dot{\tau}}{\tau} \quad (3.28)$$

#### 5.4 Le taux de progrès technologique

Nous nous concentrons sur le taux de progrès à l'état régulier. A cet effet, nous supposons que la productivité globale moyenne s'accroît selon la relation suivante :

$$\dot{B}_{it} = B_{it}^{1-\psi} S_{it}^{\psi} L_{2i} \quad (3.29)$$

et le taux de croissance de la productivité est donné par :

$$Z_{it} = \frac{\dot{B}_{it}}{B_{it}} = B_{it}^{-\psi} S_{it}^{\psi} L_{2i} \quad (3.30)$$

L'équation (3.30) montre que le taux de croissance du progrès technologique dépend négativement du niveau technologique. Cela signifie qu'il devient plus difficile d'améliorer la technologie lorsqu'elle progresse car elle devient de plus en plus complexe. Cette caractéristique pourrait être intéressante lorsque l'on discute de la

convergence entre les pays. Un pays qui est loin derrière la frontière technologique mondiale pourrait avoir un avantage lié à son retard. Autrement dit plus un pays est en retard par rapport à la frontière technologique mondiale, plus l'amélioration de la productivité qu'il obtiendra sera importante s'il dispose d'une capacité lui permettant de mettre en œuvre les externalités technologiques lorsqu'il innove. Ceci lui permettra de croître plus rapidement.

L'équation (3.30) montre également que la quantité de travail utilisée dans la R&D a un impact positif sur le taux de croissance du progrès technologique. Cela signifie que le taux de progrès technologique dépend positivement du capital humain sous la forme de main-d'œuvre qualifiée. Cela souligne l'importance de l'éducation, en particulier de l'enseignement supérieur, comme un élément favorisant la croissance économique. Les pays qui investissent le plus dans l'enseignement supérieur vont atteindre une productivité plus élevée de recherche, leur permettant de réduire le coût d'opportunité de la recherche en augmentant l'offre globale de main-d'œuvre qualifiée.

Nous pouvons observer à partir de l'équation (3.30) que le taux de progrès technologique est positivement corrélé avec les externalités technologiques. Ceci suggère que ces externalités technologiques sont importantes et jouent un rôle majeur dans le processus de croissance économique. Chaque nouvel innovateur pourrait utiliser librement le stock de connaissances dans sa propre activité de recherche. De plus les externalités technologiques pourraient expliquer la convergence entre les pays. Dans la mesure où la technologie tend à voyager des pays riches vers les pays pauvres, plus un pays est en avance technologiquement, moins il bénéficiera des externalités technologiques des autres.

### Les dépenses en R&D

Afin de prendre en compte les dépenses en R&D, nous supposons qu'à l'état régulier elles sont déterminées de la manière suivante :

$$Q_{it} = S_{it}^{-\psi} B_{it}^{\psi-1}, \quad (3.31)$$

Les dépenses en R&D dépendent négativement des externalités technologiques, suggérant ainsi que les externalités inhibent les motivations des entreprises à entre-

prendre des activités de R&D. La détermination de  $B_{it}$  donne :

$$B_{it} = \left( Q_{it} S_{it}^{\psi} \right)^{\frac{-1}{1-\psi}} . \quad (3.32)$$

et en introduisant l'équation (3.32) dans l'équation (3.30) puis en arrangeant les termes, nous obtenons :

$$Z_{it} = L_{2i} (Q_{it} S_{it})^{\psi/1-\psi} \quad (3.33)$$

La variable  $Z_{it}$  augmente avec  $Q_{it}$ , montrant que les dépenses en R&D jouent un rôle important dans le rythme du progrès technologique. Les activités de recherche-développement sont entreprises en vue d'améliorer la productivité ou d'obtenir d'autres avantages futurs. Les entreprises peuvent s'engager dans des travaux de recherche fondamentale et appliquée pour acquérir un nouveau savoir et orienter leur recherche vers des inventions spécifiques ou la modification de techniques existantes. Elles peuvent définir de nouveaux concepts de produits, de procédés, de méthodes de commercialisation ou de changements organisationnels (OCDE, 2005). Les R&D sont susceptibles d'avoir lieu au niveau de l'entreprise ou de l'industrie, toutefois elles promeuvent le développement dans l'ensemble de l'économie grâce à une meilleure productivité et aux externalités technologiques.

### Les externalités technologiques

Dans le chapitre précédent, nous avons établi que les externalités de connaissances jouent un rôle important dans le processus d'innovation car l'innovation est une combinaison de technologies et de compétences existantes à l'intérieur et à l'extérieur des entreprises ou des organisations. Leurs diffusions sont relativement plus rapides dans les régions qui ont déjà un niveau technologique relativement élevé et un stock de connaissances important. Il est évident que le bénéficiaire des externalités doit avoir une certaine capacité absorption afin de pouvoir les utiliser (Cohen et Levinthal, 1990). Il s'agit de sa capacité cognitive mais aussi de sa volonté de supporter les coûts d'apprentissage des nouvelles technologies. La proximité entre l'émetteur et le récepteur des externalités est souvent nécessaire. Seules les connaissances explicites peuvent être transférées sur une grande distance, tandis que le transfert des connaissances tacites, si c'est possible, implique souvent une interaction directe les agents et donc une proximité spatiale (Anselin *et al.*, 1997).

Afin de prendre en compte les externalités technologiques, nous optons pour une spécification à la Ertur et Koch (2007). Ainsi nous supposons que les externalités technologiques sont déterminées de la manière suivante :

$$S_{it} = \lambda T_{it}^{\phi} L_{2i}^{\vartheta} \prod_{k=1}^n (Z_{kt})^{\gamma w_{ik}} \quad (3.34)$$

où  $-1 < \phi < 1$  et  $\vartheta > 0$ . L'équation (3.34) fait dépendre les externalités technologiques  $S_{it}$  de trois termes. Tout d'abord, nous supposons que les externalités de technologiques  $S_{it}$  dépendent du degré d'ouverture  $T_{it}$  du pays  $i$ ; cela permet de capter l'exposition du pays à la concurrence internationale. Au vu des sections précédentes, il est clair que la concurrence internationale augmente avec la libéralisation des échanges. D'un côté, les entreprises étrangères vont concurrencer leurs homologues domestiques, de l'autre côté les entreprises domestiques qui exportent vont devoir faire face à la concurrence internationale. Ensuite nous supposons que les externalités technologiques dépendent de la capacité d'absorption du pays  $i$ . Cette dernière est définie par le nombre de chercheurs  $L_{2i}$  dans les R&D. Il s'agit de la capacité à adapter les externalités technologiques aux conditions de la production locale. Enfin, nous supposons qu'elles dépendent de la croissance technologique des autres pays  $Z_{kt}$ . Cela permet de prendre en compte l'interdépendance spatiale entre les pays. En effet nous avons montré précédemment que l'ouverture commerciale permet aux producteurs de gagner en efficacité car les biens sont produits avec les meilleures productivités. Ceci met en concurrence les technologiques locale et étrangère permettant une interdépendance technologique entre les pays. Le paramètre  $\gamma \in [-1, 1]$  capte le degré de diffusion des connaissances entre les pays, laquelle dépend de la connectivité  $w_{ik}$  entre les pays  $i$  et  $k$ . Nous supposons que les termes d'interaction  $w_{ik}$  sont non-stochastiques, positifs et finis.

En intégrant l'équation (3.34) dans l'équation (3.33), nous obtenons :

$$Z_{it} = L_{2i} Q_{it}^{\psi/1-\psi} \left( \lambda T_{it}^{\phi} L_{2i}^{\vartheta} \prod_{k=1}^n (Z_{kt})^{\gamma w_{ik}} \right)^{\psi/1-\psi} .$$

En écrivant cette dernière expression sous forme logarithmique, nous obtenons :

$$\begin{aligned} \ln Z_{it} = & \frac{\psi}{1-\psi} \ln \lambda + \frac{1-\psi+\vartheta\psi}{1-\psi} \ln L_{2i} + \frac{\psi}{1-\psi} \ln Q_{it} + \frac{\phi\psi}{1-\psi} \ln T_{it} \\ & + \frac{\gamma\psi}{1-\psi} \sum_{k=1}^n w_{ik} \ln Z_{kt} \end{aligned} \quad (3.35)$$

L'effet de la concurrence internationale dépend du signe de  $\frac{\phi\psi}{1-\psi}$ , lequel est positif lorsque  $\phi > 0$ . Autrement dit la libéralisation commerciale augmente la pression concurrentielle sur le marché domestique, incitant les entreprises à innover afin de rester compétitives. Les entreprises peuvent aussi vouloir échapper à la concurrence internationale en innovant. L'effet de la concurrence internationale sera négative si  $\phi < 0$ , en particulier lorsque le commerce international met en concurrence des entreprises qui ont des dotations technologiques différentes avec un écart important. Si les entreprises domestiques sont celles qui sont en retard technologiquement la libéralisation des échanges entraîne une baisse des innovations des entreprises domestiques et étrangères.

L'équation (3.35) peut être réécrite de la manière suivante :

$$\ln Z_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln L_{2i} + \beta_2 \ln Q_{it} + \beta_3 \ln T_{it} + \rho \sum_{j=1}^n w_{ij} \ln Z_{jt} \quad (3.36)$$

où  $\beta_0 \equiv \frac{\psi}{1-\psi} \ln \lambda$  est le terme constant ;  $\beta_1 \equiv \frac{1-\psi+\vartheta\psi}{(1-\psi)}$  est le coefficient associé au nombre de chercheurs ;  $\beta_2 \equiv \frac{\psi}{(1-\psi)}$  est le coefficient relatif à la R&D ;  $\beta_3 \equiv \frac{\phi\psi}{(1-\psi)}$  est le paramètre associé à la concurrence internationale et  $\rho \equiv \frac{\gamma\psi}{(1-\psi)}$  est le paramètre permettant de capter le degré de diffusion des externalités technologiques. En supposant que ce paramètre est identique pour tous les pays, l'effet net de la diffusion technologique dépend de la connectivité  $w_{ik}$  entre les pays  $i$  et  $k$ . Plus le pays  $i$  est relié à son voisin  $k$ , plus il bénéficie des externalités technologiques en provenance de celui-ci.

En écrivant l'équation (3.36) sous forme matricielle, nous obtenons :

$$\mathbf{Z} = \iota\beta_0 + \mathbf{L}\beta_1 + \mathbf{Q}\beta_2 + \mathbf{T}\beta_3 + \rho\mathbf{VZ} \quad (3.37)$$

où  $\mathbf{Z} \equiv \ln Z_{it}$  est un vecteur de dimension  $(N \times 1)$  du progrès technologique ;  $\iota$  est un vecteur de dimension  $(N \times 1)$  contenant 1 ;  $\mathbf{L} \equiv \ln L_{z_{ti}}$  est un vecteur  $(N \times 1)$  du nombre de chercheurs ;  $\mathbf{Q} \equiv \ln Q_{it}$  est un vecteur  $(N \times 1)$  contenant les dépenses

en R&D ;  $\mathbf{T} \equiv \ln T_{it}$  est un vecteur ( $N \times 1$ ) contenant la mesure de la concurrence internationale ;  $N = n * T$  est le nombre d'observations et  $\mathbf{V} = \mathbf{I}_t \otimes \mathbf{W}$  une matrice de dimension ( $N \times T$ ) avec  $\mathbf{I}_t$  une matrice identité ( $t \times t$ ) et  $\mathbf{w}$  une matrice ( $n \times n$ ) contenant les termes d'interaction.

Pour terminer, nous ajoutons les termes d'erreur<sup>4</sup> à l'équation (3.37). Ce faisant, nous obtenons le modèle Auto Régressif Spatial (SAR) suivant :

$$\mathbf{Z} = \iota\beta_o + \mathbf{L}\beta_1 + \mathbf{Q}\beta_2 + \mathbf{T}\beta_3 + \rho\mathbf{V}\mathbf{Z} + \varepsilon \quad (3.38)$$

## 6 L'analyse empirique

### 6.1 Les données

L'échantillon est constitué de 93 pays dont 15 pays africains, 19 américains, 20 asiatiques, 37 européens et 2 océaniques. Afin de capter le progrès technologique nous utilisons la PTF pour la période allant de 2000 à 2012. Les données concernant la PTF proviennent du travail de Feenstra *et al.* (2013) sur le *Penn World Table* (*PWT version 8.0*).

La concurrence internationale se traduit par l'ouverture aux échanges commerciaux qui détermine le degré d'ouverture d'une économie au commerce mondial. L'ouverture commerciale a été mesurée de diverses façons dans la littérature mais la plupart des mesures partagent une caractéristique commune ; elles expriment le commerce en termes de part du revenu pour un pays donné :  $(X + M)/GDP$ . Cependant, cela soulève un problème évident d'endogénéité. Les pays dont les revenus sont élevés, pour des raisons autres que le commerce, peuvent plus échanger avec le reste du monde. De plus une corrélation positive entre importations/exportations et le PIB peut refléter le fait qu'un pays en forte expansion importe et exporte plus (Rodrik, 1995). Pour traiter ce problème nous suivons Frankel et Romer (1999) qui instrumentent la valeur des importations plus les exportations sur le PIB. A cet effet, ils utilisent un modèle de gravité dans lequel les flux de commerce international dépendent des caractéristiques géographiques d'un pays telles que l'étendue de ses

---

4. Pour le moment nous supposons que les termes d'erreur sont iid. Leur forme sera discutée par la suite.

frontières communes avec les pays voisins, son accès à la mer ou la taille du pays en termes de sa population et de sa surface. Cela permet de s'assurer que l'instrument dépend uniquement des caractéristiques géographiques des pays et non de leurs revenus. Les valeurs des exportations, des importations et du PIB sont tirées de la base de données de la Banque mondiale, elles sont exprimées en dollar *US* constant base 2005.

Les dépenses en R&D sont des dépenses courantes et aussi des dépenses en capital (qui sont à la fois effectuées par le public et privé). Elles sont entreprises systématiquement pour accroître les connaissances et l'utilisation des connaissances pour de nouvelles applications. Les R&D englobent la recherche fondamentale, la recherche appliquée et le développement expérimental. Les données concernant les dépenses en R&D proviennent de l'organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture.

Étant donné que les données concernant les chercheurs en R&D ne sont pas disponibles pour la plupart des pays (en particulier les pays africains), nous utilisons l'indice du capital humain par personne. Cet indice est basé sur les années de scolarité (Barro et Lee, 2012) et des rendements de l'éducation (Psacharopoulos, 1994). Les données concernant cet indice proviennent également du travail de Feenstra *et al.* (2013) sur le *Penn World Table (PWT version 8.0)*.

Comme dans le chapitre précédent, la matrice d'interaction  $\mathbf{W}$  correspond à la matrice de poids couramment utilisée en économétrie spatiale pour modéliser les interdépendances entre les observations. Elle est non négative, finie et souvent exogène. Elle est définie *a priori* par le modélisateur compte tenu de sa connaissance des relations et interactions entre les unités spatiales (Le Gallo, 2002). Nous utilisons dans le présent chapitre une fonction décroissante de la distance géographique pour spécifier la matrice d'interaction qui est donnée ainsi :

$$w_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{if } i = j \\ \frac{1}{d_{ij}^2} & \text{if } i \neq j \end{cases}$$

Les distances sont calculées en utilisant les coordonnées géographiques des capitales économiques selon la formule de la distance du grand cercle. Les coordonnées géographiques proviennent de la base de données du CEPII.<sup>5</sup>

---

5. <http://www.cepii.fr/>

## 7 Les résultats économétriques

La structure de panel des données crée un besoin de contrôler l'hétérogénéité non observée. À cet effet nous estimons tout d'abord le modèle (3.38) pour l'ensemble des pays mais en incluant les effets fixes (All). Ensuite nous scindons l'échantillon en deux sous-groupes ; le premier comprend les pays à revenu élevé (High) qui sont supposées être relativement homogènes, le second regroupe les pays à faible revenu qui pourraient présenter des caractères hétérogènes. Ce faisant nous espérons contrôler cette éventuelle hétérogénéité entre les pays. En somme nous effectuons plusieurs estimations du modèle selon la structure de dépendance et la présence d'une possible hétérogénéité entre les pays. Nous commençons par utiliser la méthode des moindres carrés ordinaires (OLS) sans les effets spatiaux. Ensuite nous estimons<sup>6</sup> deux versions du modèle SAR : un modèle *pooled* dans lequel nous supposons une homogénéité des paramètres à travers les pays, (PSA) et un modèle avec les effets fixes individuels (SFE). Après avoir procédé à des tests de spécification (voir le Tableau 3.1).

Tableau 3.1 – Les tests spatiaux

Tests	p-value	p-value
Spatial Hausman test	(0.000)	(0.000)
LM error robust test	(0.000)	(0.000)

Le Tableau 3.2 affiche les résultats complets :

---

6. Pour les estimations et les tests nous avons utilisé les routines mises en ligne par Elhorst (2011) : <http://www.regrooningen.nl/elhorst/software.shtml>.

Tableau 3.2 – Les résultats des estimations

Model	All			High			Low		
	OLS	PSA	SFE	OLS	PSA	SFE	OLS	PSA	SFE
R&D	0.049*** (0.007)	-0.003 (0.008)	0.033*** (0.006)	0.009*** (0.001)	0.008*** (0.001)	0.076*** (0.012)	0.003 (0.002)	0.003*** (0.001)	0.016*** (0.008)
HC	-0.126 (0.102)	0.013 (0.012)	0.080 (0.095)	0.055*** (0.020)	0.054*** (0.019)	1.066*** (0.132)	0.013 (0.020)	0.004 (0.015)	1.766*** (0.196)
Open	0.096*** (0.020)	-0.003 (0.040)	0.031* (0.018)	0.015*** (0.006)	0.013*** (0.005)	0.228 *** (0.028)	-0.002 (0.076)	-0.002 (0.005)	-0.042* (0.024)
$\rho$		0.467*** (0.028)	0.031*** (0.028)		0.220*** (0.060)	0.052 (0.059)		0.515*** (0.036)	0.358*** (0.041)
$R^2$	0.095		0.044				0.001		
AIC		-2.160	-2.388		-2.834	-3.307		-1.853	-2.289
BIC		-2.144	-2.376		-2.802	-3.283		-1.826	-2.269

Notes : Les écart-types sont indiqués entre parenthèses. \*\*\* significatifs à 1% ; \*\* significatifs à 5% et \* significatifs à 10%. AIC et BIC sont respectivement les critères d'information d'Akaike et de Schwartz.

Le tableau 3.2 présente les résultats de l'estimation par les moindres carrés ordinaires (OLS), le *pooled spatial autoregressive* (PSA) et le *spatial fixed effects* (SFE). Les résultats établissent que le coefficient associé à l'interdépendance spatiale est positif et significativement différent de zéro pour toutes les estimations spatiales, excepté l'estimation avec les effets fixes pour les pays à revenu élevé (Tableau 3.2 colonne 6). Étant donné que l'estimation du paramètre estimé  $\rho$  est significatif, nous pouvons dire que les résultats des moindres carrés ne sont plus en mesure de produire des résultats satisfaisants. Les résultats des moindres carrés sont biaisés et non convergents. Le paramètre  $\rho$  capture la diffusion technologique en provenance des pays voisins, ce qui met en évidence l'essentiel de l'interdépendance spatiale.

Les régressions spatiales font ressortir que le coefficient associé à la variable **R&D** est positif et significatif quel que soit l'échantillon considéré (sauf dans la colonne 2). Cela confirme l'hypothèse selon laquelle le niveau du progrès technique dépend positivement du niveau des dépenses de R&D.

Les résultats économétriques établissent également que le coefficient associé au capital humain (**hc**) est non significatif lorsque l'on considère l'ensemble des pays. Il est positif et significatif pour les pays à revenu élevé. Pour les pays à faible revenu, il n'est significatif que pour l'estimation avec les effets fixes. Cette disparité des résultats peut être expliquée par le caractère hétérogène de l'échantillon.

En ce qui concerne le coefficient relatif au degré d'ouverture (**open**), les résultats sont ambigus. Si l'on considère l'échantillon dans son ensemble (**All**), il est significatif et positif; il en est de même lorsque l'on considère les pays à revenu élevé (**High**); en revanche, il est négatif pour les pays à revenu faible (**Low**). On pourrait associer l'effet de l'ouverture à la concurrence. Les pays à revenu élevé qui ont un niveau de technologie relativement comparable, l'ouverture en augmentation la concurrence pousse les entreprises à innover pour échapper à la concurrence ou pour survivre sur le marché; en revanche pour les pays à revenu qui ont un niveau de technologie relativement faible, la concurrence internationale inhibe les motivations des entreprises à innover car l'écart technologique est trop important. La politique économique serait de libéraliser les échanges pour les pays à revenu élevé, mais il faut protéger les entreprises des petits pays du moins le temps qu'elles acquièrent un certain niveau de technologie.

Les estimations des modèles spatiaux ne peuvent pas être interprétées comme des dérivées partielles comme c'est le cas des régressions linéaires standards. En effet comme nous l'avons souligné dans le chapitre précédent, les modèles spatiaux exploitent une structure de dépendance complexe entre les observations qui peuvent être des pays, des régions etc. Ainsi les paramètres estimés donnent des informations sur la relation entre les observations. Les variables explicatives d'un pays  $i$  affectent non seulement l'observation correspondant au pays  $i$  (effet direct) mais peuvent aussi affecter indirectement tous les autres pays (effet indirect) (Behrens et Thisse, 2007). Pour évaluer l'ampleur des impacts découlant de changements dans les deux variables explicatives, nous nous tournons vers les impacts directs, indirects et totaux présentés dans le Tableau 3.3.

Tableau 3.3 – Les effets cumulatifs

Models	Variables	Direct	Indirect	Total
ALL	R&D	0.036*** (0.007)	0.026*** (0.006)	0.063*** (0.013)
	hc	0.092 (0.102)	0.069 (0.077)	0.161 (0.180)
	Open	0.033* (0.019)	0.025* (0.015)	0.059* (0.035)
High	R&D	0.008*** (0.001)	0.002*** (0.000)	0.011*** (0.002)
	hc	0.054** (0.020)	0.015** (0.007)	0.070*** (0.026)
	Open	0.013** (0.005)	0.003*** (0.001)	0.017** (0.007)
Low	R&D	0.017* (0.009)	0.008* (0.008)	0.026* (0.014)
	hc	1.854*** (0.211)	0.918*** (0.186)	2.772*** (0.354)
	Open	-0.045* (0.025)	-0.022* (0.013)	-0.068* (0.038)

*Notes* : Les écart-types sont indiqués entre parenthèses.  
 \*\*\* significatifs à 1% ; \*\* significatifs à 5% et \* significatifs à 10%.

Étant donné la forme logarithmique du modèle (3.38), nous pouvons interpréter les résultats du Tableau 3.3 comme des élasticités. Dans ce tableau, nous représentons les effets cumulatifs des modèles SFE et PSA (Tableau 3.2 colonnes 3, 5 et 9). Examinons d'abord les impacts de la R&D. Nous pouvons constater que l'impact direct est positif et significatif. Une augmentation de 1% des dépenses en R&D entraînerait un impact direct sur le progrès technologique de 0.008% pour les pays à revenu élevé. Pour les pays à revenu faible, l'augmentation est de 0.017%. Cette différence de résultats entre les pays riches et les pays pauvres peut être expliquée par la complexité de la technologie. En effet, il est plus difficile d'améliorer la technologie lorsqu'elle progresse car elle devient de plus en plus complexe.

L'effet indirect de la R&D est positif et significatif, suggérant un impact positif des dépenses en R&D des pays voisins dans le progrès technologique. Une augmentation de 1% des dépenses en R&D des pays voisins engendrerait une augmentation de 0.002% du progrès technologique pour les pays riches et de 0.008% pour les pays pauvres. Cela confirme le fait que plus un pays est avancé technologiquement moins il bénéficie des externalités technologiques en provenance des voisins. Les impacts indirects mettent également en évidence l'essentiel de l'interdépendance spatiale entre les pays.

L'effet total de R&D est positif et est composé essentiellement de l'impact direct. Cela pourrait provenir du fait que les entreprises n'internalisent pas les externalités technologiques pour les innovations futures. Leurs efforts de R&D contribuent plus à l'innovation que les R&D des autres. Au final, une augmentation de 1% causerait une hausse de 0.011% de la technologie dans les pays riches. Pour les pays pauvres l'augmentation serait de 0.026%.

L'analyse des effets cumulatifs du capital humain (hc) établit qu'une hausse de 1% du capital humain entraînerait directement une hausse de la technologie de 0.054% pour les pays riches et de 1.854% pour les pays pauvres. Concernant l'impact du capital humain des pays voisins sur la hausse de la technologie, il est de 0.918% pour les pays pauvres et de 0.015% pour les pays riches. Comme pour les dépenses en R&D, l'effet total du capital humain est composé essentiellement des impacts directs. L'impact total est de 2.772% pour les pays à faible revenu et de 0.070% pour les pays à revenu élevé.

En ce qui concerne le degré d'ouverture (open), les résultats sont mitigés. Le coefficient associé à cette variable est négatif et significatif pour les pays à faible revenu. En termes de valeurs numériques, une hausse de 1% du degré d'ouverture entraîne une hausse directe de 0.013% de la technologie dans les pays riches ; en revanche cela entraîne une baisse directe de la technologie de 0.045%. L'interdépendance spatiale est aussi négative pour les pays pauvres en termes d'ouverture commerciale. L'ouverture des pays voisins entraîne une baisse de 0.022%. Pour les pays riches par contre l'ouverture de leurs économies encourage la hausse de la technologie de 0.003%. Ces résultats suggèrent que le faible niveau technologique des petites économies ne leur permet pas de rivaliser avec les concurrents étrangers. La libéralisation du commerce accroît la concurrence qui met les entreprises nationales en difficulté vis-à-vis des entreprises étrangères, ce qui entraîne la faillite de la plupart d'entre elles. Il est plus judicieux d'augmenter la compétitivité des entreprises nationales avant d'ouvrir certains secteurs à la concurrence. En revanche, nous trouvons un coefficient positif et significatif pour les pays à revenu élevé (voir Tableau 3.3). La libéralisation du commerce renforce la concurrence en permettant aux entreprises étrangères de rivaliser avec les entreprises nationales. Cela oblige les entreprises nationales à innover afin d'échapper à la concurrence internationale.

## 8 Conclusion du chapitre 3

Dans ce chapitre 3 nous avons examiné les conséquences de la libéralisation commerciale sur le progrès technologique. A cette fin nous nous sommes appuyés sur Aghion et Howitt (2009) pour développer un modèle de croissance shumpétérien. Dans ce modèle nous avons supposé que les pays s'engagent dans un commerce de bien final et de biens intermédiaires. Dans ce contexte la production des biens se ferait dans les pays ayant une forte productivité. Toutefois les autres pays pourraient bénéficier de cette efficacité créant une interdépendance technologique entre les pays. En outre la libéralisation commerciale renforce la concurrence internationale. Afin d'estimer l'interdépendance technologique et la concurrence internationale, nous avons dérivé un modèle structurel spatial à partir du modèle shumpétérien. Cela a permis d'intégrer à la fois la concurrence étrangère et l'interdépendance spatiale.

Les résultats ont mis en évidence l'existence de l'interdépendance spatiale à travers le coefficient d'autocorrélation spatiale, les effets indirects. Nous avons pu constater que les externalités technologiques contribuent plus à la croissance technologique des pays à faible revenu que les pays riches. Les résultats établissent également que la libéralisation, en augmentant la concurrence, encourage l'innovation dans les pays à revenu élevé. Cependant cette concurrence entraînerait une baisse de l'innovation dans les pays à faible revenu. Ces résultats renforcent l'idée que, au moins dans le cas des pays développés, l'ouverture commerciale accroît l'innovation et la croissance grâce à la concurrence.

L'analyse de ce chapitre suggère que la concurrence devrait être encouragée par la libéralisation du commerce dans les pays avancés. Toutefois il serait préférable de supprimer les obstacles à l'innovation avant la libéralisation totale du commerce des petits pays qui ont un niveau technologique faible.

L'analyse effectuée dans ce chapitre peut être étendue dans plusieurs directions intéressantes. Une première extension consiste à pousser plus loin dans la recherche au niveau de l'entreprise afin de mieux distinguer entre la concurrence étrangère et intérieure. Une autre extension vise à regarder les modèles dynamiques du commerce et de l'innovation.

---

## Conclusion générale

La théorie des avantages comparatifs soutient l'idée que l'ouverture commerciale permet aux pays de réorienter leurs ressources rares vers des secteurs plus efficaces et d'améliorer ainsi leurs bien-être. Les gains du commerce sont confirmés par les théories fondées sur les dotations factorielles et la nouvelle théorie du commerce international. Cependant ces gains restent statiques car les échanges n'ont pas d'influence sur la technologie qui est exogène (Fontagné et Guérin, 1997). Le caractère exogène du progrès technique a fait que même les premiers modèles de croissance n'arrivent pas à expliquer les gains dynamiques du commerce international, car les politiques commerciales d'un pays ne peuvent pas être considérées comme un élément affectant sa croissance (Solow, 1956 ; Swan, 1956). Il a fallu attendre les modèles de croissance endogène qui considèrent la technologie comme endogène pour pouvoir expliquer la dynamique économique du commerce international. Cela a permis de combiner la théorie du commerce international et celle de la croissance (Romer, 1987, 1990 ; Rivera-Batiz et Romer, 1991b).

Cependant même les théories de la croissance endogène ne fournissent pas de réponses évidentes quant au lien entre l'ouverture commerciale et le progrès technologique (le reflet de l'innovation). D'un côté il y a ceux qui prônent l'ouverture commerciale en s'appuyant sur un cadre conceptuel bien rodé ; ils démontrent que l'ouverture permet d'abord aux nouvelles technologies de circuler librement entre les pays, ensuite elle permet d'accroître la taille du marché que peut s'approprier les innovateurs (Grossman et Helpman, 1991c,b,a). Enfin elle entraîne une augmentation de la concurrence pour les entreprises domestiques les incitant à augmenter leurs productivités (Aghion et Howitt, 2009). D'un autre côté il y a ceux qui relativisent l'impact de l'ouverture sur l'innovation voire même prônent une politique de fermeture temporaire. En effet l'ouverture commerciale a un impact sur la productivité

qui dépend fortement du niveau technologique des pays qui s'ouvrent l'un à l'autre. Elle peut mettre en jeu des pays ayant des entreprises aux niveaux de productivité très différents. Un accroissement de la concurrence pousse les moins compétitives hors du marché. Dans la mesure où le progrès technique repose sur les externalités d'apprentissage par la pratique, l'ouverture commerciale peut entraîner une chute de la productivité si elle s'opère lors de la phase d'apprentissage des entreprises. De plus cette ouverture peut conduire à une spécialisation dans les secteurs ayant de faibles externalités d'apprentissage. En l'absence d'un choc externe la spécialisation d'un pays reste inchangée une fois déterminée. Dans ce cadre une politique temporaire de protection pourrait être optimale car elle permettrait au pays d'accumuler le savoir faire nécessaire à sa compétitivité (Krugman, 1987).

Le manque de réponse claire venant des études théoriques a rendu les travaux empiriques intéressants. Sur le plan empirique les conclusions aboutissent généralement à un effet positif de l'ouverture commerciale sur l'innovation. Cependant les études empiriques se sont heurtées à plusieurs limites liées aux indicateurs retenus pour mesurer l'ouverture et notamment aux méthodes économétriques utilisées qui ne permettent pas de contrôler de façon rigoureuse les externalités technologiques. De plus ces études empiriques suggèrent que les externalités technologiques profitent à tous les pays et notamment aux pays en développement. Or cette uniformité supposée de la diffusion des externalités technologiques est peu vraisemblable. Les flux qui sont supposés transmettre la technologie entre les pays sont influencés par des facteurs géographiques et, en particulier, par la distance physique séparant importateurs et exportateurs. Par ailleurs les études empiriques ont omis les effets indirects du commerce international sur l'innovation et l'interdépendance spatiale entre les pays. Il est possible qu'un pays bénéficie de la technologie d'un autre pays sans qu'un échange commercial ait lieu entre ces deux pays (Lumenga-Neso *et al.*, 2005).

La disparité des résultats théoriques et les problèmes d'ordre méthodologique des travaux empiriques ont rendu l'étude de la relation entre l'ouverture commerciale et l'innovation particulièrement intéressante. C'est pourquoi cette thèse avait pour objectif d'examiner les implications sur l'innovation de l'ouverture commerciale en considérant l'enjeu de l'interdépendance spatiale. Cet objectif a été réalisé en trois

chapitres.

Le premier objectif de la thèse a été de mettre en évidence l'interdépendance entre les flux commerciaux et par la suite de montrer la nécessité de prendre en compte cette interdépendance dans les analyses impliquant des flux commerciaux. Le chapitre 1 a été principalement développé pour répondre à cette préoccupation.

Plusieurs méthodologies ont été utilisées pour modéliser l'interdépendance dans le commerce international. Cependant c'est le modèle de gravité qui semble le plus approprié pour traiter l'interdépendance dans les flux commerciaux, car l'équation de gravité offre une bonne illustration des chaînes complexes d'effets spatiaux indirects. C'est à travers ce modèle qu'Anderson et van Wincoop (2003) ont démontré que les échanges commerciaux entre deux pays dépendent aussi des obstacles rencontrés dans les autres pays, ce qu'ils ont appelé *résistance multilatérale*. Par la suite plusieurs travaux se sont donnés pour objectif de modéliser cette résistance. Le chapitre 1 de la thèse s'est appuyé sur ces travaux pour justifier la prise en compte de l'interdépendance dans l'analyse de la relation entre l'ouverture commerciale et l'innovation. A cet effet nous avons utilisé un modèle de gravité à la Behrens *et al.* (2012) pour rendre plus explicite l'interdépendance. La méthodologie a consisté à éliminer les indices de prix en utilisant les fonctions de demande inverse. Cette modélisation a conduit à un modèle structurel spatial connu sous le vocable de *General Spatial Model*. Ainsi le second objectif de la thèse qui est de dériver un modèle spatial a été atteint dès ce chapitre 1. Le modèle ainsi obtenu a permis de mettre en évidence l'interdépendance d'une part à travers les flux commerciaux d'autre part à travers les effets frontières. L'interdépendance dans les effets frontières s'est traduite par une décomposition de ceux-ci en deux éléments : le premier captant les effets à l'intérieur du bloc régional et le second captant les effets entre les pays membres d'un bloc régional et les pays qui ne font pas partie de ce bloc.

Afin de tester l'interdépendance nous nous sommes intéressés à cinq blocs régionaux africains (CEDEAO, CEMAC, COMESA, SADC et UEMOA). L'échantillon contient d'autres pays mais nous avons préféré utiliser les blocs africains pour tester l'interdépendance entre les blocs, la raison en est que l'Afrique compte plus de blocs que n'importe quel autre continent dans le monde. C'était aussi une occasion pour évaluer l'impact de ces blocs sur les flux commerciaux africains. A notre connais-

sance, il n'existe pas de travaux empiriques sur le commerce africain ayant pris en compte cette interdépendance. L'analyse empirique a établi une relation négative entre les flux commerciaux, suggérant une *concurrence spatiale* décrivant à la fois la structure de marché et les préférences des consommateurs pour la diversité. En ce qui concerne l'impact des blocs régionaux sur les flux commerciaux intra-africains, les résultats ont indiqué que les échanges au sein des blocs ont augmenté tandis que les échanges avec le reste du monde ont baissé. Nous avons pu également noter que les effets intra-blocs sont plus élevés pour les blocs qui ont avancé dans leur processus d'intégration régionale (UEMOA, SADC et CEMAC), par contre les effets inter-blocs sont plus faibles pour ces derniers. Les résultats renforcent ainsi l'hypothèse selon laquelle la suppression unilatérale et préférentielle des barrières tarifaires et non-tarifaires accroît le commerce interne dans un groupement. Ils concordent également avec les conclusions de Cassim (2001), Carrère (2004) et Behar et Edward (2011) sur l'effet positif des regroupements régionaux africains.

Au delà des effets frontières, d'autres variables ont été utilisées telles que la distance, l'usage d'une monnaie commune, d'une langue commune et l'enclavement des pays. Cette dernière variable est particulièrement intéressante car elle montre la dépendance commerciale des pays enclavés vis-à-vis des pays voisins qui ont accès à la mer. Le développement de leurs échanges commerciaux dépend donc considérablement du maintien de bonnes relations avec ces pays ainsi que du climat politique et économique qui y règne. La crise ivoirienne de 2002 en est un bon exemple car elle a considérablement affecté le Burkina Faso et le Mali qui dépendent du port d'Abidjan pour une plus grande part de leurs échanges avec l'extérieur. Leur position géographique défavorable entraîne également des coûts de transport plus élevés qui impactent négativement leurs relations commerciales avec l'extérieur.

Les chapitres 2 et 3 avaient un double objectif, le premier étant d'étudier les conséquences sur l'innovation de l'ouverture commerciale lorsque l'interdépendance spatiale est prise en compte ; le second est de dériver une forme structurelle spatiale. Ainsi dans le chapitre 2 nous nous sommes intéressés à l'un des canaux par lesquels le commerce international affecte l'innovation à savoir la transmission technologique. En effet les investissements en R&D peuvent engendrer des bénéfices pour les entreprises étrangères en augmentant leurs productivités et vice-versa. Ce chapitre était

aussi une occasion de rappeler que lorsque les données sont géoréférencées, la localisation relative des unités d'observations entraîne en général une dépendance et nous en avons profité pour présenter quelques travaux en économétrie spatiale mettant en évidence l'existence d'effets spatiaux dans l'analyse des externalités. Enfin pour répondre à l'objectif de la thèse nous avons proposé une méthode alternative pour estimer les externalités technologiques tout en tenant compte de l'interdépendance spatiale entre les pays. Partant d'un modèle de croissance endogène avec variétés de biens, nous avons pu montrer comment un modèle Durbin *spatial* peut être obtenu à partir d'un cadre théorique. Cela a permis de combler quelques lacunes des travaux empiriques étudiant l'impact du commerce international sur le progrès technologique. Alors que les travaux de Coe et Helpman (1995) ne prennent pas en compte l'autocorrélation spatiale et les impacts indirects du commerce international, le modèle SDM qui est développé dans le chapitre a permis de rendre compte de ces effets spatiaux. Pour l'analyse empirique du modèle, nous avons considéré deux types de proximités. La première est purement géographique et la seconde est basée sur l'intensité des relations commerciales. Quelle que soit la matrice de pondération, les résultats ont indiqué que les externalités contribuent fortement à la hausse des productivités. Cependant nous avons constaté qu'elles sont plus élevées dans le cas de partenaires commerciaux que dans le cas de voisins géographiques. Nous avons également constaté que les R&D étrangers contribuent plus que les R&D domestiques à la hausse de la productivité.

Le chapitre 3 avait aussi pour objectif d'étudier l'effet de la concurrence. Plus précisément il examine les conséquences de la libéralisation commerciale sur la productivité. Pour ce faire nous avons supposé que la libéralisation renforce la concurrence internationale. Afin de mieux cerner le lien entre la concurrence et la productivité nous avons présenté un panorama d'études explorant ce lien, permettant ainsi de mettre en évidence l'ambiguïté de la relation entre la concurrence et l'innovation. Ensuite nous nous sommes appuyés sur les travaux de Aghion et Howitt (2009) pour dériver un modèle structurel spatial à partir du modèle schumpétérien. Cela a permis de souligner l'effet sur la productivité à la fois de la concurrence étrangère et de l'interdépendance spatiale.

Pour l'analyse empirique nous avons scindé l'échantillon en deux sous-échantillons,

le premier regroupe les pays à revenu élevé et le second contient les pays à faible revenu. Nous avons ensuite procédé à trois types d'estimations. La première a été effectuée sur la totalité de l'échantillon et les deux autres sur chacun des sous-échantillons. Les résultats ont confirmé la contribution des R&D et du capital humain à la hausse de la productivité quel que soit l'échantillon utilisé. Nous avons constaté que l'impact de ces variables est élevé pour les pays à faible revenu, de même pour les externalités de R&D et du capital humain. Les pays à faible revenu bénéficient plus des externalités technologiques que les pays à revenu élevé. Cette disparité des résultats entre pays riches et pays pauvres peut s'expliquer par la différence de technologie. En effet il est plus difficile pour les pays ayant une technologie élevée d'améliorer cette dernière car elle devient de plus en plus complexe. Cette caractéristique pourrait être intéressante lorsque l'on discute de la convergence entre les pays. Un pays qui est loin de la frontière technologique mondiale pourrait avoir un avantage lié à son retard.

Quant à l'effet de la concurrence internationale mesurée ici par le degré d'ouverture commerciale les résultats sont mitigés. Pour les pays à faible revenu la relation entre le degré d'ouverture et la hausse de la productivité est négative. L'explication tient du fait que l'ouverture commerciale a augmenté la pression concurrentielle sur les entreprises nationales, étant donné leurs faibles compétitivités certaines auraient pu faire faillite. Pour ce qui est des pays riches, l'effet de la concurrence internationale sur la productivité est positif, ces résultats sont en accord avec les prédictions des nouvelles théories de la croissance et laissent supposer que la concurrence entre pays aux niveaux technologiques semblables favorisent la hausse de la productivité.

Devant ces observations, il est nécessaire que les politiques de libéralisation soient adaptées à chaque type de pays en fonction de leurs capacités à faire face à la concurrence sur le marché mondial. Les pays pauvres sont en général vulnérables face à la compétition internationale et il semblerait approprié que la libéralisation de leurs marchés se fasse très progressivement. Avant d'entreprendre des politiques de libéralisation trop ambitieuses, les pays pauvres se doivent en premier lieu tenter d'encourager l'innovation. Pour les pays riches il semblerait approprié d'encourager la libéralisation commerciale.

La démarche adoptée dans cette thèse comporte de nombreuses limites qui sont

autant d'éléments de réflexion pour des travaux futurs. Tout d'abord la disponibilité des données concernant les pays en développement, en particulier les pays africains, aurait permis d'obtenir de meilleurs estimateurs et de mieux mettre en évidence l'interdépendance spatiale. Cela aurait permis aussi de mieux rendre compte des évolutions récentes de ces pays.

Ensuite il faut noter que la relation entre le commerce international et l'innovation dans les pays en développement mérite des recherches avancées. En effet les recherches futures sur ces pays devraient permettre de confirmer ou infirmer les résultats présentés dans le présent document. Il serait également intéressant de réfléchir à la relation entre l'ouverture commerciale, la technologie et l'emploi dans ces pays comme le font Charfeddine et Mrabet (2015).

Enfin il serait également très intéressant de développer un modèle dynamique permettant de mieux rendre compte des effets du commerce sur l'innovation tout en considérant l'interdépendance spatiale.

---

# Annexe A

## Spatial Regression

### 1 The standard spatial models

In the standard linear regression model, spatial dependence<sup>1</sup> can be incorporated in two distinct ways : as an additional regressor in the form of a spatially lagged dependent variable ( $Wy$ ), or in the error structure ( $E[\varepsilon_i\varepsilon_j \neq 0]$ ). The former pertains to spatial correlation in the dependent variable, while the latter refers to the error term. Hence, it has become convenient to distinguish between spatial lag and spatial error model specifications. Spatial lag models account for spatial correlation (dependence) in the dependent variable. Such specifications are typically motivated by theoretical arguments that emphasise the importance of neighbourhood effects, or spatial externalities that cross the borders of the areal units and show up in the dependent variable. This kind of spatial autocorrelation is substantive on the ground that it has a meaningful interpretation. In contrast, spatial error models account for spatial dependence in the error term. Spatial error dependence may arise, for example, from unobservable latent variables that are spatially correlated. It may also arise from area boundaries that do not accurately reflect neighbourhoods which give rise to the variables collected for the analysis. Spatial autocorrelation arising for these reasons is considered to be nuisance (Fischer et Wang, 2011).

---

1. Spatial dependence is referred as how the magnitude of a variable of interest at a given location is determined by the values of the same variable at other locations in the system (Anselin, 1988a).

## 1.1 The spatial lag model

the spatial lag model or spatial autoregressive model is expressed as

$$Y = X\beta + \rho WY + \varepsilon \quad (\text{A.1})$$

where the  $n \times 1$  vector  $Y$  contains our dependent variable,  $\rho$  is a spatial autoregressive coefficient with  $W$  representing the  $n \times n$  spatial weight matrix,  $X$  a  $n \times k$  matrix of explanatory variables, including the constant term and  $\beta$  the associated  $k \times 1$  vector of parameters.  $WY$  is called a spatial lag, since it represents a linear combination of values taken by neighbouring observations. We assume that  $\varepsilon$  follows a multivariate normal distribution, with zero mean and a constant scalar diagonal variance-covariance matrix  $\sigma^2 I_n$ . If we denote  $\mathbf{S}(\rho) = I - \rho W$  for any admissible value of  $\rho$ , then we can rewrite the model (A.1) as

$$Y = \mathbf{S}(\rho)^{-1}(X\beta + \varepsilon) \quad (\text{A.2})$$

where  $\rho \neq 0$  and  $\frac{1}{\rho}$  is not eigenvalue of  $W$ . Actually  $\mathbf{S}(\rho)^{-1}$  exist if and only if  $|I - \rho W| \neq 0$ . This conditions are equivalent to :  $|\rho| |W - \frac{1}{\rho} I| \neq 0$  where  $|\rho| \neq 0$  and  $|W - \frac{1}{\rho} I| \neq 0$ .

The implicit form of the SAR model is :

$$Y = \mathbf{S}(\rho)^{-1} X\beta + \mathbf{S}(\rho)^{-1} \varepsilon \quad (\text{A.3})$$

The inverse matrix  $\mathbf{S}(\rho)^{-1}$  can be expanded into an infinite series as follows :

$$\mathbf{S}(\rho)^{-1} = I + \rho W + \rho^2 W^2 + \rho^3 W^3 + \dots = \sum_{r=0}^{\infty} \rho^r W^r \quad (\text{A.4})$$

where  $W^0 = I$ ,  $w_{ij} < 1$ ,  $|\rho| < 1$  Equation (A.4) has two important implications. First, in conditional mean, the endogenous variable in a given location  $i$  will not only be affected by the exogenous variables in that location, but also those in all other location through the inverse spatial transformation  $\mathbf{S}(\rho)^{-1}$ . This is so-called *spatial multiplier effect*. Consequently, the spatial lag term must be treated as an endogenous variable and proper estimation methods must account for this endogeneity. Second, a random shock in specific location  $i$  does not only affect the endogenous variable at that location  $i$ , but also has an impact on the endogenous variables in all

other location through the inverse spatial transformation  $\mathbf{S}(\rho)^{-1}$ . This is so-called *spatial diffusion process* of a random shock.

The expected value of  $Y$  is :

$$E(y) = \mathbf{S}(\rho)^{-1} X\beta \quad (\text{A.5})$$

and the variance-covariance matrix for  $Y$  is :

$$V(y) = \mathbf{S}'(\rho)^{-1} \mathbf{S}(\rho)^{-1} \sigma_\varepsilon^2 \quad (\text{A.6})$$

The structure of this variance-covariance matrix is such that every location is correlated with every other location in the system, but closer location more so. It also interesting to note that the diagonal elements in equation (A.6) are related to the spatial weight matrix structure and therefore are not constant, leading to heteroscedasticity even though the initial process is not heteroscedastic. Consequently, OLS is no longer efficient and the classical estimators for standard errors will be biased (Anselin, 1988b).

## 1.2 The spatial Durbin model (SDM)

The SDM includes spatial lags of all the exogenous variables in addition to the spatial lag of the endogenous variable.

$$y = X\beta + WX\theta + \rho Wy + \varepsilon \quad (\text{A.7})$$

This model can be written as a SAR model by defining :  $Z = [X \quad WX]$  and  $\delta = [\beta \quad \theta]'$ .

$$y = Z\delta + \rho Wy + \varepsilon \quad (\text{A.8})$$

Therefore, the expected value and the variance-covariance matrix of  $y$  are identicals to those of the SAR. Then

$$E(y) = \mathbf{S}(\rho)^{-1} Z\delta \quad (\text{A.9})$$

and

$$V(y) = \mathbf{S}'(\rho)^{-1} \mathbf{S}(\rho)^{-1} \sigma_\varepsilon^2 \quad (\text{A.10})$$

### 1.3 The general spatial model (GSM)

**Spatial error model (SEM)** : another form of spatial dependence occurs when the dependence works through the error process, in that the errors from different areas may display spatial covariance. The most common specification is a spatial autoregressive process of first order,<sup>2</sup> as given by

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad \varepsilon = \lambda W\varepsilon + \mu \quad (\text{A.11})$$

where  $\lambda$  is the autoregressive parameter, and  $\mu$  a random error term, typically assumed to be iid. The spatial error model (SEM) may be viewed as a combination of a standard regression model with a spatial autoregressive model in the error term, and hence has an expectation equal to that of the standard regression model.

**General spatial model** : combining the basic SAR and SEM models yields the General Spatial Model (GSM) or Spatial Autoregressive Confused (SAC)

$$\begin{aligned} Y &= X\beta + \rho W_1 Y + \varepsilon \\ \varepsilon &= \lambda W_2 \varepsilon + \mu \end{aligned} \quad (\text{A.12})$$

The matrix  $W_1, W_2$  can be the same or distinct. The parameters to be estimated are  $\beta$ ;  $\lambda$ ;  $\rho$  and  $\sigma_\mu^2$ . Obviously, if the parameter  $\rho = 0$ , this model collapses to the SEM model of equation (A.11), and  $\lambda = 0$  the SAR model of equation (A.1).

Unlike what holds for the time series counterpart of the model (A.12), the spatial lag term  $WY$  is correlated with the disturbances, even when the latter are iid. This can be seen from the reduced form of

$$\begin{aligned} Y &= (I - \rho W)^{-1} X\beta + (I - \rho W)^{-1} \varepsilon \\ \varepsilon &= (I - \lambda W)^{-1} \mu \end{aligned} \quad (\text{A.13})$$

Indeed,

$$E(\varepsilon) = 0, \quad \text{and} \quad V(\varepsilon) = (I - \lambda W)^{-1} (I - \lambda W')^{-1} \sigma_\mu^2$$

Furthermore,

$$\begin{aligned} E[WY\varepsilon'] &= E[W((I - \rho W)^{-1} X\beta + (I - \rho W)^{-1} \varepsilon)\varepsilon'] \\ &= E[W(I - \rho W)^{-1} \varepsilon\varepsilon'] \end{aligned}$$

---

2. We can also specify a moving average process as  $\varepsilon = \lambda W\mu + \mu$

$$\begin{aligned}
 &= W (I - \rho W)^{-1} E(\varepsilon \varepsilon') \\
 &= W (I - \rho W)^{-1} V(\varepsilon) \neq 0
 \end{aligned}$$

Denote  $\mathbf{S}(\rho) = I - \rho W$  and  $\mathbf{S}(\lambda) = I - \lambda W$  for any admissible value of  $\rho$  and  $\lambda$ . Where  $\mathbf{S}(\rho)$ ,  $\mathbf{S}(\lambda)$  are non-singular.<sup>3</sup> Each inverse  $(\mathbf{S}(\rho))^{-1}$  and  $(\mathbf{S}(\lambda))^{-1}$  can be expanded into an infinite series as follows :

$$\begin{aligned}
 \mathbf{S}(\rho)^{-1} &= I + \rho W + \rho^2 W^2 + \rho^3 W^3 + \dots = \sum_{r=0}^{\infty} \rho^r W^r \\
 \mathbf{S}(\lambda)^{-1} &= I + \lambda W + \lambda^2 W^2 + \lambda^3 W^3 + \dots = \sum_{r=0}^{\infty} \lambda^r W^r
 \end{aligned} \tag{A.14}$$

where  $W^0 = I$ ,  $w_{ij} < 1$ ,  $|\rho| < 1$  and  $|\lambda| < 1$ . As in the SAR model, equation (A.14) has two implications. First, the endogenous variable in a given location  $i$  will not only be affected by the exogenous variables in that location, but also those in all other location through the inverse spatial transformation  $\mathbf{S}(\rho)^{-1}$ . Second, a random shock in specific location  $i$  does not only affect the endogenous variable at that location  $i$ , but also has an impact on the endogenous variables in all other location through the inverse spatial transformation  $\mathbf{S}(\rho)^{-1} \mathbf{S}(\lambda)^{-1}$ . The expected value of  $Y$  is therefore :

$$E(y) = \mathbf{S}(\rho)^{-1} X \beta \tag{A.15}$$

and the variance-covariance matrix for  $Y$  is easily to be equal to :

$$V(y) = \mathbf{S}'(\rho)^{-1} \mathbf{S}(\rho)^{-1} \mathbf{S}(\lambda)^{-1} \mathbf{S}'(\lambda)^{-1} \sigma_\mu^2 \tag{A.16}$$

## 2 Maximum likelihood estimation

Estimation of spatial models via least squares can lead to inconsistent estimates of the regression parameters for models with spatially lagged dependent variables, inconsistent estimation of the spatial parameters, and inconsistent estimation of standard errors. Consequently, proper estimation methods must account for this inconsistency. As pointed out in Elhorst (2010), three methods have been developed

3. This is the case if  $\rho \neq 0$ ,  $\lambda \neq 0$  and if  $\frac{1}{\rho}$ ,  $\frac{1}{\lambda}$  are not eigenvalues of  $W$ . Actually  $(I - \rho W)^{-1}$ ,  $(I - \lambda W)^{-1}$  exist if and only if  $|I - \rho W| \neq 0$ ,  $|I - \lambda W| \neq 0$ . These conditions are equivalents to :  $|\rho| |W - \frac{1}{\rho} I| \neq 0$  where  $|\rho| \neq 0$  and  $|W - \frac{1}{\rho} I| \neq 0$ ;  $|\lambda| |W - \frac{1}{\lambda} I| \neq 0$  where  $|\lambda| \neq 0$  and  $|W - \frac{1}{\lambda} I| \neq 0$ .

in the literature to estimate models that include spatial interaction effects. One is based on maximum likelihood (ML) (Lee, 2004), one on instrumental variables or generalized method of moments (IV/GMM) (Kelejian et Prucha, 1998, 1999 ; Lee, 2007), and one on the Bayesian Markov Chain Monte Carlo (MCMC) approach (LeSage et Pace, 2009).

(Kelejian et Prucha, 1998) give a feasible generalized spatial two stage least squares (GS2SLS) estimator for the parameters of the SARAR model, which suggests an estimation procedure that comprises three stages. In the first stage, the model is estimated by 2SLS. The second stage uses the resulting 2SLS residuals to estimate  $\rho$  and using a GM procedure. In the third stage, the estimated  $\rho$  is used to perform a Cochrane-Orcutt type transformation to account for the spatial correlation. GMM estimation of spatial regression models in a single cross sectional setting has been originally advanced by Kelejian et Prucha (1999). They focused on a regression equation with spatial autoregressive (SAR) disturbances, and suggested the use of three moment conditions that exploit the properties of disturbances implied by a standard set of assumptions. Estimation consists of solving a non-linear optimization problem, which yields a consistent estimator under a number of regularity conditions. Fingleton et Gallo (2007) extend Kelejian and Prucha's (1998) feasible generalized spatial two-stage least squares (FGS2SLS) estimator to account for endogenous variables due to system feedback, given an autoregressive error process. This is further extended to allow for a moving average error process, following Fingleton (2008b,a). Recently, considerable work has been carried out to extend the procedure advanced by Kelejian and Prucha in various directions as pointed out by Moscone et Tosetti (2011).

One of the reasons for developing IV/GMM estimators was as a response to perceived computational difficulties (Kelejian et Prucha, 1998, 1999). Estimation of spatial econometric models involves the manipulation of  $N \times N$  matrices, such as matrix multiplication, matrix inversion, the computation of characteristic roots and/or Cholesky decomposition. These manipulations may be computationally intensive and/or may require significant amounts of memory if  $N$  is large. Since IV/GMM estimators ignore the Jacobian term, many of these problems could be avoided (Elhorst, 2010). However, there have been a great many improvements in computational

methods for maximum likelihood estimation of spatial regression models since the time of Anselin's 1988 text and these computational difficulties have become a thing of the past, as is the case for ML and Bayesian estimators (LeSage et Pace, 2009). Hence, this section focuses on maximum likelihood estimation, which is the most frequently used estimation method used in the spatial econometric literature.

## 2.1 SDM model estimation

Consider the following SDM model :

$$y = X\beta + WX\theta + \rho Wy + \varepsilon \quad (\text{A.17})$$

$$y = (I_n - \rho W)^{-1}(X\beta + WX\theta + \rho Wy + \varepsilon)$$

$$\varepsilon \sim N(0, \sigma^2 I_n)$$

where 0 represents an  $n \times 1$  vector of zeros. Since the SDM can be written as a SAR, the likelihood function for SAR and SDM models can be written in the same form. The log-likelihood function for the SDM and SAR models takes the following form :

$$\ln L = -(n/2) \ln(\pi\sigma^2) + \ln |I_n - \rho W| - \frac{e'e}{2\sigma^2}$$

$$e = y - \rho Wy - Z\delta$$

$$\rho \in (\min(\omega)^{-1}, \max(\omega)^{-1})$$

where :  $Z = X$  for the SAR model and  $Z = [X \quad WX]$  for the SDM model ;  $\omega$  is the  $n \times 1$  vector of eigenvalues of the matrix  $W$  (LeSage et Pace, 2009). If  $\omega$  contains only real eigenvalues, a positive definite variance-covariance matrix is ensured by the condition :  $\rho \in (\min(\omega)^{-1}, \max(\omega)^{-1})$  (Ord, 1975).

Maximizing the log-likelihood for the SAR model would involve setting the first derivatives with respect to the parameters  $\beta$ ,  $\sigma^2$  and  $\rho$  equal to zero and simultaneously solving these first-order conditions for all parameters. In contrast, the equivalent maximum likelihood estimates could be found using the log-likelihood function concentrated with respect to the parameters  $\beta$  and  $\sigma^2$ . This involves substituting closed-form solutions from the first order conditions for the parameters  $\beta$

and  $\sigma^2$  to yield a log-likelihood that is said to be concentrated log-likelihood function with respect to these parameters.

$$y = Z\delta + \rho Wy + \varepsilon \quad (\text{A.18})$$

From the model statement (A.18), if the true value of the parameter  $\rho$  was known to be say  $\rho^*$ , we could rearrange the model statement in (A.18) as :

$$y - \rho^* Wy = Z\delta + \varepsilon \quad (\text{A.19})$$

This suggests an estimate for  $\delta$  of  $\hat{\delta} = (Z'Z)^{-1}Z'(I_n - \rho W)y$ . In this case we could also find an estimate for the noise variance parameter  $\hat{\sigma}^2 = n^{-1}e(\rho^*)'e(\rho^*)$ , where  $e(\rho^*) = y - \rho^* Wy - Z\hat{\delta}$ . These ideas motivate that we can concentrate the full (log) likelihood with respect to the parameter  $\beta$ ,  $\sigma^2$  and reduce the maximum likelihood to a univariate optimization problem in the parameter  $\rho$ .

Working with the concentrated log-likelihood yields exactly the same maximum likelihood estimates  $\hat{\beta}$ ,  $\hat{\sigma}$ , and  $\hat{\rho}$  as would arise from maximizing the full log-likelihood (Davidson et Mackinnom, 1993).

As noted, the log-likelihood can be concentrated with respect to the coefficient vector  $\delta$  and the noise variance parameter  $\sigma^2$ . Pace et Barry (1997) suggested a convenient approach to concentrating out the parameters  $\delta$  and  $\sigma^2$ .

$$\ln L(\rho) = \kappa + \ln |I_n - \rho W| - (n/2) \ln(S(\rho)) \quad (\text{A.20})$$

$$S(\rho) = e(\rho)'e(\rho) = e_0'e_0 - 2\rho e_0'e_d + \rho^2 e_d'e_d$$

$$e(\rho) = e_0 - \rho e_d$$

$$e_0 = y - Z\delta_0$$

$$e_d = Wy - Z\delta_d$$

$$\delta_0 = (ZZ)^{-1}Z'y$$

$$\delta_d = (ZZ)^{-1}Z'Wy$$

The term  $\kappa$  is a constant that does not depend on the parameter  $\rho$ , and  $|I_n - \rho W|$  is the determinant of the  $n \times n$  matrix. We use the notation  $e(\rho)$  to indicate that this vector depends on the values taken by the parameter  $\rho$ , as does the scalar concentrated log-likelihood function value  $\ln L(\rho)$ .

To simplify optimization of the log-likelihood with respect to the parameter  $\rho$ , Pace et Barry (1997) proposed evaluating the log-likelihood using a  $q \times 1$  vector of values for  $\rho$  in the interval  $[\rho_{\min}, \rho_{\max}]$ , labelled as  $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \dots, \rho_q$ .

$$\begin{pmatrix} \ln L(\rho_1) \\ \ln L(\rho_2) \\ \vdots \\ \ln L(\rho_q) \end{pmatrix} = \kappa + \begin{pmatrix} \ln |I_n - \rho_1 W| \\ \ln |I_n - \rho_2 W| \\ \vdots \\ \ln |I_n - \rho_q W| \end{pmatrix} - (n/2) \begin{pmatrix} \ln(S(\rho_1)) \\ \ln(S(\rho_2)) \\ \vdots \\ \ln(S(\rho_q)) \end{pmatrix} \quad (\text{A.21})$$

Given a sufficiently fine of  $q$  values for the log-likelihood, interpolation can supply intervening points to any desired accuracy (which follows from the smoothness of the log-likelihood function). Note, the scalar moments  $e'_0 e_0$ ,  $e'_0 e_d$ , and  $e'_d e_d$ , and the  $k \times 1$  vectors  $Z\delta_0$ ,  $Z\delta_d$  are computed prior to optimization, and so given a value for  $\rho$ , calculating  $S(\rho)$  simply requires weighting three numbers. Given the optimum value of  $\rho$ , this becomes the maximum likelihood estimate of  $\rho$  denoted as  $\hat{\rho}$ . Therefore, it requires very little computation to arrive at the vector of concentrated log-likelihood values.

Given the maximum likelihood estimate  $\hat{\rho}$ , the maximum likelihood estimates for the coefficients  $\hat{\delta}$ , the noise variance parameter  $\hat{\sigma}^2$ , and associated variance-covariance matrix for the disturbances are :

$$\hat{\delta} = \delta_0 - \hat{\rho}\delta_d \quad (\text{A.22})$$

$$\hat{\sigma}^2 = n^{-1}S(\hat{\rho}) \quad (\text{A.23})$$

$$\hat{\Omega} = \hat{\sigma}^2[(I_n - \hat{\rho}W)'(I_n - \hat{\rho}W)]^{-1} \quad (\text{A.24})$$

Maximum likelihood estimation could proceed using a variety of univariate optimization techniques. These could include the vectorized approach just discussed based on a fine grid of values of  $\rho$  (large  $q$ ), non-derivative search methods such as the Nelder-Mead simplex or bisection search scheme, or by applying a derivative-based optimization techniques (Press *et al.*, 1996). Some form of Newton's method with numerical derivatives has the advantage of the providing the optimum as well as the

second derivative of the concentrated log-likelihood at the optimum  $\hat{\rho}$ . This numerical estimate of the second derivative in conjunction with other information can be useful in producing a numerical estimate of the variance-covariance matrix for the parameter.

## 2.2 The GSM estimation

Consider the GSM of equation (A.12). The log-likelihood function for this model is shown takes the following form :

$$\ln L(\beta, \sigma_\mu^2, \rho, \lambda) = -(n/2) \ln(2\pi\sigma_\mu^2) + \ln |\mathbf{S}(\rho)| + \ln |\mathbf{S}(\lambda)| - \frac{e'e}{2\sigma_\mu^2} \quad (\text{A.25})$$

$$e = \mathbf{S}(\lambda) (\mathbf{S}(\rho)y - X\beta)$$

An important aspect of this log-likelihood function is the Jacobian of the transformation, which are the determinants of the  $(n \times n)$  full matrices  $\mathbf{S}(\lambda) = I - \lambda W$  and  $\mathbf{S}(\rho) = I - \rho W$  for this model. This could complicate the computation of the ML estimators which involves the repeated evaluation of these determinants. However, Ord (1975) suggested that it can be expressed as functions of the eigenvalues  $\omega_i$  of the spatial weight matrix as :

$$\begin{aligned} |I - \rho W| &= \prod_{i=1}^n (1 - \rho\omega_i) \Rightarrow \ln |I - \rho W| = \sum_{i=1}^n \ln(1 - \rho\omega_i) \\ |I - \lambda W| &= \prod_{i=1}^n (1 - \lambda\omega_i) \Rightarrow \ln |I - \lambda W| = \sum_{i=1}^n \ln(1 - \lambda\omega_i) \end{aligned} \quad (\text{A.26})$$

These expression simplify considerably the computations since the eigenvalues of  $W$  only have to be computed once at the outset of the numerical optimization procedure. If  $\omega$  contains only real eigenvalues, a positive definite variance-covariance matrix is ensured by the condition :  $\rho \in (\min(\omega)^{-1}, \max(\omega)^{-1})$ .

Maximizing the log-likelihood for the SAC model would involve setting the first derivatives with respect to the parameters  $\beta$ ,  $\sigma_\mu^2$ ,  $\rho$  and  $\lambda$  equal to zero and simultaneously solving these first-order conditions for all parameters. In contrast, the equivalent maximum likelihood estimates could be found using the log-likelihood function concentrated with respect to the parameters  $\beta$  and  $\sigma_\mu^2$ . Hence, from the

usual first-order conditions, the maximum likelihood estimators of  $\beta$  and  $\sigma_\mu^2$ , given  $\rho$  and  $\lambda$ , are obtained as :

$$\widehat{\beta}_{(\rho,\lambda)} = [X'S'(\lambda)S(\lambda)X]^{-1} [X'S'(\lambda)S(\lambda)S(\rho)y'], \quad (\text{A.27})$$

$$\widehat{\sigma}_{\mu(\rho,\lambda)}^2 = \frac{1}{n} \left[ S(\rho)y - X\widehat{\beta}_{(\rho,\lambda)} \right]' S'(\lambda)S(\lambda) \left[ S(\rho)y - X\widehat{\beta}_{(\rho,\lambda)} \right] \quad (\text{A.28})$$

Substituting closed-form solutions from the first order conditions for the parameters  $\beta$  and  $\sigma^2$  to yield a log-likelihood that is said to be concentrated log-likelihood function with respect to these parameters.

$$\ln L(\rho, \lambda) = -\frac{n}{2} \ln(2\pi + 1) - \frac{n}{2} \ln \widehat{\sigma}_{\mu(\rho,\lambda)}^2 + \ln |S(\rho)| + \ln |S(\lambda)|. \quad (\text{A.29})$$

This maximization problem can only be solved numerically, since a closed-form solution for  $\rho$  and  $\lambda$  does not exist. Pace et Barry (1997) propose an evaluation of the  $\ln |S(\rho)| + \ln |S(\lambda)|$  over a grid of values of the parameters  $\rho$  and  $\lambda$  ranging from  $\min(\omega)^{-1}$  to 1 prior to estimation, provided that  $W$  is normalized. They suggest a grid based on 0.001 increments for  $\rho$  and  $\lambda$  over the feasible range. Given these predetermined values for the the log determinants,  $\ln |S(\rho)| + \ln |S(\lambda)|$ , they point out that one can quickly evaluate the concentrated log-likelihood function for all values of  $\rho$  and  $\lambda$  in the grid and determine the optimal values of  $\rho$  and  $\lambda$  as those which maximize the concentrated log-likelihood function over the grid. The estimators of  $\beta$  and  $\sigma^2$  are computed, given the optimal values of  $\rho^*$  and  $\lambda^*$

$$\widehat{\beta}_= [X'S'(\lambda^*)S(\lambda^*)X]^{-1} [X'S'(\lambda^*)S(\lambda^*)S(\rho^*)y'], \quad (\text{A.30})$$

$$\widehat{\sigma}_\mu^2 = \frac{1}{n} \left[ S(\rho^*)y - X\widehat{\beta}_= \right]' S'(\lambda^*)S(\lambda^*) \left[ S(\rho^*)y - X\widehat{\beta}_= \right] \quad (\text{A.31})$$

### 2.3 Interpreting parameter estimates

Linear regression parameters have a straightforward interpretation as the partial derivation of the dependent variable with respect to the explanatory variable. This arises from linearity and the assumed independence of observation in the model :

---

4.  $\omega$  is the  $n \times 1$  vector of eigenvalues of the matrix  $W$ .

$y = \sum_{r=1}^k x_r \beta_r + \varepsilon$ . The partial derivatives of  $y_i$  with respect to  $x_{ir}$  have a simple form :  $\partial y_i / \partial x_{ir} = \beta_r$  for all  $i, r$  ; and  $\partial y_i / \partial x_{jr} = 0$ , for  $j \neq i$  and all variables  $r$ .

In models containing spatial lags of explanatory or dependent variables, interpretation of the parameters becomes richer and more complicated. A number of researchers have noted that models containing spatial lags of the dependent variable require special interpretation of the parameters (Anselin et Gallo, 2006 ; Le Gallo *et al.*, 2003).

Spatial regression models expand the information set to include information from neighbouring regions/observations. Consider the SDM model which we have re-written as :

$$(I_n - \rho W)y = X\beta + WX\theta + \iota_n + \varepsilon$$

$$y = \sum_{r=1}^k S_r(W)x_r + V(W)\iota_n\alpha + V(W)\varepsilon \quad (\text{A.32})$$

$$S_r(W) = V(W)(I_n\beta_r + W\theta_r)$$

$$V(W) = (I_n - \rho W)^{-1} = I_n + \rho W + \rho^2 W^2 + \rho^3 W^3 + \dots$$

Equation (1.21) can be re-written as :

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \sum_{r=1}^k \begin{pmatrix} S_r(W)_{11} & S_r(W)_{12} & \dots & S_r(W)_{1n} \\ S_r(W)_{21} & S_r(W)_{22} & & \\ \vdots & \vdots & \ddots & \\ S_r(W)_{n1} & S_r(W)_{n2} & \dots & S_r(W)_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{1r} \\ x_{2r} \\ \vdots \\ x_{nr} \end{pmatrix} \quad (\text{A.33})$$

$$+ V(W)\iota_n\alpha + V(W)\varepsilon$$

It follows from (A.33) that the derivative of  $y_i$  with respect to  $x_{jr}$  is potentially non-zero, taking a value determined by the  $i, j$ th element of the matrix  $S_r(W)$ .

$$\partial y_i / \partial x_{jr} = S_r(W)_{ij}$$

An implication of this is that a change in the explanatory variable for a single region can potentially affect the dependent variable in all other regions. It is also the case that the derivative of  $y_i$  with respect to  $x_{ir}$  usually does not equal  $\beta_r$  as in least-squares.

$$\partial y_i / \partial x_{ir} = S_r(W)_{ii}$$

The own derivative for the  $i$ th region measures the impact on the dependent variable observation  $i$  from a change in  $x_{ir}$ . This impact includes the effect of feedback loops where observation  $i$  affects observation  $j$  and observation  $j$  also affects observation  $i$  as well as longer paths which might go from observation  $i$  to  $j$  to  $k$  and back to  $i$ .

## 2.4 Quasi-Maximum Likelihood estimation with panel data

Panel data with spatial interaction has received increasing attention in economics, capturing spatial interactions across spatial units and over time (Anselin *et al.*, 2008 ; Elhorst, 2009). We focus only on a general static panel model<sup>5</sup> that includes a spatial lag of the dependent variable and spatial autoregressive disturbances :

$$y = \rho(\mathbf{I}_T \otimes \mathbf{W}_n)y + X\beta + u \quad (\text{A.34})$$

where  $y$  is an  $(N \times 1)$  vector of observations on the dependent variable,  $X$  is an  $(N \times k)$  matrix of observations on the non-stochastic exogenous regressors,  $\mathbf{I}_T$  an identity matrix of dimension  $T$ ,  $\mathbf{W}_n$  is the  $(n \times n)$  spatial weights matrix of known constants whose diagonal elements are set to zero and the corresponding spatial parameter  $\rho$ . The disturbance vector is the sum of two terms

$$u = (\iota_T \otimes I_n)\nu + \varepsilon \quad (\text{A.35})$$

where  $\iota_T$  is a  $(T \times 1)$  vector of ones,  $I_n$  an  $(N \times N)$  identity matrix,  $\nu$  is a vector of time invariant individual specific effects, and  $\varepsilon$  a vector of spatially autocorrelated innovations that follow a spatial autoregressive process of the form<sup>6</sup>

$$\varepsilon = \delta(\mathbf{I}_T \otimes \mathbf{W}_n)\varepsilon + v \quad (\text{A.36})$$

where  $\delta$  ( $|\delta| < 1$ ) is the spatial autoregressive parameter,  $\mathbf{W}_n$  is the  $(n \times n)$  spatial weights matrix,<sup>7</sup>  $v_{it} \sim \text{iid}(0, \sigma_v^2)$  and  $\varepsilon_{it} \sim \text{iid}(0, \sigma_\varepsilon^2)$ .

As in the classical panel data literature, the individual effects can be treated as fixed or random. Baltagi *et al.* (2003) derive several Lagrange multiplier (LM)

5. For a dynamic panel model see Lee et Yu (2010a) and Lee et Yu (2014).

6. Fingleton (2008b) and Fingleton et Gallo (2007) suggest a spatial moving average process of the form  $\varepsilon = \delta(\mathbf{I}_T \otimes \mathbf{W}_n)v + v$

7. For simplicity, we assume the same interaction pattern for the spatial lag of the dependent variable and spatial autoregressive disturbances.

tests for the panel data regression model with spatial error correlation. These tests allow for both spatial error correlation as well as random regional effects in the panel data regression model and test for their joint significance. Baltagi *et al.* (2007) examine the performance of panel unit root tests under spatial dependence of spatial autoregressive (SAR) models and the spatial moving average (SMA) random effects models. Kapoor *et al.* (2007) consider a spatial error model and random effects. They assume that spatial correlation applies to both the individual effects and the remainder error components.

The fixed effects model has also received some attention in the spatial panel data literature. Elhorst (2003) provides a survey of the specification and estimation of spatial panel data models. He presents the ML estimator of the spatial lag model and of the error model extended to include fixed or random effects. Lee et Yu (2010b) show that the ML estimator of the spatial panel data, as in Elhorst (2003), provides an inconsistent variance parameter. They propose a data transformation procedure, and establish the consistency and asymptotic distribution of the QML estimator of their approach. They demonstrate that the estimates (except the variance parameter) from the direct approach are identical to the corresponding estimates from the transformation approach. Debarsy et Ertur (2010) draw upon Lee et Yu (2010b) to assess whether spatial autocorrelation is present in the sample considered and in the affirmative, to identify the most appropriate spatial specification as this appears to be a crucial point from the modelling perspective of interactive heterogeneity.

The panel literature offers the random effects and the fixed effects models to account for heterogeneity across units. Mutl et Pfaffermayr (2011) propose a spatial Hausman test which compares these two models, accounting for spatial autocorrelation in the disturbances. Elhorst (2011) tests the fixed effects specification against the random effects specification of panel data models extended to include spatial error autocorrelation or a spatially lagged dependent variable using Hausman's specification test.

In what follows, we present the QML estimator from Lee et Yu (2010b). Let us consider the following SAR panel model with individual fixed effects and SAR disturbance. We assume that  $\nu$  is a vector of individual fixed effects. We also assume

the same interaction pattern for all time periods.

$$y = \rho(\mathbf{I}_T \otimes \mathbf{W}_n)y + X\beta + (\iota_T \otimes I_n)\nu + \delta(\mathbf{I}_T \otimes \mathbf{W}_n)\varepsilon + v \quad (\text{A.37})$$

To eliminate the individual fixed effects, the deviation from the time operator,  $J_T = (I_T - \frac{1}{T}l_T l_T')$  as in Elhorst (2003), can be used. Because  $\mathbf{W}_n$  is time invariant, the variable in the deviation form would still be a SAR model. However, as Lee and Yu point out, the resulting disturbance may be linearly dependent over the time dimension. Lee et Yu (2010b) propose a transformation that can be based on the orthonormal eigenvector of the matrix  $J_T$ . That is, they use an orthogonal transformation which includes the Helmert transformation as a special case to eliminate the fixed effects. They define  $\left[ \mathbf{F}_{T,T-1}, \frac{1}{\sqrt{T}}l_T \right]$  as the orthonormal matrix of the eigenvectors of the matrix  $J_T$ , with  $\mathbf{F}_{T,T-1}$  the  $(T \times T-1)$  matrix of the eigenvectors of  $J_T$  corresponding to eigenvalues equal to one. Applying this transformation to the original data set yields :

$$y^* = \rho(\mathbf{I}_T \otimes \mathbf{W}_n)y^* + X^*\beta + \delta(\mathbf{I}_T \otimes \mathbf{W}_n)\varepsilon^* + v^* \quad (\text{A.38})$$

where  $y^* = (\mathbf{F}'_{T,T-1} \otimes I_n)y$ ;  $X^* = (\mathbf{F}'_{T,T-1} \otimes I_n)X$ ;  $\varepsilon^* = (\mathbf{F}'_{T,T-1} \otimes I_n)\varepsilon$  and  $v^* = (\mathbf{F}'_{T,T-1} \otimes I_n)v$  are  $(N \times T-1)$  vectors, and  $v^*$  are iid. The variance-covariance matrix of the transformed disturbance  $v^*$  is :

$$\begin{aligned} E(v^* v^{*\prime}) &= \begin{pmatrix} v_{1,1}^* \\ \vdots \\ v_{n,T-1}^* \end{pmatrix} (v_{1,1}^* \quad \cdots \quad v_{n,T-1}^*) \\ &= \sigma^2 (\mathbf{F}'_{T,T-1} \otimes I_n) (\mathbf{F}_{T,T-1} \otimes I_n) = \sigma^2 I_{n,T-1}. \end{aligned} \quad (\text{A.39})$$

The assumption underlying the asymptotic properties of the quasi-maximum likelihood estimators in model (A.38) is developed discussed in Lee et Yu (2010b). Let us denote  $\varphi' = [\beta', \rho, \delta, \sigma^2]$  and  $\xi' = [\beta', \rho, \delta]$ , we can write the log-likelihood function as follows :

$$\ln L(\varphi) = -\frac{n(T-1)}{2} \ln(2\pi\sigma^2) + (T-1) \ln |I_n - \rho\mathbf{W}_n| + (T-1) \ln |I_n - \delta\mathbf{W}_n| - \frac{e(\xi)' e(\xi)}{2\sigma^2} \quad (\text{A.40})$$

with

$$e(\xi) = [(I_T \otimes [I_n - \rho\mathbf{W}_n]) y^* - X^*\beta] [I_T \otimes [I_n - \delta\mathbf{W}_n]]. \quad (\text{A.41})$$

Lee et Yu (2010b) suggest eliminating  $\beta$  and  $\sigma^2$  and focusing on  $(\rho, \delta)$ . Maximizing this likelihood requires computing two log-determinants for the case in which we have two different matrices for  $\mathbf{W}_n$ , and solving a bivariate optimization problem for the two parameters  $\rho$  and  $\delta$ . The the quasi-maximum likelihood estimators of  $\beta$  and  $\sigma^2$  given  $\rho$  and  $\delta$  are :

$$\begin{aligned} \widehat{\beta}_{(\rho, \delta)} &= \left[ X^{*'} [I_T \otimes (I_n - \delta \mathbf{W}_n)]' [I_T \otimes (I_n - \delta \mathbf{W}_n)] X^* \right]^{-1} \\ &\times \left[ X^{*'} [I_T \otimes (I_n - \delta \mathbf{W}_n)]' [I_T \otimes (I_n - \delta \mathbf{W}_n)] [I_T \otimes (I_n - \rho \mathbf{W}_n)] y^* \right], \end{aligned} \quad (\text{A.42})$$

$$\begin{aligned} \widehat{\sigma}_{(\rho, \delta)}^2 &= \frac{1}{n(T-1)} \left[ [I_T \otimes (I_n - \rho \mathbf{W}_n)] y^* - X^* \widehat{\beta}_{(\rho, \delta)} \right]' [I_T \otimes (I_n - \delta \mathbf{W}_n)]' \\ &\times [I_T \otimes (I_n - \delta \mathbf{W}_n)] \left[ [I_T \otimes (I_n - \rho \mathbf{W}_n)] y^* - X^* \widehat{\beta}_{(\rho, \delta)} \right], \end{aligned} \quad (\text{A.43})$$

and the concentrated likelihood function for  $\rho$  and  $\delta$  is obtained by substituting (A.43) into (A.40),

$$\begin{aligned} \ln L(\rho, \delta) &= -\frac{n(T-1)}{2} \ln(2\pi + 1) - \frac{n(T-1)}{2} \ln \widehat{\sigma}_{(\rho, \delta)}^2 \\ &+ (T-1) [\ln |I_n - \rho \mathbf{W}_n| + \ln |I_n - \delta \mathbf{W}_n|]. \end{aligned} \quad (\text{A.44})$$

This maximization problem can only be solved numerically, since a closed-form solution for  $\rho$  and  $\delta$  does not exist. Pace et Barry (1997) propose an evaluation of the  $\ln |I_n - \rho \mathbf{W}_n| + \ln |I_n - \delta \mathbf{W}_n|$  over a grid of values of the parameters  $\rho$  and  $\delta$  ranging from<sup>8</sup>  $\min(\omega)^{-1}$  to 1 prior to estimation, provided that  $\mathbf{W}_n$  is normalized. They suggest a grid based on 0.001 increments for  $\rho$  and  $\delta$  over the feasible range. Given these predetermined values for the the log determinants,  $\ln |I_n - \rho \mathbf{W}_n| + \ln |I_n - \delta \mathbf{W}_n|$ , they point out that one can quickly evaluate the concentrated log-likelihood function for all values of  $\rho$  and  $\delta$  in the grid and determine the optimal values of  $\rho$  and  $\delta$  as those which maximize the concentrated log-likelihood function over the grid. The estimators of  $\beta$  and  $\sigma^2$  are computed, given the optimal values of  $\rho^+$  and  $\delta^+$ ,

$$\begin{aligned} \widehat{\beta} &= \left[ X^{*'} [I_T \otimes (I_n - \delta^+ \mathbf{W}_n)]' [I_T \otimes (I_n - \delta^+ \mathbf{W}_n)] X^* \right]^{-1} \\ &\times \left[ X^{*'} [I_T \otimes (I_n - \delta^+ \mathbf{W}_n)]' [I_T \otimes (I_n - \delta^+ \mathbf{W}_n)] [I_T \otimes (I_n - \rho^+ \mathbf{W}_n)] y^* \right], \end{aligned} \quad (\text{A.45})$$

$$\begin{aligned} \widehat{\sigma}^2 &= \frac{1}{n(T-1)} \left[ [I_T \otimes (I_n - \rho^+ \mathbf{W}_n)] y^* - X^* \widehat{\beta} \right]' [I_T \otimes (I_n - \delta^+ \mathbf{W}_n)]' \\ &\times [I_T \otimes (I_n - \delta^+ \mathbf{W}_n)] \left[ [I_T \otimes (I_n - \rho^+ \mathbf{W}_n)] y^* - X^* \widehat{\beta} \right]. \end{aligned} \quad (\text{A.46})$$

---

8.  $\omega$  is the  $n \times 1$  vector of eigenvalues of the matrix  $\mathbf{W}_n$ .

---

# Bibliographie

- Y. ABDIH et C. TSANGARIDES : Fear for the cfa franc. *Applied Economics*, 42 (16):2009–2029, 2010.
- A. ADEDEJI : History and prospects for regional integration in africa. Paper presented at the Third Meeting of the African Development Forum, Addis Ababa, Ethiopia., Mar 2002.
- A.E. AGBODJI : Intégration et échanges commerciaux intra sous-régionaux : le cas de l'uemoa. *Revue africaine de l'Intégration*, 1(1):161–188, 2007.
- P. AGHION, U. AKCIGIT et P. HOWITT : What do we learn from schumpeterian growth theory ? In Philippe AGHION et Steven N. DURLAUF, éditeurs : *Handbook of Economic Growth*, numéro 2 in Handbook of Economic Growth, chapitre 1, pages 515 –563. Elsevier, 2014.
- P. AGHION, N BLOOM, R. BLUNDELL, R. GRIFFITH et P. HOWITT : Competition and innovation : An inverted-u relationship. *Quarterly Journal of Economics*, 120 (2):701 – 728, May 2005.
- P. AGHION, M. BRAUN et J. FEDDERKE : Competition and productivity growth in south africa. *Economics of Transition*, 16(4):741–768, 2008.
- P. AGHION, M. DEWATRIPONT et P. REY : Competition, financial discipline and growth. *Review of Economic Studies*, 66(229):825 – 852, 1999.
- P. AGHION et R. GRIFFITH : *Competition and Growth : Reconciling Theory and Evidence*. Cambridge, MA :MIT Press, 2005.

- P. AGHION, C. HARRIS, P. HOWITT et J. VICKERS : Competition, imitation and growth with step-by-step innovation. *Review of Economic Studies*, 68(236):467–492, Jul 2001.
- P. AGHION, C. HARRIS et J. VICKERS : Competition and growth with step-by-step innovation : An example. *European Economic Review*, 41(3-5):771 – 782, 1997.
- P. AGHION et P. HOWITT : A model of growth through creative destruction. *Econometrica*, 60(2):323–351, Mar 1992.
- P. AGHION et P. HOWITT : *The Economics of Growth*. MIT Press, 2009.
- Philippe AGHION, Johannes FEDDERKE, Peter HOWITT et Nicola VIEGI : Testing creative destruction in an opening economy. *Economics of Transition*, 21(3):419–450, 2013.
- N.D. AITKEN : The effect of the eec and efta on european trade : A temporal cross-section analysis. *American Economic Review*, 63(5):881–92, 1973.
- R. ALVAREZ et R. A. LOPEZ : Exporting and performance : Evidence from chilean plants. *Canadian Journal of Economics*, 38(4):1384–1400, 2005.
- J.E. ANDERSON : A theoretical foundation for the gravity equation. *American Economic Review*, 69(1):106–116, 1979.
- J.E. ANDERSON et E. van WINCOOP : Gravity with gravitas : A solution to the border puzzle. *American Economic Review*, 93(1):170–192, 2003.
- J.E. ANDERSON et E. van WINCOOP : Trade costs. *Journal of Economic Literature*, 42(3):691–751, 2004.
- L. ANSELIN : *Spatial econometrics : Methods and models*. Kluwer Academic Publishers : Dordrecht., 1988a.
- L. ANSELIN : A test for spatial autocorrelation in seemingly unrelated regressions. *Economics Letters*, 28(4):335–341, 1988b.
- L. ANSELIN et J. Le GALLO : Interpolation of air quality measures in hedonic house price models : spatial aspects. *Spatial Economic Analysis*, 1(1):31–52, 2006.

- 
- L. ANSELIN, J. Le GALLO et Jayet H. : *Spatial Panel Econometrics*. Springer-Verlag., 2008.
- L. ANSELIN, A. VARGA et Z. ACS : Local geographic spillovers between university research and high technology innovations. *Journal of Urban Economics*, 42(3):422–448, 1997.
- L ANSELIN, A. VARGA et Z. ACS : Geographical spillovers and university research : A spatial econometric perspective. *Growth and Change*, 31(4):501–515, 2000a.
- L. ANSELIN, A. VARGA et Z. J. ACS : Geographic and sectoral characteristics of academic knowledge externalities. *Papers in Regional Science*, 79(4):435–443, 2000b.
- K. ARROW : Economic welfare and the allocation of resources for invention. In *The Rate and Direction of Inventive Activity : Economic and Social Factors*, NBER Chapters, pages 609–626. National Bureau of Economic Research, Inc, Winter 1962a.
- K.J. ARROW : The economic implications of learning by doing. *The Review of Economic Studies*, 29(3):155–173, Jun 1962b.
- W. B. ARTHUR : Positive feedbacks in the economy. *Scientific American*, 262(2):92–99, 1990.
- D. B. AUDRETSCH et M. P. FELDMAN : R&d spillovers and the geography of innovation and production. *American Economic Review*, 86(3):630 – 640, Jun 1996.
- C. AUTANT-BERNARD : The geography of knowledge spillovers and technological proximity. *Economics of Innovation and New Technology*, 10(4):237–254, Jul 2001.
- C. AUTANT-BERNARD : Spatial econometrics of innovation : Recent contributions and research perspectives. Working paper. 2011-20., GATE, 2011.
- C. AUTANT-BERNARD et J. P. LESAGE : Quantifying knowledge spillovers using spatial econometric models. *Journal of Regional Science*, 51(3):471–496, 2010.

- D. AVOM : Intégration régionale dans la cemas : des problèmes institutionnels récurrents. *Afrique contemporaine*, 2(222):199–221, 2007.
- D. AVOM et D. GBETNKOM : Intégration par le marché : le cas de l'uemoa. *Région et Développement*, xx(22):xx, 2005.
- BAD : Assessing regional integration in africa. Rapport, Banque Africaine de développement, 2013.
- S.L. BAIER et J.H. BERGSTRAND : The growth of world trade : Tariffs, transport costs, and income similarity. *Journal of International Economics*, 53(1):1–27, 2001.
- S.L. BAIER et J.H. BERGSTRAND : Bonus vetus ols : A simple method for approximating international trade-cost effects using the gravity equation. *Journal of International Economics*, 77(1):77–85, 2009.
- B. BALASSA : *The theory of economic integration*. Richard D. Irwin, 1961.
- BH BALTAGI, S. H. SONG, B. C. JUNG et W.KOH : Testing for serial correlation, spatial autocorrelation and random effects using panel data. *Journal of Econometrics*, 140(1):5–51, 2007.
- BH. BALTAGI, S. H. SONG et W. KOH : Testing panel data regression models with spatial error correlation. *Journal of Econometrics*, 117:123–150, 2003.
- R. J. BARRO et J. W. LEE : A new data set of educational attainment in the world, 1950–2010. *Journal of Development Economics*, 104:184–198, 2012.
- R. J. BARRO et X. SALA-I-MARTIN : *Economic Growth, 2nd Edition*. volume 1 of MIT Press Books, 2003.
- T. BAYOUMI, D. T. COE et E. HELPMAN : R&d spillovers and global growth. *Journal of International Economics*, 47(2):399–428, 1999.
- A. BEHAR et L. EDWARD : How integrated is sadc ? : Trends in intra-regional and extra-regional trade flows and policy. Policy Research Working Paper 5625, The World Bank, Development Research Group, Trade and Integration Team, 2011.

- A. BEHAR et L. Cirera i CRIVILLÉ : Does it matter who you sign with ? comparing the impacts of north-south and south-south trade agreements on bilateral trade. *Review of International Economics*, 21:765–782, 2013.
- K. BEHRENS, C. ERTUR et W. KOCH : 'dual' gravity : using spatial econometrics to control for multilateral resistance. *Journal of Applied Econometrics*, 27(5):773–794, 2012.
- K. BEHRENS et Y. MURATA : Trade, competition, and efficiency. *Journal of International Economics*, 87(1):1–17, 2012.
- K. BEHRENS et J.-F. THISSE : Regional economics : A new economic geography perspective. *Regional Science and Urban Economics*, 37(4):457–465, Jul 2007.
- J. BENHABIB et M. M. SPIEGEL : The role of human capital in economic development evidence from aggregate cross-country data. *Journal of Monetary Economics*, 34(2):143–173, 1994.
- P. A. G van BERGELJK et S. BRAKMAN : *The Gravity Model in International Trade : Advances and Applications*. Cambridge University Press, 2010.
- J. BERGSTRAND : The generalized gravity equation, monopolistic competition, and the factor-proportions theory in international trade. *Review of Economics and Statistics*, 71(1):143–153, 1989.
- J. BERGSTRAND : The heckscher-ohlin-samuelson model, the linder hypothesis and the determinants of bilateral intra-industry trade. *Economic Journal*, 100(403):1216–29, 1990.
- J.H. BERGSTRAND : The gravity equation in international trade. *Review of Economics and Statistics*, 67(3):474–481, 1985.
- A. BERNARD, J.B. Jensen J. EATON et S. KORTUM : Plants and productivity in international trade. *American Economic Review*, 93(4):1268–1290, 2003.
- A. B. BERNARD et J. B. JENSEN : Exceptional exporter performance : Cause, effect or both ? *Journal of International Economics*, 41(1):1–25, 1999.

- B. BERRY : Essays on commodity flows and the spatial structure of the indian economy. Department of Geography Research Paper 111, University of Chicago, Chicago, IL, 1966.
- D. BIANCO : Growth and competition in a model of human capital accumulation and research. *Journal of Applied Economic Sciences*, 4(3):341–348, 2009.
- D. BIANCO et A. A. NIANG : On international spillovers. *Economics Letters*, 117(1):280–282, 2012.
- W. BLACK : *Transportation : A geographical analysis*. The Guild Press, New York, 2003.
- M. BLOMSTROM et F. SJOHOLM : Technology transfer and spillovers : Does local participation with multinationals matter ? *European Economic Review*, 43(4-6): 915–923, Apr 1999.
- R. BLUNDELL, R. GRIFFITH et J. Van REENEN : Market share, market value and innovation in a panel of british manufacturing firms. *Review of Economic Studies*, 66(3):529–554., Jul 1999.
- E. BORENSZTEIN, J. De GREGORIO et J-W. LEE : How does foreign direct investment affect economic growth ? *Journal of International Economics*, 45(1):115 – 135, 1998.
- M. BOSKER et H. GARRETSEN : Economic geography and economic development in sub-saharan africa. *The World Bank Economic Review*, xx(xx):1–43, 2012.
- R. BOYER et M. DIDIER : Innovation et croissance. *In Conseil d'Analyse Economique*, 19998.
- H. BREINLICH et A. CUÑAT : Tariffs, trade and productivity : A quantitative evaluation of heterogeneous firm models. *The Economic Journal*, n/a–n/a(n/a–n/a):n/a–n/a, 2015.
- C. BRODA, J. GREENFIELD et D. WEINSTEIN : From groundnuts to globalization : A structural estimate of trade and growth. NBER Working Papers 12512, National Bureau of Economic Research, Inc, September 2006.

- F. BUSSON et P. VILLA : Croissance et spécialisation. *Revue Économique*, 48 (6):1457–1483, 1997.
- R. J. CABALLERO et A. B. JAFFE : *How High are the Giants' Shoulders : An Empirical Assessment of Knowledge Spillovers and Creative Destruction in a Model of Economic Growth*, volume 8, chapitre 1, pages 15 – 86. MIT Press, 1993.
- M. C.J. CANIELS : The geographic distribution of patents and value added across european. Research Memoranda 003, Maastricht : MERIT, Maastricht Economic Research Institute on Innovation and Technology, 1998.
- C. CARRÈRE : African regional agreements : Their impact on trade with or without currency unions. *Journal of African Economies*, 13(2):199–239, 2004.
- R. CASSIM : The determinants of intra regional trade in southern africa with specific reference to south africa and the rest of the region. Working Paper 01/51, University of Cape Town : DPRU, 2001.
- CEA : État de l'intégration régionale en afrique iii : Vers l'intégration monétaire et financière en afrique. *In Conférence Économique Africaine*, 2008.
- L. CHARFEDDINE et Z. MRABET : Trade liberalization and relative employment : further evidence from tunisia. *Eurasian Business Review*, 5(1):173 –202, 2015.
- S. CHAUVIN et G. GAULIER : Regional trade integration in southern africa. Working Papers 2002-12, CEPPII, 2002.
- S. K. CLERIDES, S. LACH et J. R. TYBOUT : Is learning by exporting important ? micro-dynamic evidence from colombia, mexico and morocco. *quarterly Journal of Economics*, 113(3):903–947, 1998.
- D. COE et A. HOFFMAISTER : Are there international randd spillovers among randomly matched trade partners ? a response to keller. Imf working papers, International Monetary Fund, 1999a.
- D. T. COE et E. HELPMAN : International r&d spillovers. *European Economic Review*, 39(5):859–887, May 1995.

- D. T COE, E. HELPMAN et A. W HOFFMAISTER : North-south r&d spillovers. *Economic Journal*, 107(440):134–49, Jan 1997.
- D. T. COE, E. HELPMAN et A. W. HOFFMAISTER : International r&d spillovers and institutions. *European Economic Review*, 53(7):723–741, October 2009.
- DT COE et AW HOFFMAISTER : North-south trade : is africa unusual? *Journal of African Economies*, 8(2):228–256, 1999b.
- W. M. COHEN et D. A. LEVINTHAL : Innovation and learning : The two faces of r&d. *Economic Journal*, 99(397):569–596, 1990.
- P. COLLIER et A.J. VENABLES : Commerce et performance économique : la fragmentation de l’afrique importe-elle ? *Revue d’économie du développement*, 23(4):5–39, 2009.
- S. COULIBALY et L. FONTAGNÉ : South-south trade : Geography matters. *Journal of African Economies*, 15(2):313–341, 2006.
- B. CREPON, E. DUGUET et J. MAIRESSE : Research, innovation, and productivity : An econometric analysis at the firm level. NBER Working Papers 6696, National Bureau of Economic Research, Inc, Aug 1998.
- J. CRESPO, M. R. CARMELA et F. J. VELÁZQUEZ : The role of international technology spillovers in the economic growth of the oecd countries. *Global Economy Journal*, 4(2):1–20, Dec 2004.
- M. CROZET et M. LAFOURCADE : *La nouvelle économie géographique*. Repères, 2009.
- Partha DASGUPTA et Joseph STIGLITZ : Industrial structure and the nature of innovative activity. *The Economic Journal*, 90:266–293, Jun 1980.
- R. DAVIDSON et J. MACKINNON : *Estimation and Inference in Econometrics*. New York : Oxford University Press., 1993.
- J. DE SOUSA et J. LOCHARD : Trade and colonial status. *Journal of African Economies*, 21(3):409–439, 2012.

- A.V. DEARDORFF : Determinants of bilateral trade : Does gravity work in a neoclassical world? NBER Working Papers 5377, National Bureau of Economic Research, Inc., 1995.
- N. DEBARSY et C. ERTUR : Testing for spatial autocorrelation in a fixed effects panel data model. *Regional Science and Urban Economics*, 40:453–470, 2010.
- M. B. DEVEREUX et B. J. LAPHAM : The stability of economic integration and endogenous growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 109(1):299–305, 1994.
- Sai DING, Puyang SUN et Wei JIANG : The effect of import competition on firm productivity and innovation : Does the distance to technology frontier matter? *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, n/a–n/a(n/a–n/a):n/a–n/a, 2015.
- A. K. DIXIT et J. E. STIGLITZ : Monopolistic competition and optimum product diversity. *American Economic Review*, 67(3):297–308, Jun 1977.
- J. EATON et S. KORTUM : International technology diffusion : Theory and measurement. *International Economic Review*, 40(3):537–570, 1999.
- J. EATON et S. KORTUM : Trade in capital goods. *European Economic Review*, 45(7):1195–1235, 2001.
- J. EATON et S. KORTUM : Technology, geography, and trade. *Econometrica*, 70(5):1741–1779, 2002.
- J. P. ELHORST : Specification and estimation of spatial panel data models. *International Regional Sciences Review*, 26(3):244–268, 2003.
- J. P. ELHORST : Spatial panel data models. In *In MM Fischer, A Getis (eds.), Handbook of Applied Spatial Analysis. Springer-Verlag.*, 2009.
- J. P. ELHORST : Applied spatial econometrics : Raising the bar. *Spatial Economic Analysis*, 5(1):9–28, 2010.
- P. ELHORST : Matlab software to estimate spatial panels. In *Version 2011-04-11*, URL <http://www.regoningen.nl/elhorst/software.shtml>., 2011.

- C. EMLINGER, F. JACQUET et E. C. LOZZA : Tariffs and other trade costs : assessing obstacles to mediterranean countries' access to eu-15 fruit and vegetable markets. *European Review of Agricultural Economics*, 35(4):409–438, 2008.
- D. ENCAOUA et D. ULPH : Catching-up or leapfrogging : The effects of competition on innovation and growth. Université Paris1 Panthéon-Sorbonne (Post-Print and Working Papers) halshs-00177643, HAL, 2005.
- C. ERTUR et W. KOCH : A contribution to the theory and empirics of schumpeterian growth with worldwide interactions. *Journal of Economic Growth*, 16(3):215–255, Sep 2011.
- C. ERTUR et W. KOCH : Regional disparities in the european union and the enlargement process : an exploratory spatial data analysis. *The Annals of Regional Science*, 40(4):723–765, Dec 2006.
- C. ERTUR et W. KOCH : Growth, technological interdependence and spatial externalities : theory and evidence. *Journal of Applied Econometrics*, 22(6):1033–1062, 2007.
- C. ERTUR et A. MUSOLESI : Weak and strong cross-sectional dependence : a panel data analysis of international technology diffusion. SEEDS Working Papers 0415, SEEDS, Sustainability Environmental Economics and Dynamics Studies, 2015.
- W. J. ETHIER : National and international returns to scale in the modern theory of international trade. *The American Economic Review*, 72(3):389–405, 1982.
- S.J. EVENETT et W. KELLER : On theories explaining the success of the gravity equation. NBER Working Papers 6529, National Bureau of Economic Research, Inc., 1998.
- M. L. FAYE, J. W. MCARTHUR, J. D. SACHS et T. SNOW : The challenges facing landlocked developing countries. *Journal of Human Development*, 5(1):xxx, 2004.
- R.C. FEENSTRA : Border effects and the gravity equation : Consistent methods for estimation. *Scottish Journal of Political Economy*, 49(5):491–506, 2002.

- 
- R.C. FEENSTRA : *Advanced International Trade : Theory and Evidence*. Princeton University Press, Princeton, 2004.
- R.C. FEENSTRA, R. INKLAAR et M. TIMMER : The next generation of the penn world table. Rapport technique 19255, National Bureau of Economic Research, Working Paper, 2013.
- G. J. FELBERMAYR et W. KOHLER : Exploring the intensive and extensive margins of world trade. *Review of World Economics*, 142(4):642–674, 2006.
- B. FINGLETON : A generalized method of moments estimator for a spatial model with moving average errors, with application to real estate prices. *Empirical Economics*, 34:5–34, 2008a.
- B. FINGLETON : A generalized method of moments estimator for a spatial panel model with an endogenous spatial lag and spatial moving average errors. *Spatial Economic Analysis*, 1(1):27–44, 2008b.
- B. FINGLETON et J. Le GALLO : Finite sample properties of estimators of spatial models with autoregressive, or moving average, disturbances and system feedback. *Annales d'Economie et de Statistique*, 87/88:39–62, 2007.
- M. FISCHER : A spatial mankiw-romer-weil model : theory and evidence. *Annals of Regional Science*, 47(2):419 – 436, 2011.
- M. M. FISCHER, T. SCHERNGELL et M. REISMANN : Knowledge spillovers and total factor productivity : Evidence using a spatial panel data model. *Geographical Analysis*, 41(2):204–220, Avr 2009.
- M. M. FISCHER et J. WANG : *Spatial Data Analysis : Models, Methods and Techniques*. Springer Briefs in Regional Science., 2011.
- L. FONTAGNÉ et M. CROZET : L'internationalisation des entreprises : une analyse microéconomique de la mondialisation. *Économie et Statistique*, 435(1):3–12, 2010.
- L. FONTAGNÉ et J. L. GUÉRIN : L'ouverture, catalyseur de la croissance. *International economics*, 3:135–167, 1997.

- F. FOROUTAN et L. PRITCHETT : Intra-sub-saharan african trade : Is it too little ? *Journal of African Economies*, 2(1):74–105, 1993.
- A. FRACASSO et G. V. MARZETTI : International trade and r&d spillovers. *Journal of International Economics*, 96(1):138 —149, 2015.
- J. FRANKEL et A. ROSE : An estimate of the effect of common currencies on trade and income. *The Quarterly Journal of Economics*, 17(2):437–466, 2002.
- J. A. FRANKEL et D. ROMER : Does trade cause growth? *American Economic Review*, 89(3):379 —399, 1999.
- J.A. FRANKEL : *The regionalization of the world economy*. University of Chicago Press, Chicago., 1998.
- J.L GAFFARD : *Croissance et fluctuations économiques*. MONTCHRESTIEN, 1997.
- G GAULIER, E. MILET et D. MIRZA : Les firmes francaises dans le commerce international de services. *Économie et Staistique*, 435(1):125–147, 2010.
- A. GEDA et H. KEBRET : Regional economic integration in africa : A review of problems and prospects with a case study of comesa. *Journal of African Economies*, 17(3):357–394, 2008.
- Richard J. GILBERT et David M. G. NEWBERY : Preemptive patenting and the persistence of monopoly. *The American Economic Review*, 72(3):514–526, Jun 1982.
- Z. GRILICHES : Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth. *Bell Journal of Economics*, 10(1):92–116, Spring 1979.
- G. M. GROSSMAN et E. HELPMAN : *Innovation and Growth in the Global Economy*. The MIT Press, 1991a.
- G. M. GROSSMAN et E. HELPMAN : Quality ladders in the theory of growth. *Review of Economic Studies*, 58(193):43–61, Jan 1991b.
- G. M. GROSSMAN et E. HELPMAN : Trade, knowledge spillovers, and growth. *European Economic Review*, 35(2-3):517–526, 1991c.

- G. M. GROSSMAN et E HELPMAN : Technology and trade. In G. M. GROSSMAN et K. ROGOFF, éditeurs : *Handbook of International Economics*, volume 3 de *Handbook of International Economics*, chapitre 25, pages 1279–1337. Elsevier, 1995.
- D. GUELLEC : Croissance endogène : les principaux mécanismes. *Économie & prévision*, 106(5):41–50, 1992.
- C. HALMENSCHLAGER : *Recherche-Développement : Une analyse en termes de stratégies concurrentielles*. Thèse de doctorat, Université Pantheon-Assas (Paris 2), 1992.
- Christopher HARRIS et John VICKERS : Patent races and the persistence of monopoly. *The journal of Industrial Economics*, 33(4):461–481, Jun 1985.
- O. D. HART : The market mechanism as an incentive scheme. *Bell Journal of Economics*, 14(2):366–382, 1983.
- K HEAD et T. MAYER : Illusory border effects : Distance mismeasurement inflates estimates of home bias in trade. Working Papers 2002-01, CEPII research center, 2002.
- E HELPMAN : A simple theory of international trade with multinational corporations. *Journal of Political Economy*, 92(3):451–471, 1984.
- E HELPMAN : Innovation, imitation, and intellectual property rights. *Econometrica*, 61(6):1247–1280, 1993.
- E. HELPMAN et P. KRUGMAN : *Market Structure and Foreign Trade : Increasing Returns, Imperfect Competition, and the International Economy*. MIT Press Books. The MIT Press, 1987.
- E. HELPMAN, M. MELITZ et Y. RUBINSTEIN. : Estimating trade flows : Trading partners and trading volumes. *Quarterly Journal of Economics*, 123(2):441–487, 2008.
- P. HOWITT : Endogenous growth and cross-country income differences. *The American Economic Review*, 90(4):829–846, Sep 2000.

- G. IMPULLITTI et O. LICANDRO : Trade, firm selection, and innovation : the competition channel. UFAE and IAE Working Papers 841.10, Unitat de Fonaments de l'Anàlisi Econòmica (UAB) and Institut d'Anàlisi Econòmica (CSIC), 2010.
- A. B. JAFFE : Real effects of academic research. *American Economic Review*, 79 (5):957 —970, 1989.
- A. B. JAFFE, M. TRAJTENBERG et R. HENDERSON : Geographic localization of knowledge spillovers as evidenced by patent citations. *The Quarterly Journal of Economics*, 108(3):577–598, Aug 1993.
- C. I. JONES : R&d-based models of economic growth. *Journal of Political Economy*, 103(4):759–84, Aug 1995a.
- C. I. JONES : Time series tests of endogenous growth models. *The Quarterly Journal of Economics*, 110(2):495–525, May 1995b.
- M. I. KAMIEN et N. L. SCHWARTZ : Potential rivalry, monopoly profits and the pace of inventive activity. *The Review of Economic Studies*, 45(3):547–557, Oct 1978.
- M. I. KAMIEN et N.L. SCHWARTZ : Timing of innovation under rivalry. *Econometrica*, 40(1):43–60, Jan 1972.
- M. I. KAMIEN et N.L. SCHWARTZ : On degree of rivalry for maximum innovative activity. *The Quarterly Journal of Economics*, 90(2):245–260, 1976.
- M. KAPOOR, H. H. KELEJIAN et I. R. PRUCHA : Panel data model with spatially correlated error components. *Journal of Econometrics*, 140(1):97–130, 2007.
- Alexis KARKLINS-MARCHAY : *Joseph Schumpeter, vie, oeuvres, concepts*. Ellipse, 2004.
- H.H. KELEJIAN et I.R. PRUCHA : A generalized spatial two-stage least squares procedure for estimating a spatial autoregressive model with autoregressive disturbances. *The journal of Real Estate Finance and Economics*, 17(xx):99–121, 1998.

- H.H. KELEJIAN et I.R. PRUCHA : A generalized moments estimator for autoregressive parameter in spatial model. *International Economics*, 40(xx):503–533, 1999.
- H.H. KELEJIAN, G.S. TAVLAS et P. PAVLOS : In the neighborhood : The trade effects of the euro in a spatial framework. *Regional Science & Urban Economics*, 42(1/2):314–322, 2012.
- W. KELLER : Absorptive capacity : On the creation and acquisition of technology in development. *Journal of Development Economics*, 49(1):199 —227, 1996.
- W. KELLER : Are international r&d spillovers trade-related ? : Analysing spillovers among randomly matched trade partners. *European Economic Review*, 42(8):1469–1481, 1998.
- W. KELLER : Geographic localization of international technology diffusion. *American Economic Review*, 92(1):120–142, Mar 2002a.
- W. KELLER : Trade and the transmission of technology. *Journal of Economic Growth*, 1(1):5–24, 2002b.
- W. KOCH et J. P. LESAGE : Latent multilateral trade resistance indices : Theory and evidence. *Scottish Journal of Political Economy*, 62(3):264—290, 2015.
- W. KOCH, A. TIENTAO et D. LEGROS : Trade and african regional agreements : a spatial econometric approach. LEDI - Document de travail 2012-04, LEDI, Laboratoire d’Economie de Dijon, CNRS, Université de Bourgogne, 2012.
- A. KOKKO : Productivity spillovers from competition between local firms and foreign affiliates. *Journal of International Development*, 8(4):571–530, 1996.
- P. KRUGMAN : Scale economies, product differentiation, and the pattern of trade. *American Economic Review*, 70(5):950–959, 1980.
- P. KRUGMAN : The narrow moving band, the dutch disease, and the competitive consequences of mrs. thatcher : Notes on trade in the presence of dynamic scale economies. *Journal of Development Economics*, 27(1-2):41–55, 1987.

- P. KRUGMAN : *Geography and Trade*. Cambridge, MA : MIT Press., 1991a.
- P. KRUGMAN : Increasing returns and economic geography. *Journal of Political Economy*, 99(3):483–499, Jun 1991b.
- P. R. KRUGMAN : Increasing returns, monopolistic competition, and international trade. *Journal of International Economics*, 9(4):469–479, Nov 1979.
- J. LE GALLO : Économétrie spatiale : l'autocorrélation spatiale dans les modèles de régression linéaire. *Economie & prévision*, 4(155):139–157, 2002.
- J. LE GALLO, C. ERTUR et C. BAUMONT : A spatial econometric analysis of convergence across european regions. *European Regional Growth, 1980–1995*:in B. Fingleton (ed.), 2003.
- L. F. LEE et J. YU : Efficient gmm estimation of spatial dynamic panel data models with fixed effects. *Journal of Econometrics*, 180:174–197, 2010a.
- L. F. LEE et J. YU : Estimation of spatial autoregressive panel data models with fixed effects. *Journal of Econometrics*, 154:165–185, 2010b.
- L. F. LEE et J. YU : Efficient gmm estimation of spatial dynamic panel data models with fixed effects. *Journal of Econometrics*, 180(2):174–197, 2014.
- L.F. LEE : Asymptotic distributions of quasi-maximum likelihood estimators for spatial autoregressive models. *Econometrica*, 72(6):1899–1925, 2004.
- L.F. LEE : Gmm and 2sls estimation of mixed regressive, spatial autoregressive models. *Journal of Econometrics*, 137(xx):489–514, 2007.
- Tom LEE et Louis L. WILDE : Market structure and innovation : A reformulation. *The Quarterly Journal of Economics*, 94(2):429–436, Mar 1980.
- C. LELARGE et N. BENJAMIN : Les stratégies de portefeuille de produits des entreprises industrielles francaises face á la concurrence des pays á bas co ût de production. *Économie et Staistique*, 435(1):31–47, 2010.

- J. P. LESAGE, M. M. FISCHER et T. SCHERNGELL : Knowledge spillovers across europe : Evidence from a poisson spatial interaction model with spatial effects. *Papers in Regional Science*, 86(3):393—421, 2007.
- J.P. LESAGE et R.K. PACE : *Introduction to Spatial Econometrics*. Statistics : A Series of Textbooks and Monographs. Chapman and Hall/CRC., 2009.
- O. LICANDRO et A. NAVAS-RUIZ : Trade liberalization, competition and growth. UFAE and IAE Working Papers 806.10, Unitat de Fonaments de l'Anàlisi Econòmica (UAB) and Institut d'Anàlisi Econòmica (CSIC), 2010.
- F. R. LICHTENBERG et B. v. Pottelsberghe de la POTTERIE : International r&d spillovers : A comment. *European Economic Review*, 8(8):1483–1491, 1998.
- N. LIMÃO et A.J. VENABLES : Infrastructure, geographical disadvantage, transport costs, and trade. *The World Bank Economic Review*, 15(3):451–479, 2001.
- R. G. LIPSEY : The theory of customs unions : trade diversion and welfare. *Econometrica*, 24(93):40–46, 1957.
- R. LONGO et K. SEKKAT : Economic obstacles to expanding intra-african trade. *World Development*, 32(8):1309–1321, 2004.
- G. C. LOURY : Market structure and innovation. *The Quarterly Journal of Economics*, 93(3):395–410, Aug 1979.
- R.E. LUCAS : On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22:3–42, 1988.
- O. LUMENGA-NESO, Olarreaga M. et Schiff M. : On "indirect" trade-related r&d spillovers. *European Economic Review*, 49(7):1785–1798, 2005.
- J. MAIRESSE et B. MULKAY : An exploration of local r&d spillovers in france. *Annales d'Économie et de Statistique*, 87–88:145–166, 2007.
- N. G. MANKIW, D. ROMER et D. N. WEIL : A contribution to the empirics of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 107(2):407–437, May 1992.

- C. F. MANSKI : Identification of endogenous social effects : The reflection problem. *The Review of Economic Studies*, 60(3):531–542, 1993.
- J. MCCALLUM : National borders matter : Canada-u.s. regional trade patterns. *American Economic Review*, 85(3):615–623, 1995.
- M. J MELITZ : The impact of trade on intra-industry reallocations and aggregate industry productivity. *Econometrica*, 76(6):1695–1725, 2003.
- M. J. MELITZ : Language and foreign trade. *European Economic Review*, 52(xx): 667–699, 2008.
- M. J. MELITZ et G. OTTAVIANO : Market size, trade and productivity. *Review of Economic Studies*, 75(1):295–316, 2008.
- D. MIRZA : How much does trade contribute to market structure? *Economica*, 73 (289):59–74, 2006.
- R. MORENO et B. TREHAN : Location and the growth of nations. *Journal of Economic Growth*, 2(4):399–418, Dec 1997.
- F. MOSCONE et E. TOSETTI : Gmm estimation of spatial panels with fixed effects and unknown heteroskedasticity. *Regional Science and Urban Economics*, 41(5): 487–497, 2011.
- J.W. MUSILA : The intensity of trade creation and trade diversion in comesa, eccas and ecowas : A comparative analysis. *Journal of African Economies*, 14(xx):117–141, 2005.
- J. MUTL et M. PFAFFERMAYR : The hausman test in a cliff and ord panel model. *Econometrics Journal*, 14:48–76, 2011.
- G. MYRDAL : *Economic Theory and Under-Developed Regions*. Duckworth, first edition edition édition, 1957.
- M. NCUBE, I. FAYE et A. VERDIER-CHOUCHANE : *Regional Integration and Trade in Africa*. Palgrave Macmillan, 2015.

- A. A. NIANG et B. DJEMBISSI : Contrainte de crédit et convergence vers la frontière technologique. qu'en est-il des pays de la zone cfa ? *Revue Économique*, 65(5):706–717, 2014.
- S. J. NICKELL : Competition and corporate performance. *Journal of Political Economy*, 104(4):724–46, Aug 1996.
- OCDE : *Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data, 3rd Edition*. OCDE, 2005.
- J.K. ORD : Estimation methods for models of spatial interaction. *Journal of the American Statistical Association*, 70:120–126, 1975.
- R.K. PACE et R.P. BARRY : Quick computation of spatial autoregressive estimators. *Geographical Analysis*, 29:232–246, 1997.
- S. L. PARENTE et E. C. PRESCOTT : Barriers to technology adoption and development. *Journal of Political Economy*, 102(2):298–321, 1994.
- P. F. PERETTO : Endogenous market structure and the growth and welfare effects of economic integration. *Journal of International Economics*, 60(1):177–201, 2003.
- P. F. PERETTO et S. SMULDERS : Technological distance, growth and scale effects. *Economic Journal*, 112(481):603–624, 2002.
- F. PEROBELLI et E. A. HADDAD : Brazilian interregional trade (1985-1996) : an exploratory spatial data analysis. Anais do XXXI Encontro Nacional de Economia e18, Brazilian Association of Graduate Programs in Economics, 2003.
- R. PORTES et H. REY : The determinants of cross-border equity flows. *Journal of International Economics*, 65(2):269–296, Mar 2005.
- W. PRESS, W. Vetterling S. TEUKOLSKY et B. FLANNERY : *Numerical recipes in Fortran 77*. second edition, New York : Cambridge University Press., 1996.
- G. PSACHAROPOULOS : Returns to investment in education : A global update. *World Development*, 22(9):1325–1343, 1994.

- S. REDDING et A.J. VENABLES : Economic geography and international inequality. *Journal of International Economics*, 62(1):53–82, 2004.
- Jennifer F. REINGANUM : Uncertain innovation and the persistence of monopoly. *The American Economic Review*, 73(4):741–748, 1983.
- Jennifer F. REINGANUM : Uncertain innovation and the persistence of monopoly : Reply. *The American Economic Review*, 74(1):243–246, Mar 1984.
- L. A. RIVERA-BATIZ et P. M. ROMER : Economic integration and endogenous growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 106(2):531–555, 1991a.
- L.A. RIVERA-BATIZ et P. M. ROMER : International trade with endogenous technological change. *European Economic Review*, 35(4):971–1001, 1991b.
- M. J. ROBERTS et J. R. TYBOUT : The decision to export in Colombia : An empirical model of entry with sunk costs. *American Economic Review*, 87(4):545–564, 1997.
- D. RODRIK : *Trade and industrial policy reform. Handbook of Development Economics*. vol IIIB, North-Holland, Amsterdam., 1995.
- P. M. ROMER : Growth based on increasing returns due to specialization. *American Economic Review*, 77(2):56–62, 1987.
- P. M. ROMER : Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5):71–102, Oct 1990.
- P.M. ROMER : Increasing returns and long-run growth. *The Journal of Political Economy*, 94(5):1002–1037, Oct 1986.
- A.K. ROSE et E. van WINCOOP : National money as a barrier to international trade : The real case for currency union. *American Economic Review*, 91(2):386–390, 2001.
- E. ROSSI-HANSBERG : A spatial theory of trade. *American Economic Review*, 95(5):1464–1491, 2005.
- G. SAHBI : Externalités de la r&d, institutions et croissance : validation empirique pour le cas des pays en voie de développement. *Innovations*, 2(35):207–249, 2011.

- 
- P.A. SAMUELSON : Spatial price equilibrium and linear programming. *American Economic Review*, 42(3):283–303, 1952.
- A. SAPIR : Trade benefits under the eec generalized system of preferences. *European Economic Review*, 15(3):339–355, 1981.
- T. SCHERNGELL et M. J. BARBER : Spatial interaction modelling of cross-region r&d collaborations : empirical evidence from the 5th eu framework programme. *Papers in Regional Science*, 88(3):531–546, 2009.
- A. SECK : International technology diffusion and economic growth : Explaining the spillover benefits to developing countries. *Structural Change and Economic Dynamics*, 23(4):437 —451, 2012.
- P. S. SEGERSTROM, T. C. Anant A. et E. DINOPOULOS : A schumpeterian model of the product life cycle. *American Economic Review*, 80(5):1077–1091, 1990.
- P. S. SEGERSTROM et Y. SUGITA : The impact of trade liberalization on industrial productivity. *Journal of the European Economic Association*, n/a–n/a(n/a–n/a): n/a–n/a, 2015.
- O. SHEPOTYLO et V. VAKHITOV : Services liberalization and productivity of manufacturing firms. *Economics of Transition*, 23(1):1–44, 2015.
- R. H. T. SMITH : Toward a measure of complementarity. *Economic Geography*, 40 (1):1–8, 1964.
- R. M. SOLOW : A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1):65–94, 1956.
- N. L. STOKEY : Human capital, product quality, and growth. *he Quarterly Journal of Economics*, 106(2):587–616, 1991.
- B. STRAATHOF : Gravity with gravitas : Comment. CPB discussion paper 111, The Haag, 2008.
- T. W. SWAN : Economic growth and capital accumulation. *Economic Record*, 32 (2):334–361, Nov 1956.

- A. TIENTAO, D. LEGROS et M.C. PICHERY : Technology spillover and {TFP} growth : A spatial durbin model. *International Economics*, na(na):na, 2015.
- W. TOBLER : A preliminary analysis of the spread of the depression. *Geographical Analysis*, 7(4):427–434, 1975.
- W. TOBLER : A model of geographic movement. *Geographical Analysis*, 13(1):1–20, 1981.
- W. TOBLER : An experiment in migration mapping by computer. *The American Cartographer*, 14(2):155–163, 1987.
- D. TRACA : Quantitative restrictions, market power and productivity growth. *Journal of Development Economics*, 65(1):95–111, 2001.
- D. TRACA : Imports as competitive discipline : the role of the productivity gap. *Journal of Development Economics*, 69:1–21, 2002.
- D. TREFLER : The long and the short of the canada-u.s. free trade agreement. *American Economic Review*, 94(4):870–895, 2004.
- E.L. ULLMAN : *American commodity flow*. University of Washington Press, Seattle, 1957.
- UNESCO : *Des frontières en Afrique du XII<sup>e</sup> au XX<sup>e</sup> siècle*. Comité international des sciences historiques, 2005.
- J. VAN BIESEBROECK : Exporting raises productivity in sub-saharan african manufacturing firms. *Journal of International Economics*, 67(2):373–391, 2005.
- John VICKERS : The evolution of market structure when there is a sequence of innovations. *The journal of Industrial Economics*, 35(1):1–12, Sep 1986.
- J. VINER : *The customs union issue*, volume 10. Studies in the administration of international law and organization, 1950.
- A. J. YEATS : What can be expected from african regional trade arrangements ? : Some empirical evidence. Policy research working papers, The World Bank, 1999.

- L. G. YING : Measuring the spillover effects : Some chinese evidence. *Papers in Regional Science*, 79(1):75–89, Jan 2000.
- A. YOUNG : Learning by doing and the dynamic effects of international trade. *The Quarterly Journal of Economics*, 102(2):369–405, 1991.
- M. YU : Processing trade, tariff reductions and firm productivity : Evidence from chinese firms. *The Economic Journal*, 125(585):943–988, 2015.