

UNIVERSITE DE BOURGOGNE FRANCHE-COMTE

UFR DROIT, SCIENCES ECONOMIQUE ET POLITIQUE

École doctorale Droit, Gestion, Économie et Politique

THÈSE

Pour obtenir le grade de

Docteur de l'Université de Bourgogne Franche-Comté

en Sciences Économiques

par

Emmanuelle Leturque

Économie géographique et croissance : le cas des émissions polluantes industrielles

Directeurs de thèse

Catherine BAUMONT Professeur à l'Université de Bourgogne Franche-Comté

Dominique BIANCO Maître de Conférences à l'Université de Bourgogne Franche-Comté

Membres du Jury

Isabelle CADORET	Professeur à l'Université de Rennes 1	Examinatrice
Hélène PESKINE	Secrétaire permanente du PUCA	Examinatrice
Francesco RICCI	Professeur à l'Université de Montpellier	Rapporteur
Stéphane RIOU	Professeur à l'Université de Saint Étienne	Rapporteur
Alexandra SCHAFFAR	Professeur à l'Université de Toulon	Examinatrice

Cette thèse a bénéficié du soutien du Plan Urbanisme Construction Architecture associé au Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer et au Ministère du Logement et de l'Habitat Durable dans le cadre du programme PUCA-MSH de Dijon « Approches économiques des dynamiques urbaines ».



plan
urbanisme
construction
architecture

Cette thèse a bénéficié du soutien du Conseil Régional de Bourgogne Franche-Comté dans le cadre du Plan d'Actions Régionales pour l'Innovation SHS-5.



La Faculté n'entend donner aucune approbation ou improbation aux opinions émises dans cette thèse. Ces opinions doivent être considérées comme propres à leur auteur.

Je tiens à remercier mes directeurs de thèse Catherine Baumont et Dominique Bianco qui m'ont accompagné pendant ce travail de thèse. Je vous remercie de m'avoir soutenu malgré mes nombreux doutes. Votre aide a été très précieuse au cours de la thèse et pour l'écriture de ce manuscrit.

Je remercie Francesco Ricci et Stéphane Riou pour avoir évalué ce travail de thèse. Je vous exprime ici ma sincère gratitude d'avoir accordé du temps, que je sais être contraint et précieux, à l'étude de ce manuscrit. Je tiens également à remercier Isabelle Cadoret, Hélène Peskine et Alexandra Schaffar d'avoir accepté de faire partie du jury.

Je souhaite remercier le PUCA et le Conseil Régional de Bourgogne Franche Comté pour avoir financé pendant trois ans mon travail de thèse. Je tiens aussi à remercier Jean-Louis pour sa présence et sans lequel le PEG ne fonctionnerait pas aussi bien. Je remercie Diego Legros et Ivan Ledezma, responsables des cours dont j'ai été chargée de TD, vous m'avez fait grandement confiance et encouragé dans mes expériences d'enseignement. Le dernier chapitre étant un travail réalisé avec un collègue, Mathieu Sanch-Maritan, je le remercie d'avoir travaillé ensemble. Je souhaite remercier mes relecteurs, Annick, Adrien et Zoé d'avoir passé du temps à relire ces pages. Enfin, j'ai eu l'aide précieuse de Diane pour le travail de modélisation.

Je souhaite remercier mes collègues doctorants du LEDi pour tous les moments chaleureux passés ensemble : Amaury, Anne Marie, Aurélie, Ballo, Cyrinus, Daouda, Laure, Marion, Micka, Pierre, Zhio et tant d'autres ! Une dédicace spéciale à ceux du 4ème sans lesquels mes connaissances footballistiques, et dans une moindre mesure celles sur les hétérodoxes, seraient bien moins riches.

Je souhaite remercier mes amis de master avec qui j'ai beaucoup appris, grandi et discuté de tout, de nous, de la société et un peu d'économie : Ale, Baris, Hamzeh, Lenka, Lore et Vitto, thanks ! On peut dire que mon parcours de thèse a été jonché de doutes. Mes parents, frères et soeur, mes amis m'ont beaucoup soutenu durant ces années. Je ne pourrais pas citer ici tout ceux qui m'ont donné une forme de confiance et à quel point celle-ci m'a portée. Vous êtes soulagés que ce travail soit enfin fini ; mille mercis à Adrien, Fabien, Julia, Lucy et Laure pour votre présence bienveillante et pour m'avoir hébergé. Enfin, Diane, Lenka et Zoé, cela n'aurait pas été possible sans vous, tout simplement.

Sommaire

Introduction générale	1
1 Innovation en économie géographique	5
Introduction	5
1.1 Intégration de l'innovation en économie géographique	6
1.2 L'agglomération favorise la croissance et <i>vice et versa</i> ?	32
1.3 Limites et questions	44
Conclusion	59
Annexes	60
2 Dégradations environnementales industrielles et organisation spatiale	61
Introduction	61
2.1 Pressions industrielles sur l'environnement	63
2.2 Effets des dégradations environnementales sur l'économie	79
2.3 Environnement et Localisation des agents	87
2.4 Organisation spatiale et croissance affectent l'environnement	98
Conclusion	107
Annexes	108
3 Modèle de la NEGG avec régulation environnementale	117
Introduction	117
3.1 Politique environnementale et localisation	119
3.2 Un modèle de la NEGG avec pollution industrielle	126
3.3 Introduction d'une régulation environnementale	151
Conclusion	162
Annexes	163
4 Do agglomeration economies are lower for polluting sectors ?	171
Introduction	171
4.1 Literature review	173

4.2 Data and variables	183
4.3 Empirical strategy	189
4.4 Results	195
Conclusion	208
Appendix	210
Conclusion générale	211
Références bibliographiques	215
Liste des Figures	239
Liste des Tableaux	241
Table des matières	243

Introduction générale

La croissance économique est aujourd’hui située en majorité dans les zones denses. Difficile pour autant de distinguer la cause de l’effet tant le phénomène de croissance et celui de l’émergence des villes sont concomitants. L’agglomération est alors considérée comme “la contrepartie spatiale de la croissance économique” (Baumont et Huriot, 1999). Des études empiriques, telles celle de Brülhart et Sbergami (2009), sont un peu plus contrastées et établissent que l’agglomération favorise effectivement la croissance jusqu’à un certain niveau de développement économique après lequel, l’effet positif diminue très nettement¹. Les activités d’innovation, au cœur du processus de croissance, apparaissent à la fois plus concentrées que les autres secteurs (Audretsch et Feldman, 1996) et davantage situées dans les zones denses. Pour favoriser la croissance, les pouvoirs publics se sont donc attachés à attirer les activités avec des politiques localisées.

L’émergence de grands centres urbains s’accompagne d’une hausse de pollution environnementale. Par exemple, Lange et Quaas (2007) citent une description de Londres au début du 18^{ème} illustrant la crise que la ville connaissait en terme de gestion des déchets et de la pollution urbaine. Si la gestion publique des enjeux environnementaux liés à l’urbanisation et la prise de conscience de ces derniers ont nettement progressé, les ménages demeurent fortement exposés. 54% de la population mondiale vit en zone urbaine en 2014 (ONU, 2014) auquel il faut ajouter les individus qui s’y rendent quotidiennement pour travailler. Une majorité d’individus peut alors être confrontée aux problèmes environnementaux situés dans ces zones. En effet, les zones urbaines peuvent cumuler des émissions polluantes de diverses sources : émissions résidentielles, pollutions issues des transports ou encore les émissions industrielles. On note que l’industrie demeure un important émetteur de pollution atmosphérique, elle représente ainsi 24% des émissions totales de CO_2 en France ou 85% des émissions des oxydes de soufre (SO_2) en 2011.

Par ailleurs, l’Organisation Mondiale de la Santé estime à 2 millions le nombre de décès préma-

1. Brülhart et Sbergami (2009) suggèrent que ce niveau de développement correspond à celui du Brésil ou de la Bulgarie.

turés dus à la pollution de l'air par an. Les émissions polluantes constituent une des menaces pour la qualité de l'environnement (OMS, 2015). Un choc négatif du niveau de pollution peut avoir lieu en raison de phénomènes économiques de type récession ou fermeture temporaire d'usine. Des études économétriques telles que celles de Chay et Greenstone (2003) ou Lavaine et Neidell (2017) utilisent ces chocs pour identifier l'effet de la pollution industrielle sur la santé. La productivité du travail peut, elle aussi, subir les conséquences des pollutions (Graff Zivin et Neidell, 2012). Les absences au travail pour des problèmes de santé du travailleur ou de ses enfants contribuent à une perte d'efficacité dans le travail (Hanna et Oliva, 2015). Ces dégradations environnementales représentent donc un coût économique justifiant, entre autres, l'intervention des pouvoirs publics.

Face à ces constats, l'agglomération des activités semble avoir des conséquences à la fois sur la croissance et sur l'environnement. Se pose alors la question de savoir comment ces deux types de conséquences interagissent avec la localisation des firmes polluantes.

L'objectif de notre travail est double. Notre premier objectif est de déterminer les contours des concepts économiques mobilisés : l'agglomération, la croissance endogène et les pollutions industrielles. Pour cela, il est nécessaire de faire un état des lieux quant à la manière dont ces concepts sont mobilisés dans les travaux d'économie spatiale. La croissance et les dégradations environnementales sont introduites, respectivement dans les années 1990 et 2000, dans les modèles de la Nouvelle Économie Géographique (NEG par la suite). Puisque nous avons choisi de privilégier les pollutions industrielles, nous nous devons de préciser leurs caractéristiques sectorielles et leur localisation aujourd'hui en France.

Le second objectif est de comprendre les déterminants de la localisation des firmes polluantes et ses conséquences. Nous souhaitons intégrer conjointement croissance économique et considérations environnementales dans un cadre d'analyse spatiale. L'agglomération est par ailleurs vecteur d'une hausse de la productivité (Duranton et Puga, 2004) et de la croissance (Martin et Ottaviano, 1999, 2001; Fujita et Thisse, 2003). Comment les entreprises polluantes font-elles leur choix de localisation en fonction, entre autres, de la régulation environnementale ? Ensuite, il s'agit d'évaluer si l'agglomération des activités favorise indifféremment le niveau de productivité des activités polluantes et non polluantes : les secteurs polluants bénéficient-ils des économies d'agglomération ?

Pour répondre à ces différents objectifs, nous menons un travail de revue de la littérature critique, puis nous proposons une approche théorique et empirique. La thèse se compose de quatre chapitres que nous présentons ci-dessous.

Dans le premier chapitre, nous identifions les principaux mécanismes liant la croissance et l'agglomération en économie géographique. La construction des modèles de NEG et Croissance (NEGG par la suite) en est une étape majeure. Puisque la NEGG met les activités d'innovation au cœur du processus de croissance et d'agglomération, nous nous attachons à donner les contours de ce concept et en particulier ses caractéristiques spatiales. La concurrence monopolistique à la Dixit et Stiglitz (1977) permet de modéliser, dans un même cadre d'analyse d'équilibre général, la création de nouvelles entreprises et leur choix de localisation. Dans un souci de maximiser la croissance et ses retombées locales, un intérêt important des pouvoirs publics se porte alors sur les politiques publiques affectant l'organisation spatiale de leur territoire. Finalement, nous identifions plusieurs points de discussion concernant ces modèles de la NEG et de la NEGG, et les limites quant à leurs interprétations. Un des aspects déterminant pour le reste de notre travail est la faible prise en compte des effets potentiellement néfastes de l'agglomération des activités économiques.

Le deuxième chapitre a pour objectif de présenter les déterminants environnementaux de la localisation des ménages et des activités économiques traités par l'économie spatiale. Si les dégradations environnementales sont relativement peu prises en compte dans les modèles de la NEG, nous défendons l'idée selon laquelle elles présentent des caractéristiques spatiales importantes. La principale source de pollution visée dans la thèse étant les activités industrielles, nous faisons donc un état des lieux de la localisation des établissements polluants en France. Nous menons alors une analyse de statistiques descriptives identifiant l'organisation spatiale de ces établissements, en montrant ainsi que les installations SEVESO² sont moins agglomérées que celles émettrices de polluants. Entre autres parce que les pollutions industrielles ont des conséquences sur la santé et la productivité des entreprises, elles modifient la localisation des activités économiques. Nous mettons en évidence l'importance des caractéristiques des polluants et de l'échelle spatiale choisie pour les résultats des modèles de la NEG ou d'économie urbaine intégrant l'environnement. L'interdépendance de l'organisation spatiale du territoire et des dégradations environnementales locales nous amène aussi à identifier comment la répartition des activités affecte le niveau de pollution. Ainsi, la qualité environnementale locale peut certes être un déterminant du choix de localisation, mais représente aussi le fruit de l'agglomération des activités.

2. Les établissements SEVESO sont classés comme tel s'ils présentent des risques accidentels importants. Le terme correspond au nom de la directive prise après l'accident dans une entreprise chimique italienne en 1976 qui a fortement touchée le village Seveso.

Le troisième chapitre propose un exercice de modélisation alliant les mécanismes de croissance endogène et d'agglomération des activités. Nous construisons un modèle de la NEG de type *Footloose Capital* (mobilité parfaite du capital) dans lequel il existe une taxe sur les émissions polluantes issues du secteur industriel. Ce type de modèle a la particularité d'intégrer un secteur de R&D dans le cadre de la NEG afin de considérer un phénomène de croissance endogène, à la Romer (1990), fondée sur l'expansion du nombre de variétés. Comme nous le soulignons dans le Chapitre 1, l'émergence des modèles de NEG (Martin et Ottaviano, 1999, 2001; Fujita et Thisse, 2003) grâce à la compatibilité entre le processus d'innovation comme source de croissance et le cadre d'analyse de la NEG. Nous envisageons alors deux principales sources d'externalités : l'externalité des connaissances partiellement localisée et l'externalité environnementale. Dans un premier temps, nous détaillons toutes les étapes de la résolution de ce modèle avec des consommateurs sensibles à la pollution locale. Nous montrons ensuite que, selon le taux de taxe et une potentielle différence entre les régions, la régulation environnementale modifie l'équilibre de l'économie.

Le quatrième chapitre présente une étude économétrique évaluant les économies d'agglomération à l'échelle des zones d'emploi en France, dans laquelle nous apportons un niveau d'information originale concernant les émissions polluantes par secteur. Selon les modèles de la NEG avec pollution, les ménages ont tendance à moins s'agglomérer en raison des dégradations environnementales issues des industries. L'équilibre de localisation des firmes industrielles est alors plus proche de l'équilibre symétrique. Ce résultat nous conduit à tester l'hypothèse selon laquelle les secteurs polluants bénéficient moins des économies d'agglomération. Notre étude donne des éléments confirmant cette hypothèse et explique, en partie, pourquoi l'équilibre de localisation est plus dispersé pour ces firmes. Nous utilisons deux principales bases de données : les *Données Annuelles de Déclarations Sociales* (DADS) nous permettant d'étudier le niveau de salaire par zone d'emploi et par secteur et la base du Registre des Établissements Polluants (IREP) donnant accès aux émissions annuelles des établissements classés comme polluants. Nous évaluons le niveau de *productivité* locale, estimé par le salaire moyen, selon la *densité* d'emplois et plusieurs variables locales ou sectorielles communément utilisées dans la littérature d'évaluation des économies d'agglomération (Ciccone et Hall, 1996; Rosenthal et Strange, 2004; Combes et Gobillon, 2015). Finalement, la stratégie empirique nécessite la prise en compte des biais d'endogénéité dans l'estimation du coefficient de la densité telle que l'instrumentation par des valeurs historiques de population.

Innovation en économie géographique

Introduction

Les modèles de croissance endogène ont pris une place déterminante pour la compréhension du phénomène de croissance économique. De ce fait, lorsque l'on admet le statut primordial de l'accumulation de connaissances, le rôle joué par l'agglomération des activités se clarifie. Les concentrations d'activités industrielles, et des activités d'innovation représentent un environnement propice à la croissance.

De nombreux travaux d'historiens (par exemple, Bairoch, 1985; Hohenberg et Lees, 1995)¹ expliquent comment l'émergence des villes est allée de pair avec la croissance économique, en particulier pendant l'essor industriel du XIX^{ème} siècle. Ainsi les régions côtières en Chine connaissent une situation où la croissance économique est portée par une agglomération très forte des activités. Il est intéressant de comprendre comment les disparités actuelles entre les régions se sont créées et comment elles évoluent. Il nous semble parallèlement important de présenter les principaux résultats sur la localisation et sur les facteurs spatiaux de l'innovation. D'un point de vue formel, nous adoptons dans cette thèse un cadre d'analyse de Nouvelle Économie Géographique (NEG). Dans ce premier chapitre, nous présentons donc les principaux mécanismes de la NEG, les stratégies pour intégrer l'innovation et ainsi le phénomène dynamique de croissance.

Le choix du cadre d'analyse de la NEG s'est fait pour plusieurs raisons concernant tout particulièrement la méthodologie utilisée. Tout d'abord, la NEG intègre les économies d'échelle internes et externes dans un modèle d'équilibre général où la localisation des firmes et celle des ménages sont endogènes. L'hétérogénéité de la distribution géographique des ressources (i.e. les avantages naturels) ne permettant pas à elle seule d'expliquer la forte polarisation

1. Ces références historiques sont issues de Baumont et Huriot (1999) et de Martin et Ottaviano (2001)

actuelle des activités économiques, il était donc essentiel de comprendre les mécanismes économiques entraînant l'organisation spatiale telle que l'on peut l'observer. Ensuite, ce type de modélisation a permis de réunir les problématiques telles que la croissance endogène (Romer, 1990; Grossman et Helpman, 1991) et la localisation des activités économiques (Martin et Ottaviano, 1999, 2001). Les mécanismes économiques reliant l'agglomération des activités à la croissance sur un territoire peuvent être analysés dans un même cadre. La synthèse entre croissance endogène et NEG (dénommée NEGG) peut finalement permettre de comprendre de nouveaux aspects de ces phénomènes (Baumont et Huriot, 1999). Croissance et agglomération étant deux phénomènes concomitants, il apparaît nécessaire de les analyser ensemble afin de saisir l'entière du phénomène économique.

Les principaux travaux de la NEG ont été de nombreuses fois remis en question, tant sur la portée réelle des apports que sur les résultats en eux mêmes. Il s'agira de préciser les critiques majeures et de comprendre comment la prise en compte des dégradations environnementales liées à l'agglomération des activités peut modifier les résultats « classiques » de la NEG.

Ce chapitre permet donc de comprendre l'émergence de la NEGG et ses apports sur les mécanismes de l'innovation et de la croissance.

1.1 Intégration de l'innovation en économie géographique

Dans cette section, nous analysons l'évolution des modèles d'économie spatiale vers une intégration de l'innovation comme source de la croissance. Pour cela, un état des lieux de la littérature associant agglomération et activités d'innovation est réalisé. Il permet de mieux établir les fondements sur lesquels reposent des modèles de la NEG et de Croissance Endogène. Les théories de la croissance endogène et la NEG ont émergé dans les années 1990, et il a rapidement été question d'intégrer les deux phénomènes dans un même modèle d'équilibre général. Nous procédons à un exposé rapide de l'origine et l'évolution de deux modèles pour ensuite présenter les principaux apports de la synthèse (Martin et Ottaviano, 1999, 2001) dans la section suivante.

1.1.1 Innovation et modèles de croissance

Le source de croissance *innovation* a été introduite progressivement pour permettre de répondre aux impasses des modèles de croissance néo classiques. Le modèle de croissance néo-classique (Solow, 1956) décrit ainsi une économie fermée avec deux facteurs, le capital K_t et le

travail L_t , pour produire un bien dont une partie est consommée (une proportion constante) et l'autre (notée s) contribue à l'investissement I_t .

$$Y_t = A_t K_t^\alpha L_t^{1-\alpha} \text{ avec } I = sY_t,$$

avec A_t la productivité totale des facteurs exogène et invariable dans le temps. La fonction de production par tête est à rendements factoriels décroissants. Une solution existe donc selon laquelle le niveau de capital par tête k converge vers une valeur k^* . Dans ce cadre d'analyse, l'économie cesse de croître sans progrès technique ; afin de mieux correspondre aux analyses empiriques, le progrès technique A_t est intégré mais de manière exogène.

Lucas (1988) va plus loin en intégrant le capital humain comme un nouveau facteur de production dont le niveau par individu dépend d'un choix optimal individuel. Le stock de capital humain au sens de Lucas (1988) correspond ainsi au résultat d'un arbitrage entre le temps alloué au travail et le temps alloué à l'éducation. L'intérêt du modèle est de souligner le rôle de l'éducation sur le taux de croissance. Ce travail n'intègre pas pour autant directement l'innovation comme source de croissance mais bien l'accumulation de capital humain. Il souligne déjà l'importance des interactions sociales ou échanges d'information à l'origine du phénomène de croissance endogène. Pour résumer la fonction de production est la suivante :

$$Y_t = A_t K_t^\alpha (u_t h_t L_t)^{1-\alpha} \bar{h}_t^\varphi \text{ avec } \dot{h}_t = \delta h_t (1 - u_t),$$

sachant que A_t représente le progrès technique, u_t le temps consacré à la production, h_t le stock de capital humain. La fonction d'accumulation de capital humain est à rendements croissants. Afin d'endogénéiser l'investissement des ménages $(1 - u_t)$ en capital humain, Lucas (1988) intègre une externalité du capital humain. $\bar{h}_t^\varphi$ représente ainsi le niveau moyen de capital humain dans l'économie, qui peut alors potentiellement être plus élevé dans un pays et y générer des externalités positives.

Alors que dans les modèles précédents, la croissance était issue de l'augmentation du stock des facteurs de production, il s'agit ensuite de considérer d'autres sources de croissance. Le progrès technique s'avère alors avoir un rôle majeur. Sont alors apparus les modèles de croissance où le niveau d'investissement en innovation est endogène. Dans le travail de Romer (1990) par exemple, le progrès technique repose alors sur la conception de brevets résultant d'investissement en R&D. Le progrès technique a des caractéristiques d'un bien public. Dans

ces modèles de croissance endogène, la structure du marché, en particulier le secteur de R&D et les défaillances dues aux externalités incitent l'État à intervenir pour les corriger. Cette marge de manœuvre constitue un intérêt accru pour les politiques publiques cherchant à favoriser la croissance par l'innovation.

Il existe alors deux catégories de travaux : l'une considère la création de nouvelles variétés de produits et l'autre considère que l'innovation passe par l'amélioration de la qualité des produits. La première catégorie de travaux est celle de Romer (1990) et Grossman et Helpman (1991, chapitre 3) qui considèrent l'innovation horizontale dans une économie avec trois secteurs : un secteur de bien final en concurrence pure et parfaite produisant un bien homogène, un secteur de bien intermédiaire en concurrence monopolistique produisant des biens différenciés, où un brevet est nécessaire pour débiter la production, et un secteur de R&D en concurrence pure et parfaite émettant les brevets. Si les modèles de Romer (1990) et Grossman et Helpman (1990) envisagent l'innovation comme une hausse du nombre de biens de production ou procédés servant à la production de biens de consommation finale, selon Grossman et Helpman (1991, chapitre 3) l'innovation correspond à l'augmentation du nombre de variétés de biens de consommation. Considérons le cas de Grossman et Helpman (1991)², la fonction de production correspond à :

$$Y_t = \int_0^{N_t} x_{it}^\sigma di \quad \text{avec} \quad \dot{N} = \eta N_t L_{R\&D} t,$$

avec x_{it} représente la quantité de bien i utilisée dans la production, N_t le nombre de variétés disponibles dans l'économie, $L_{R\&D}$ la quantité de travail allouée au secteur de R&D.

La seconde catégorie de travaux majeurs, initiés par Aghion et Howitt (1992) (et Grossman et Helpman, 1991, chapitre 4), considèrent que le progrès technique repose sur l'amélioration de la qualité des biens intermédiaires et engendre ainsi une hausse de la productivité dans le secteur de bien final. Le secteur des biens intermédiaires est ici constitué d'une firme en monopole qui produit l'*input* du secteur de bien final adéquat au niveau de qualité courant. Dès qu'un nouveau niveau de qualité apparaît, un nouvel input est créé qui rend obsolète le précédent. Ainsi l'innovation verticale engendre l'exclusion des produits obsolète. Ce processus

2. Ce cas correspond mieux aux modèles de NEGGE développés ensuite puisque ce sont les consommateurs qui vont avoir un goût pour la diversité.

à la Schumpeter est appelé “destruction créatrice”. La fonction de production est la suivante :

$$Y_k = A_k x_k^\alpha \text{ avec } A_{k+1} = \phi A_k ,$$

avec $0 < \alpha < 1$, x_k la quantité d’input (bien intermédiaire) pour produire, A_k la qualité de l’*input* suivant une loi de Poisson, ϕ le changement dans ce niveau de qualité et k désigne chaque innovation $k \in \{0, 1, 2, \dots\}$. On note que la croissance, dans ce cas là, n’engendre pas l’apparition de nouveaux secteurs

Puisque les modèles cités précédemment utilisent le concept d’« innovation », il semble pertinent d’en donner les contours ci-dessous (voir tableau 1.1) ; nous reviendrons plus en détail sur la mesure de ce phénomène dans la section suivante concernant la répartition spatiale de l’innovation.

- A différencier avec une invention ou la création de nouvelles connaissances, une innovation est utilisée avec réussite (par exemple, commercialisée) mais dont le préalable est une invention (Schumpeter, 1939).
- Deux catégories d’innovation existent : innovations verticales (innovation **radicale** *vs* innovation **incrémentale**) et innovations horizontales.
- Si l’utilisation du concept d’innovation se résume quasi uniquement à la création de nouvelle variété de bien dans les modèles utilisés ci-dessous, il est important de préciser que les formes prises par « l’innovation » sont diverses : innovation de **produit** (bien ou service), innovation de **procédé**, innovation **marketing** ou innovation **organisationnelle**.
- La mesure de l’innovation est complexe, plusieurs possibilités : **niveau d’investissement en R&D**, **brevet**, **publications dans certains domaines**. Le choix de la mesure a bien-sûr des conséquences sur l’interprétation.

Tableau 1.1 – Qu’est ce que l’innovation ?

L’innovation est, entre autres, le produit de nouvelles connaissances. Les connaissances représentent tant des *inputs* que des *outputs* du processus de progrès technique (Encaoua *et al.*, 2004). La production de connaissances est souvent associée à la production de *quasi*

biens publics³. Les incitations à découvrir de nouvelles connaissances est alors plutôt faible d'où la mise en place d'organisation de la propriété intellectuelle telle que le brevet.

Le fait que les connaissances soient une forme de bien public implique la présence d'externalités de connaissance intertemporelles au cœur des modèles de croissance endogène. En effet, si un agent propose de nouvelles connaissances à la date t , cela enrichit un stock accessible à l'ensemble des autres agents à la date $t + 1$. D'une part, innover devient plus facile lorsque le stock de connaissances s'accroît ; les externalités de connaissance sont dans ce cas positives. D'autre part, un stock important de connaissances peut contraindre la découverte de nouvelles connaissances ; les externalités sont dans ce cas négatives. Les modèles de croissance endogène supposent que ces externalités ont globalement un impact positif sur la productivité du secteur de R&D.

Puisque l'innovation est source de croissance économique dans les modèles de croissance endogène fondée sur la R&D, les économistes se sont beaucoup interrogés sur les facteurs déterminants et l'environnement propice à l'innovation (abordés dans section suivante, page

Les travaux de croissance endogène ont bien intégré l'innovation se dotant ainsi d'une source endogène de la croissance, pour autant des limites demeurent⁴ puisqu'ils ne prennent pas en compte l'espace dans la caractérisation des externalités de connaissance et de l'innovation. Même si l'idée de proximité est sous-jacente (en particulier chez Lucas, 1988), il n'en demeure pas moins que l'organisation spatiale des activités n'est pas à proprement parler intégrée dans les modèles de croissance endogène précédemment cités.

La nouvelle prise en compte du caractère *spatial* résulte en partie de la progression de la mondialisation. La baisse des coûts de transaction a en effet plutôt entraîné un regain d'intérêt pour les économies régionales (Martin et Sunley, 2003) puisque les firmes seraient moins contraintes dans leur choix de localisation. Ainsi contrairement à ce qu'il semblait⁵, la question de la localisation des activités économiques n'a pas disparu. Cette résurgence d'intérêt pour les questions spatiales s'est accompagnée de l'émergence du concept de *cluster* (Porter, 1998), concept théorique mais aussi un outil de politique publique très rapidement diffusé dans les institutions internationales (voir Banque Mondiale, 2000; OCDE, 2001).

3. Pour autant, c'est davantage les informations (et non les connaissances) qui pourraient être considérées comme bien public puisqu'elles sont plus facilement utilisées (Foray, 2004).

4. Outre le problème de l'effet d'échelle résolu par les modèles de croissance de 2^{nde} génération (Jones, 1995, 1999; Bianco, 2007).

5. Cairncross (1997) avec son ouvrage *The Death of Distance*.

De plus, les théories de la croissance endogène ont relancé l'intérêt pour le développement régional (Baumont et Huriot, 1995). En effet, en s'intéressant aux sources de la croissance, les disparités régionales en termes de développement ont soulevé des interrogations concernant les potentiels facteurs spatiaux de la croissance (pour une revue de littérature critique, Harris, 2011). Il s'agit ainsi de distinguer les facteurs régionaux exogènes et les domaines sur lesquels les pouvoirs publics peuvent intervenir.

En différenciant les inventions (ou nouvelles connaissances) des innovations, Capello et Lenzi (2014) suggèrent que ces deux éléments génèrent de la croissance économique régionale. Si la source de la croissance dans un pays/région devient donc l'innovation (et les connaissances) localement produite, il est pertinent d'identifier quels sont les critères spatiaux favorisant l'innovation.

1.1.2 Agglomération et innovation

Dans cette section, nous interrogeons le caractère spatial du phénomène d'innovation en associant des résultats théoriques et empiriques. Dans un premier temps on s'intéresse à établir comment les innovations sont réparties sur le territoire et dans un second temps, il s'agit d'établir s'il existe des *facteurs spatiaux* permettant de favoriser l'apparition et la diffusion de ces innovations. Plusieurs travaux ont déjà fait cet effort de synthèse des apports de la géographie de l'innovation (voir Audretsch et Feldman, 2004; Malecki, 2010; Carlino et Kerr, 2015). L'objectif ici est de comprendre plus précisément pourquoi il a été pertinent d'intégrer l'innovation et la croissance aux modèles de la NEG et comment cela a modifié et enrichi les résultats des modèles d'économie géographique. Les études présentées ci-dessous établissent des ponts entre l'équilibre de localisation en NEG et l'équilibre dans les théories de croissance endogène. Si certaines présentent les facteurs de localisation des activités d'innovation, d'autres portent sur les conséquences de la concentration spatiales de l'innovation.

1.1.2.1 Géographie de l'innovation

La géographie de l'innovation peut être vue comme l'analyse du caractère spatial des activités d'innovation. La répartition géographique de l'innovation intéresse particulièrement les pouvoirs publics. Ils cherchent ainsi à favoriser l'innovation en espérant des retombées économiques positives sur leur territoire. Nous étudions ici la géographie de l'innovation pour mieux comprendre comment ses résultats ont été sollicités dans les modèles de la NEG créant un lien entre agglomération des activités et croissance via l'innovation. Deux principaux constats

peuvent être faits : les activités d'innovation sont spatialement concentrées et elles sont plutôt localisées dans des zones denses.

Avant de préciser les principaux résultats concernant l'organisation spatiale du secteur de l'innovation, il est indispensable de présenter les différentes possibilités pour mesurer ce phénomène et les conséquences sur l'interprétation des résultats. En effet, mesurer le progrès technique, plus précisément la quantité d'innovation ou les flux de connaissance entre les acteurs et sur un territoire, n'est pas un exercice évident. Il s'agit de quantifier un phénomène qui est non observable, incertain et souvent rattaché à un individu. Une des raisons rendant difficile l'identification et la localisation de l'innovation vient ainsi de la nature particulière du bien « innovation ». Penser l'économie des connaissances avec des agents et des firmes de R&D dans un secteur spécialisé dans la production de connaissances est décrit par Foray (2004) comme un « monde confortable ». La connaissance (et dans une moindre mesure l'innovation) a en effet des propriétés particulières proches de celles d'un bien public, i.e. non exclusive, non rivale et cumulative.

Plusieurs alternatives ont été introduites pour mesurer ce phénomène complexe à capter malgré les difficultés assez bien identifiées dans la littérature. Nous souhaitons comprendre ce que le contexte spatial apporte comme réflexions et/ou difficultés supplémentaires.

Tout d'abord, les données de brevets sont très utilisées pour mesurer les innovations⁶. Cela permet de plus d'approcher les flux de connaissance et leur profil spatial entre les acteurs en utilisant les citations de brevets. Cependant, quelques limites ou réserves existent sur l'utilisation des brevets. La répartition spatiale issue de l'étude des données de brevet peut être biaisée et ne refléter que partiellement celle de l'innovation. Les brevets peuvent être ainsi enregistrés dans un lieu mais l'innovation conçue dans un autre. De plus, les brevets ne prennent en compte que les connaissances codifiées et ignorent celles pour lesquelles les firmes n'ont pas jugé nécessaire de déposer un brevet. La stratégie de breveter ou non ses innovations est dépendante du secteur et du type de firme. Enfin l'utilisation des données de brevet n'inclut pas la prise en compte de l'impact économique des innovations, qui parfois diffère grandement des brevets eux-mêmes. En d'autres termes le brevet correspond davantage à l'étape « invention » qu'à celle de l'innovation. Les travaux tels que Acs *et al.* (2002), Thompson et Fox-Kean (2005) ou Sedgley et Elmslie (2011) utilisent ces données et défendent le fait qu'elles permettent d'informer, malgré les limites énoncées ci-dessus, sur l'innovation

6. Hall *et al.* (2001) fournit un grand nombre de détails sur les données de brevet aux États-Unis.

de produits dans les grandes métropoles. Ces études montrent que les entreprises localisées dans les grandes villes vont effectivement avoir davantage recours au dépôt de brevet. Dans les grandes métropoles et pour les innovations de produits, les informations issues de dépôts de brevet et celles des mesures plus directes de l'innovation sous forme d'enquête sont relativement proches. En revanche, la pertinence des données de brevets est plus limitée pour d'autres types d'innovations et d'espaces géographiques. Il semble par ailleurs judicieux d'associer cette mesure avec d'autres afin d'avoir un meilleur aperçu de la répartition spatiale de l'ensemble des activités d'innovation.

Un deuxième type de mesure correspond à l'analyse des annonces de nouveaux produits parues dans les revues de commerce ou les revues technologiques. Elle constitue une mesure plus directe de l'innovation. Cette méthode a l'avantage de considérer à proprement parler la commercialisation de nouvelles inventions technologiques (Acs et Audretsch, 1993) contrairement aux données de brevets ou à la mesure des inputs tels que la R&D. Cependant, ces indicateurs (comme les brevets) dépendent tout de même de la volonté des firmes d'officialiser leurs innovations⁷. De plus, cette méthode est relativement coûteuse donc assez peu répandue. Dans la même catégorie de mesures directes, on trouve la méthode des enquêtes assez pratiquée dans l'Union Européenne ou au Canada par exemple. Il s'agit de l'enquête communautaire sur l'innovation (Community Innovation Survey) dans l'Union européenne et de l'enquête SIBS (Survey of Innovation and Business Strategy) au Canada. Il est alors demandé aux entreprises si elles ont introduit un nouveau produit, processus ou organisation au cours des deux années écoulées, ainsi qu'un ensemble d'autres questions sur l'entreprise. La couverture géographique n'est pas complète puisqu'un nombre relativement limité de firmes sont interrogées, ce qui rend les études spatiales difficiles. Pour autant, cette méthode permet l'analyse du processus d'innovation à l'échelle de la firme et est donc très utilisée. Des travaux utilisant ce type de données montrent que les entreprises entretenant le plus de relations avec l'extérieur sont les plus innovantes (Shearmur, 2012). Pour autant, la dimension géographique de ces relations ne peut pas être étayée véritablement par ces données.

Enfin, le niveau d'investissement dans le processus d'innovation peut être aussi privilégié pour mesurer ce phénomène. La quantité de R&D au niveau de la firme ou agrégée à l'échelle du territoire représente un indicateur de l'innovation ou du moins son potentiel puisqu'il s'agit plus précisément du premier input dans la production d'innovation. L'avantage est que cette mesure affecte aussi potentiellement les innovations qui ne font pas l'objet de dépôt de brevet

7. Les firmes de petite taille seraient moins disposées à annoncer leurs innovations.

et relève moins d'un comportement stratégique. En revanche cela ne représente que le budget alloué à la R&D, rien ne garantit pour autant l'efficacité du processus d'innovation ni qu'il ait eu effectivement innovation, ni que l'innovation sera nécessairement issue de ce budget.

En dehors de la question de mesure de l'innovation, il faut s'interroger sur les difficultés de mesures spatiales du phénomène. Des indicateurs de répartition ou de concentration spatiale tels que l'indice de Gini ou celui de Ellison et Glaeser (1997) peuvent être appliqués aux activités d'innovation ou de R&D. Le dernier a l'avantage de tenir compte de la concentration du secteur en lui-même. Les indices de type Ellison et Glaeser sont, en effet, très utilisés dans la littérature pour montrer la concentration de l'emploi dans de nombreux secteurs industriels. Par exemple, Buzard et Carlino (2013) les utilisent pour les activités d'innovation, i.e. des bureaux en R&D⁸. Le problème « MAUP » (*Modifiable Area Unit Problem*)⁹ révèle que les mesures standards de concentration spatiale ne sont pas stables lorsque l'on agrège et que l'on change d'échelle spatiale. Cela amène les études à davantage mobiliser une mesure où l'espace est considéré comme continue n'ayant pas de problème de frontières (Duranton et Puga, 2004). La problématique est valable pour l'innovation et pousse donc les auteurs à choisir cette méthode pour mesurer la concentration des activités d'innovation (Carlino *et al.*, 2012). Ces derniers mesurent ainsi la différence entre la formation de *clusters* d'entreprises de R&D et une répartition dite aléatoire de ces entreprises.

Après avoir évoqué ces quelques éléments de contexte concernant les *mesures* du phénomène d'innovation et de ses caractéristiques spatiales, nous donnons quelques résultats majeurs de cette littérature. Tout d'abord, la géographie de la production d'innovation s'avère être dépendante des zones denses et des zones urbaines¹⁰. Sedgley et Elmslie (2011) montrent ainsi qu'il y a plus de dépôts de brevet par habitant dans les grandes métropoles que dans les petites. Les grandes villes rassembleraient ainsi les agents créatifs et les institutions telles que les universités ou centres de recherche (Florida, 2002; Acs *et al.*, 2002).

Ensuite, les activités d'innovation sont plus concentrées que les activités industrielles (Audretsch et Feldman, 1996) et que les emplois en général. Cette concentration des activités d'innovation se confirme si l'on contrôle par la densité de la production (Carlino *et al.*, 2012).

8. Le terme "activité d'innovation" désigne ici des activités dont l'activité principale est tournée vers la R&D, sans garantie particulière qu'il ait effectivement innovation. Cependant, ce type de laboratoires demeure des lieux d'innovation effective.

9. Voir en annexe, page 60, pour des précisions concernant le MAUP.

10. Le titre de l'ouvrage de Glaeser (2011) est assez révélateur sur ce sujet : *The triumph of the city : How our greatest invention makes us richer, smarter, greener, healthier and happier*.

Par ailleurs quel que soit la mesure choisie, la concentration des activités de production d'innovations est confirmée. Par exemple, pour les données de R&D par firme, Carrincazeaux *et al.* (2001) montrent que 75% des travailleurs spécialisés dans les activités de R&D se retrouvent dans 6 régions en France alors que l'on y retrouve que 45% de l'ensemble des travailleurs. Buzard et Carlino (2013) mènent une étude aux États-Unis et mettent en évidence que les activités de R&D pour la plupart des secteurs sont concentrées dans le Nord Est, autour des grands lacs, autour de la baie de Californie et en Californie du sud.

Pour autant la localisation des activités d'innovation varie selon le degré de radicalité de l'activité de R&D menée (Duranton et Puga, 2001). Ainsi les innovations radicales prendraient place dans les grandes métropoles alors que les innovations plus modestes s'établissent dans les villes de moindre ampleur. Cela révèle entre autres qu'il existe différents types d'innovateurs ayant des besoins variés. Si le processus créatif semble prendre place dans tout type de territoire, le développement et la commercialisation des innovations prend davantage place dans les grandes métropoles (Shearmur, 2012). De plus, la localisation des firmes innovantes dépend du cycle de vie de l'entreprise. Les firmes « jeunes » et potentiellement innovantes vont avoir d'autant plus intérêt à s'installer dans les métropoles (Puga, 2010) puisque la ville réduit les risques ou les coûts lors de la période d'expérimentation d'une nouvelle activité. Enfin, la production d'innovations ne se fait plus uniquement dans les services spécialisés R&D de chaque firme mais elle existe dans un panel varié de lieux pouvant être extérieurs à l'entreprise. Ernst (2009) explique ainsi que l'organisation de la production d'innovation se fait désormais davantage à travers d'importants réseaux mondiaux ouverts.

Ces zones de concentration en innovation ne sont pas figées dans le temps (Carlino et Kerr, 2015). Klepper (2010) discute notamment le fait que la région de Détroit au début du XX^{ème} siècle représentait pour l'industrie automobile ce qu'est la Silicon Valley aujourd'hui pour le secteur des semi-conducteurs¹¹. Il compare les développements de ces deux régions spécialisées et innovantes et détermine les facteurs ayant amené à une telle concentration d'activités dans des domaines spécifiques. Il montre que dans les deux cas l'apparition de nombreuses entreprises dérivées¹² a été déterminante et souligne l'importance de la filiation entre les firmes dans le processus de concentration. Avec le développement des bases de données de long terme sur les brevets, Carlino et Kerr (2015) suggèrent qu'identifier l'émergence et la

11. Ce secteur fournit entre autres les circuits intégrés essentiels pour la production de microprocesseurs et de circuits intégrés.

12. Il s'agit d'entreprises (*spinoffs*) dont les fondateurs travaillaient auparavant pour une autre entreprise du même secteur.

trajectoire de centres spécialisés en innovation est un piste de recherche pertinente.

Plus largement, il est important d'interroger le fait que l'on puisse ou pas véritablement localiser géographiquement l'innovation. La mobilité des agents créatifs bouleverse en effet quelque peu l'idée selon laquelle l'innovation se fait uniquement dans les centres urbains. De plus, il existe certains agents créatifs préférant les zones périphériques aux zones denses (Shearmur et Doloreux, 2016) pour travailler et/ou pour vivre. A partir des travaux en psychologie de la créativité (Cain, 2013; Little, 2014), l'isolement semble nécessaire dans le processus créatif potentiellement porteur d'innovations ; du moins l'alternance entre un lieu d'isolement et un lieu d'interactions favorise la créativité.

Malgré cette dernière réserve, ces travaux concernant la géographie de l'innovation permettent de souligner la concentration des activités d'innovation et leurs localisations en zones urbaines. Grâce à la présentation de résultats *descriptifs*, de multiples hétérogénéités peuvent éclairer les mécanismes sous-jacents conduisant à l'état actuel de la géographie de l'innovation.

1.1.2.2 Facteurs spatiaux de l'innovation

S'il est intéressant de considérer les déterminants du niveau d'innovation à l'échelle de la firme, considérer cette dernière de manière isolée et sans prendre en compte son voisinage ne semble pas pertinent. Selon la littérature présentée ci-dessus, les activités d'innovation sont davantage localisées en ville et très polarisées. C'est pourquoi nous nous intéressons, dans cette section, aux arguments en faveur d'une telle organisation spatiale et aux particularités liées aux caractéristiques du secteur d'innovation. Deux aspects s'avèrent importants, il s'agit dans un premier temps de comprendre pourquoi les activités d'innovation sont plutôt situées en ville. Une des raisons essentielle semble être a priori que l'agglomération de toutes activités économiques confondues favorisent l'innovation. Dans un second temps, nous allons identifier plus spécifiquement pourquoi les activités d'innovation sont polarisées, en expliquant alors le rôle central joué par les externalités de connaissance.

L'agglomération

A travers le concept d'agglomération - entre autres celle des activités d'innovation- deux angles d'analyse sont considérés dans la littérature : le *processus* d'agglomération et le *résultat*. La mesure de l'agglomération varie alors selon l'angle retenu : le processus d'accumulation par un déplacement des activités économiques (ou de ménages) si le *processus* est ciblé ou le stock

si c'est résultat qui est visé.

C'est davantage le second concept qui est utilisé dans les travaux empiriques. Deux aspects sont alors déterminants pour cibler ce dernier : la taille de l'agglomération et la densité. Lorsque l'agglomération des activités est mobilisée dans les travaux empiriques portant par exemple sur l'estimation des économies d'agglomération, il est nécessaire de préciser sa mesure pour appréhender ce phénomène (Combes et Gobillon, 2015). L'"agglomération" peut être mesurée grâce au niveau et/ou à la densité de différentes variables : la *production*, les *emplois* ou la *population*. La densité d'emplois est le plus souvent retenue puisqu'elle constitue un des indicateurs le plus proche de l'attractivité économique avec des biais d'endogénéité moins nombreux que la production (Combes et Gobillon, 2015)¹³. La taille de l'agglomération et la densité peuvent avoir des effets sur la productivité et donc être intégrées simultanément dans l'estimation.

Même si l'on considère le résultat du processus d'agglomération, il n'est pas évident de savoir ce que l'on analyse. On peut considérer tout d'abord que l'agglomération entraîne de la densité, donc de la proximité, et devient alors un facteur d'interactions. Pour autant, il s'agit de comprendre quels sont les canaux d'influence de l'agglomération sur l'innovation. Dissocier l'effet de la densité et celui des interactions à proprement parler est une étape importante. Une forte densité que l'on retrouve dans les villes permet un taux élevé de contacts entre les individus, et tout contact est une possibilité d'apprendre. Dans ce cas, c'est la densité elle-même (et ainsi la proximité) qui est recherchée et pas tant les interactions possibles résultantes de l'agglomération. La transmission d'informations tacites nécessitent en effet un échange face à face. La densité en ville permet alors d'augmenter la probabilité de ce type d'échanges (Guillain, 1999; Storper et Venables, 2004).

Les économies d'agglomération représentent les gains générés par les acteurs économiques grâce à ce type d'organisation spatiale (Rosenthal et Strange, 2004; Melo *et al.*, 2009). Selon Rosenthal et Strange (2004), l'élasticité de la productivité vis à vis de la densité est comprise entre 3% et 8% parmi un panel d'études menées principalement sur données américaines. Notre intérêt, dans cette section, est de savoir ce qu'il en est de ce résultat si l'on se focalise sur les activités d'innovation.

Les causes de l'agglomération vs innovation

13. Des précisions sur les biais d'endogénéité dans les études empiriques liant agglomération et performance économique seront largement apportées dans le Chapitre 4.

Plus précisément, Carlino *et al.* (2007)¹⁴ montrent que si la densité d'emplois est multipliée par deux, le taux de dépôt de brevets par tête augmentent de 20%. Ils mènent cette étude dans 280 aires métropolitaines aux Etats-Unis sur la période 1990-1999. Carlino et Hunt (2009) vérifient ensuite que cet effet positif de la densité d'emplois se confirme lorsque l'on pondère les brevets par le nombre de citations. Le dépôt de brevet (intensité de production d'innovation) est alors considéré comme un indice de productivité du secteur de R&D. L'étude de Sedgley et Elmslie (2011) porte sur 302 aires métropolitaines aux Etats-Unis entre 1990 et 1999. Les effets positifs de l'agglomération sur le taux de dépôt de brevet dominent ceux de congestion jusqu'à un certain niveau de densité qui correspond à la densité de New York ou de Washington.

Pour comprendre les causes d'une telle agglomération et comment le secteur de l'innovation semble en bénéficier, on peut préciser quelles forces ont été identifiées comme moteur de l'agglomération des activités en général et de la formation des villes. Marshall (1890) distinguait alors trois mécanismes à l'origine du phénomène d'agglomération : les interactions sur le marché du travail, les liens input-output entre les secteurs et les externalités des connaissances. Si Duranton et Puga (2004) reprennent les éléments que Marshall (1890) avait identifiés ; ils essaient de distinguer les fondements micro économiques des économies urbaines d'agglomération de type : *Sharing, Matching, Learning*.

Les liens entre chacun de ces trois mécanismes et l'intensité de production d'innovation doivent être précisés (Carlino et Kerr, 2015). Le mécanisme de type *sharing* dans le secteur de l'innovation peut prendre la forme d'un réseau de fournisseurs d'intrants permettant à une nouvelle idée de devenir plus facilement une véritable innovation (Helsley et Strange, 2002), ou d'un partage de services (en particulier des services financiers) spécifiques aux jeunes entreprises innovantes puisque les risques pris peuvent être très élevés dans ce secteur.

Ensuite, le mécanisme de type *matching* correspond en général à une plus grande facilité de correspondances entre l'offre et la demande de travail, ainsi qu'une meilleure qualité des appariements. Quelques pistes peuvent être suggérées pour comprendre l'impact particulier mécanisme. sur le secteur de l'innovation. Le regroupement du marché du travail peut ainsi inciter des firmes à faire du débauchage des agents essentiels (et innovants) des autres entreprises ou augmenter le salaire pour les retenir. Cherchant des compétences spécifiques, les firmes du secteur de R&D bénéficient particulièrement de ce large panel de travailleurs. Lorsque les activités sont agglomérées, les travailleurs vont avoir tendance à investir davantage en capital

14. Sauf erreur de notre part, très peu d'études estiment directement les économies d'agglomération pour l'intensité de production d'innovation (nombre de brevets ici).

humain (Rotemberg et Saloner, 2000), ce qui à terme est favorable à l'innovation. De plus si l'agglomération prend la forme d'un *cluster* spécialisé, les travailleurs qualifiés et spécialisés vont avoir tendance à changer d'emplois plus fréquemment (Fallick *et al.*, 2006); firmes et employés sont à la recherche de meilleurs appariements.

Enfin le mécanisme de *learning* ou les externalités de connaissance (classification de Marshall) favorisent l'agglomération des activités. Ce mécanisme est le plus directement lié à la production d'innovations. Parmi les trois mécanismes micro économiques donnant lieu à des économies d'agglomération (Duranton et Puga, 2004), celui de *learning* est clairement le moins précis et documenté (Malecki, 2010; Puga, 2010). Il n'existe pas de travaux théoriques modélisant le mécanisme micro économique de type *learning* à l'origine des économies d'agglomération¹⁵. Il est pour autant important et plus complexe qu'une simple accumulation de connaissances et nécessite différentes formes d'interactions.

Rosenthal et Strange (2001) mènent une étude aux États-Unis à l'échelle de la commune, du département et de l'État pour identifier l'échelle d'influence des trois mécanismes ci-dessus sur la concentration des secteurs avec les données du 4^{ème} trimestre de l'année 2000. Ils régressent ainsi l'indice de concentration spatiale de chaque secteur sur différentes caractéristiques pour identifier les trois mécanismes micro économiques à l'origine de l'agglomération (*Sharing, Matching, Learning*). Ils établissent alors que le mécanisme de *learning* affecte l'agglomération des activités à une échelle limitée (uniquement la commune) alors que les deux précédents mécanismes influencent l'agglomération à une plus grande échelle.

On a cherché à comprendre comment l'agglomération des activités favorise l'innovation, expliquant ainsi pourquoi les activités d'innovation et leur performance sont plus importantes dans les grandes métropoles. La particularité de cette activité est qu'elle bénéficie certes de l'agglomération des activités mais sa présence est elle-même une source d'agglomération. Profiter de la création de nouvelles connaissances et innovations est une des raisons qui amènent les firmes de s'installer là où de nombreuses activités sont localisées. Nous allons donc préciser l'importance de ces externalités de connaissance liées à la présence d'activités innovantes.

Les externalités de connaissance

Les externalités de connaissance semblent essentielles dans le processus d'agglomération d'activités, en particulier celles du secteur de R&D. Elles méritent donc que l'on s'attarde sur

15. A l'exception de Glaeser (1999) qui construit un modèle où les jeunes travailleurs se déplacent vers des grandes villes pour bénéficier des contacts avec des individus plus expérimentés.

les travaux expliquant leur importance et leur portée. Si la plupart des activités semblent bénéficier de la proximité aux lieux d'innovation, les firmes du secteur même de R&D ou d'innovation sont particulièrement touchées par ce mécanisme. Finalement, des travaux cités précédemment attestent de la grande concentration de ce secteur. En effet, l'agglomération des agents innovateurs en un même lieu favorise donc leur activité et ainsi la productivité des firmes et/ou activités de R&D.

Les externalités de connaissance dépendent de la nature du bien "innovation" et se révèlent être plus puissantes lorsque la source est à proximité (Autant-Bernard, 2001). Le caractère *local* des externalités de connaissance incite alors les entreprises à se localiser à proximité de sources de production de R&D, par exemple des universités.

Pour expliquer au mieux les externalités, il s'agit maintenant de comprendre comment les innovations, et les connaissances plus largement, se diffusent dans l'espace. Rappelons que si des difficultés émergeaient pour la mesure de l'innovation, la problématique est d'autant plus présente pour la diffusion et les externalités de connaissance. En effet, les flux et échanges d'information ou de connaissance porteurs d'innovations sont invisibles. À défaut de pouvoir véritablement tracer le processus de diffusion d'une innovation, certains travaux ont utilisé les citations de brevets (Jaffe *et al.*, 1993; Almeida et Kogut, 1997). Almeida et Kogut (1997) choisissent de se focaliser sur le secteur des semi conducteurs aux États-Unis et un ensemble de brevets les plus cités dans ce secteur entre 1977 et 1989. En utilisant les données de citations de brevets, ils montrent que les *start up* plus que les établissements plus grands bénéficient du transfert de connaissances à une échelle très locale.

Les innovations peuvent se diffuser du secteur de R&D, potentiellement vers les autres secteurs de production, mais l'influence sera de moins en moins importante avec la distance. Jaffe (1989) mène une étude sur le flux de connaissance entre les universités et les entreprises à l'origine d'innovations économiques aux États-Unis. Les données de brevet et celles concernant les universités sont à l'échelle de l'État sur la période 1969-1983. Jaffe (1989) et Audretsch et Feldman (1996) révèlent notamment que la distance géographique constitue une barrière à l'échange de connaissances. L'innovation ne pourra donc se diffuser que dans un périmètre réduit. Certains travaux, tels que Anselin *et al.* (1997), ont ensuite permis d'estimer à partir de quelle distance les externalités de connaissance s'amenuisaient et d'étayer le fait que ces externalités soient effectivement locales. Anselin *et al.* (1997) estiment des fonctions de production de connaissance et travaillent alors sur les liens entre les universités et les innovations de haute technologie. Ce travail repose sur des données à l'échelle de l'État et de l'aire métro-

politaine (nombre d'emplois dans les bureaux de R&D) aux États-Unis. C'est parce que ces externalités se sont révélées d'autant plus importantes pour les activités dites intensives en connaissance que celles-ci sont plus concentrées spatialement. Malgré le développement considérable des télécommunications, la proximité et les contacts face à face tiennent toujours une place essentielle dans la diffusion des connaissances. Storper et Venables (2004), entre autres, soulignent l'importance de ce type de contact dans des secteurs où les informations sont plus difficilement codifiées tels que les secteurs créatifs.

Aller au delà de la proximité géographique

Des travaux tentent de saisir les mécanismes sous-jacents liant concentration et innovation, tout en dépassant la question de distance géographique à proprement parler. L'enjeu est alors d'ouvrir la « boîte noire » des *spillovers* localisés de connaissance (Autant-Bernard *et al.*, 2007). En effet, si la proximité géographique semble déterminante, la diffusion des connaissances est très hétérogène selon la localisation ou le secteur. Il existe par ailleurs d'autres formes de proximités à différencier de la proximité géographique (Boschma, 2005), expliquant en partie la variabilité des externalités de connaissance. Elles sont identifiées comme essentielles dans le processus d'innovation, par exemple les proximités sociale, organisationnelle, institutionnelle, cognitive, relationnelle (Capello, 1999) ou la confiance (Algan et Cahuc, 2010). La question de l'importance relative de la distance géographique par rapport à une autre forme de distance entre deux partenaires potentiels (i.e. des innovateurs) demeure ouverte.

On peut citer la proximité institutionnelle ou culturelle comme facteur d'innovation qui permet de partager les mêmes règles du jeu auxquelles les acteurs font face lorsqu'ils mènent une activité d'innovation. Un système local ou régional peut organiser et faciliter le processus d'innovation grâce aux échanges d'information facilités (Asheim et Hansen, 2009; Cooke, 2011). La proximité institutionnelle est par ailleurs intégrée dans Baumont et Guillain (2013) pour évaluer l'importance des externalités de connaissance pour la croissance économique des villes européennes.

La ville peut avoir, enfin, des caractéristiques locales qui en font un lieu propice à l'innovation. C'est ainsi parce que certaines personnes (agents créatifs par exemple) y vivent qu'elle constitue un pôle d'innovation. Les villes permettent alors le développement et la commercialisation des inventions (Shearmur, 2012). Les pôles urbains accueillent les firmes les plus productives et potentiellement les plus innovantes parce que ce sont celles qui peuvent faire face à la concurrence accrue dans ces zones. Il s'agit de l'effet de sélection. Initialement identifié dans les travaux de Melitz et Ottaviano (2008), Combes *et al.* (2012) différencient l'effet

de sélection de l'effet d'agglomération, les deux ayant un impact positif sur la productivité¹⁶. Pour autant, malgré ces recherches visant à aller au delà de la proximité géographique et des *spillovers* de connaissance comme accélérateur du processus d'innovation, la proximité géographique demeure un élément central et reste fortement utilisé dans les recherches alliant croissance endogène et économie géographique. Nous utilisons donc ces externalités locales ou partiellement locales¹⁷ de connaissance dans la suite de nos travaux. De plus, même les facteurs institutionnels ou sociaux peuvent avoir une dimension spatiale et ainsi dépendre en partie de limites géographiques administratives.

Finalement, l'important est peut être moins l'origine géographique d'une innovation que le système global propice à l'innovation. Dans ce contexte, les grandes villes seraient alors considérées davantage comme des nœuds d'échange d'information ou de connaissance et appartiennent à un système interdépendant où les connections avec d'autres villes et d'autres espaces sont primordiales. Les innovations n'ont pas nécessairement été produites dans ces métropoles. Pour autant si la proximité géographique apparaît moins indispensable (nouvelle technologie, transport), la question de l'accessibilité physique des acteurs que permettent les centre urbains avec des localisations moins denses et d'autres villes demeure essentielle (Shearmur, 2012).

1.1.3 Place de la NEG dans la production d'innovation

Avec l'innovation vient d'office la création d'activité ou d'une nouvelle firme dans un modèle de croissance endogène avec innovation horizontale. Une nouvelle activité doit par ailleurs choisir sa localisation. Or le cadre d'analyse de la NEG a bien pour objectif de décrire ce phénomène d'organisation spatiale de manière endogène. L'apparition de nouvelles firmes (et de nouveaux biens) se retrouve au cœur du phénomène d'agglomération. Il convient de présenter les principales particularités de la NEG et comment l'innovation, à l'origine d'un phénomène de croissance endogène, peut être considérée dans ce cadre théorique d'économie géographique.

16. La séparation entre ces deux effets est tout de même complexe (Storper, 2010), en effet les firmes restantes sont là parce qu'elles souhaitent bénéficier des effets d'agglomération.

17. Des externalités partiellement locales représentent une situation où les connaissances d'une entreprise ou d'un secteur bénéficient essentiellement à ses voisins directs mais aussi dans une moindre mesure à ses voisins plus éloignés (Baldwin *et al.*, 2001).

1.1.3.1 Cadre théorique de la NEG

La NEG s'intéresse à l'agglomération des activités et parvient à en faire un phénomène auto-entretenu dans un cadre d'équilibre général (Krugman, 1991). Le modèle canonique ne supposant pas d'hétérogénéités spatiales a priori (différence de "première nature"), la situation d'agglomération des activités en un point du territoire représente donc une différence de "deuxième nature". Le mécanisme de base présent est le suivant : les firmes préfèrent être localisées là où le marché est le plus important pour améliorer leur profit. Or la taille du marché dépend du nombre de ménages présents dans la région et de leur revenu, ce dernier reposant finalement sur le nombre d'emplois offerts dans la région, i.e. du nombre de firmes ¹⁸.

Nous présentons dans cette section les principales caractéristiques de la NEG tant concernant les hypothèses que les principaux résultats. L'article fondateur de la NEG (Krugman, 1991), appelé le modèle *Centre-Périphérie*, s'intéresse à une économie avec deux régions parfaitement symétriques (le Nord et le Sud) dotées des mêmes préférences, technologies et degré d'ouverture au commerce. Elles présentent initialement le même nombre de travailleurs (non qualifiés et qualifiés) et deux secteurs industriel et traditionnel. Il est important de rappeler que, formellement, la NEG est à l'origine plutôt issue de la théorie du commerce international et non de la science régionale, d'où l'utilisation des termes "Nord" et "Sud" pour les deux régions qui ne sont finalement que deux points. L'article de Krugman (1991) intègre pour la première fois la mobilité des travailleurs dans ce type de contexte. Il existe deux types de travailleurs : les travailleurs non qualifiés qui ne sont pas mobiles entre les régions et employés dans le secteur traditionnel, tandis que les travailleurs qualifiés (" H ") sont mobiles entre les régions et embauchés dans le secteur industriel. Les travailleurs qualifiés choisissent la localisation leur permettant d'obtenir le salaire réel le plus élevé. Si la mobilité des ménages est au cœur du processus d'agglomération dans le modèle *Centre-Périphérie*, le comportement de migration est peu détaillé, et l'équation synthétisant les choix de migration est plutôt *ad hoc* :

$$\dot{s}_H = (\omega - \omega^*)s_H(1 - s_H) , \quad (1.1)$$

avec s_H la part des travailleurs qualifiés dans le Nord (i.e. $\frac{H}{H^{total}}$), ω le salaire réel dans le Nord (resp. ω^* dans le Sud) i.e $\omega = \frac{w}{P}$. Le taux de migration est proportionnel à l'écart des

18. Il s'agit d'un problème de l'œuf et la poule bien connu en économie spatiale, d'où les difficultés dans les travaux empiriques pour isoler le lien de causalité puisque les localisations des ménages et des firmes sont endogènes en NEG (conf partie 1.2).

rémunérations entre les deux régions ($\omega - \omega^*$) et le terme $s_H(1 - s_H)$ relève davantage d'une simplification¹⁹. Les ménages, ainsi que les autres facteurs mobiles, peuvent être considérés comme « myopes » dans leur choix de localisation, c'est-à-dire qu'ils ne considèrent que les différences de revenu.

Les biens industriels sont produits et vendus dans les deux régions qu'ils soient issus du Nord ou du Sud. La seule prise en compte de l'espace se fait sous la forme des coûts de transport de type *iceberg* (Samuelson, 1954) qui ne relèvent pas d'un secteur distinct du secteur industriel. Les coûts de transport sont représentés par τ et $\delta = \tau^{1-\sigma}$ représentant l'ouverture de marché²⁰ (avec σ l'élasticité de substitution). Ces coûts ont la particularité d'être proportionnels à la valeur des biens échangés. L'image fréquemment utilisée est alors que la partie de marchandises « tombée du camion » pendant le transport représente le « coût de transaction ». Les coûts de transport sont symétriques dans les deux régions et ne dépendent pas de l'organisation spatiale.

Les ménages

Après avoir présenté la mobilité des facteurs et des biens dans ce modèle, nous nous intéressons au comportement des ménages. Le cadre d'analyse Dixit et Stiglitz (1977) mérite que l'on s'y attarde et que l'on donne ses caractéristiques et les conséquences sur le modèle de la NEG. Les préférences des consommateurs combinent une fonction d'utilité de type Cobb Douglas avec le bien traditionnel et les biens industriels et une fonction de type “*Constant Elasticity of Substitution*” (CES)²¹ pour les différentes variétés de bien :

$$U = D^\alpha Y^{1-\alpha} \text{ avec } D = \left(\int_0^N c_i^{1-(1/\sigma)} \right)^{1/(1-1/\sigma)} ; 0 < \alpha < 1 < \sigma ,$$

avec Y consommation de bien traditionnel ou agricole, D indice de consommation de biens industriels composite, c_i consommation de la variété i , α la part des biens industriels, σ l'élasticité *constante* de substitution entre les variétés, N le nombre de variétés total²².

Cette fonction d'utilité illustre la *préférence pour la diversité des individus*. On montre que

19. Voir Baldwin *et al.* (2004, page 16) pour plus de précision.

20. Les deux paramètres évoluent donc en sens inverse puisque $\sigma > 1$, on a alors aucun coût de transaction si $\delta = 1$.

21. Les élasticités de substitution constantes correspondent à la première partie de l'article de Dixit et Stiglitz (1977).

22. N désigne une masse de variétés puisqu'il s'agit de la version continue d'une fonction d'utilité CES, cependant nous utilisons “nombre” par simplicité.

le niveau d'utilité peut être simplifié par : $V = N^{1/(\sigma-1)}(\frac{E}{p})$, avec E le niveau de dépenses dans le Nord (en supposant que toutes les variétés soient au prix p et en ayant intégré les consommations optimales) et V l'utilité indirecte. Une augmentation du nombre de variétés ($\uparrow N$) induit alors une hausse du niveau d'utilité ($\uparrow V$) avec les dépenses maintenues constantes.

Les firmes

L'ensemble des firmes, réduit à une firme représentative, du secteur traditionnel (ou agricole) produisent un bien homogène et sont en concurrence pure et parfaite. La fonction de production est donc à rendements d'échelle constants et la firme n'utilise que du travail non qualifié (le numéraire). Les biens « agricoles » sont échangeables sans aucun frais de transaction²³. Ces éléments permettent de simplifier fortement la résolution puisque le coût du facteur de production (le travail non qualifié) est égalisé entre les régions. Finalement dans chaque région, le secteur agricole produit la quantité nécessaire pour pleinement répondre à la demande locale²⁴.

Un autre élément essentiel du cadre à la Dixit-Stiglitz concerne la structure du secteur industriel et le fait que les rendements d'échelle croissants soient internes aux firmes du secteur, i.e. issus de la fonction de production. Le secteur industriel est en effet en concurrence monopolistique et le profit est nul en raison de l'hypothèse de l'entrée libre sur le marché. Le secteur industriel n'utilise qu'un input : le travail qualifié. La fonction de coût est $\omega(F + \beta x)$ avec un coût fixe F , un coût variable βx et x le niveau de production par firme. Les conditions de première ordre du programme d'une firme correspondent à :

$$p = \frac{\beta\omega}{1 - 1/\sigma} \text{ et } p^* = \tau \frac{\beta\omega}{1 - 1/\sigma} ,$$

avec p et p^* prix local et le prix à l'export d'une firme industrielle du Nord, β représente le nombre d'unités de travail qualifié nécessaires pour produire une unité de bien industriel et ω le salaire des travailleurs qualifiés.

En général, en concurrence imparfaite, le choix optimal d'une firme concernant le prix dépend du degré de concurrence. Si la part de marché est importante (concurrence faible), le *markup* sera d'autant plus élevé. La simplicité de la résolution analytique dans le cas d'une

23. Cette hypothèse biens agricoles est plutôt discutable puisque de nombreuses denrées agricoles connaissent un coût de transport au moins aussi important que les biens industriels aujourd'hui.

24. L'hypothèse nécessaire ici empêche une des régions de produire la demande totale dans l'économie, i.e. $\alpha < \frac{\sigma}{2\sigma-1}$.

concurrence monopolistique vient du *prix-markup* constant pour l'entreprise du secteur industriel. Pour obtenir ce résultat dans un cadre de concurrence imparfaite, on suppose l'existence d'un très grand nombre de firmes dans le cas discret²⁵. En supposant une infinité d'entreprises, un *markup* constant paraît cohérent, puisque quelques entreprises supplémentaires face à une "masse" d'entreprises déjà infinie ne modifie pas véritablement le degré de compétition. Dans ce cadre d'analyse, chaque variété de bien n'est produite que par une seule firme. Une firme entrant sur le marché n'a en effet aucun intérêt à produire le même bien qu'une firme i déjà en place puisque cela instaurerait un duopole (avec un prix inférieur que si elle était la seule à produire un bien). De même, chaque entreprise ne produit qu'un seul bien pour que la situation soit un équilibre.

Les principaux mécanismes

Expliciter les mécanismes permet de comprendre pourquoi les modèles avec une mobilité parfaite du capital, sans mobilité des travailleurs qualifiés, ni liens verticaux entre secteurs sont plus simples et représentent un cadre plus propice à l'étude de politiques publiques.

Trois forces principales sont en place dans ce modèle : deux de nature centripète, une de type centrifuge. La première force, effet d'*accès au marché*, représente une force qui incite les entreprises à se localiser là où les consommateurs sont les plus nombreux. La deuxième force d'agglomération correspond à un effet *coût de la vie*. Les consommateurs préfèrent s'installer dans la région avec le plus grand nombre de producteurs pour éviter de payer les frais de transaction sur les biens importés de l'autre région. La troisième force a tendance à disperser les activités économiques en raison d'une concurrence accrue entre les entreprises lorsqu'elles sont nombreuses dans la région. Le niveau des ventes par firme diminue, toutes choses égales par ailleurs, entraînant une baisse du profit. Pour compenser cette baisse, les entreprises vont moins payer leurs travailleurs²⁶, ce qui incitent finalement les travailleurs qualifiés à ne pas s'installer dans cette région.

Si les deux premières sont plus fortes que la force de dispersion, les activités s'agglomèrent, s'instaure alors un phénomène de concentration auto entretenu.

Le schéma ci-dessus (voir Figure 1.1) représente le phénomène de causalité cumulative présent dans le modèle de Krugman (1991)²⁷. Dans le cas du modèle Centre Périphérie, le revenu du

25. Hypothèse qu'il n'est pas nécessaire de faire dans le cas continu puisqu'il existe de fait une infinité de firme dans ce cas-là.

26. Le modèle de NEG fait l'hypothèse que le chômage n'existe pas, donc les travailleurs sont contraints d'accepter le salaire proposé.

27. Dans Venables (1996) il existe le même phénomène mais avec des liens verticaux entre les secteurs.

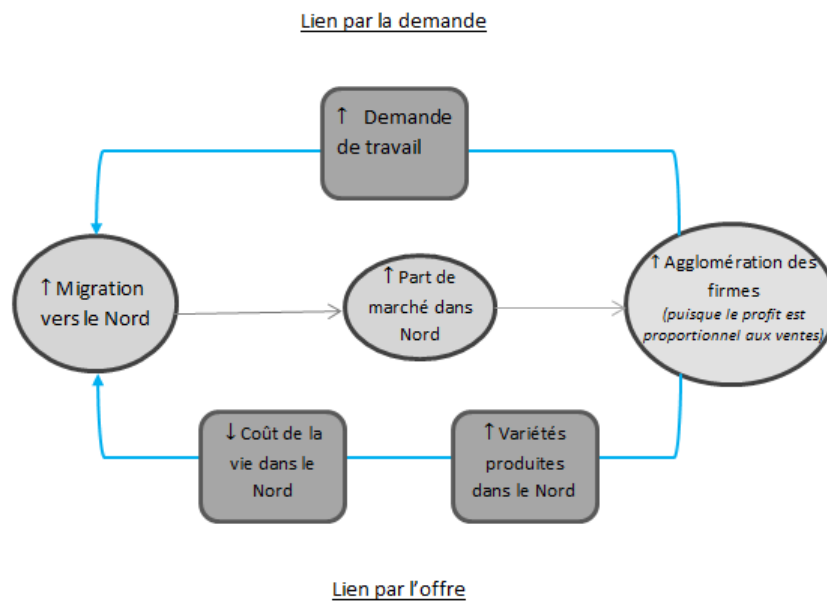


Figure 1.1 – Causalité cumulative dans les modèles de la NEG

facteur mobile (i.e. le travail qualifié) est dépensé localement. Donc lorsqu'il y a migration de travailleurs qualifiés, on assiste à un déplacement de la demande qui induit une hausse des gains dans le secteur industriel donc une augmentation de la production. Ce mécanisme est appelé *lien par la demande*. Une hausse de la production implique dans le même temps une hausse des dépenses puisque les ménages vont privilégier une région avec le plus grand nombre de producteurs afin d'économiser les frais de transaction et de bénéficier d'un coût de la vie plus faible, il y a donc migration des travailleurs qualifiés. On appelle ce mécanisme *lien par l'offre*. La terminologie *backward linkage* (lien par la demande) et *forward linkage* (lien par l'offre) est aussi souvent utilisée et est initialement mobilisée dans une perspective input-output entre les entreprises (Hirschman, 1958). Les forces d'agglomération génèrent un phénomène auto entretenu, et peuvent alors provoquer une situation d'agglomération dite « catastrophique ». Cette situation est nommée ainsi car, passé un certain seuil, les activités s'agglomèrent d'un seul coup et seule l'agglomération totale des activités est un équilibre *stable* dans ce modèle. Lorsque la libéralisation des échanges est favorisée (baisse des coûts de transaction), les forces de dispersion s'affaiblissent plus rapidement que les forces d'agglomération ; la polarisation des activités est endogène au modèle de la NEG.

Le modèle *Centre Périphérie* ne peut être résolu analytiquement, puisque l'équation permettant de déterminer le salaire des travailleurs qualifiés ne donne pas un nombre fini de solutions. Les simulations peuvent être mises en place pour permettre de dégager des intui-

tions et résultats, pour autant la multiplicité d'équilibres ne facilite pas les interprétations, même si cela peut représenter une richesse de la diversité de situations possibles (Baldwin *et al.*, 2004).

L'équilibre spatial considère que la localisation est endogène et correspond à l'équilibre de long terme. Deux types d'équilibre existent dans les modèles de la NEG avec mobilité des travailleurs qualifiés. Il y a un équilibre de type *Centre-Périphérie* avec s_H égale à 0 ou 1. L'autre type d'équilibre correspond à l'agglomération partielle des travailleurs qualifiés où la condition d'équilibre est $\omega = \omega^*$ (cf. l'équation (1.1), page 23), pour obtenir une situation où les travailleurs n'ont aucune incitation à migrer.

L'ensemble des salaires ω à l'équilibre ne peut être déterminé analytiquement. Si on suppose que $s_H = \frac{1}{2}$, on obtient effectivement que $\omega = \omega^*$ donc la situation telle que $s_H = \frac{1}{2}$ est un équilibre de localisation. D'après l'équation (1.1), on obtient que $\dot{s}_H = 0$ si s_H égale à 0 ou 1. Les deux situations *Centre-Périphérie* sont donc des équilibres. Il est ensuite possible de simuler différents ensembles de résultats selon plusieurs niveaux de coûts de transport (ou de manière équivalente pour plusieurs niveaux de degré d'ouverture δ). Parmi l'ensemble des équilibres trouvés, il est ensuite nécessaire de déterminer la stabilité de chacun d'entre eux. L'équilibre *symétrique* est stable pour les degrés d'ouverture de marché faible et intermédiaire mais ne l'est plus pour un fort degré d'ouverture. L'équilibre *Centre-Périphérie* n'est pas stable pour un faible degré d'ouverture et le devient pour des degrés intermédiaires ou élevés d'ouverture du commerce.

Par ailleurs l'analyse de la mondialisation, i.e. la diminution des coûts de transport, est systématiquement faite dans les premiers modèles de la NEG. Le paramètre du degré d'ouverture commerciale (δ) détient effectivement un rôle de pivot pour les équilibres et leur stabilité. Ainsi lorsqu'il y a libéralisation des échanges, la force centrifuge s'affaiblit plus fortement que les forces centripètes, donc l'agglomération des activités s'intensifie. Il va être en effet plus intéressant pour les firmes industrielles de se localiser dans la région *Centre* pour bénéficier des rendements d'échelle tout en exportant plus facilement vers la région périphérique puisque la demande extérieure est moins diminuée par les nouveaux coûts de transport.

1.1.3.2 Compatibilité entre NEG et Croissance endogène

La NEG avec le modèle Krugman (1991) a pour premier objectif d'expliquer par des *mécanismes économiques* l'agglomération des activités et met en avant les *économies d'agglomération* dans un cadre d'équilibre général. Une des principales nouveautés de cette théorie

se trouve alors dans la modélisation du phénomène endogène d'agglomération dans un cadre d'analyse à la Dixit-Stiglitz. Cela a permis entre autres de créer des ponts avec les théories du commerce international et celles de croissance endogène. Il s'agit ici de comprendre pourquoi il a alors été relativement facile d'intégrer la croissance endogène dans un modèle de la NEG. Baumont et Huriot (1999) présentent comment les deux approches (croissance endogène et NEG) sont liées de part leur rupture avec les modèles néoclassiques précédents. Ils donnent ainsi les éléments principaux suivant : un objectif d'*endogénéiser* un phénomène supposé donné précédemment, un cadre théorique commun (rendements croissants et concurrence monopolistique) et les processus étudiés se ressemblent. Nous exposons les détails pour chacun de ces points :

- La question posée dans les modèles de la NEG quant au comportement de la firme n'est pas éloignée de celle analysée dans les théories de la croissance endogène. Si les premiers s'interrogent sur les choix de localisation des activités économiques, les secondes s'interrogent sur l'apparition de nouvelles activités/firmes grâce à l'innovation. Les deux approches choisissent d'endogénéiser le phénomène d'intérêt. Il apparaît donc a priori pertinent de tenter de répondre de manière synthétique et concomitante à ces deux types de question.
- La structure du secteur industriel, présentée dans la section précédente, est similaire dans la NEG et dans une partie des modèles de la croissance endogène. Chaque variété est produite par une unique firme. La présence de rendements d'échelle croissants internes à la firme (i.e. avec la fonction de production) s'avère être aussi un élément qui permet d'associer choix de localisation et croissance dans un même modèle. Associés aux coûts de transport, ils constituent les externalités pécuniaires (qui transitent pas le marché) à l'origine du phénomène d'agglomération auto-entretenu. Des rendements d'échelle croissants externes (i.e. avec les *spillovers* de connaissance), dont la distinction est initialement faite par Marshall (1890), présents dans les modèles de la croissance endogène, vont être facilement ajoutés pour la construction de la NEGG. Les externalités de connaissance sont intégrées ici avec une dimension spatiale. En effet, les modèles de la NEGG tiennent compte du fait que les externalités de connaissance sont localisées.
- Les modèles de la NEG prennent en compte les forces de dispersion principalement issues du secteur traditionnel immobile et à rendements constants. Il en va de même dans les modèles de croissance endogène qui intègrent un secteur à rendements constants pour

ne pas obtenir une croissance explosive.

Une des différences majeures, entre les modèles de croissance endogène de type Romer (1990) ou Grossman et Helpman (1991) et l'article fondateur de la NEG de Krugman (1991), est l'absence de capital dans le second sans lequel il n'est en effet pas réellement adapté pour intégrer la croissance. Baldwin *et al.* (2004) expliquent ainsi qu'il est nécessaire qu'un type de capital existe (capital humain, capital physique, capital de connaissances) afin d'intégrer la croissance dans un modèle de NEG. Martin et Rogers (1995) intègrent un facteur de production de type *capital* parfaitement mobile entre les régions mais le stock de capital demeure exogène. Pour qu'un phénomène de croissance soit présent dans le modèle, une des possibilités est d'ajouter un nouveau secteur. Il est dédié, dans la plupart des cas, à la production de R&D (création de capital immatériel ou physique). Puisque le stock de capital est désormais endogène, il est nécessaire de déterminer un processus de création, par exemple de le taux de croissance des variétés de bien. Dans ce contexte, une unité de capital représente une firme.

Parallèlement, la place de l'innovation parmi les causes des économies d'agglomération peut s'avérer déterminante (Storper, 2010) et justifie entre autres la démarche visant à intégrer l'innovation dans un modèle de la NEG. Si on considère qu'une innovation représente la création de nouvelles activités et de développement économique, elle renforce les mécanismes de *sharing*, *matching* et *learning*. En effet une innovation (nous pouvons citer l'exemple de la Silicon Valley) peut être le début d'un engrenage dans lequel les trois mécanismes cités incitent et renforcent effectivement l'agglomération des activités. Une innovation peut émerger d'un endroit où les effets d'agglomération ne sont pas actifs, et créer une nouvelle dynamique. La NEGG constitue donc une des manières de formaliser la place de l'innovation dans le développement économique et spatial. Elle permet ainsi d'intégrer un aspect véritablement dynamique au modèle de la NEG.

Antérieurement aux premiers modèles de NEGG, le travail de Kubo (1995) constitue une avancée en alliant croissance régionale et théorie du commerce international. Il adapte un article de Krugman (1981) et explique différentes situations de développement pour deux régions voisines. Les facteurs de production sont immobiles. La croissance provient d'une accumulation du capital, mais il n'y pas ici de croissance endogène, et donc pas de secteur de production consacré à la recherche ou à la création de nouvelles activités. Cependant, en introduisant des externalités régionales (représentant une force de « dispersion » des activités),

des économies d'échelle (constituant une force de « concentration »), et selon leur relative importance dans chaque région, différentes situations en termes d'organisation spatiale sont alors possibles. Dans ce cadre d'analyse, le modèle génère une situation, impossible dans Krugman (1981), où les deux régions peuvent être partiellement industrialisées. Malgré la présence de forces centripètes et centrifuges, il n'est pas question ici de choix de localisation, d'agglomération ou de dispersion des activités économiques puisque ni le travail ni le capital ne sont mobiles.

De plus, des conclusions sur la croissance ont, en partie à tort, été portées grâce au simple cadre théorique de la NEG dans lequel l'agglomération favorise la productivité. Pourtant ce cadre théorique ne contient pas un réel processus de croissance nationale. On peut alors manquer quelques étapes et confondre cet impact sur la productivité avec un réel phénomène de croissance (Gardiner *et al.*, 2011)²⁸.

Pour conclure, même si la localisation de l'innovation et la pertinence de l'exercice sont complexes, les innovations ne sont clairement pas réparties uniformément sur le territoire et apparaissent fortement liées aux villes. Puisqu'il est désormais possible d'associer croissance endogène et agglomération dans un même cadre d'analyse d'équilibre général, d'intéressants mécanismes et nouvelles questions pourront être analysés dans ce modèle.

28. Ce passage entre productivité et croissance est parfois fait rapidement dans les travaux empiriques (cf. section 3, page 44).

1.2 L'agglomération favorise la croissance et *vice et versa* ?

Dans cette section les principaux mécanismes et résultats de la NEGG sont présentés. Comme l'intégration de la mobilité du travail dans un modèle de Nouveau Commerce International, l'intégration de la croissance, et plus particulièrement les externalités de connaissance localisées, peuvent constituer un nouveau facteur d'agglomération. Les travaux de Baumont et Huriot (1999) et Baldwin et Martin (2004) résument les apports de cette nouvelle catégorie de modèles de la NEG. Nous y ajoutons les recherches plus récentes et une perspective en termes de politiques publiques.

Les mécanismes liant croissance et organisation spatiale du territoire sont en question dans cette section, et notamment les liens de *causalité* entre les deux phénomènes. L'agglomération est ainsi souvent considérée comme « *la contrepartie spatiale de la croissance économique* » (Baumont et Huriot, 1999), il s'agit de comprendre ce qu'il en est dans ce cadre d'équilibre général de la NEGG. La présentation des différents modèles est l'occasion de préciser pour chacun les principaux résultats concernant les politiques publiques et les précautions nécessaires pour les interpréter.

1.2.1 Fondements

L'ensemble des modèles présentés ci-dessous partagent une structure commune, à commencer par la fonction d'utilité des consommateurs de type CES et un secteur industriel en concurrence monopolistique. Le secteur industriel produit, dans les deux régions, N variétés de bien. Chaque firme produit une variété et a besoin d'une unité de capital (ou d'une unité de travail qualifié) pour débiter la production et d'une quantité de travail proportionnelle au niveau de production. L'élément central qui les différencie d'un modèle de la NEG est la présence d'un secteur permettant de créer de nouvelles variétés de bien/activités. Le stock de travail non qualifié par région est fixe et immobile géographiquement mais mobile entre secteurs. Dans certains cas, il existe un autre type de travail qualifié et mobile dont le stock est fixe, qui constituera une force d'agglomération.

Intégrer l'innovation dans un modèle de la NEG permet de comprendre l'impact de l'agglomération sur le taux d'innovation dans l'économie. Précédemment peu mobilisé dans la NEG, le taux d'innovation peut à son tour modifier la répartition spatiale du bien être.

Le nombre de firmes et le stock de capital n'étant donc plus constants, on cherche à déterminer conjointement le taux de croissance du nombre de firmes et leur lieu d'implantation à

l'équilibre. Les mécanismes majeurs sont liés à la présence de deux types d'externalités. Ce cadre d'analyse associe en effet les *externalités pécuniaires*, issues de la fonction de production et des coûts de transport, et les *externalités de connaissance* (localisées ou non) dans le secteur de R&D plutôt sollicitées dans les modèles de croissance endogène avec innovation. Les deux principaux types d'externalités de connaissance mobilisés dans un modèle de la NEGG sont : les externalités de type Marshall-Arrow-Romer (MAR) captant les interactions entre les firmes d'un même secteur (ici le secteur de R&D) et les externalités de type Jacobs (1969) captant davantage les interactions possibles entre différents secteurs (industrie et R&D). Les économies d'échelle sont considérées comme internes à la firme lorsqu'elles relèvent de la fonction de production et externe à la firme lorsqu'elles sont dues aux coûts de transport ou aux externalités de connaissance.

Le capital de connaissances peut être assimilé au nombre de firmes industrielles actives sur le territoire (par exemple, Martin et Ottaviano, 1999, 2001) ou à celui des travailleurs qualifiés présents dans la région (Fujita et Thisse, 2003). Ces externalités issues de la présence de firmes industrielles ou de celle de travailleurs qualifiés dans une région peuvent être globales (i.e. bénéficient à l'ensemble des entreprises quel que soit leur localisation), locales (i.e. profitent aux entreprises de la même région) ou partiellement locales (i.e. bénéficient à l'ensemble des entreprises mais davantage à celles situées dans la même région)²⁹. La présence d'externalités localisées revient finalement à considérer qu'il existe des « freins au transport des idées » entre les deux régions.

Le schéma ci-dessous (voir figure 1.2) présente l'économie dans la région Nord, mais à l'origine ces trois secteurs existent également dans le Sud. Comme le présente le schéma, la mobilité des facteurs de production est un élément déterminant pour présenter et différencier les variations au sein des modèles de la NEGG. Le facteur de production mobile peut être associé aux travailleurs qualifiés ou au capital, et ainsi aux firmes industrielles. L'équilibre de localisation portera donc sur l'un ou l'autre.

L'équilibre dans ces modèles correspondent à la détermination du taux de croissance et de l'équilibre de localisation. Le taux de croissance de l'économie correspond à celui du nombre total de variétés N . Si les externalités de connaissance sont globales et qu'il n'y a pas de taxes différenciées, le taux de croissance à l'équilibre peut être déterminé indépendamment

29. Les externalités de connaissance partiellement localisées ont été modélisées initialement par Baldwin *et al.* (2001) dans le cadre d'un modèle de la NEGG.

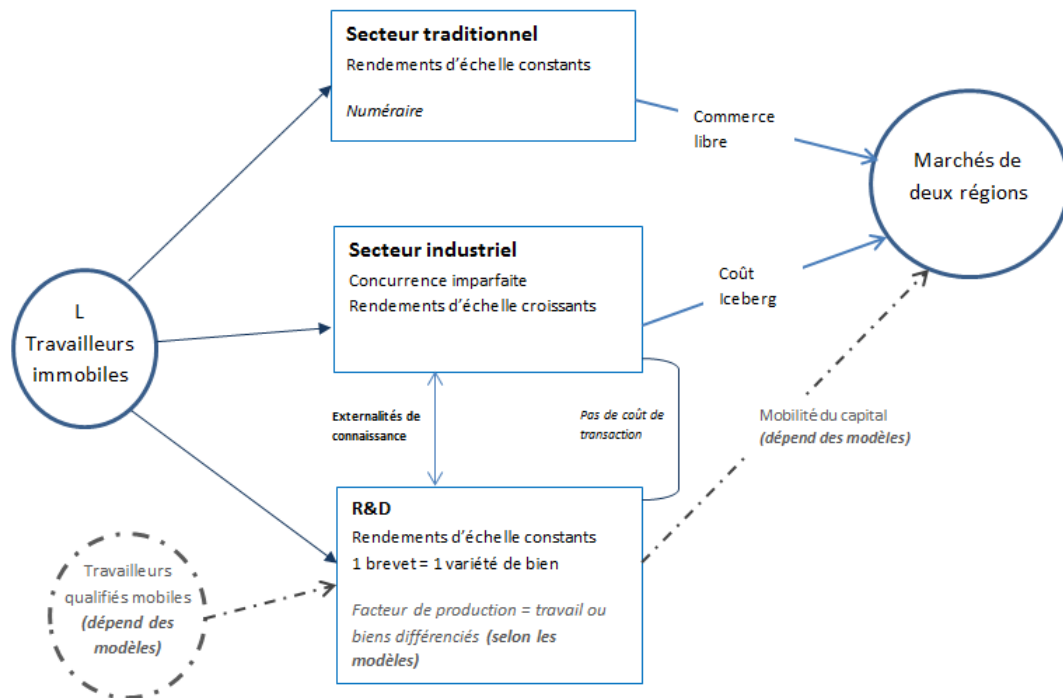


Figure 1.2 – Schéma de la structure des modèles de la NEG

de l'équilibre spatial. Même si le taux de croissance du nombre de variétés ou du capital de connaissance diffère selon les régions, celui des revenus réels est toujours le même quel que soit la région (Cerina et Mureddu, 2014).

Le résultat principal des modèles de NEG est le suivant : grâce aux externalités de connaissance localisées et à la structure du secteur industriel, la concentration des firmes industrielles (ou des travailleurs qualifiés) dans une région permet d'augmenter la productivité du travail dans le secteur de R&D, de créer ainsi une incitation à innover et de favoriser la croissance de l'économie. L'effet inverse de la croissance sur l'organisation spatiale a aussi été identifié dans certains modèles. Par exemple, dans Martin et Ottaviano (2001) la croissance est synonyme d'un développement du secteur de R&D. Or l'évolution de ce secteur représente une augmentation de marché pour les firmes industrielles. Elles vont donc avoir tendance à se déplacer là où la demande est la plus forte, créant ainsi un phénomène d'agglomération.

Vif intérêt des pouvoirs publics

Un autre point fondamental des modèles de la NEG se situe dans les préconisations en termes de politiques publiques.

La NEG a de toute façon été très sollicitée par les décideurs politiques en raison de l'importance

de l'objectif de croissance affiché (l'agglomération favorise la croissance) et les préoccupations pour les régions industrielles en déclin ou rurales en difficulté à la fin du XX^{ème} siècle. Concernant les résultats et les éclairages nouveaux, les modèles de la NEG et de la NEGG discutent en effet la pertinence de la politique régionale visant à répartir les activités de production. Il s'agit d'un sujet sensible si l'on considère l'exemple des politiques européennes ciblant les régions "périphériques". Une des orientations des politiques régionales a été d'investir dans des infrastructures pour les régions périphériques (par exemple le transport intra-régional). La NEGG a entre autres permis de dépasser l'arbitrage entre soutien aux régions périphériques (et en désindustrialisation) et la croissance globale. Les écarts de revenu entre régions peuvent alors se réduire en dépit d'une plus forte agglomération des activités dans la région Nord³⁰. Les modèles de la NEGG amènent ainsi à relativiser l'idée selon laquelle une région périphérique est toujours perdante d'une intensification de l'agglomération des activités économiques. Ils discutent ainsi les politiques investissant massivement dans les régions périphériques et dans leurs infrastructures. Ces modèles vont alors davantage préconiser des politiques favorisant les externalités de connaissance, telles que des infrastructures de communication, puisqu'elles permettent de répondre aux objectifs de croissance et génèrent moins d'inégalités territoriales (voir par exemple Riou, 2003).

Le résultat, selon lequel l'agglomération est nécessairement positive à la croissance, a eu un impact important concernant les politiques publiques (Storper, 2010). Nous pouvons ainsi citer les rapports d'économistes à destination des décideurs politiques : Madiès et Prager (2008) et plus récemment la note de Askenazy et Martin (2015) pour le Conseil d'Analyse Économique.

Un autre type de politique est systématiquement traité dans le cadre de la NEGG est la libéralisation des échanges, i.e. la baisse des coûts de transport de type *iceberg* sans qu'une réelle politique publique soit analysée (avec des prélèvements et une dépense publique orientée). Les modèles notent que cela va en effet avoir un impact sur l'organisation spatiale mais aussi sur la croissance. L'effet de la libéralisation des échanges avait déjà été analysé en commerce international mais pas encore via la répartition des activités économiques.

Il est possible de séparer en deux catégories les modèles de la NEGG présentés dans la figure 1.2 : ceux intégrant une causalité cumulative (Myrdal et Sitohang, 1957) (voir tableaux 1.2 et 1.3) et ceux sans ces mécanismes cumulatifs plus maniables (voir tableau 1.4).

30. Les conditions pour obtenir une telle conclusion sont explicitées dans les deux sections suivantes selon les hypothèses retenues dans le modèle de la NEGG.

Si les premiers génèrent une plus grande diversité de mécanismes économiques, les seconds se révèlent être un meilleur cadre pour introduire des politiques publiques.

1.2.2 Modèles de la NEGG avec causalité cumulative

Ce type de modèles reprend les mécanismes présents dans Krugman (1991) pour un phénomène auto entretenu d'agglomération. Les mécanismes concernés sont ceux de *backward linkage* et/ou *forward linkage* qui provoquent potentiellement l'agglomération dite « catastrophique » des activités économiques. Le phénomène de causalité cumulative peut prendre plusieurs formes : un phénomène d'agglomération auto entretenu ou les deux phénomènes de croissance et d'agglomération qui s'auto-entretiennent. Dans le cas d'un modèle de NEGG de type Martin et Ottaviano (2001), les liens par la demande et par l'offre sont à considérer entre deux phénomènes : agglomération et croissance. Un modèle de NEGG de type Fujita et Thisse (2003) conserve simplement le lien par la demande présent dans un modèle de Centre Périphérie.

La richesse et la complexité de certains mécanismes ne permettent pas de résoudre entièrement de manière analytique ce type de modèle. Si la question de la stabilité des équilibres dans ce cas est cruciale, des simulations permettent d'établir de solides intuitions quant aux résultats. Selon les hypothèses sur la mobilité des facteurs de production, les mécanismes entre agglomération et croissance endogène diffèrent. Deux possibilités sont présentées pour obtenir le phénomène de causalité cumulative (ou circulaire) : liens verticaux entre les secteurs ou mobilité des travailleurs qualifiés entre les régions. Dans les deux cas, l'agglomération des activités favorise la croissance. Lorsqu'il existe des liens verticaux entre les secteurs, une hausse de la croissance peut entraîner une intensification de l'agglomération des activités dans la région Nord (Martin et Ottaviano, 2001). Dans les deux situations, tout le secteur de R&D est localisé dans la région Nord en présence d'externalités de connaissance partiellement localisées et d'externalités pécuniaires. Dans les deux types de modèles cités dans cette partie (Martin et Ottaviano, 2001; Fujita et Thisse, 2003), les externalités de connaissance localisées permettent aux entreprises du secteur de R&D de bénéficier de la présence d'autres firmes du secteur, i.e. du stock de connaissances disponible dans la région.

Nous choisissons de présenter les modèles de Fujita et Thisse (2003) et de Martin et Ottaviano (2001) parmi d'autres modèles de NEGG avec causalité cumulatives tels que Baldwin (1999) et Baldwin et Martin (2004). Fujita et Thisse (2003) et Martin et Ottaviano (2001) constituent de bon exemple de modèles de NEGG et sont représentatifs de l'utilisation de la

mobilité des travailleurs qualifiés ou de liens verticaux à l'origine de phénomène de causalité cumulative³¹. Les modèles retenus et équations sont synthétisés dans les tableaux 1.2 et 1.3 ci-dessous³².

Avec des travailleurs qualifiés

Plusieurs modèles intègrent la mobilité des travailleurs qualifiés dans le cadre de la NEGG (Walz, 1996; Baldwin, 2000; Fujita et Thisse, 2003) et comportent le mécanisme de causalité cumulative de Krugman (1991), dans lequel les travailleurs qualifiés sont employés dans le secteur industriel en concurrence monopolistique. Contrairement à Walz (1996), Fujita et Thisse (2003) proposent un coût de migration non nul évitant le phénomène de migrations répétitives et nombreuses (de type *bang bang*). Dans Fujita et Thisse (2003), tous les travailleurs ont la même fonction d'utilité. Les travailleurs qualifiés sont mobiles et sont employés dans le secteur de R&D uniquement. Ils sont tous dotés d'une unité de travail et le nombre de travailleurs qualifiés est constant dans l'économie. Leur choix de localisation dépend de leur « croyance » sur les conditions de vie dans la région. Les travailleurs qualifiés choisissent de résider dans la région Nord ou la région Sud (cf. équation (1.2), page 38). Le salaire d'un travailleur qualifié au cours de sa vie passant de la région Sud à la région Nord est alors résumé dans l'équation (1.2).

Les *spillovers* de connaissance sont dans ce cas plutôt de type *MAR* puisque c'est la présence d'autres travailleurs qualifiés, employés uniquement dans le secteur de R&D, qui favorise l'activité de ce secteur. Dans l'équation (1.3), le niveau de capital humain dans la région r dépend ainsi du niveau de connaissances individuel et de l'intensité (η) des *spillovers* entre les deux régions. Le taux de croissance de l'économie dépend alors de l'organisation spatiale du secteur de R&D. Le mécanisme de causalité cumulative est amplifié par la présence de ce nouveau secteur.

Finalement dans ce modèle le taux de croissance dépend uniquement de la distribution des travailleurs qualifiés, et ne dépend pas par exemple de la taille de la population. Il y a agglomération totale des activités industrielles lorsque l'ouverture de marché est importante puisque les firmes industrielles choisissent la région où l'activité de R&D est la plus forte. En

31. Dans le cas de Baldwin (1999) le capital est immobile ou plus exactement parfaitement lié aux détenteurs de ce capital humain, i.e. les travailleurs qualifiés, on a de fait toujours $s_K = s_n$ avec s_K la part de capital "possédé" dans le Nord et s_n la part de capital actif dans le Nord. De plus, le profit réalisé n'est plus nécessairement égalisé dans les deux régions (ce qui permettait de déterminer l'équilibre spatial dans un modèle avec mobilité du capital (FC pour *Footlose Capital*)).

32. Seules quelques équations sont représentées. De nombreuses caractéristiques sont communes au modèle de la NEG présentées dans la section précédente. De plus, un modèle de NEGG est développé dans le Chapitre 3, les mécanismes y sont plus approfondis.

revanche lorsque les coûts de transport sont élevés, l'agglomération du secteur industriel n'est que partiel.

Quant au secteur de R&D, quel que soit le degré d'ouverture, il a toujours intérêt à être aggloméré dans la région Nord. Finalement, lorsque les coûts de transport sont suffisamment bas, ces deux secteurs sont agglomérés dans la région Nord. Le Sud devient une région spécialisée dans le secteur traditionnel.

On note $r \in \{\text{Nord}, \text{Sud}\}$

- Tous les travailleurs : fonction d'utilité CES
- Travailleurs **qualifiés**, valeur actualisée des revenus du travail :

$$W(0; t) = \int_0^t e^{-\rho s} \omega_{Sud}(s) ds + \int_t^\infty e^{-\rho s} \omega_{Nord}(s) ds, \quad (1.2)$$

avec ω_r salaire obtenu quand le travailleur réside dans la région r à la date s et ρ préférence pour le présent.

- Secteur **industriel** :

coût fixe = un brevet + coût variable = travail non qualifié

- Secteur **R&D** avec externalités partiellement localisées :

$$K_r = \left[\int_0^{\lambda_r} h(j)^\beta dj + \eta \int_0^{1-\lambda_r} h(j)^\beta dj \right]^{1/\beta}, \quad (1.3)$$

avec η mesure de la portée des *spillovers* entre les deux régions,

λ_r part des travailleurs qualifiés dans la région r ,

β paramètre de la fonction de production d'innovation,

$h(j)$ niveau de connaissance par individu j .

Tableau 1.2 – Modèle avec mobilité du travail qualifié : Fujita et Thisse (2003)

Avec des liens verticaux

Le second modèle Martin et Ottaviano (2001) présenté dans la tableau 1.3 se focalise davantage sur les liens verticaux entre les secteurs, le secteur d'innovation utilisant directement dans son processus de production des biens industriels. Le mécanisme de causalité cumulative s'apparente donc à celui de Martin et Rogers (1995). Outre la causalité circulaire qui conduisait à un phénomène l'agglomération auto entretenu (Krugman, 1991), Martin et Ottaviano (2001) introduisent une causalité circulaire entre croissance et agglomération. L'aggloméra-

tion favorise la croissance pour deux raisons dans ce modèle. La première raison est qu'en présence d'externalités de connaissance localisées, les firmes du secteur de R&D, bénéficiant de la présence d'entreprises industrielles, sont donc incitées à innover. La seconde raison est que les biens industriels étant des intrants pour le secteur de R&D (cf. équation (1.4)), le coût de production d'une innovation diminue si les entreprises industrielles sont nombreuses dans la région puisque les coûts de transaction sont minimisés. Ce mécanisme baisse le coût de production dans le secteur de R&D, donc favorise la croissance. Le taux de croissance correspond aussi à celui du stock de capital K possédé dans la région Nord, et potentiellement différent du stock actif dans la région. Dans l'équation (1.5), les deux types de canaux sont visibles favorisant la baisse du coût de l'innovation. Le nombre de biens produits s_n dans la région Nord et le paramètre μ représentent respectivement : le lien vertical de production et les *spillovers* de connaissance. On note enfin que le coût d'innovation est une fonction décroissante des coûts de transport.

Dans le même temps, la croissance favorise l'agglomération des activités industrielles. En créant une nouvelle incitation à innover et développant l'activité du secteur de R&D, les entreprises industrielles vont avoir intérêt à se localiser à proximité de ce "nouveau" marché. Ce renforcement mutuel entre croissance et agglomération des activités grâce aux externalités pécuniaires, et éventuellement renforcées par les externalités de connaissance, constitue l'originalité et l'intérêt de ce travail.

◦ Coût d'innovation dans le secteur de R&D :

$$F = \omega p [nz_{Nord} + \tau n^* z_{Sud}], \quad (1.4)$$

avec z_{Nord} la demande de bien industriel produit dans la région Nord, τ les coûts de transport et n (resp. n^*) le nombre de firmes installées dans le Nord (resp. Sud).

◦ A l'équilibre :

$$F = p\eta N^\mu N^{1/(1-\sigma)} [s_n + \delta(1 - s_n)]^{1/(1-\sigma)}, \quad (1.5)$$

avec p markup, η productivité du travail du secteur de R&D, s_n la part de variétés produites dans la région Nord (organisation spatiale), δ l'ouverture commerciale.

Tableau 1.3 – Modèle avec liens verticaux entre les secteurs : Martin et Ottaviano (2001)

Un point sur les préconisations en termes de politiques publiques

Le travail de Fujita et Thisse (2003) nuance le résultat selon lequel tout en favorisant l'agglomération, la croissance, le bien être dans la région périphérique et celui de toute l'économie seraient nécessairement améliorés. Notamment si l'effet de croissance n'est pas assez fort pour contrer l'absence d'effet de l'agglomération sur le bien être dans la région périphérique, il est possible que l'arbitrage entre croissance et disparités régionales demeure. Il existe pour autant des situations telles que agglomération, croissance et bien être dans les deux régions ne sont pas contradictoires. Ces résultats dépendent entre autres du critère choisi pour considérer le bien être dans l'économie et dépend donc des considérations en termes de justice sociale. Plus précisément, les écarts entre les travailleurs non qualifiés vivant dans la région Nord et ceux vivant dans la région Sud s'aggravent. Bien que les travailleurs de la région Sud bénéficient de l'augmentation de la croissance, leur niveau de bien être augmente moins que celui des travailleurs de la région Nord.

Les préconisations issues de Martin et Ottaviano (2001) sont, quant à elles, limitées dans le cas des externalités locales puisque les équilibres sont multiples. Ils analysent, en statique comparative, l'effet d'une baisse des coûts de transaction sur les variables d'intérêt du modèle. Le premier effet d'une baisse des coûts de transport incite les entreprises à se localiser là où le marché est le plus important. Contrairement à Krugman (1991), il existe un secteur d'innovation fortement représenté dans la région Nord. Ce dernier constitue un marché supplémentaire pour les firmes industrielles situées dans le Nord. Le deuxième effet d'une baisse des coûts de transaction modifie le poids relatif de la demande venant du secteur d'innovation. Plus précisément, une diminution des coûts de transport implique un coût d'innovation plus faible et donc une perte de valeur par brevet. Les propriétaires de brevets sont donc négativement affectés. Les revenus des consommateurs diminuent, étant en partie issus des revenus du capital. C'est pour cette raison que le poids du secteur de l'innovation augmente dans le niveau de dépenses totales par région. Le troisième effet correspond à la réduction de la demande de biens industriels produits dans la région Nord émanant du secteur d'innovation due à l'ouverture du marché. En effet, moins de biens produits dans la région Sud, et achetés dans la région Nord, sont perdus lors de la transaction (spécificité des coûts *iceberg*). La demande de biens issue de la région Nord est donc en baisse. Les deux premiers effets jouent un rôle positif sur l'agglomération et sur la croissance, alors que le second est favorable à la dispersion, même si a priori ce dernier effet est faible (Martin et Ottaviano, 2001). Puisque de nouvelles firmes apparaissent toujours dans la région Nord dans laquelle sont déjà agglomérées toutes

les activités d'innovation et une grande partie des activités industrielles, certaines firmes vont choisir de se localiser dans la région Sud pour bénéficier d'une concurrence plus faible.

1.2.3 Modèles de la NEGG sans causalité cumulative

Un des principaux problèmes des modèles de la NEG (de type Krugman, 1991) est leur difficulté de résolution analytique. Ainsi Martin et Rogers (1995), en introduisant le capital mobile entre les régions, permet de simplifier les mécanismes en place. Dans cette catégorie de modèles, les firmes font leur choix de localisation en fonction du profit fait dans chaque région. Si le capital est mobile, les propriétaires du capital ne le sont pas, il n'y a donc pas nécessairement égalité entre la part de capital employé (s_n) et la part de capital possédé (s_K) dans la région Nord. La mobilité du capital constitue finalement une force de stabilisation dans ce type de modèle (Baldwin et Martin, 2004). Dans cette catégorie de modèles, nous pouvons citer Martin et Ottaviano (1999), Minniti et Parello (2011), Montmartin (2012) ou Cerina et Mureddu (2014) (cf. tableau 1.4, page 42). Ces derniers permettent une aisance de manipulation, mais ne développent pas l'ensemble des mécanismes présents dans un modèle *Centre Périphérie* (Baldwin *et al.*, 2004).

Intéressons nous aux principales caractéristiques des modèles de la NEGG sans causalité cumulative. Tout d'abord, les régions sont, la plupart du temps, supposées asymétriques, i.e. le niveau de capital possédé est supérieur dans la région Nord par rapport à la région Sud ($K > K^*$). Sans cette asymétrie, le phénomène d'agglomération n'aurait pas lieu. La seule force d'agglomération dans ce modèle est en effet l'*effet taille de marché*, initialement issu des modèles de commerce international (Krugman (1980)). On perd alors l'effet de causalité circulaire et le fait que l'agglomération des activités pouvait émerger alors même que les régions étaient au départ symétriques et ne présentaient pas de différence de « première nature » entre elles. L'absence de causalité cumulative est due au fait que les revenus du capital soient rapatriés là où les propriétaires (immobiles) sont localisés. Même s'il y a agglomération des activités, donc hausse du nombre de firmes dans le Nord, il n'y a pas d'effet sur le niveau de dépenses auquel font face les entreprises. On distingue la part du capital détenue dans le Nord ($s_K = \frac{K}{K+K^*}$) et la part de firmes actives dans le Nord ($s_n = \frac{n}{N}$, avec n le nombre de firmes industrielles produisant dans le Nord), les deux variables pouvant être différentes. Finalement, la mobilité parfaite du capital permet de garantir la stabilité des équilibres obtenus.

- Secteur de **R&D** à rendements d'échelle constants donc :

$$\dot{N} = \frac{L_{R\&D}}{\nu},$$

avec ν la valeur d'une unité de capital/d'un brevet $\dot{N} = \frac{L}{\eta}N$.

- Équilibre et taux de croissance avec **spillovers locaux** :

$$g = \frac{2L}{\eta} \frac{\alpha}{\sigma} s_n - \left(\frac{\sigma - \alpha}{\sigma} \right) \rho, \quad (1.6)$$

avec s_n l'organisation spatiale à l'équilibre et $\frac{\partial s_n}{\partial \delta} > 0$.

- **Capital parfaitement mobile donc** $n \neq K$ et on a potentiellement un flux d'entreprises s'installant dans le Sud :

$$\frac{dK}{dt} - \frac{dn}{dt}. \quad (1.7)$$

Tableau 1.4 – Modèle avec capital mobile $\Rightarrow$ Martin et Ottaviano(1999)

Si les externalités de connaissance sont globales, l'organisation spatiale n'a pas d'influence sur le taux croissance à l'équilibre. En revanche, en présence d'externalités de connaissance localisées, l'agglomération des activités industrielles dans la région *Nord* intervient dans le taux de croissance à l'équilibre. Ces externalités localisées de type Jacobs constituent une force d'agglomération pour le secteur de R&D, puisque l'intégralité du secteur s'installera dans le *Nord* où le coût de production d'une innovation est le plus faible. Les firmes du secteur de R&D vont bénéficier des interactions potentielles avec les firmes du secteur industriel (Martin et Ottaviano, 1999). C'est dans ce cas là, la diversité des firmes industrielles qui favorise l'innovation.

La mobilité du capital et l'absence de causalité cumulative nous permet de déterminer l'ensemble de solutions de manière analytique. Le taux de croissance est présenté dans l'équation (1.6) (voir tableau 1.4) dans laquelle il faut remplacer par la valeur de s_n à l'équilibre (plus de détails sur ce modèle dans le chapitre 3).

Grâce à l'intégration d'un phénomène de croissance endogène dans ce cadre d'analyse, un flux de capital du *Nord* vers le *Sud* est possible. L'ensemble des nouvelles variétés apparaissent dans le *Nord*, mais certaines firmes vont choisir de se relocaliser dans le *Sud* en raison d'un effet

de la concurrence trop fort et des coûts de transaction relativement bas (voir équation (1.7)). Rappelons que dans le cas d'un modèle de la NEGG de type FC (*Footlose Capital*), la situation où $s_K = s_n = \frac{1}{2}$ est un équilibre stable, avec s_K la part de capital détenu dans le Nord. Il est par ailleurs plus intéressant de supposer que la situation initiale est asymétrique $s_K > \frac{1}{2}$ pour qu'il est effectivement un phénomène d'agglomération.

Un point sur les préconisations en termes de politiques publiques

Ce cadre d'analyse permet de réfléchir à l'impact d'une politique publique en raison d'une plus grande malléabilité du modèle. Nous prendrons deux exemple d'articles de NEGG introduisant une politique publique : Riou (2003) et Montmartin (2012)³³. La stabilité des équilibres permet, en effet, de pouvoir se concentrer sur d'autres aspects tels que les politiques publiques. Dans un cadre d'analyse avec des *spillovers* de connaissance partiellement localisés, Riou (2003) intègre pour la première fois deux champs possibles d'action pour les politiques publiques : diffusion des biens et diffusion des connaissances. Plus précisément, si l'une des politique analysée porte sur les infrastructures de transport et affecte le paramètre des coûts de transport, la seconde relève des télécommunications et affecte le paramètre de diffusion des *spillovers* de connaissance entre les régions. Il se soucie des interactions entre les différentes politiques publiques, les infrastructures de transport pouvant alors avoir un impact sur les échanges de connaissance. Dans ce travail, les politiques facilitant les *spillovers* de connaissance peuvent satisfaire à la fois l'objectif de croissance et celui d'équité entre les régions.

Toujours dans un modèle de NEGG de type FC, Montmartin (2012) inclue une politique publique en faveur du secteur de R&D et son financement. Il ne s'agit donc plus d'une baisse exogène du coût de l'innovation. Dans ce travail, une subvention à destination des entreprises de R&D par un gouvernement supra-national conduit à une hausse de la croissance et à un équilibre de localisation moins aggloméré. Par ailleurs, ce travail identifie l'ensemble de différents types de défaillance de marché conduisant à la sous optimalité de la situation d'équilibre : le pouvoir de marché des firmes du secteur industriel (en concurrence monopolistique), les externalités de connaissance non prises en compte par les entreprises et les défaillances liées au choix de localisation des firmes. La politique en faveur de l'innovation permet très nettement de réduire la défaillance de marché liée aux externalités de connaissance ce qui favorise alors la croissance en incitant à investir dans l'innovation.

33. On peut également consulter Baldwin *et al.* (2004) qui présentent un large panel de politiques régionales et politiques pour les modèles de NEG.

Pour conclure, comprendre de manière concomitante l'organisation spatiale et la croissance permet d'analyser l'influence d'un paramètre ou d'une politique sur les deux variables à la fois. Les résultats dépendent fortement de la mobilité des facteurs de production, mais aussi des connaissances (externalités de connaissance localisées). Finalement, la croissance économique peut représenter une force supplémentaire d'agglomération, comme l'étaient les liens verticaux intersectoriels ou la mobilité des facteurs. Les résultats de la NEG font cependant face à de nombreuses critiques.

1.3 Limites et questions

Si la croissance est considérée comme désirable, ce n'est pas le cas de l'agglomération des activités qui est a priori synonyme d'inégalités spatiales (Fujita et Thisse, 2013; Montmartin, 2015). Puisque l'agglomération est par définition une distribution non homogène des activités économiques et potentiellement vecteur d'inégalités territoriales, les pouvoirs publics se sont interrogés sur les manières de favoriser la croissance sans créer d'inégalités. Les modèles présentés ci-dessus impliquent une certaine imbrication entre croissance et agglomération des activités. Tant dans leurs résultats que dans leur méthodologie, ces travaux ont fait l'objet de nombreux débats. Il nous semble intéressant de rappeler les critiques portant sur la NEG car celles-ci s'avèrent également valables pour la NEG-G et ont des implications sur les orientations de recherche en économie géographiques. D'autres critiques se concentrent plus particulièrement sur l'intégration du phénomène de croissance dans un cadre d'économie géographique.

Si les critiques ou discussions ont particulièrement été pointées par des travaux issus de sciences régionales, des articles d'économie géographique ont aussi identifié des limites et tenté d'y répondre dans le cadre d'analyse de la NEG. La frontière entre ces deux champs est par ailleurs perméable et les deux gagneraient à échanger (Duranton et Rodríguez-Pose, 2005), en particulier concernant les liens entre croissance et organisation spatiale (Duranton et Storper, 2006).

1.3.1 Modélisation mathématique et NEG

Le caractère novateur de la NEG a été très critiqué par les chercheurs en sciences régionales et les géographes. Roberto Camagni suggère ainsi que la NEG constitue un retour vers la théorie de la localisation d'Alfred Weber au début du XX^e siècle. La NEG n'apporte rien de véritablement nouveau conceptuellement selon lui alors que l'économie spatiale se serait

depuis longtemps orientée vers l'analyse de changement structurel et l'innovation. La NEG (n') est donc (qu') un cadre d'analyse en équilibre général fondé sur des comportements micro économiques où l'agglomération des activités est issue d'un processus endogène alliant des forces centripètes et des forces centrifuges. Selon lui, il serait donc nécessaire de relativiser l'importance de la NEG en termes d'avancées scientifiques. Il ne s'agit en effet que d'une branche d'une théorie antérieure et plus large de sciences régionales (Fujita et Mori, 2005). De nombreuses critiques techniques ont alors été formulées contre le modèle *Centre Périphérie*.

Certaines *hypothèses simplificatrices* concernant le comportement des firmes ou des ménages facilitent la construction d'un cadre d'analyse d'équilibre général. Par exemple, le cadre à la Dixit-Stiglitz et les coûts de transport *iceberg* mènent à des *markup* des firmes du secteur industriel indépendants de la distribution spatiale des firmes et des ménages. Les interactions stratégiques sont donc a priori absentes dans un modèle de la NEG. Ce résultat facilite fortement la résolution et la malléabilité du modèle, pourtant ces interactions occupent une place non négligeable dans les études empiriques. L'écart de *markup* entre les firmes installées en zone urbaine dense et en zone périphérique moins dense est significatif.

L'absence d'interactions stratégiques a en partie été remise en cause par Ottaviano *et al.* (2002). Ils construisent un modèle contenant la plupart des mécanismes présents dans le modèle canonique de la NEG (Krugman, 1991). Cependant, Ottaviano *et al.* (2002) utilisent une fonction d'utilité quasi linéaire permettant une résolution analytique complète. Pour présenter brièvement ce travail, il est tout d'abord important de préciser que les firmes font face à une demande linéaire. Puisqu'il existe une infinité de firmes, le poids d'une firme est négligeable. Le degré d'interaction entre deux firmes est nul. Pourtant le *markup* à l'équilibre dépend entre autres du nombre de concurrents sur le marché local. Le niveau des ventes et le *markup* sont décroissants par rapport au nombre de firmes présentes sur le territoire. Ensuite, la place des anticipations est reconsidérée, les acteurs économiques formulent des anticipations sur le développement des régions. En effet, dans les modèles de type NEG, les ménages n'adaptent pas leur comportement en fonction d'anticipations sur leurs revenus futurs et cela les conduit à des migrations fréquentes et éventuellement peu réalistes. Enfin, l'effet de revenu est supprimé en présence d'une fonction d'utilité quasi linéaire, la diversité des situation d'équilibre en est quelque peu réduite³⁴. De par sa malléabilité et une résolution analytique, Ottaviano *et al.*

34. En effet, un des problèmes avec l'effet de revenu est la question de la stabilité des équilibres. Dans un modèle *Centre-Périphérie*, on peut identifier des seuils (en termes du paramètre d'ouverture au commerce, i.e. coût de transport) tels que l'agglomération totale des activités devient un équilibre et un autre seuil tel que l'équilibre symétrique n'est plus stable. Le fait qu'il ait un effet de revenu exagère la différence de taille de

(2002) a été très largement repris.

Il semble important de distinguer les critiques faites à tout exercice de modélisation, en particulier en équilibre général, des critiques propres à la NEG. Le problème des hypothèses simplificatrices est loin d'être négligeable, il fait pourtant partie de ce type de travail. Aussi, une hypothèse ne peut pas être critiquée simplement parce que les résultats sont fortement modifiés sans sa présence. Finalement, il est plutôt préférable qu'une hypothèse soit indispensable pour la résolution et les résultats (Baldwin *et al.*, 2004). Les discussions demeurent néanmoins quant à savoir si une hypothèse est adaptée aux questions soulevées par le modèle.

D'autres critiques ont été formulées concernant certains manques de ce modèle trop réducteur. Ainsi Krugman (1991) prend très peu en compte la troisième source d'agglomération identifiée par Marshall (1890), c'est à dire les effets d'entraînement technologique difficiles à modéliser dans ce cadre d'analyse³⁵. Cette critique est devenue discutable au vu de l'évolution de la NEG et de l'intégration de la croissance endogène (et donc des externalités de connaissance) sous la forme des travaux de la NEG-G présentés dans la section précédente ; de même que le fait que la NEG ne tienne pas compte des avancées en termes de géographie de l'innovation. Plus largement, le manque de précisions quant aux dynamiques des modèles de la NEG est pointé (Storper, 2010).

1.3.2 Prise en compte de l'espace

En NEG, l'absence de véritables *variables géographiques* est très discutée : considérer deux régions semble en effet assez faiblement représenter la réalité. De plus dans la modélisation des régions elles-mêmes, le caractère « spatial » de ces modèles est discutable (Martin, 1999b) puisqu'une région n'est qu'un point et n'a pas de structure interne. Les variables ayant une dimension « géographique » telles que les facteurs sociaux, culturels et institutionnels ne sont que peu considérés (Martin, 1999b), du moins dans la version initiale du modèle canonique de la NEG. Cependant, l'enjeu de la NEG n'est pas d'explicitier les différences spatiales de « première nature » mais plutôt de comprendre les mécanismes économiques qui modifient la localisation et produisent de l'agglomération. La NEG s'attache plutôt à comprendre les phénomènes de « seconde nature ».

marché. Il existe alors un intervalle du paramètre d'ouverture de marché telle que l'équilibre d'agglomération est stable alors que l'équilibre symétrique l'est aussi.

35. L'effet *learning* demeure encore l'aspect des sources d'économie d'agglomération le plus faiblement modélisé.

Les coûts de transport

Il est important de noter que la prise en compte de l'espace dans les modèles de la NEG se fait en revanche grâce à la présence de coûts de transport de type *iceberg*. Ceux-ci revêtent un ensemble de coûts de transaction tels que les droits de douane et les barrières à l'échange de type norme, informationnel ou culturel. Mais ils ne dépendent pas de la distance géographique entre les régions.

La structure des coûts de transport est essentielle dans le modèle canonique de la NEG puisqu'une variation de cette dernière peut avoir un effet radical sur le processus d'agglomération (Coissard, 2007). La forme de type *iceberg* des frais de transaction permet entre autres d'éviter la discussion sur les points suivants : à qui sont-ils payés, comment les tarifs sont-ils déterminés, etc. De plus, la symétrie et la nature des coûts de transaction et les coûts de production homothétiques simplifient les prix de production pour obtenir une tarification de type "mill pricing" (prix à la sortie de l'entrepôt). Ce type de coûts de transport simplifie certes les calculs mais est aussi à l'origine de résultats et conclusions importants. Ainsi Behrens et Picard (2011), en introduisant l'asymétrie des coûts de transports entre les régions et un secteur de transport endogène, montrent qu'il n'y a pas d'agglomération totale des activités. Ils obtiennent alors des résultats nettement différents de ceux du modèle *Centre Périphérie* classique. En effet, les coûts asymétriques de transport constituent une nouvelle force de dispersion, peu importe par ailleurs s'il existe ou pas un secteur de biens non échangeables, i.e. la force de dispersion usuelle dans la NEG. Il devient relativement plus coûteux pour les entreprises du secteur manufacturier localisées dans la région *Centre* d'exporter leurs biens dans l'autre région.

Les frais de transport ne portent que sur les biens du secteur industriel, or s'ils étaient présents dans le secteur traditionnel (Calmette et Le Pottier, 1995), cela modifierait largement l'équilibre spatial et rendrait entre autres l'agglomération totale des activités industrielles moins probable. Selon Davis (1998), l'effet de la taille de marché n'est plus présent si le secteur traditionnel supporte aussi des frais de transport et est en concurrence pure et parfaite. Picard et Zeng (2005) reviennent sur l'homogénéité du bien agricole et soulignent que l'effet taille de marché est toujours présent malgré les coûts de transport dans le secteur traditionnel.

Enfin, le coût de transport de type *iceberg* est proportionnel au coût marginal. Comme le notent Behrens et Robert-Nicoud (2011), les firmes les plus productives supportent des coûts de transport plus faibles, ce qui constitue un résultat plutôt surprenant. En effet, une fois l'hétérogénéité en termes de productivité introduite, Melitz et Ottaviano (2008) montrent que

les coûts de transport payés dépendent du niveau de productivité. Selon Behrens et Robert-Nicoud (2011), modéliser véritablement le secteur de transport et ses interactions avec les autres secteurs permettraient de vérifier s'il existe effectivement une relation entre le niveau de productivité d'une firme et ses coûts de transport.

Quelles perspectives pour une meilleure intégration de l'espace ?

Considérer l'espace comme deux points avec pour seul lien des coûts de transport *iceberg* constitue une réelle limite de représentation de la réalité. Des travaux se sont donc attachés à considérer l'espace comme une variable continue. Desmet et Rossi-Hansberg (2010) déplorent en effet le fait que les modèles de la NEG aient des prédictions relativement limitées concernant l'espace, en raison du faible nombre d'unités spatiales, deux régions dans la grande majorité des cas. Selon les auteurs, le nombre très limité de régions dans les modèles de la NEG explique en partie pourquoi il est difficile d'établir des validations empiriques de ces modèles. De plus le cadre d'analyse à deux régions représente certes un outils pour comprendre analytiquement certains mécanismes mais permet difficilement l'application et la comparaison des résultats à des études empiriques. Intégrer l'espace demande d'ajouter une dimension supplémentaire à des problèmes qui sont déjà relativement complexes. L'espace peut être alors modélisé comme une ligne compacte (avec une continuité de points) : Rossi-Hansberg (2005) propose de résoudre de manière séquentielle sur l'ensemble de l'intervalle. Boucekkine *et al.* (2009) construisent un modèle de type Ramsey avec une dimension spatiale qui décrit une économie où l'espace est un segment de réels et le temps continu. Chaque entité (consommation, production, population) dépend de deux variables continues l l'espace et t le temps. L'équilibre pour ce type de modèle n'est pas évident à déterminer. Une des difficultés consiste dans le fait que les agents ont besoin de résoudre tout leur chemin futur (i.e. l'ensemble de choix de localisation) pour prendre leur décision aujourd'hui.

Des critiques sur la prise en compte de l'espace existent aussi concernant le choix des théories de croissance endogène pour expliquer une dynamique régionale. En effet, la théorie de la croissance endogène ne pourrait être appliquée que partiellement à une problématique régionale selon Martin et Sunley (1998). Ils suggèrent ainsi qu'analyser la croissance régionale au prisme de la théorie de croissance endogène ne permet pas d'aborder le *régime technologique régional*. Cette dernière notion est proche du capital régional proposé par Camagni (2002). Les causes de ces différents régimes relèvent de spécificités régionales dépendant de liens de confiance et des réseaux en place pour lesquels une analyse à l'échelle régionale est plus adaptée

(Martin et Sunley, 1998).

1.3.3 Et si l'agglomération ne favorisait pas la croissance...

Un des aspects catalysant les discussions porte sur un résultat que l'on peut résumer ainsi "l'agglomération des activités favorise la croissance". Nous présentons quelques éléments de discussion présents dans la littérature concernant ce résultat d'autant plus qu'il est facilement identifié et mobilisé par les pouvoirs publics.

Parle-t-on véritablement d'agglomération ?

Tout d'abord, il semble nécessaire de faire une distinction entre le résultat du phénomène d'agglomération, i.e. le nombre d'entreprises ou de ménages dans une région, et le processus lui-même. En effet dans un modèle de la NEGG, c'est bien l'augmentation de la proportion de firmes installées dans le Nord qui favorise la croissance. Même si le processus d'agglomération est peu détaillé dans ce genre de modèle, c'est davantage un processus dynamique qui est désigné plus qu'une simple comparaison entre deux régions avec deux nombres de firmes différents. Or, la plupart des travaux empiriques concernant notamment les économies d'agglomération considèrent la comparaison de plusieurs villes aux « stocks » différents (quantité d'emplois ou quantité de firmes) et ne mènent pas une véritable étude dynamique. Pourtant, il convient d'être prudent dans l'utilisation de ces travaux empiriques pour confirmer ou infirmer les résultats des modèles de la NEG ou de la NEGG. Faire cette distinction (entre le résultat et le processus) peut permettre de préciser les critiques ou les confirmations des études empiriques s'intéressant aux résultats des modèles d'économie géographique. Précisons que les études empiriques évaluant les économies d'agglomération, par exemple, ne prétendent pas être une version empirique des modèles de la NEG³⁶, pour autant nombreux sont ceux qui justifient leur travail par la NEG sans spécifier que les concepts d'agglomération et densité sont différents.

De plus, il faut rester prudent si l'échelle choisie est celle de la ville puisqu'elle n'est pas un *cluster* d'entreprises. Camagni *et al.* (2016) écrivent ainsi que les villes constituent davantage un "*melting pot of knowledge, culture and emotions most important part of urban benefits*". L'importance du patrimoine culturel et historique apparaît négligé, il est du moins rarement ciblé par les études empiriques traitant ces questions. Cet argument est plus fort en Europe qu'aux États-Unis. Le concept de ville n'est pas pour autant équivalent à celui d'agglomération

36. Les études empiriques relevant directement de la NEG sont par ailleurs rares (Redding, 2010).

(Baumont et Huriot, 1995).

De même, du point de vue de la géographie de l'innovation, l'agglomération et la grande ville ne devraient peut-être plus être considérées comme les seuls lieux de créativité et ainsi de croissance. Pour des raisons précédemment évoquées dans la section 2.2.2, les travaux tels que Collis *et al.* (2010) ou Bain (2016) mettent en évidence l'existence d'innovations dans les zones peu denses et leur importance dans le processus d'innovation.

Enfin, en raison des critiques concernant le sens attribué à "l'agglomération" et son impact sur la productivité des firmes, l'enjeu a été de dissocier l'effet "d'agglomération" et celui de "sélection" (Combes *et al.*, 2012). Il s'agit finalement d'isoler l'effet réel de la densité (plutôt que l'agglomération) sur la productivité et ainsi sur la performance économique d'un territoire. Cela permet justement de répondre aux discussions concernant une sur-estimation des effets positifs de l'agglomération et d'identifier l'effet net d'une augmentation de la densité sur la productivité ou la croissance.

Parle-t-on véritablement de croissance ?

Relativement peu de travaux empiriques traitent directement de l'impact de "l'agglomération" sur la croissance à proprement parler. En effet, le point de vue macroéconomique pour analyser la relation entre croissance économique et le degré d'agglomération sur le territoire est rare³⁷ (Henderson, 2003; Crozet et Koenig, 2005; Brülhart et Sbergami, 2009). L'indicateur d'agglomération s'établit souvent à l'échelle du pays et est représenté par le taux d'urbanisation pour l'échantillon international ou par la concentration d'emplois au niveau régional pour l'échantillon européen. Henderson (2003) travaille dans une perspective similaire sur le lien entre croissance économique et degré d'urbanisation. Crozet et Koenig (2005) et Brülhart et Sbergami (2009) montrent que la relation entre urbanisation et croissance n'est pas systématiquement positive.

Si le point de vue macroéconomique (celui des modèles de la NEGG) est peu mobilisé, de nombreux travaux ont étudié les effets d'agglomération (densité ou taille) sur la productivité (Rosenthal et Strange, 2004). Ainsi la relation entre "agglomération" et "productivité" d'une région, d'une ville ou d'une entreprise a été fortement étudiée dans la littérature. Ces travaux sont parfois directement mobilisés pour discuter de la relation entre densité et croissance étayée dans les modèles de la NEGG. Pourtant, nous pouvons nous demander si comprendre les mécanismes au niveau d'une ville ou de la firme permet de discuter ces réserves au niveau

37. A ne pas confondre avec les travaux qui choisissent la croissance de l'emploi par unité géographique comme *proxy* pour la productivité, par exemple Glaeser *et al.* (1992).

macro économique. Puisque les effets sur la productivité diffèrent de ceux sur la croissance, il convient de prendre avec précaution les travaux critiquant l'effet de causalité entre agglomération et productivité³⁸. Dans cette littérature, l'indicateur de productivité est le plus souvent le salaire ou la productivité totale des facteurs, mais peut aussi être représenté par la croissance de l'emploi au niveau local (Glaeser *et al.*, 1992; Combes, 2000), la localisation des nouveaux établissements (Rosenthal et Strange, 2003) ou des loyers (Roback, 1982; Dekle et Eaton, 1999). La majorité des publications concernant l'évaluation des économies d'agglomération détermine une relation positive entre densité et productivité. Dijkstra *et al.* (2013) ou Camagni *et al.* (2015) suggèrent au contraire que les agglomérations de taille moyenne ont en fait mieux réagi face à la crise que les villes plus grandes. Ainsi Dijkstra *et al.* (2013) s'interrogent sur le rôle pris par les villes dans le dynamisme économique au niveau national et discutent le consensus selon lequel les grandes agglomérations seraient plus efficaces. Dijkstra *et al.* (2013) mènent une partie de leur étude à l'échelle des régions de type *NUTS 3* (département en France). Dans certains pays, l'augmentation de la productivité du travail entre 2000 et 2008 est plus favorable dans les régions "non urbaines" (i.e. dont la population est inférieure à 250 000 habitants) que dans de nombreuses régions urbaines. Camagni *et al.* (2015) questionnent à leur tour pourquoi certaines villes petites ou moyennes ont des taux de croissance plus importants que les grandes villes. Pour cela, ils mènent une étude économétrique pour comprendre la diversité du rôle joué par les économies d'agglomération selon les villes. Il ressort de leurs travaux que certaines villes petites et moyennes bénéficient pleinement des économies d'agglomération en s'appuyant sur un réseau de villes voire en utilisant l'agglomération d'activités des autres villes sans les contraintes liées à une trop forte concentration d'activités.

Parmi les études sur les économies d'agglomération, le choix de variable représentant la productivité se porte de plus en plus sur le "salaire", en raison entre autres de la disponibilité des données. Cette stratégie souffre en général d'une forte critique (Camagni *et al.*, 2016) puisqu'elle ne serait pertinente qu'en cas de marché de travail concurrentiel avec une forte mobilité du travail et une relativement faible proportion d'emplois dans le service public (qui ont plutôt les mêmes salaires quel que soit la région), donc plus proche du modèle américain. Les auteurs estiment alors la productivité (ou plutôt l'attractivité) par les prix des transactions immobilières. Quand bien même ce marché serait faiblement concurrentiel, le salaire peut avoir une signification partielle mais mobilisable dans cette situation. De plus, la variable "sa-

38. Nous reviendrons avec une revue de la littérature plus détaillée dans le Chapitre 4 sur l'évaluation empirique des économies d'agglomération.

laire” est aussi intéressante puisqu’elle peut être identifiée après optimisation du programme de l’entreprise et permet de discuter le lien entre les mécanismes théoriques et l’utilisation du salaire dans les études empiriques.

L’importance de la mobilité du travail dans le fonctionnement de ce marché est donc rappelée par Dijkstra *et al.* (2013). Ils soulignent ainsi que la mobilité des ménages dépend de la part des propriétaires. Les facilités d’acquisition avant la crise et de changement de secteur d’occupation pour un travailleur diminuent la nécessité de migrer spatialement.

Débat autour de la courbe de Williamson

Souvent, la question de causalité entre agglomération spatiale (i.e. l’accroissement des disparités régionales (Puga, 2002)) et la croissance est illustrée par la courbe de Williamson. L’hypothèse de Williamson (1965) peut être résumée de la façon suivante : l’agglomération favorise la croissance jusqu’à un certain niveau de développement -première partie de la courbe, puis elle devient défavorable au phénomène de croissance -deuxième partie de la courbe (voir schéma 1.3). Plusieurs travaux empiriques cités précédemment (Henderson, 2003; Brülhart et Sbergami, 2009) semblent confirmer cette hypothèse. L’impact positif de l’agglomération sur la croissance du PIB dépend ainsi du niveau de développement du pays considéré. Si l’agglomération favorise la croissance dans les premières étapes de développement, elle deviendrait un obstacle dans les pays développés selon Brülhart et Sbergami (2009).

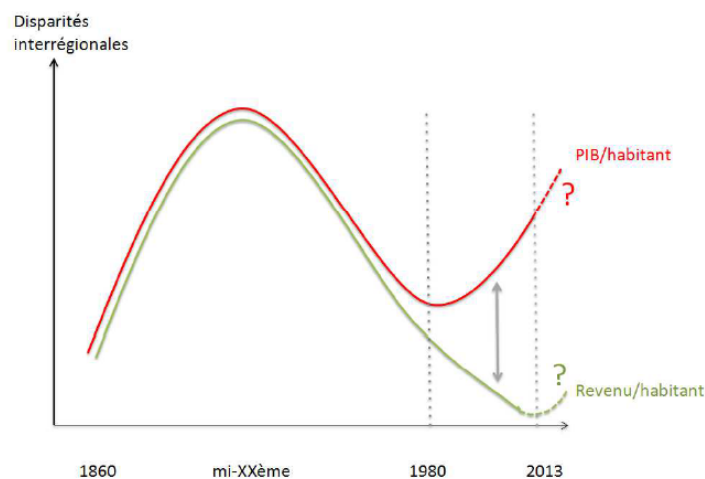


Figure 1.3 – Courbe de Williamson (prolongée jusqu’à aujourd’hui), source : Davezies et Pech (2014)

Combes *et al.* (2011b) ne traitent pas directement la courbe de Williamson. Cependant, ils analysent l’évolution de la concentration spatiale des activités économiques de 1860 à 2000 en France en identifiant deux principales phases. La première phase allant de 1860 à 1930 correspond à une période de forte concentration. La seconde de 1930 à 2000 s’apparente une

phase de ralentissement de la concentration voire de dispersion, dont la baisse des coûts de transport serait la première cause. Enfin, ils montrent que la productivité du travail a plutôt tendance à être homogène sur le territoire. Selon Askenazy et Martin (2015) ou Davezies et Pech (2014), ces deux phases correspondraient approximativement à la courbe de Williamson originelle.

Ensuite, Askenazy et Martin (2015) et Davezies et Pech (2014) identifient le renversement de la courbe de Williamson (troisième partie du graphique (1.3)). En effet, la structure de production dans les pays comme la France a subi de grandes modifications : la place des secteurs industriels se réduisant fortement (délocalisation), les services et autres activités à forte valeur ajoutée occupent une place de plus en plus importante et sont plutôt situées dans les zones très denses. Les zones peu denses ne seraient alors pas attractives en raison de leur faible concentration de travailleurs très qualifiés. Ces trois dernières décennies (après le recul de l'industrie), la France connaîtrait alors une nouvelle phase avec une concentration accrue des activités à haute valeur ajoutée mais sans augmentation des disparités régionales en termes de revenu disponible. Les travaux de Davezies, notamment Davezies et Pech (2014), soulignent qu'il y a alors déconnexion entre la géographie de production et la géographie des revenus. On assisterait à un retournement de la courbe de Williamson (3^{ème} phase) en raison de mécanismes de diffusion des revenus (transferts fiscaux, localisation des personnes retraités vers les zones périphériques et le tourisme) sans diffusion de la production.

Bouba-Olga et Grossetti (2015) mettent en garde concernant ce décrochage de la courbe des disparités régionales et sur ses fondements statistiques. Ils expliquent que l'augmentation des disparités en termes de PIB régional par habitant est principalement due au poids de l'Ile-de-France. Ainsi l'utilisation du coefficient de variation est délicat dans cette situation puisqu'il est très sensible aux valeurs extrêmes (comme celles de l'Ile-de-France). Ils soulignent aussi la difficulté d'utiliser le PIB régional par habitant comme approximation de l'activité économique pour plusieurs raisons. Tout d'abord, il est plus approprié d'utiliser le PIB régional par emploi que celui par habitant. En effet un grand nombre de travailleurs contribuant à la richesse de la région Ile-de-France n'y résident pas. Ensuite, dans le cas de la région parisienne, sa "surproductivité" apparente ne serait alors que relativement faible si l'on contrôle les effets de composition sectorielle et pour les fortes dépendances entre régions, masquant la création réelle de richesse de chaque région. Dans un contexte où les politiques publiques sont particulièrement tournées vers les métropoles, Bouba-Olga et Grossetti (2015) discutent donc leur pertinence et leurs fondements scientifiques. Ils sont finalement d'autant plus critiques que

ces préconisations reposent sur le “retournement de la courbe de Williamson” et en particulier si celles ci espèrent obtenir des résultats favorables tant pour les métropoles que pour les régions dites périphériques.

Évolution des modèles théoriques

Selon une approche plus théorique, quelques travaux ont intégré ces critiques dans le cadre d’un modèle de la NEG-G. Cerina et Mureddu (2014) pointent un résultat plutôt surprenant de ces modèles selon lequel l’agglomération est systématique positive pour la croissance globale : lorsque les *spillovers* de connaissance sont localisés, concentrer le secteur industriel dans une région permet de maximiser la productivité dans le secteur de R&D (Martin et Ottaviano, 1999). Rappelons que l’agglomération totale des activités de R&D et celle partielle des activités industrielles ont plusieurs effets sur les ménages de la région Sud. Ils importent davantage de biens industriels puisque la majorité des firmes de ce secteur sont localisées dans la région Nord, cela pèse donc sur leur budget. Cependant, ils bénéficient aussi de l’effet positif d’une hausse de croissance qui peut alors dominer l’effet négatif dû aux coûts de transport.

Dans un modèle de la NEG-G, les revenus régionaux réels connaissent le même taux de croissance à cause du raisonnement suivant. L’indice des prix des biens industriels diminue plus vite que le prix du bien homogène agricole en raison de l’innovation. Le poids des biens agricoles devient donc relativement plus important dans le budget. Dans la région périphérique, les importations des biens industriels semblent donc relativement moins chères. Or, la région Sud étant “spécialisée” dans le secteur agricole et la valeur de la production du secteur augmentant, on obtient que le revenu réel de la région Sud augmente donc au même rythme que celui de la région Nord.

Pour mieux approcher la réalité grâce aux modèles de la NEG-G, Cerina et Mureddu (2014) introduisent un secteur de biens non échangeables entre les deux régions qui bénéficie de *spillovers* locaux de connaissance de type Jacobs. C’est d’autant plus réaliste qu’ils considèrent que ce secteur représente les services qui dans les faits génèrent une grande partie du PIB. Behrens (2004) souligne l’importance de la présence d’un secteur de production où les biens sont non échangeables. Cerina et Mureddu (2014) différencient la croissance du revenu réel et du revenu nominal. Lorsque l’agglomération s’intensifie dans la région Nord, la région Sud éprouve une baisse plus faible de l’indice de prix des biens non échangeables puisque le secteur de service dépend désormais de la présence des firmes industrielles. La productivité du travail dans le secteur des services dépend en effet de n et n^* , le nombre de firmes dans la région Nord (resp. Sud). C’est pourquoi l’effet de l’agglomération sur la croissance est plus complexe

et réaliste que dans les premiers modèles de la NEGG. Le taux de croissance du revenu réel dans le Sud est alors inférieur à celui dans le Nord lorsqu'il y a agglomération des activités industrielles dans le Nord.

Plus largement, l'effet d'échelle présent dans les modèles de la NEGG est un héritage des modèles de croissance endogène de première génération (Romer, 1990; Grossman et Helpman, 1991). Il est nécessaire de différencier, même si les effets sont connectés, l'effet positif de la concentration industrielle sur la croissance de l'effet de la taille de la population sur le taux de croissance. Minniti et Parello (2011) ou Montmartin (2012) construisent un modèle de croissance semi endogène à la Jones (1995) dans lesquels la localisation endogène des activités industrielles impacte la croissance. Le secteur de R&D a des rendements d'échelle décroissants, contrairement à l'hypothèse de rendements d'échelle constants faite dans les premiers modèles de la NEGG (Martin et Ottaviano, 1999, 2001; Baldwin et Martin, 2004). Dans ce cadre d'analyse, Minniti et Parello (2011) démontrent que le taux de croissance de l'état stationnaire de l'économie ne dépend pas de l'organisation spatiale ni de l'ouverture commerciale. Ces deux variables peuvent en revanche influencer le taux de croissance temporairement. De plus, alors que les inégalités de bien être ont tendance à diminuer avec la croissance dans les précédents modèles de la NEGG, ce n'est pas le cas dans Minniti et Parello (2011). Finalement leurs résultats correspondent davantage aux travaux empiriques (par exemple, Jones, 1995). Davis et Hashimoto (2015) évitent aussi l'effet d'échelle mais considèrent en revanche un modèle de croissance endogène et de localisation en introduisant deux effets parfois divergents : un effet du *développement de produit* (création de nouveaux produits) et un effet du *processus d'innovation* (amélioration de la productivité). Grâce à ces deux effets, une augmentation de l'agglomération peut avoir un effet négatif ou positif sur la croissance.

Les travaux ci-dessus remettent en question l'effet systématiquement positif de l'agglomération sur la croissance (y compris la région périphérique) et modifient ce cadre de NEGG pour étayer leur propos. D'autres le discutent dans un cadre d'analyse différent de celui de la NEGG. Par exemple, Ricci (2013) contredit ce résultat à partir d'un modèle fondé sur Barro et Sala-i Martin (1997) en introduisant deux types d'externalités modélisant des effets « pervers » d'une telle agglomération des activités d'innovation. Si la région accueille la majorité des activités, elle sera ici considérée comme région *leader*. En effet, outre le problème d'équité (relevant des objectifs que s'est fixé le gouvernement), il est suggéré qu'un tel déséquilibre de l'organisation spatiale pourrait avoir des effets néfastes sur le processus d'innovation. Par

conséquent les situations en termes de croissance et de richesse de *l'imitateur* mais aussi pour la région *leader* se verraient dégradées. L'hypothèse forte de l'effet « ombre miroir » introduit par l'auteur suggère une relation négative entre l'écart technologique entre les deux régions (et inégalités de revenu) et les coûts sociaux (violence par exemple), les inégalités étant source de violences et décourageraient les travailleurs qualifiés à s'installer sur ce territoire. Ce travail n'est pas fondé sur le cadre d'analyse de la NEG, pourtant en considérant une répartition territoriale inégale des activités de R&D, il permet entre autres de comprendre le comportement de deux régions voisines et ainsi analyser l'évolution des disparités spatiales.

1.3.4 Politiques publiques et régionales en question

Si les politiques régionales et la question de cohésion territoriale ont vu leur notoriété augmenter (par exemple les rapports de OCDE (2009) et de la Banque Mondiale (2009)), en particulier en Europe, les préconisations en termes de politiques publiques délicates basées sur la NEG doivent être considérées avec précautions (Storper, 2010). Par exemple le résultat simplifié selon lequel l'intensification de l'agglomération des activités serait nécessairement bénéfique pour la croissance globale de l'économie est à considérer dans un contexte particulier et ne peut être appliqué systématiquement. Il est néanmoins intéressant de remettre en question une opposition systématique entre une répartition spatiale inégale des activités économiques et une amélioration globale des revenus (Fujita et Thisse, 2003; Charlot *et al.*, 2006). Le modèle de la NEG éclaire les facteurs expliquant cette forte polarisation des activités économiques. L'agglomération est ainsi un équilibre stable pour un grand intervalle de degré d'ouverture du marché. Pourtant, cela ne dit pas si de tels niveaux d'agglomération sont socialement désirables ou non.

Il faut dans un premier temps identifier les distorsions qui empêchent l'allocation de marché concernant l'équilibre spatial d'être socialement optimale. Dans un second temps, nous présentons quelques travaux portant que la détermination de l'organisation socialement optimale dans un cadre de NEG ou de NEGG.

Tout d'abord, les distorsions proviennent de la mobilité des acteurs économiques. En effet lorsqu'un travailleur ou une entreprise choisit sa localisation, il ne tient pas compte de l'impact que cela peut avoir sur les autres agents. Pour présenter brièvement les externalités sources de distorsions, on se place dans le cadre de Martin et Ottaviano (1999) (voir section 1.2.3) que l'on développera dans la suite de la thèse. La localisation des firmes influence l'indice de prix, la croissance et les revenus. La somme totale des coûts de transport supportés dans l'économie

est au plus bas lorsqu'il y a parfaite dispersion des firmes. En raison d'une asymétrie initiale et/ou du *Home Market Effect*, la dispersion totale des activités n'est pas atteinte donc les entreprises sont trop concentrées. De plus la croissance est maximisée lorsque toute l'activité industrielle est concentrée dans la région Nord en raison des externalités de connaissance localisées. Puisque la concentration complète des activités industrielles n'est pas possible dans ce modèle, il s'agit d'une source de sous optimalité. Enfin, la concentration spatiale des activités industrielles favorise l'arrivée de nouvelles variétés de biens. Le profit récupéré par les ménages diminue puisque la concurrence détériore la valeur d'une unité de capital. De même en NEGG, Montmartin (2012), s'attache à établir l'impact de ces différentes formes d'externalités sur le niveau d'investissement en R&D à l'équilibre. Les externalités de connaissance intertemporelles étaient déjà source d'inefficacité, il existe alors des spécificités propres aux externalités localisées.

Ensuite, Charlot *et al.* (2006) tentent d'établir avec précaution des éléments concernant l'optimalité de situations telles que l'agglomération ou la dispersion des activités. Il apparaît, en effet, difficile de classer selon les critères de Pareto les situations d'agglomération et de dispersion des activités d'un modèle canonique de la NEG (Krugman, 1991). L'organisation spatiale de type *First Best* ne peut être identifiée puisqu'ils ne se focalisent que sur deux types d'équilibre : l'équilibre symétrique et l'équilibre *Centre Périphérie* (les autres situations d'équilibre étant instables)³⁹. Une des principales conclusions qu'ils parviennent à établir est la suivante : pour éviter que l'agglomération totale des activités issue d'une baisse de coûts de transport affecte les ménages de la région périphérique, des transferts inter régionaux sont nécessaires. Pour autant, le passage entre une organisation spatiale de type "agglomération" et une organisation de type "dispersion" peut s'avérer compliqué à mettre en place, quand bien même le second serait un équilibre répondant aux critères d'optimalité. En effet, la mobilité des agents ne constitue pas véritablement un levier possible et réaliste pour les pouvoirs publics. Les recommandations en termes de politiques publiques sont alors plutôt fragiles.

Le *benchmark* de l'intervention publique est la mise en place d'une politique permettant d'atteindre l'optimum social. A travers une large critique de la recherche d'optimum social à partir de comportements individuels, Storper (2010) explique pourquoi ses réserves sont d'autant plus fortes dans le cas de l'équilibre spatial. La comparaison entre la situation d'un travailleur dans une région périphérique et celui dans la région centre, dont certains coûts

39. Charlot *et al.* (2006) analysent l'optimalité des équilibres grâce à différents critères de bien être tels que ceux de Kaldor, de Bentham et de Rawls.

étaient négligés (coûts non observables liés au déménagement, difficulté pour s'héberger), demeure complexe.

Finalement Behrens et Robert-Nicoud (2011) suggèrent que l'exercice de calibration des modèles doit être largement développé pour que la NEG puisse véritablement être un outil de préconisations en termes de politiques publiques. Selon les auteurs, la NEG a l'avantage d'attirer l'attention des décideurs politiques sur deux points : les régions ne sont pas indépendantes les unes des autres et l'organisation spatiale des régions peut être impactée par les réformes. Cependant, des avancées empiriques sont nécessaires pour que la NEG devienne un véritable outil de décision.

Les critiques reposent tant sur la modélisation en équilibre général des mécanismes d'agglomération et de croissance que sur les résultats et préconisations ou sur la vision globale de ces modèles. Il semblait essentiel d'adopter une posture réflexive par rapport aux apports de la NEG et de prendre conscience des limites suggérées afin de mieux déterminer les pistes de recherche. Par ailleurs malgré les nombreuses limites évoquées, la NEG a su pour autant fortement justifier ses apports, s'interroger sur son avenir et répondre aux critiques. Ainsi de nombreux articles ont été publiés à ce sujet, par exemple : Fujita et Mori (2005), Behrens et Robert-Nicoud (2009), Thisse (2010), Storper (2010), Behrens et Robert-Nicoud (2011), Ottaviano (2011) issus entre autres de numéros spéciaux du Journal of Economic Geography (dont la création est fortement liée à l'avènement de la NEG) et du Journal of Regional Science. De plus, Garretsen et Martin (2010) proposent de réfléchir entre économistes et géographes à une meilleure intégration de la géographie et de l'histoire dans les modèles de la NEG⁴⁰.

40. De la même manière, des possibles interactions avec des travaux relevant du comportement stratégique de l'entreprise peut améliorer notre perception des liens entre agglomération-localisation et croissance. Ainsi van Oort *et al.* (2012) suggèrent que le comportement de la firme a été trop souvent oublié dans les études alliant agglomération des activités et la performance économique à l'échelle de la firme. Plus particulièrement l'organisation industrielle et la management stratégique au niveau de la firme est l'échelon manquant dans le raisonnement.

Conclusion

L'innovation a progressivement été intégrée dans le cadre d'économie géographique. Même si l'analyse spatiale de ce phénomène préexistait, intégrer les externalités de connaissance localisées dans un cadre alliant choix de localisation et croissance endogène a permis de mieux saisir les liens entre agglomération et développement économique. De plus, dans le cadre d'analyse de la NEGG, on comprend que l'agglomération des activités dans une région n'induit pas nécessairement une perte de bien être dans la région périphérique.

Si les limites et critiques sont multiples, elles ont permis de faire évoluer ce modèle. Cependant, alors que les travaux de recherche sur les facteurs spatiaux de l'innovation sont nombreux, ils ne sont pas véritablement incorporés dans les modèles d'équilibre général la NEG. De plus, un aspect dynamique tel que la croissance endogène est relativement bien intégré dans les modèles de la NEG depuis Martin et Ottaviano (1999) ou Walz (1996). Il reste encore de nombreuses questions concernant, par exemple, les périodes de transition vers l'agglomération ou la dispersion des activités (Storper, 2010).

Afin d'enrichir les mécanismes économiques présents dans les modèles de la NEG, il peut être pertinent de développer davantage les potentielles forces de dispersion. Ainsi introduire la problématique urbaine à un modèle d'économie géographique constitue une des possibilités (Thisse, 2010). Le foncier ou le logement peuvent être alors intégrés dans un cadre d'analyse combinant économie urbaine et économie géographique (Helpman, 1998; Pflüger et Tabuchi, 2010; Gaigné *et al.*, 2012; Borck et Pflüger, 2015; Behrens *et al.*, 2017). D'autres forces de dispersion peuvent encore être introduites telles que les préoccupations environnementales des agents économiques. Le niveau local de dégradations environnementales deviendrait alors un facteur de choix de localisation pour les ménages ou les entreprises. L'organisation spatiale des activités économiques elle-même n'est pas neutre sur les niveaux local et global des dégradations environnementales.

Annexes Chapitre 1

MAUP

Le problème de “*Modifiable Areal Unit Problem*” (MAUP) est bien connu des géographes, nommé comme tel pour la première fois par Openshaw et Taylor (1979). Ce problème d’agrégation spatiale engendre des biais dans l’estimation, par exemple, de coefficients de corrélation lorsque le zonage est modifié.

Briant *et al.* (2010) travaillent sur la place de ce problème dans le cadre d’économie géographique et des travaux économétriques. Ils proposent le schéma de la figure 1.4 pour illustrer le problème. La relation analysée est la corrélation possible entre la densité d’emploi et la productivité du travail. Les points noirs représentent les individus dotés d’une forte productivité (qualifiés) et les points blancs désignent ceux avec une faible productivité (peu qualifiés).

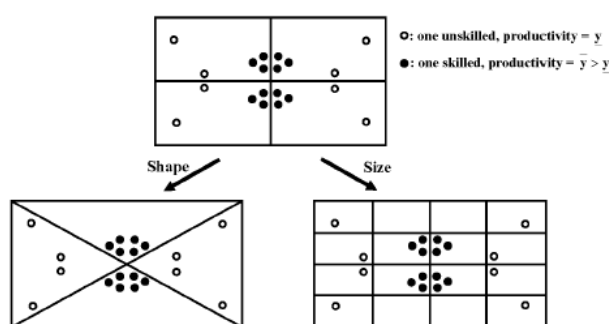


Figure 1.4 – Graphique illustrant le “MAUP”, source : Briant *et al.* (2010)

Dans le premier zonage de la figure 1.4 où l’espace est divisé en 4 rectangles de même surface, on note que la distribution des travailleurs qualifiés et non qualifiés est uniforme. Aucune relation ne se dessine entre concentration et productivité. D’une part, les auteurs illustrent le problème issu de la forme des zones choisies avec le zonage de gauche. En effet, ce découpage fait apparaître des *clusters* selon le type de travailleurs. Si l’objectif est d’établir une relation entre le niveau de productivité et la localisation des individus, la conclusion issue de ce zonage est celle d’une relation positive entre la concentration et le niveau de productivité. D’autre part, ils expliquent comment le nombre de zones peut engendrer des résultats différents avec le zonage de droite sur la figure 1.4. Ce zonage fait état d’une formation de clusters de travailleurs qualifiés et permet donc d’établir une relation positive entre la concentration et la productivité, pourtant cette relation est nettement moins forte que dans le cas précédent puisque l’écart moyen de productivité entre les zones est plus faible.

Dégradations environnementales industrielles et organisation spatiale

Introduction

Le fait que l'urbanisation soit confrontée à des enjeux de pollution majeurs ne constitue pas un phénomène nouveau. On peut alors citer l'exemple de grandes villes industrielles au 18^{ème} siècle telles que Londres ou Paris où la gestion des déchets et la proximité des usines créaient de très importantes pollutions dangereuses pour la santé. Malgré les problèmes environnementaux évidents dans les zones urbaines où s'agglomèrent les activités économiques, les individus continuent de s'y installer ¹.

Parmi les activités économiques, certaines vont être directement émettrices de pollution. Leur localisation représente alors un double enjeu pour les pouvoirs publics : attirer les entreprises à s'installer sur le territoire tout en veillant à considérer les problèmes environnementaux qui en découlent. Si ces deux problématiques semblent a priori difficile à concilier, il est important d'y intégrer les forces d'agglomération et les autres mécanismes liant localisation et effet sur l'environnement qui ne dépendent pas uniquement de l'action des pouvoirs publics.

Dans ce chapitre, l'objectif est de comprendre comment la prise en compte de l'environnement peut modifier les relations discutées précédemment entre agglomération et croissance économique. Pour cela on analyse la manière dont l'environnement est traité dans la littérature d'économie spatiale et comment il est intégré aux choix de localisation des agents économiques. Il est pour cela essentiel de situer l'environnement parmi les forces de dispersion présentes dans un modèle de la NEG. La principale force de dispersion est la concurrence entre les entreprises qui les incite à se localiser dans une région avec le moins d'entreprises possible. Le

1. 54% de la population mondiale vit en zone urbaine en 2014 quand seulement 6.75% vit dans des villes de plus de 10 millions d'habitants (ONU, 2014).

coût de la vie y est considéré comme une force d'agglomération, alors que d'autres travaux, plus inspirés par l'économie urbaine, envisagent au contraire que le coût de la vie dans les agglomérations est une force de dispersion en raison d'une hausse du prix du foncier. Le secteur traditionnel (ou agricole) représente lui aussi indirectement une force de dispersion. Parmi ces différents mécanismes, les dégradations environnementales liées à la concentration des activités industrielles ne sont que rarement prises en compte dans les modèles de la NEG. Cependant, on pressent que les dégradations environnementales liées à la présence d'industries vont pousser les ménages mais aussi les activités économiques à se localiser là où les entreprises polluantes sont les moins nombreuses.

Les forces d'agglomération demeurent nombreuses et les activités économiques sont particulièrement concentrées. Cependant, il y aurait une tendance au ralentissement de l'agglomération (Combes *et al.*, 2011b) : les raisons invoquées sont, entre autres, une réduction des rendements croissants du secteur manufacturier. D'autres travaux suggèrent que l'agglomération crée elle-même des forces qui rendent cette situation moins désirable du fait par exemple des coûts de navette ou du coût foncier (Candau, 2011). On peut alors suggérer que les dégradations environnementales constituent une des forces centrifuges issue du phénomène même de l'agglomération.

Nous présentons dans une première partie les dégradations environnementales envisagées dans le reste du chapitre et leur caractère spatial. Dans une deuxième partie, nous allons voir comment les dégradations environnementales affectent la sphère économique par l'intermédiaire de ses effets sur la santé des individus, sur la productivité des firmes et sur la croissance économique. Dans une troisième partie nous essayons de comprendre en quoi la localisation des agents économiques s'adaptent aux dégradations environnementales. En effet, les effets néfastes sur la productivité des firmes sont déterminants dans la prise en compte de l'environnement dans l'organisation spatiale. Enfin nous analysons dans une dernière partie comment les activités économiques et leurs organisations spatiales ont à leur tour une influence sur le niveau global et local de qualité environnementale.

2.1 Pressions industrielles sur l'environnement

Les pressions industrielles sur l'environnement sont nettement en baisse en France (Rapport Industries, 2010). La baisse des dégâts environnementaux issus de l'industrie peuvent en grande partie être associée à la baisse d'activité dans certains secteurs industriels (entre 1993 et 2011, la part de l'industrie dans le PIB a diminué de 6.5 points). Pour autant, la baisse de l'activité industrielle² peut s'avérer trompeuse par rapport aux effets réels sur l'environnement. Il existe en effet une tendance poussant à externaliser certaines activités faisant alors automatiquement augmenter le niveau de production du tertiaire. Cette baisse d'activité en France, peut être aussi due à une restructuration conduisant à la délocalisation hors de France de certaines activités polluantes. Pourtant l'industrie représente encore 12% du PIB 2012. L'industrie manufacturière représente un des principaux émetteurs de CO_2 (après les transports) avec 24% des émissions de CO_2 en France en 2011, contre 35% pour le transport routier et 14% pour le secteur de transformation d'énergie (CITEPA, 2013).

2.1.1 Un état des lieux

Plusieurs canaux

L'impact environnemental de l'industrie opère selon plusieurs canaux. Le Rapport Industries (2014) propose un état des lieux des différentes pressions industrielles sur l'environnement dont nous mobilisons ici les principaux résultats.

L'industrie est à l'origine d'émissions polluantes dans l'air et dans l'eau. Les émissions dans l'air sont composées des gaz à effet de serre (CO_2 en particulier) et des autres émissions polluantes (cf. le tableau 2.10 en annexe, page 115, pour le détail des émissions polluantes et les principaux secteurs émetteurs) liées à l'acidification ou à la contamination en métaux lourds. De nombreux polluants atmosphériques sont en baisse en France, à commencer par les émissions de dioxydes de soufre (SO_2) avec une baisse de 86% entre 1960 et 2011 (CITEPA, 2013). Le cas français ne doit pas faire oublier que les émissions de SO_2 sont encore très élevées dans certaines régions en Chine ou en Inde par exemple et représentent toujours un enjeu majeur dans les pays concernés.

L'industrie représente un tiers des gaz à effet de serre émis en France métropolitaine en 2010 et a tendance à diminuer. Si l'on s'attarde sur les évolutions des principaux polluants atmosphériques issus de l'industrie en France, la baisse importante dans les années 70-80

2. Un rapport de 2010 du ministère de l'Environnement suggère que l'amélioration des techniques en faveur de l'environnement avait été compensée par l'augmentation de la production (Rapport Industries, 2010).

s'explique de plusieurs manières (Lacroix et Zaccaï, 2010). Les crises pétrolières et la hausse des prix des matières premières ont incité l'industrie à de grandes économies d'énergie. Le progrès technologique, le fort développement du nucléaire et la croissance des secteurs du tertiaire ont aussi participé à la baisse des émissions polluantes industrielles. Cependant, pour enrayer le phénomène de réchauffement climatique, l'important est la quantité mondiale de gaz à effet de serre. La baisse d'émissions de gaz à effet de serre enregistrées en France est peut être compensée par celles liées à l'importation de matières et produits ou par une production délocalisée. Par ailleurs, les politiques visant les pollutions atmosphériques issues du transport automobile apparaissent plus tardivement (Lacroix et Zaccaï, 2010) que les mesures visant l'industrie, i.e. en 1996 avec la loi sur l'air (LAURE) et les mesures d'urgence en cas de dépassement de seuil. Jusqu'alors les pouvoirs publics préféraient s'occuper des sources fixes (avec les établissements industriels en premier lieu), plutôt que les sources mobiles.

Quant à la pollution de l'eau, les établissements de l'industrie manufacturière (en particulier la métallurgie) et de l'industrie extractive, certains élevages et les stations d'épuration représentent les premiers émetteurs de polluants. Alors que les matières azotées, phosphorées et hydrocarbures sont principalement issues du secteur "eau, déchet et dépollution", les matières en suspension rejetées dans l'eau sont, quant à elles, issues à 70% du secteur de la métallurgie. La plupart des émissions de polluants dans l'eau sont aussi en baisse, ainsi entre 2007 et 2011 la baisse des émissions déclarées va de 3% à 95% selon les substances (Rapport Industries, 2014).

L'industrie est aussi consommatrice de ressources naturelles telles que l'eau, l'énergie et d'autres matériaux. Les prélèvements en eau relèvent essentiellement du secteur "production d'énergie" mais l'immense majorité des prélèvements de ce secteur est restituée au milieu, avec 66% du total d'eau prélevé en France en 2010. Les deux autres secteurs fortement consommateurs d'eau sont ceux de la "chimie/pharmacie" et du "bois/papier/carton". Quelque soit le secteur, la consommation en eau a par ailleurs nettement baissé depuis 20 ans. De plus, l'industrie arrive en deuxième position en termes de consommation d'énergie avec 33 millions de tonnes équivalent pétrole en 2010, toutes énergies confondues. Les premiers consommateurs d'énergie demeurent les ménages. Les autres matériaux mobilisés par l'industrie selon les secteurs sont des minerais, le bois, etc. essentiellement issus des carrières et destinés à la construction.

En outre, les activités industrielles sont à l'origine de nuisances sonores et olfactives et produisent de nombreux déchets. Le secteur du "bois/papier/carton" est le premier producteur

de déchets en volume. Parmi les déchets, certains sont dangereux, l'industrie chimique et métallurgique représente le premier producteur avec 78% des déchets dangereux de l'industrie manufacturière en 2010. Les sites et sols pollués sont l'héritage d'établissements industriels aujourd'hui fermés.

Enfin, les risques d'accidents industriels sont faibles mais l'enjeu est très fort tant les dégâts peuvent être importants. Les établissements concernés doivent déclarer lorsqu'un accident a lieu. Ce dernier, tels qu'un incendie ou une explosion, peut avoir des conséquences en termes d'émissions polluantes.

Dégradations environnementales : un phénomène spatial

Au cours de ce chapitre, on insistera particulièrement sur les émissions polluantes atmosphériques. Comme nous le verrons par la suite, ce type d'émissions est régulièrement visé par les études tant sur les effets de la pollution sur la santé (maladie respiratoire) que sur l'évaluation de l'impact de la pollution sur les prix du foncier. De plus, les émissions polluantes atmosphériques sont relativement bien estimées par les services régionaux de l'ADEME. Il existe par ailleurs une grande diversité de polluants atmosphériques. La concentration de certains polluants apportent alors des informations sur le type d'activités dont ils sont issus, tels que les transports avec les émissions de NO_x ou l'industrie avec le SO_2 . Enfin, puisque ces émissions atmosphériques sont fortement médiatisées voire même visibles à l'œil nu, elles représentent d'autant plus un enjeu de politiques publiques.

On note que les dégradations environnementales sont modélisées de manière très simple et leurs caractéristiques ne sont pas précisées dans les modèles d'économie géographique. La modélisation utilisée ne permet, en effet, pas réellement de différencier les canaux cités précédemment. Les ménages et le secteur des transports représentent d'importantes sources de pollution atmosphérique intégrées dans certains des modèles d'économie spatiale que nous présentons dans la suite du chapitre. Cependant, nous ciblons davantage les dégradations issues du secteur productif et leurs caractéristiques. La source, telle qu'un site de production ou une usine, est dans ce cas fixe.

Malgré une prise en compte relativement tardive des enjeux environnementaux dans les modèles de la NEG, les dégradations environnementales ont une dimension spatiale intrinsèque. La localisation des concentrations en polluant s'avère, en effet, être dépendante de la source de pollution. Pour autant, ces pollutions peuvent se déplacer dans l'espace, la pollution émise

par les firmes peut être alors transfrontalière ou diffuse (par exemple, EMEP (2010)³). Selon les pressions environnementales ciblées, la question de la portée locale ou globale se pose. Si les émissions de gaz à effet de serre et ses conséquences sur le réchauffement climatique constituent un problème global, d'autres pressions environnementales représentent davantage un problème local. La distance entre le ménage et la source de pollution ou la zone fortement concentrée en polluant importe dans la perception du ménage des désagréments et autres risques.

Enfin, la répartition spatiale hétérogène des pollutions en France révèle l'importance d'envisager les dégradations environnementales comme un phénomène spatial. Par exemple, les émissions polluantes liées au transport routier sont particulièrement fortes au niveau des grands axes et des centres urbains denses. De plus, les émissions liées aux activités industrielles manufacturières sont corrélées à l'implantation des établissements dont environ 35% sont situés en Ile-de-France, Rhône Alpes ou Pays de Loire. Plus particulièrement, puisque nous avons fait le choix de cibler les pollutions issues de l'industrie, on doit s'interroger sur leurs caractéristiques spatiales. Il s'agit alors de comprendre si elles diffèrent de celles des pollutions résidentielles et des transports. Par exemple, les risques et accidents industriels sont eux très clairement associés au voisinage direct de l'usine. La perception des risques et l'impact sur les prix de l'immobilier dépendent fortement du secteur d'activité et de la zone d'implantation (Grislain-Letrémy et Katosky, 2014).

Modélisation des dégradations environnementales : pollutions industrielles

Dans les modèles de la NEG, le phénomène de congestion est introduit régulièrement, par exemple, Brakman *et al.* (1996); Accetturo (2010); Fujita et Thisse (2013); la pollution industrielle ne l'est que beaucoup plus rarement. La pollution et la congestion partagent un facteur commun qui peut être celui de la concentration géographique. La concentration des firmes induit de la congestion, liée aux mobilités, qui génère à son tour de la pollution atmosphérique. Pour autant, il peut y avoir des zones très polluées sans véritable congestion du réseau de transport, en particulier dans le cas de la pollution industrielle.

Les phénomènes de pollution et celui de congestion sont différents (Wu et Reimer, 2016). Plusieurs facteurs peuvent être identifiés distinguant les deux phénomènes. Si certaines firmes ne génèrent pas ou peu de pollution, il semble plus difficile de penser qu'elles ne contribuent

3. L'EMEP (*European Monitoring and Evaluation Programme*) a été créé dans le cadre d'une convention sur la pollution atmosphérique transfrontalière. Elle est chargée d'évaluer la concentration des polluants et le pourcentage venant de l'étranger.

pas toutes au phénomène de congestion. La congestion peut certes avoir des conséquences sur la région dans son ensemble mais ne se déplace pas véritablement, certaines pollutions sont au contraire particulièrement diffuses avec des vecteurs tels que l'eau des fleuves ou l'air. Enfin, les émissions polluantes peuvent s'avérer très variables selon l'entreprise et son niveau de production. Cette variabilité est moins évidente concernant la contribution au phénomène de congestion.

2.1.2 Les entreprises polluantes en France et leur localisation

Les dégradations environnementales dépendent de la localisation de leurs sources, il semble donc essentiel de présenter l'emplacement des firmes industrielles puisque les dégradations ciblées dans ce chapitre sont les émissions polluantes industrielles. Faire une évaluation empirique des déterminants des choix de localisation des firmes s'avère complexe, c'est pourquoi la littérature sur ce domaine demeure principalement descriptive (Combes et Gobillon, 2015). En effet, il est difficile de différencier empiriquement les mécanismes conduisant à un même résultat : l'agglomération des activités et/ou des ménages. Il est alors nécessaire d'identifier et isoler les déterminants de localisation. Des travaux tels que Kim (1995) ou Rosenthal et Strange (2001) tentent d'expliquer les indices de concentration des secteurs par des déterminants théoriques, on peut citer par exemple : les externalités de connaissance, le partage des inputs, et le marché du travail. Ils connaissent, pourtant, quelques limites importantes pour expliquer la localisation des firmes et requièrent de nombreuses données et informations. Une des limites est la place laissée aux économies d'échelle (taille moyenne d'un établissement dans un secteur) comme source d'agglomération dans l'analyse de Kim (1995) par exemple (pour davantage de précisions : Combes *et al.*, 2008b, p278). De plus, la plupart des déterminants locaux de l'agglomération peuvent être considérés comme endogènes (Combes et Gobillon, 2015, p75). Nous nous limitons donc dans cette section à une description de la localisation des établissements et de la concentration spatiale des secteurs considérés comme polluants.

Ce contexte pris en compte, nous présentons dans un premier temps les données utilisées puis nous développons l'analyse sur la localisation des firmes polluantes.

En France, tous les établissements de type ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement) sont identifiés et font l'objet de différentes régulations. Ils sont soumis à différentes procédures d'inscription au registre ICPE selon leur degré de risques environnementaux : obligation de déclaration, d'enregistrement ou d'autorisation. En 2013, il existe 500 000 établissements classés ICPE, dont 4 500 établissements soumis à autorisation ou

enregistrement. Parmi ces derniers, une attention particulière est réservée aux établissements Seveso⁴ en raison de leurs risques accidentels. La France compte 1200 établissements Seveso. Les établissements IPPC (*Integrated Pollution Prevention and Control*) sont plutôt à risque chronique, i.e. de grands émetteurs industriels de pollution⁵ au nombre de 6 700 en 2013. Les établissements d'élevages, les carrières ou les installations de traitement des déchets sont aussi considérés comme des IPCE.

Pour mieux comprendre la répartition des établissements concernés par les différentes directives et législations françaises ou européennes, le figure 2.1 ci-dessous résume la classification :

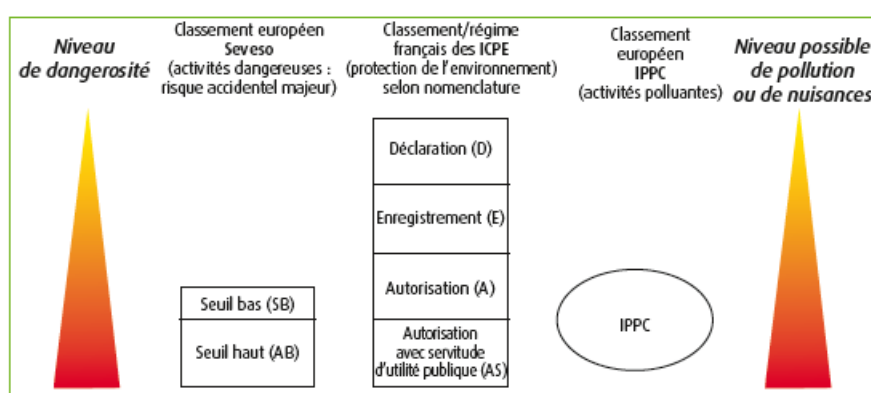


Figure 2.1 – Établissements classés à risque pour l'environnement, source : SOeS (*Ministère de l'Environnement*)

L'analyse est menée sur 52 155 installations actives en 2015. Les cartes ci-dessous permettent d'avoir un aperçu de la localisation des établissements considérés comme dangereux pour l'environnement. Elles présentent le nombre d'établissements polluants ICPE ou Seveso par département en France métropolitaine (exceptée la Corse). S'il existe des ICPE sur l'ensemble du territoire, on note qu'ils ne sont pas uniformément répartis et sont le reflet, entre autres, de spécialisation sectorielle historique par région. Les ICPE représentent tous les établissements classés comme dangereux, pour autant, la localisation des établissements Seveso semble répondre à une logique différente de l'ensemble des ICPE. De nombreux ICPE sont des élevages puisque les épandages sont fortement contrôlés du fait de leur impact fort sur l'environnement. Sans surprise, on constate alors que la Bretagne est une région où les établissements ICPE sont fortement représentés. En effet le secteur agricole en Bretagne est

4. Le terme correspond au nom de la directive prise après l'accident dans une entreprise chimique en Italie en 1976 qui a fortement touché le village Seveso.

5. Le terme correspond au nom de la directive 2008/1/CE remplacée par la directive 2010/75/UE dite IED (*Industrial Emissions Directive*).

pertinent de mener cette analyse sur l'ensemble du territoire français, le découpage en zone d'emploi est à la fois relativement fin et est porteur d'un sens économique. La zone d'emploi étant fondée sur des critères économiques de navette domicile-travail, elle peut s'avérer une bonne unité d'analyse pour étudier la perception des dégradations environnementales par les ménages dans leur quotidien (utilisée par exemple dans Drut et Mahieux, 2017). Ce choix sera, par ailleurs, maintenu pour les indices de concentration et dans le chapitre 4.

Dans le tableau 2.1, on observe que l'indice de Moran pour les établissements Seveso est nettement inférieur (et non significatif) à celui des IED (qui lui est significatif). L'autocorrélation spatiale apparaît donc plus faible pour les établissements Seveso.

	Moran's I	p-value*
ICPE	0.081	0.008
SEVESO	0.049	0.075
IED	0.328	0.000

Tableau 2.1 – Indices de Moran des ICPE

On complète l'analyse par le calcul des indices de Moran locaux permettant de mieux apprécier le profil spatial des établissements visés. La formule d'un indice de Moran local pour la zone d'emploi i est la suivante :

$$I_i = \sum_{j=1}^R w_{ij} \left(\frac{y_i - \bar{y}}{\sigma_y} \right) \left(\frac{y_j - \bar{y}}{\sigma_y} \right),$$

avec w_{ij} les éléments de la matrice spatiale et désignent si la zone d'emploi i est contiguë à la zone j , R est le nombre de zones d'emploi total.

Le scatter plot de Moran (Anselin, 1993) représente le “lag spatial” d'une valeur par rapport à la valeur originale de la variable, i.e. la part d'établissements polluants (ICPE, Seveso ou IED) par zone d'emploi. On évalue dans ce tableau la proportion de zones d'emploi situées dans chacun des quadrants.

	HH	HL	LH	LL
ICPE	17,43%	19,41%	21,38%	41,78%
SEVESO	15,13%	18,09%	22,70%	44,08%
IED	19,41%	12,17%	16,78%	51,64%

Tableau 2.2 – Quadrants du Moran scatterplot

Chaque zone d'emploi est affectée dans une de ces catégories : HH (high-high), HL (high-low), LL (low-low), LH (low-high). Par exemple, une zone d'emploi peut être considérée comme "HH" si la proportion d'ICPE y est relativement élevée et que ses voisines ont aussi une proportion importante d'ICPE. Alors que les quadrants HH et LL indiquent une autocorrélation spatiale positive (entre valeurs semblables), les quadrants HL et LH montrent l'inverse.

Nous représentons l'analyse par la méthode des Indices de Moran Localisés (LISA) sur la carte des zones d'emploi en France pour l'ensemble des établissements ICPE, pour les établissements IED et les SEVESO. Les figures 2.3 et 2.4 sont les suivantes :

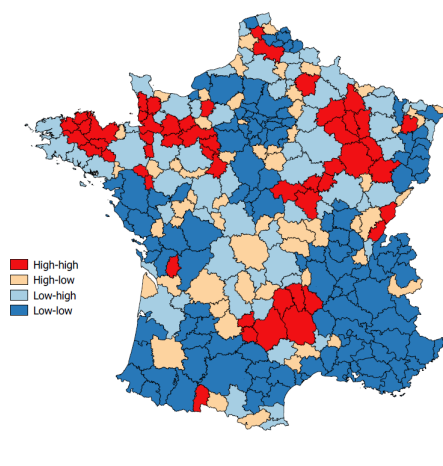


Figure 2.3 – Carte du Moran scatterpot pour les ICPE

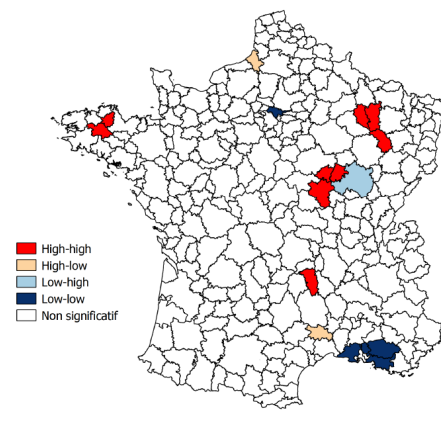


Figure 2.4 – Carte du Moran scatterpot avec significativité pour les ICPE

Pour les données sur les établissements SEVESO, on constate que l'autocorrélation spatiale est effectivement moins souvent significative (cf. figures 2.5 et 2.6). Les zones d'emploi pour lesquelles cette mesure est a priori significative sont assez dispersées sur le territoire. Plusieurs zones d'emploi semblent montrer une autocorrélation spatiale négative significative, démontrant l'existence d'îlots. Il existe en effet des zones d'emploi avec une relative forte proportion d'établissements SEVESO (H) entourées de zones faiblement dotées de ce type d'établissements (L).

Pour les données sur les établissements IED, on note que la Bretagne est effectivement une région dans laquelle on trouve de nombreuses zones d'emploi ayant une auto corrélation spatiale positive. Le même type de phénomène semble se dessiner au Nord Est.

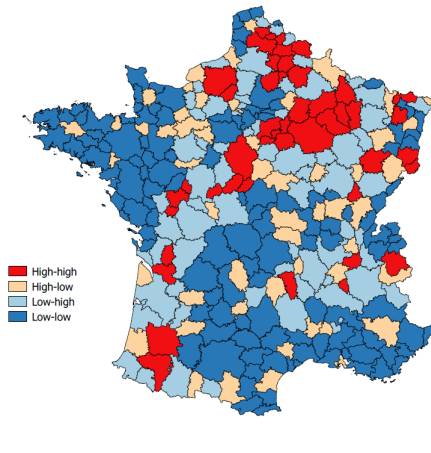


Figure 2.5 – Carte du Moran scatterpot pour les SEVESO

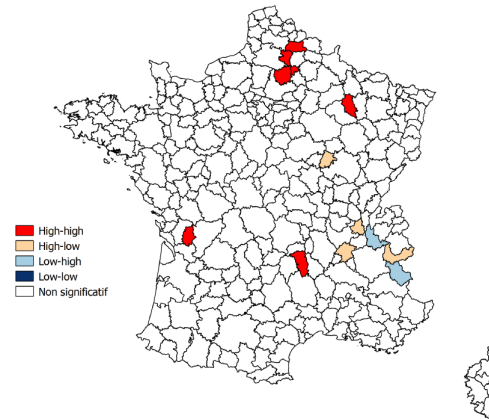


Figure 2.6 – Carte du Moran scatterpot avec significativité pour les SEVESO

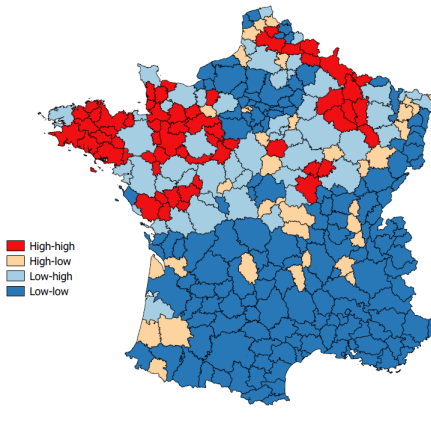


Figure 2.7 – Carte du Moran scatterpot pour les IED

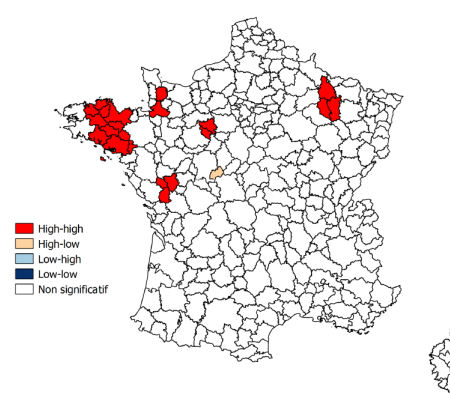


Figure 2.8 – Carte du Moran scatterpot avec significativité pour les IED

2.1.2.1 Concentration spatiale des secteurs polluants

L'objectif est de mesurer la concentration spatiale des secteurs en France et d'identifier si les secteurs polluants ont un profil spatial différent. Notre démarche ne permet pas de différencier la structure du secteur et son intensité en pollution. Il permet simplement d'apporter un éclairage nouveau en considérant les émissions polluantes de chaque secteur. Un indice de concentration spatiale mesure la corrélation entre les localisations de deux établissements d'un même secteur. Il existe plusieurs indices de concentration, si aucun n'est pleinement satisfaisant et fait l'unanimité, plusieurs critères guident pour le choix de la mesure. Duranton et Overman (2005) et Combes *et al.* (2008b) proposent plusieurs propriétés pour un indice "idéal".

Base de données IREP

Nous mobilisons également la base de données IREP (registre des émissions polluantes)⁷ qui recense les déclarations annuelles de substances et polluants dangereux rejetés dans l'eau, l'air ou le sol et la production et traitement de déchets. Ces déclarations sont issues des principaux établissements industriels, des stations d'épuration urbaines de plus de 100 000 habitants et de certains élevages. Pour chaque établissement nous disposons de la commune et du secteur d'activité. Notre étude porte sur des données de 2013 en France métropolitaine. Les établissements ayant l'obligation de remplir cette déclaration annuelle sont désignés par l'arrêté du 31 janvier 2008⁸. Cette base de données nous permet d'identifier le secteur des établissements polluants, mais n'est pas exhaustive comme était la base des installations ICPE.

Indices de concentration

Les indices de concentration peuvent être à l'origine de nombreuses critiques et limites. Les critères pour une mesure de concentration spatiale "idéale" sont difficilement atteignables. Combes *et al.* (2008b) (p. 255) présentent ainsi les six principaux critères auxquels les indices de concentration doivent être évalués :

1. comparabilité entre les secteurs, i.e. différencier la concentration industrielle de la concentration spatiale
2. comparabilité entre les échelles spatiales, puisque le nombre d'unités spatiales influence la valeur de l'indice
3. être non biaisé par rapport à un changement arbitraire de classification spatiale, i.e. le problème "*MAUP*" et le problème de la position relative des unités spatiales
4. être non biaisé par rapport à la classification industrielle, i.e. prendre en compte la distance technologique entre les secteurs
5. être apprécié par rapport à une *distribution de référence* des activités économiques
6. doit permettre de déterminer s'il existe une *différence significative* entre la distribution de référence et celle déterminée par cette mesure "idéale"

Nous présentons trois des principaux indices les plus mobilisés dans la littérature : l'indice de Gini, l'indice d'Herfindhal et l'indice d'Elison et Glaeser. L'indice de Gini concerne la

7. Téléchargeable sur <http://www.georisques.gouv.fr>.

8. https://aida.ineris.fr/consultation_document/23106

distribution des λ_r^s entre les unités spatiales qui est la proportion de l'emploi du secteur s sur une unité spatiale (région) r . Plus précisément, on a $\lambda_r^s = \frac{x_r^s}{x^s}$ avec $x^s \equiv \sum_{r=1}^R x_r^s$. On appelle x_r^s le niveau d'emplois dans le secteur s , $s \in \{1, \dots, S\}$ et dans la région r , $r \in \{1, \dots, R\}$ ⁹. L'indice de Gini est ainsi défini :

$$G^s = 1 - \sum_{n=1}^R \frac{1}{R} [\lambda_{r(n-1)}^s + \lambda_{r(n)}^s],$$

avec $\lambda_{r(n-1)}^s \equiv \sum_{r=1}^n \lambda_r^s$ (la part des n régions cumulées). Si le secteur s était uniformément réparti entre les régions, chaque région représenterait alors $1/R$ de l'emploi total dans ce secteur. L'indice de Gini est une interprétation de la courbe de Lorenz et mesure l'aire entre cette dernière et la droite à 45 degrés. La courbe de Lorenz désigne les inégalités de répartition de l'emploi du secteur parmi les R régions. La plupart des propriétés d'un indice "idéal" ne sont pas respectées pour l'indice de Gini. Seule la propriété numéro 5 est effectivement vérifiée puisque la distribution uniforme fait office de référence. Dans notre cas, R correspond au nombre total de zones d'emploi sur le territoire et λ_r^s correspond à la proportion de l'emploi dans le secteur s pour la zone d'emploi r .

L'indice de Herfindhal pour le secteur s est la somme pondérée de la part de l'emploi par région pour le secteur s au carré. La formule de cet indice est la suivante :

$$H^s = \frac{1}{R} \sum_{r=1}^R \lambda_r^s \left(\frac{\lambda_r^s}{\lambda_r^s} \right)^2,$$

avec λ_r la proportion de l'emploi de la région r , i.e. $\lambda_r = \frac{x_r}{x}$. De la même manière que l'indice de Gini, l'indice d'Herfindhal ne répond pas aux propriétés citées ci-dessus. Cet indice est souvent mobilisé comme un indice de concentration sectorielle (et non concentration spatiale). Il est, en ce sens, défini ainsi : $H^s = \sum_i (x_i^s)^2$, avec x_i^s la part de l'emploi de l'établissement i dans l'emploi total du secteur.

Plus récemment, d'autres indices prennent finalement en compte la concentration industrielle (Ellison et Glaeser, 1997; Maurel et Sédillot, 1999). Un secteur d'activité avec un faible nombre d'établissements restreint alors ses emplois dans un nombre relativement réduit de régions ou communes. L'indice d'Ellison et Glaeser se présente de la manière suivante :

$$I_{EG}^s = \frac{G_{EG}^s - H^s}{1 - H^s},$$

9. Les notations issues de Combes *et al.* (2008b).

où,

$$G_{EG}^s = \frac{\sum_{r=1}^R (\lambda_r^s - \lambda_r)^2}{1 - \sum_{r=1}^R \lambda_r^2}.$$

Parmi les indices où l'espace est une variable discrète, l'indice d'Ellison et Glaeser est à privilégier puisque la propriété numéro 1 est respectée puisqu'il tient compte de la concentration industrielle contrairement aux deux précédents indices.

Comme vu précédemment, les méthodes mesurant la concentration géographique avec un zonage du territoire sont susceptibles d'engendrer des biais (par exemple, le problème MAUP annexe chapitre 1, page 60). Une alternative est donc de considérer l'espace comme une variable continue. Les mesures utilisant les distances (Duranton et Overman, 2008) permettent de gérer ces problèmes et répondent aux propriétés requises citées par Combes *et al.* (2008b).

Analyse de la concentration sectorielle et classement des secteurs pollueurs

Pour calculer les indices de concentration spatiale des secteurs en France, nous utilisons les données INSEE librement téléchargeables (base de données CLAP) agrégées à la commune et au secteur. On dispose donc du nombre de salariés et d'établissements par secteur par commune en 2014. Les activités économiques sont réparties entre 88 secteurs. Nous n'avons pas d'information à l'échelle de l'établissement, nous ne pouvons donc calculer l'indice d'Herfindhal de concentration industrielle nécessaire au calcul de l'indice d'Ellison et Glaeser. La seule information disponible est le nombre d'établissements par secteur s au niveau national (n_s). Une manière simple de prendre en compte cet aspect est de considérer que $H^s = \frac{1}{n_s}$ (Combes *et al.*, 2008b). On calcule donc l'indice de Gini et un indice tenant compte de ce paramètre. On garde le second puisqu'il est plus proche de l'indice d'Ellison et Glaeser. Cependant, le classement des secteurs en termes de concentration spatiale est faiblement modifié par rapport à celui établi avec l'indice de Gini.

Nous ajoutons également les données concernant les déclarations annuelles de polluants issues de la base IREP présentée ci-dessus. Nous nous focaliserons sur les émissions atmosphériques polluantes.

Nous avons mené l'analyse pour plusieurs types d'émissions atmosphériques : les gaz à effet de serre (CO_2 , CH_4 -méthane), gaz liés à l'acidification et pollution photochimique (SO_2 , NO_x , CO , COVNM - composés organiques volatils non méthaniques), les métaux lourds (Cd -cadmium, Hg -mercure et Pb -plomb), polluant organique persistant (HAP - hydrocarbure aromatique polycyclique) et TSP (particules fines). Pour ces différents types d'émissions,

nous avons identifié les secteurs ayant des établissements enregistrés dans la base IREP. Les secteurs sont ensuite classés selon leur intensité de pollution, i.e. les quantités de polluant déclarées par les établissements dans la base et divisées par le nombre d'établissements dans le secteur. Cela constitue un indicateur brut du niveau de pollution du secteur¹⁰. L'indicateur de degré de pollution par secteur est le suivant :

$$intensité_s = \frac{\text{quantité d'émissions polluantes du secteur } s \text{ de la base IREP}}{\text{nombre d'établissements du secteur } s}.$$

On considère ensuite le log de $intensité_s$ qui permet de donner plus de poids aux différences de niveau de pollution pour des valeurs plutôt faibles. Même si les secteurs tels que les services de communication, de banque et d'administration (i.e. ayant un code NAF supérieur à 60) sont utilisés pour le calcul des indices de concentration, ils ont été exclus dans les tableaux ci-dessous pour le calcul de l'intensité en pollution. La présence d'établissements polluants dans ces secteurs est très faible et nous avons choisi de nous concentrer sur les secteurs potentiellement polluants.

Par type d'émissions atmosphériques, plusieurs éléments sont calculés : les secteurs émetteurs de ce polluant, la concentration spatiale de ces derniers et le classement en termes d'intensité polluante et en termes de concentration spatiale. Cela permet d'avoir déjà un aperçu sur le profil des secteurs émetteurs pour chacun des polluants. Le CH_4 est fortement représenté dans des secteurs peu concentrés (cf. tableau 2.5 en annexe, page 108) puisque Le CO_2 et le COVNM sont en revanche très présents dans les secteurs très concentrés spatialement, par exemple, la *Cokéfaction et raffinage* ou l'*Extraction d'hydrocarbure*.

On retrouve, en annexe page 108, les tableaux pour chaque polluant et une rapide présentation de l'ensemble des polluants atmosphériques cités ci-dessus. Nous présentons l'analyse dans le tableau 2.3 pour les émissions industrielles de plomb. Les secteurs émetteurs de plomb, présentés dans le tableau 2.3, sont relativement peu nombreux, contrairement aux émetteurs de CO_2 . Certains sont très concentrés spatialement (*production de produits minéraux non métalliques*), la plupart des secteurs émetteurs de plomb font, d'ailleurs, partie de la première moitié du classement en termes de concentration spatiale ("Rang(1)" < 40).

Travaillant sur la concentration spatiale des secteurs et leur intensité de pollution, nous cherchons à comprendre s'il existe un lien entre ces deux caractéristiques pour chaque secteur.

10. Cependant, on note que ces déclarations ne couvrent pas l'ensemble des émissions polluantes puisque la base IREP ne constitue pas une liste exhaustive des établissements polluants en France.

Secteurs (niveau 2)	Pollution Plomb	Concentration spatiale		
	Rang	Indice	Rang(1)	Rang*(2)
Métallurgie	1	0,0124	20	2
Industrie du papier et carton	2	0,0051	43	10
Collecte trait. eaux usées	3	0,0071	34	6
Cokéfaction et raffinage	4	0,0552	9	1
Fab. pdts minéraux non métalliques	5	0,0064	39	8
Industrie chimique	6	0,0048	45	12
Collecte traitement des déchets	7	0,0017	69	17
Captage, traitement et distribution d'eau	8	0,0064	38	7
Industrie pharmaceutique	9	0,0105	24	4
Travail du bois	10	0,0034	52	13
Fabrication d'éqpts électriques	11	0,0051	42	9
industries alimentaires	12	0,0018	68	16
Fab. produits métalliques	13	0,0026	59	14
Prod. distrib. électricité gaz	14	0,0051	44	11
Fab. Informatiques électroniques	15	0,0099	26	5
Fab. Boissons	16	0,0115	22	3
Génie civil	17	0,0026	60	15
Transports terrestres	18	0,0008	80	18

Tableau 2.3 – Concentration et intensité de pollution en Plomb

Les corrélations entre le log de l'intensité de pollution et l'indice de concentration spatiale sont résumés dans le tableau 2.4. Les secteurs les plus polluants semblent être ceux qui sont les plus concentrés. Ce résultat est vérifié pour l'ensemble des 11 substances (dont 6 corrélations significatives). Le sens de la corrélation est identique quelle que soit la mesure retenue : indice de *Spearman* ou indice de *Kendall*. Les coefficients de corrélation semblent plus significatifs pour les substances telles que CO_2 et COVNM. Il est nécessaire de noter que ce résultat ne permet pas d'émettre des commentaires quant à un lien de causalité entre ces deux phénomènes. De plus, le fait qu'un secteur soit concentré n'implique pas qu'il soit situé dans une zone de forte agglomération. Il est probable que les secteurs tels que la *Cokéfaction et raffinage* fortement concentrés et fortement polluants orientent les résultats. En effet, les trois polluants pour lesquels la relation est fortement significative sont ceux où les activités telles que la *Cokéfaction et raffinage* ou l'*Extraction d'hydrocarbure* ou la *Métallurgie* sont très représentées.

2.1.2.2 Analyse exploratoire des corrélations spatiales

Les indices de concentration de type Ellison et Glaeser reposent sur un zonage du territoire. Ils permettent donc de déterminer la concentration sur une zone, peu importe si la zone voisine a aussi une forte concentration d'activités ou pas. La mesure de concentration serait la même si les zones étaient interchangées (Arbia, 2001). Il apparaît donc pertinent de mesurer

	Spearman	p		Kendall	p	
CH4	0,4126	0,1826		0,2727	0,2437	
CO ₂	0,515	0,0026	**	0,3508	0,005	**
CO	0,7167	0,0298	*	0,5	0,0763	
SO ₂	0,7133	0,0092	**	0,5455	0,0164	*
NO _x	0,3039	0,2356		0,2206	0,2322	
COVNM	0,5007	0,0035	**	0,3548	0,0045	**
Cd	0,5509	0,0145	*	0,4152	0,0143	*
Hg	0,7	0,0165	*	0,5636	0,0195	*
Pb	0,4159	0,0861		0,2941	0,0956	
HAP	0,7667	0,0159	*	0,5556	0,0476	*
TSP	0,633	0,0671		0,5	0,0763	

données : CLAP, IREP ; année : 2014

Tableau 2.4 – Corrélation indice de concentration et intensité polluante

l'autocorrélation spatiale. En effet cette méthode permet de tenir compte de la position relative des "régions".

Une des solutions, proposée par Guimarães *et al.* (2011), est d'intégrer l'autocorrélation spatiale dans les mesures de concentration telles que l'indice d'Ellison et Glaeser. Dans le cas où les données ne sont pas exhaustives avec des informations sectorielles à l'échelle de la commune dans leur cas, l'approche retenue par Guillain et Le Gallo (2010) est intéressante. En calculant deux types de mesure : indice de Gini pour la concentration spatiale et indice de Moran pour l'autocorrélation spatiale, cela leur permet de comparer les deux mesures et de mieux intégrer les différents aspects de la problématique. L'étude Guillain et Le Gallo (2010) a ainsi l'avantage de ne pas seulement déterminer une mesure de la concentration sectorielle mais aussi de donner la configuration de la distribution spatiale : où l'agglomération a lieu et quelle forme prend elle.

Pour conclure, les sources et les formes prises par les différentes pressions sur l'environnement sont nombreuses et très diverses. Nous avons choisi de nous concentrer sur les dégradations environnementales issues de l'industrie. Elles ont été l'objet de différentes réglementations nationales et européennes. Même si la tendance est la baisse, les pressions demeurent importantes. Elles possèdent, de plus, un profil spatial identifié puisque les sources de polluant sont liées aux sites de production.

Un état des lieux de la localisation de ces sources de pollution industrielle a permis de dégager quelques enseignements. La spécialisation sectorielle régionale affecte la localisation des établissements et une forme de clusters d'établissements polluants apparaît. De plus, il semble que les secteurs les plus concentrés sont en moyenne les plus polluants.

2.2 Effets des dégradations environnementales sur l'économie

Les dégradations environnementales, pouvant être comprises comme une perte de “capital environnemental”, affectent l'ensemble de la sphère économique, notamment les ménages ou les entreprises. Nous nous intéressons particulièrement aux dégradations environnementales issues de l'industrie telles que : les dégradations visuelles du paysage, la pollution de l'eau, la pollution sonore, les pollutions atmosphériques ou pollutions du sol liées à la présence d'entreprises du secteur industriel. Pour autant les firmes industrielles ne sont pas les seules à créer des émissions polluantes ayant des conséquences néfastes sur la santé (pollution transport, pollution résidentielle, pollution du tertiaire et également pollution du secteur agricole)¹¹. Dans cette partie, il s'agit d'établir comment les dégradations environnementales impactent les individus par une détérioration du niveau de santé et influencent la productivité du travail et des entreprises.

2.2.1 Impact sur la santé

Les effets de la détérioration de l'environnement sur la santé sont nombreux et sont, de plus en plus étayés par les études économiques (Ransom et Pope III, 1995; Chay et Greenstone, 2003; Neidell, 2009; Lavaine et Neidell, 2017). Globalement, les dégradations environnementales augmentent le nombre d'individus atteints de maladie et le nombre de décès (OMS, 2015). A l'échelle mondiale, l'OMS évalue à 2 millions le nombre de décès prématurés dus à la pollution de l'air par an. Les émissions polluantes constituent une des menaces pour la qualité de l'environnement. On peut aussi citer les prélèvements en ressources naturelles ou les déchets. On choisit de préciser les effets de la pollution atmosphérique identifiés par la littérature économique. En effet de nombreuses substances sont contrôlées et suivies par les agences de l'air car elles favoriseraient les problèmes respiratoires, par exemple les oxydes d'azote (NO_X), le dioxyde de soufre (SO_2) ou les particules fines (des plus au moins fines, $PM_{1.0}$, $PM_{2.5}$, PM_{10} selon la taille des particules). L'institut de veille sanitaire précise les niveaux d'alerte par polluant atmosphérique ayant des conséquences néfastes pour la santé (Lecoq *et al.*, 2009). Il est relativement difficile d'identifier l'impact de chacune de ces substances séparément, mais elles affectent les systèmes respiratoire et cardio-vasculaire principalement (Pope III *et al.*, 2002; Annesi-Maesano *et al.*, 2007; Schikowski *et al.*, 2008; Janke *et al.*, 2009). Les gaz à effet de serre (dioxyde de carbone (CO_2), méthane (CH_4) ou protoxyde d'azote

11. L'eau propage ainsi des polluants issus de l'agriculture et crée les phénomènes de *marées vertes* en Bretagne nord ou dans les régions côtières de la Chine pouvant avoir des conséquences sur la santé des promeneurs.

(N_2O) constituent aussi indirectement des polluants puisqu'ils participent au changement climatique et à la hausse des concentrations d'ozone au niveau du sol. L'ozone, même s'il ne s'agit pas à proprement parler d'émissions polluantes, se révèle être aussi nocive pour la santé puisque en concentration élevée, ce gaz irrite les muqueuses oculaires et respiratoires et provoquent de l'asthme (OMS, 2006).

Les polluants atmosphériques sont parfois spécifiques à certains secteurs ou activités économiques. Identifier précisément l'origine des émissions atmosphériques peut aider à évaluer leur impact sur la santé. L'émission de PM est essentiellement issue de l'utilisation de combustibles solides (transport, chauffage). Le SO_X quant à lui est essentiellement issu des activités industrielles avec des combustions de combustibles fossiles contenant du soufre (fuel lourd et domestique, charbon). On peut citer l'exemple des raffineries de pétrole. Le SO_2 est par ailleurs à l'origine du phénomène des pluies acides. Le secteur du transport routier est le premier émetteur de NO_X en France (CITEPA, 2013), mais il peut aussi être issu de procédés industriels comme les centrales thermiques, la sidérurgie, les cimenteries, etc. Le N_2O provient essentiellement du secteur agricole en particulier de l'épandage de fertilisants sur les sols cultivés. Enfin tous les secteurs contribuent aux émissions de CO_2 . Les transports routiers arrivent en tête avec 35% des émissions totales en France en 2011, pour autant l'industrie manufacturière et le secteur résidentiel/tertiaire constituent eux aussi des grands émetteurs (respectivement 24% et 22%).

Pour évaluer au mieux l'impact d'un polluant sur la santé, considérer séparément chaque polluant peut être une solution, même si la mise en œuvre est délicate. Neidell (2009) examine, par exemple, l'impact de l'ozone sur le nombre d'hospitalisations pour raisons respiratoires en Californie du Sud. Il montre ainsi que la disponibilité de l'information (grâce à des messages d'alerte) diminue le nombre d'hospitalisations des populations sensibles ce qui révèle ainsi l'effet négatif de la concentration d'ozone sur la santé. Il estime aussi l'effet des annonces de pics de pollution en ozone sur le temps consacré à des activités extérieures (en ciblant la fréquentation de deux grands parcs de la région) en utilisant des données météorologiques quotidiennes. Il semble que la population prend clairement en compte les alertes à l'ozone annoncées puisque la fréquentation des deux parcs considérés baisse au plus de 13% pendant les journées d'alerte. Si le changement de comportements dû aux messages d'alerte n'est pas pris en compte, l'évaluation a tendance à sous estimer l'effet de l'ozone sur la santé.

De même, Ransom et Pope III (1995) utilisent la fermeture pendant un an en 1986 d'une aciérie aux États-Unis comme une expérience naturelle. Ils étudient les conséquences d'une

baisse en concentration de PM . Plus précisément, ils constatent que le dépassement des limites à partir desquelles la concentration en PM_{10} est déclarée comme dangereuse pour la santé a lieu 12 fois dans l'année lorsque l'usine est en activité contre zéro fois lorsqu'elle est fermée. Le nombre d'hospitalisations pour maladies respiratoires et le taux de mortalité ont nettement diminué pendant la période. Dans le cas français, Lavaine et Neidell (2017) mobilisent la fermeture temporaire de quatre raffineries (due aux grèves d'octobre 2010) pour évaluer l'effet d'une baisse des concentrations en SO_2 sur la santé des nouveaux-nés, en particulier le poids à la naissance lorsque la mère était au troisième trimestre de grossesse pendant la grève. Ils vérifient que le SO_2 est le seul polluant qui connaît une telle variation. Lavaine et Neidell (2017) montrent finalement que la fermeture temporaire des raffineries a un impact très significatif sur la concentration en SO_2 et que cette baisse augmente le poids et l'âge gestationnel des nouveaux nés.

Si les études ci-dessus attestent de l'impact de l'exposition aux polluants atmosphériques sur la santé, elles font face à des difficultés empiriques communes. Notamment, la mesure de l'effet des émissions polluantes sur la santé rencontre des difficultés techniques dues aux biais d'endogénéité. Plusieurs raisons émergent pour souligner l'importance de traiter ce problème dans ce type de contexte. Tout d'abord, les ménages ayant choisi de s'installer dans certaines localisations malgré le niveau ambiant de pollution, ont peut-être des caractéristiques non observables particulières qui sont défavorables à leur niveau de santé. Si les biais d'endogénéité ne sont pas pris en compte, les estimations capteraient alors moins l'effet de la pollution que de ces caractéristiques. De plus, le niveau ambiant de pollution et l'exposition réelle aux polluants diffèrent. En cas de forte pollution, un comportement de réduction des activités extérieures peut être mis en place par les ménages les mieux informés. Ce niveau d'information n'est peut-être pas indépendant du niveau de santé général des ménages. Enfin la localisation des établissements polluants et risqués pour la population est souvent une question politique et n'est pas exogène. La prise en compte des biais d'endogénéité est centrale dans les travaux évaluant l'impact de l'environnement sur la santé et sur la productivité (via la santé).

Malgré les difficultés techniques que rencontrent les études empiriques, il est possible d'identifier que l'effet de la pollution sur la santé n'est pas homogène, selon les pays, les régions et la catégorie d'individus.

Dans un premier temps, les dégâts environnementaux sur la santé varient selon le développement du pays concerné. Ainsi le manque d'information et la trop faible quantité d'infra-

structures sont à l'origine de difficultés supplémentaires pour faire face aux dégradations liées aux pollutions. La pollution de l'eau (par exemple, par le phosphore ou l'azote) peut avoir des conséquences graves sur la santé. C'est en particulier vrai dans certains pays dont les développements industriel et agricole se sont faits rapidement. Par exemple, le traitement des eaux ne parvient pas à répondre aux nouveaux enjeux liés à l'intensification de la production. L'accumulation des déchets représente aussi un enjeu majeur de santé publique (via les denrées alimentaires aquatiques par exemple) dont la gestion dépend des moyens publics alloués à ce problème.

Dans un second temps, de grandes disparités existent aussi au sein même de chaque pays concernant l'exposition aux polluants et l'information quant aux risques. L'impact de la pollution sur la santé des ménages varie selon plusieurs paramètres socioéconomiques (Laurent *et al.*, 2007). Par ailleurs, la distribution spatiale des risques environnementaux n'est pas homogène, et en partie corrélée à des inégalités sociales. Certains territoires cumulent alors les difficultés socioéconomiques (chômage, faible niveau d'étude) et les expositions aux pollutions. Menée à l'échelle du département en France, l'étude de Lavaine (2014) analyse le lien entre exposition aux pollutions atmosphériques et santé (taux de mortalité non-accidentelle) sur l'ensemble du territoire français et montre qu'il dépend de la catégorie socio-professionnelle. Son travail porte sur des données de panel entre 2000 et 2004. L'estimateur du modèle à *effet fixe* du coefficient du polluant révèle que toute augmentation de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 entraîne un mort supplémentaire par 100 000 personnes par an (Lavaine, 2014). La santé des femmes serait par ailleurs plus touchée que celle des hommes par la concentration en NO_2 . Caudeville et Rican (2016) mènent aussi une étude statistique mobilisant les données de l'IREP (Registre des Emissions Polluantes)¹² en France pour éclairer la relation entre un désavantage social des individus et la proximité à un site émetteur de pollution. En moyenne, le voisinage des sites dangereux constitue plutôt un territoire caractérisé par la forte présence d'une population défavorisée. Cependant, cette relation varie fortement selon le type d'espace (urbain ou rural) et des régions visées. Par exemple, l'Auvergne et le Languedoc-Roussillon sont les deux régions où la proportion de la population défavorisée résidant dans le voisinage de sites risqués est la plus élevée, contrairement à l'Aquitaine et le Poitou Charente qui sont deux exceptions. Finalement, ces études interpellent sur l'équité spatiale et socioéconomique des réglementations ou taxes environnementales.

A travers les facteurs socio économiques de la santé, c'est aussi le niveau d'éducation qui est en

12. A notre connaissance, il s'agit d'une des rares études mobilisant les données de l'IREP dans une étude géographique et économique.

jeu ; l'importance du rôle de l'éducation sur le niveau de santé en général n'est pas nouveau et a été fortement étayée au préalable. Par exemple, Elo et Preston (1996) étudient l'importance du niveau d'étude sur le taux de mortalité entre 1979 et 1985 aux États-Unis. Ils montrent ainsi que l'effet positif du niveau d'éducation est plus important pour les hommes que pour les femmes et davantage encore pour les hommes en âge de travailler. La probabilité de mourir dans les 5 prochaines années pour les hommes en âge de travailler ayant obtenu un diplôme universitaire est ainsi diminuée de 0.2541 année. Le rôle joué par l'éducation est ici étayé via l'effet de la pollution sur la santé.

2.2.2 Impact sur la productivité du travail

Le coût annuel de la pollution de l'air en Europe s'élèverait à 1400 milliards d'euros selon un rapport récent de l'OMS (OMS, 2015) : cette valeur intègre principalement le coût estimé des décès prématurés dus à la pollution. Plusieurs travaux permettent par ailleurs d'établir un lien entre les dégradations environnementales et la productivité du travail (Ostro, 1983; Carson *et al.*, 2010; Graff Zivin et Neidell, 2012; Hanna et Oliva, 2015). Il s'agit d'un argument majeur en faveur d'un investissement des pouvoirs publics dans ce domaine, en particulier en capital humain (Graff Zivin et Neidell, 2012). Cet argument est par ailleurs indépendant de la sensibilité des individus à la protection de l'environnement mais concerne plus directement la sphère économique. La productivité et/ou l'offre de travail sont affectées en raison, entre autres, de cet impact sur la santé des travailleurs.

En théorie, une variation de la pollution peut avoir au moins trois effets, potentiellement divergents, sur l'offre de travail. D'une part, les travailleurs - et leurs enfants - seront moins malades en cas d'une baisse de la pollution, ils pourront donc augmenter le nombre d'heures travaillées. D'autre part, une baisse de la pollution et l'amélioration du cadre de vie peuvent amener les travailleurs à revaloriser le temps de loisir. Les ménages pourront dans ce cas-là diminuer leur nombre d'heures travaillées (i.e. leur offre de travail) afin de profiter de ce meilleur environnement. Enfin, une baisse des émissions polluantes peut, en théorie, conduire à une hausse de salaire puisque la productivité du travail augmente via l'amélioration de la santé. Or, une hausse de salaire a un double effet sur l'offre de travail, l'effet revenu et l'effet de substitution allant en sens inverse.

Les travaux empiriques peuvent alors tenter de répondre à cette ambiguïté concernant l'effet d'une amélioration de l'environnement sur l'offre de travail. Par exemple, Hanna et Oliva (2015) utilisent la fermeture d'une grande raffinerie à Mexico en mars 1991 pour évaluer l'im-

pact d'une baisse exogène des émissions polluantes sur l'offre de travail. Les auteurs tiennent compte du choc potentiel lié à la fermeture de la raffinerie sur la demande de travail issue des entreprises. L'étude isole l'effet de la baisse des émissions polluantes du choc migratoire lié au potentiel départ de la population après la fermeture de l'usine. Elles montrent que la fermeture de la raffinerie a effectivement conduit à une hausse de l'offre de travail individuel pour ceux restés sur place. Plus précisément, les individus situés dans un rayon de 5 *km* autour de la raffinerie ont connu une hausse de 1.3 heures travaillées par semaine par rapport aux individus situés en dehors de ce périmètre. La fermeture de la raffinerie engendre alors des gains économiques pour les individus puisque leur offre de travail est en hausse.

Les émissions polluantes n'affectent pas uniquement l'offre de travail mais peut aussi affecter la qualité du travail fourni. S'intéresser à l'effet de la pollution sur la productivité en gardant l'offre de travail inchangée peut s'avérer compliqué en raison de la difficulté de mesurer la productivité réelle (différente du salaire). Graff Zivin et Neidell (2012) utilisent les données spécifiques sur des employés du secteur agricole dans une grande ferme en Californie aux États-Unis payés à la tâche dont l'offre de travail est plutôt inélastique. Il s'agit par ailleurs d'un travail physique, potentiellement plus affecté par les effets de la pollution. Leur stratégie d'estimation garantit que l'impact de la présence de polluant (ici l'ozone) ne passe pas par la baisse du nombre d'heures travaillées mais bien la productivité réelle des travailleurs. Ils montrent ainsi qu'une baisse de 10 *ppb* (parties par milliard en volume) de concentration en ozone provoque une hausse de 5.5 % de la productivité (quantité récoltée). Cela révèle, entre autres, que l'impact des émissions polluantes sur la productivité des travailleurs dépend de l'importance respective des secteurs d'activités dans une région ou pays. En effet, si le secteur agricole embauche une partie importante de la population active, la productivité du travail est probablement plus affectée par la pollution. C'est par exemple le cas de certains pays en voie de développement dans lesquels les secteurs d'activité tels que le secteur agricole tient une place importante. Globalement, la perte de productivité due aux dégradations environnementales sera plus forte dans ces pays.

La baisse de la productivité des travailleurs peut aussi être la conséquence d'une diminution des qualifications ou des capacités cognitives. La pollution affecte le processus d'acquisition du capital humain à travers, entre autres, la dégradation de la santé des enfants. Les enfants peuvent être, en effet, victimes d'absences fréquentes ou de problèmes de concentration diminuant l'efficacité de l'éducation (Currie *et al.*, 2009). De plus, les capacités cognitives

des enfants ou étudiants présents en classe peuvent être affectées par la pollution (Suglia *et al.*, 2007; Lavy *et al.*, 2012). Ces deux travaux établissent une relation négative entre la concentration atmosphérique de particules fines et les résultats aux tests scolaires. Plus précisément, sachant que les particules fines peuvent affecter le système nerveux, Suglia *et al.* (2007) montrent que leur concentration affecte le vocabulaire ou la mémoire par exemple. Cette étude de cohorte est menée sur un échantillon d'enfants nés à Boston aux États Unis entre 1986 et 1992. Les parents peuvent être alors découragés à investir en capital humain pour leurs enfants si le retour sur investissement est plus faible. De même si la mortalité est plus élevée, les agents sont à nouveau amenés à moins valoriser le futur et à réduire leur épargne et leur investissement en capital humain.

2.2.3 Impact sur la croissance

Outre l'effet via la baisse de la productivité des travailleurs, plusieurs mécanismes peuvent affaiblir le processus productif. Nous présentons brièvement les effets pervers d'une détérioration de l'environnement sur la croissance et les activités économiques en général.

La santé des travailleurs ne constitue pas le seul canal par lequel transite l'impact de la détérioration de l'environnement sur la performance économique. On rappelle l'effet négatif de long terme sur la croissance si l'investissement dans l'éducation est dévalorisé. De plus, d'autres intrants voient leur productivité affectée par les dégradations environnementales. Les émissions polluantes sur un territoire affectent ainsi directement les firmes voisines, y compris celles issues d'autres secteurs d'activités. En effet, les détériorations de la qualité de l'eau, de la terre, des paysages affectent la productivité des autres secteurs subissant alors la pollution industrielle. On peut ainsi donner l'exemple de secteurs d'activité tels que le tourisme ou l'agriculture (l'élevage peut être affecté par la pollution de l'eau) où l'environnement peut être considéré comme un facteur de production en tant que tel. Ces effets intersectoriels de la pollution industrielle sont mobilisés dans certains travaux de la NEG présentés dans la section suivante (par exemple Hosoe et Naito, 2006; Zeng et Zhao, 2009). Enfin, il existe des coûts indirects tels que la prise en charge par les pouvoirs publics du traitement des maladies dues aux dégradations environnementales, en plus d'un effet négatif sur la santé des individus, cela peut contribuer à une hausse de l'effort collectif via les impôts pour financer la prise en charge (hospitalisation, sensibilisation, médicaments, etc.). Des actions de dépollution pour utiliser des ressources naturelles (par exemple le traitement des eaux) doivent être également mises en place et financées par la collectivité. William et Warford (1993) font une analyse concernant le

poids des dommages environnementaux sur les secteurs tels que l'agriculture ou le tourisme, pouvant aller jusqu'à 10% en Pologne par exemple.

Par pressions environnementales, on entend aussi utilisation des ressources naturelles¹³. Si les ressources non renouvelables et celles dont le renouvellement est difficile tendent à disparaître, le rythme de croissance se verra alors fortement impacté. L'environnement, de par les ressources naturelles, peut être envisagé comme un véritable input nécessaire au processus de production et de croissance. Les travaux des économistes se sont portés sur le rythme auquel les ressources peuvent être utilisées afin qu'elles ne disparaissent pas et qu'une croissance positive demeure (Dasgupta et Heal, 1979; Rotillon, 2010).

Par ailleurs, les détériorations environnementales peuvent engendrer une perte de bien-être puisque l'environnement est une source d'aménités¹⁴. Les choix des individus sont modifiés s'ils prennent en compte le bien-être issu de l'environnement, par exemple leur choix de localisation. Selon des facteurs socioéconomiques, les individus peuvent être plus ou moins sensibles à cette perte de bien-être. Si les dégradations environnementales localisées font fuir les individus, en particulier ceux dotés d'un capital humain élevé (voir section suivante, Ciucci *et al.* (2015)), il peut y avoir des conséquences sur le dynamisme économique. La perte de bien être pour certaines populations constitue un facteur défavorable à l'installation dans des zones perçues comme fortement polluées. Il s'agit alors de l'effet négatif des dégradations environnementales sur la croissance via *la localisation* des agents.

Pour finir, il est important de noter que l'impact de l'environnement sur la croissance est souvent considéré sous l'angle des "politiques environnementales" et de ses effets (Ricci, 2007). A court terme, une politique environnementale a un effet négatif sur la croissance puisqu'elle contraint l'ensemble de production. Pour autant, l'impact à long terme peut s'avérer positif et compenser les effets négatifs de court terme (Porter et van der Linde, 1995), appelée "l'hypothèse de Porter". Ainsi une politique environnementale peut stimuler les activités de réduction de la pollution (énergie renouvelable, dépollution, etc.) et favoriser les innovations vers un système productif moins polluant.

Pour conclure, les conséquences économiques de la pollution via la baisse de la productivité (du travail à travers la santé en particulier) sont vastes. Pour autant, les effets des

13. On distingue les ressources renouvelables et non renouvelables.

14. On peut distinguer deux composantes à la qualité environnementale, *valeur d'usage* (par exemple le fait de profiter d'un environnement propre) et *valeur de non usage* (par exemple le souhait de transmettre un environnement préservé aux générations futures).

dégradations environnementales sur les activités économiques sont multiples et ne relèvent pas nécessairement de la productivité.

Il s'agit désormais de comprendre comment les agents économiques intègrent l'environnement dans leur choix de localisation. Les dégradations de la productivité via la santé et la perte de bien être représentent des canaux importants entre environnement et choix de localisation des ménages. Nous présentons désormais les mécanismes de localisation des firmes et des ménages lorsqu'ils tiennent compte de la qualité environnementale.

2.3 Comment l'environnement influence la localisation des agents ?

La prise en compte de la pollution ou d'aménités environnementales dans le choix de localisation des agents a été traitée tant en NEG qu'en Économie Urbaine. L'environnement et la variabilité spatiale de la qualité environnementale agissent sur le comportement de localisation des agents et influencent donc l'organisation spatiale d'un territoire. Si intégrer la croissance économique - accompagné d'un secteur de R&D au cas échéant - a modifié l'équilibre de localisation (cf. Chapitre 1), l'intégration des dégradations environnementales peut elle aussi modifier localisation des activités et/ou des ménages à l'équilibre. Dans cette section, nous analysons donc comment les niveaux de qualité environnementale variables selon la localisation créent des forces centrifuges ou centripètes pour les activités économiques et les ménages.

2.3.1 Travailleurs mobiles

Puisque l'on analyse ici les choix de localisation des ménages, les travaux considérés sont ceux où les ménages sont mobiles au sein de la ville ou entre les régions. Les apports en économie urbaine sur cette question sont nombreux tant théoriques que empiriques. Pour autant notre intérêt se situe davantage au niveau régional avec les travaux en économie géographique. Par ailleurs, nous examinons essentiellement les travaux portant sur les polluants atmosphériques ou gaz à effet de serre pour se concentrer sur un type de dégradations environnementales.

2.3.1.1 Dans un contexte urbain

En Économie Urbaine, le modèle de référence est la ville monocentrique où le centre d'emploi se situe au cœur de la ville. Les ménages ont besoin de s'y déplacer tous les jours pour se rendre au travail. Les ménages choisissent alors leur localisation en fonction du prix du foncier, de la distance au centre d'emplois et du coût de transport. Nous présentons quelques éléments

de théorie sans prétendre établir une revue exhaustive de la littérature sur cette question. Henderson (1977) analyse les effets de la pollution industrielle dans un cadre d'analyse de ville monocentrique. Plus tard, Arnott *et al.* (2008) et Kyriakopoulou et Xepapadeas (2011) par exemple, intègrent ce type d'externalité dans une ville non monocentrique. Deux forces principales s'opposent et un arbitrage s'établit entre le coût de la pollution et le coût de navette domicile-travail. D'une part, les ménages sont réticents à s'installer à proximité des entreprises à cause des externalités environnementales générées par la production. D'autre part, le coût de navette domicile travail les incite à minimiser la distance avec leur lieu de travail, i.e. les entreprises. Selon Arnott *et al.* (2008), la hausse du coût de navette domicile-travail favorise alors une plus grande imbrication entre les espaces résidentiels et les lieux de production. Les différentes sources de pollution dans un équilibre intra-régional sont issues : du transport domicile-travail, des firmes industrielles situées et du secteur résidentiel. La prise en compte de plusieurs sources de pollution devient un enjeu majeur pour mieux cibler les politiques publiques permettant de diminuer les dégradations environnementales dans un contexte urbain (Regnier et Legras, 2017).

Empiriquement, plusieurs méthodes existent pour évaluer la prise en compte de la qualité de l'air dans le choix de localisation à l'échelle urbaine. Le marché foncier permet d'identifier l'impact de l'environnement. En effet le choix du logement résulte d'un arbitrage dans lequel la qualité environnementale intervient. L'approche par les prix hédoniques permet d'évaluer la valeur que les ménages sont prêts à payer pour un air de qualité. L'utilisation de cette méthode permettant de comprendre l'importance de la qualité de l'air dans le prix du logement n'est pas récente. Une méta analyse a été conduite par Smith et Huang (1995) recensant 50 études menées entre 1967 et 1988 ayant pour objet l'évaluation du consentement marginal à payer des individus pour un air de meilleure qualité autour de leur logement ¹⁵. Dans ce cas, la qualité de l'air est représenté par la concentration en particules fines. Ils montrent que le consentement marginal à payer moyen pour la baisse d'une unité de la quantité totale de particules fines se situe aux alentours de 109 dollars, alors que le consentement marginal à payer médian est de 22 dollars ¹⁶.

Maslianskaïa-Pautrel (2009) analyse à son tour les principaux travaux plus récents mobilisant la méthode des prix hédoniques de l'évaluation de la qualité de l'air appliquée aux prix immo-

15. Il existe aussi d'autres approches telles qu'une enquête avec la méthode des choix discrets.

16. Ces estimations sont plutôt supérieures à celles plus récentes en raison de l'amélioration des techniques économétriques (Won Kim *et al.*, 2003; Maslianskaïa-Pautrel, 2009).

biliers. Par ailleurs, elle soulève l'importance d'adopter une approche utilisant l'économétrie spatiale. Il suffit de noter que les biens immobiliers et sources de pollution sont effectivement localisés dans l'espace, et leurs voisinages peuvent affecter alors le prix du logement. Utiliser cette approche permet de traiter cette dépendance spatiale et d'améliorer les estimations. Ainsi l'étude de Won Kim *et al.* (2003) porte sur la métropole de Séoul et intègre les mesures de concentration en polluants de 20 stations de surveillance dans la métropole. Ils estiment l'effet d'une baisse de concentration de NO_2 ou de SO_2 sur les prix des biens immobiliers à l'aide d'un modèle d'économétrie spatiale. Les concentrations de 78 zones de la métropole sont donc déterminées par une méthode d'interpolation spatiale. Ainsi le consentement à payer pour une amélioration de la qualité de l'air est de 2.333 dollars (soit 1.43% du prix moyen d'un logement).

Puisque certains polluants atmosphériques dépendent très fortement d'un secteur ou d'une activité, se concentrer sur l'un ou l'autre a des conséquences sur le résultat de l'étude d'estimation des prix hédoniques¹⁷. Par exemple, en 2011, 30% des particules fines PM_{10} sont issues du secteur "tertiaire/résidentiel", 15% du "transport routier" et 31% industrie manufacturière (voir détail en annexe, page 108). PM_5 et $PM_{1,0}$ sont aussi en très grande majorité issues du "tertiaire/résidentiel" (combustion de bois, charbon et fioul), respectivement 45% et 59%. Les études empiriques évaluant le prix hédonique peuvent choisir les particules fines comme indicateur de pollution (et potentiellement le nombre de jours où la limite à partir de laquelle la santé est impactée). Elles vont donc davantage considérer le poids du secteur résidentiel et tertiaire. Il s'agit ainsi d'un indicateur de densité de bâtiment et du type de chauffage. On peut par exemple citer Annecy qui est une ville très polluée en partie en raison de l'habitude du chauffage au bois. En revanche, la concentration de NO_X représente davantage un indicateur de pollution liée au transport urbain¹⁸. Certaines études se focalisent sur les émissions industrielles en ciblant des polluants spécifiquement issus de ce secteur tels que le plomb par exemple (Letombe et Zuindeau, 2005). Letombe et Zuindeau (2005) considèrent le cas de l'usine de *Metaleurop* située dans le Pas-de-Calais (fermée en 2003). Si le logement est situé dans une zone avec une teneur supérieure à 1000 *ppm* de plomb, le logement perd en moyenne 20% de sa valeur. Malgré les difficultés à comparer les estimations issues de différentes études, Maslianskaïa-Pautrel (2009) souligne qu'il s'agit là de l'effet le plus important

17. Voir en annexe figure 2.10, page 115, pour un récapitulatif des émissions atmosphériques et leur principaux secteurs émetteurs.

18. Pour un autre type d'étude empirique Drut et Mahieux (2017) utilisent le NO_X pour mesurer la pollution liée au transport. L'instrument de la variable "pollution" sera alors le taux d'équipement en *voiture* par ménage.

obtenu parmi son panel d'articles retenus. Par ailleurs, les résultats des études hédoniques sont plus nets lorsque le polluant est visible et/ou odorant et lorsque les ménages sont bien informés (Maslianskaïa-Pautrel, 2009).

D'autres travaux prennent plus spécifiquement en considération les risques liés à la présence d'entreprises potentiellement dangereuses (Travers *et al.*, 2009; Grislain-Letrémy et Katossky, 2014; Bléhaut, 2015)). Les accidents sont aussi à l'origine de fortes émissions polluantes atmosphériques. Ainsi après la catastrophe de l'usine de Toulouse, ces articles s'interrogent sur la possibilité que les ménages forment des anticipations en tenant compte de la distance entre leur lieux de résidence et une usine SEVESO¹⁹. La prise en compte de la proximité d'un établissement SEVESO dans la valeur que les ménages sont prêts à payer pour leur logement diffère selon les villes, le secteur d'activité de l'établissement, le niveau d'information.

Un des enseignements de ces études est le suivant : l'effet estimé de la qualité de l'air sur les prix immobiliers semble être finalement plutôt modeste. De plus, la mesure de la pollution demeure une limite majeure de ces méthodes d'estimation. Elles font en effet face à un problème d'endogénéité puisque les sources de pollution telles que les établissements industriels ne sont pas localisés de manière exogène. Ces établissements peuvent avoir tendance, par exemple, à s'installer dans des quartiers déjà relativement défavorisés où le prix de l'immobilier est plutôt faible (l'inverse peut être vrai). On rappelle que le choix du lieu d'implantation d'une usine à risque peut être par ailleurs le résultat de choix politiques et issu de compromis. Enfin, la mesure de la pollution constitue une étape difficile. Une stratégie possible est d'utiliser une politique environnementale comme instrument pour la variable pollution (Chay et Greenstone, 2005; Hanna, 2007)²⁰.

2.3.1.2 Dans un contexte régional

Théoriquement le choix de localisation des ménages entre deux régions, en fonction de certaines caractéristiques régionales (et en particulier le salaire que l'on peut percevoir dans chacune des régions), a été fortement étayé dans la littérature de la NEG²¹. Cette section porte sur

19. La directive dite "SEVESO" datant de 1982 identifie les établissements ayant des matières dangereuses sur leur site qui devront de soumettre à des mesures de sécurité et réglementations particulières.

20. Par exemple, *Toxic Release Inventory* est un programme aux États-Unis contraignant les établissements à publier leurs niveaux d'émissions polluantes. Sa mise en place provoque un choc en termes d'information disponible qu'il est possible de mobiliser dans les études empiriques.

21. Nous ciblons essentiellement les travaux d'économie géographique dans cette section. Pour autant, d'autres champs de l'économie s'intéressent aux liens entre migration régionale et les problèmes environnementaux. La diversité des approches est résumée dans une revue de littérature de Millock (2015)

les travaux intégrant les préoccupations environnementales essentiellement dans un modèle de la NEG de type : *Centre Périphérie* (Krugman, 1991) et *Footloose Entrepreneur* (FE, Forslid et Ottaviano, 2003). Pour mieux comprendre ces travaux, notons que la principale différence entre ces deux modèles est la fonction de production dans le secteur manufacturier. Parmi ceux plutôt adaptés de Krugman (1991) (i.e. Brakman *et al.*, 1996; Elbers et Withagen, 2004; Hosoe et Naito, 2006), le travail qualifié est le seul input du secteur et représente un coût fixe et variable dans la fonction de production. En revanche, dans un modèle FE (i.e. van Marrewijk, 2005; Lange et Quaas, 2007; Ciucci *et al.*, 2015), voir tableau 2.9), les entreprises industrielles mobilisent du travail qualifié et du travail non qualifié dans leur processus de production. Dans ce cas là, le facteur mobile entre dans la fonction de production uniquement comme un coût fixe, le *markup* ne dépend donc pas du prix de ce facteur²². Contrairement au modèle CP, la quantité fixe de travail qualifié représente alors nécessaire à la production et indivisible tel qu'un entrepreneur.

Concernant le choix de localisation des ménages en fonction de différents paramètres incluant l'environnement, il sera donc question de l'équilibre de localisation des travailleurs *qualifiés* mobiles entre deux régions ou pays. Dans ce cadre d'analyse, les entreprises industrielles produisent dans une région mais vendent leur production dans l'ensemble de l'économie. Leurs localisations sont par ailleurs parfaitement soumises à celles des travailleurs qualifiés dans les deux types de modèles de la NEG. Dans le cas d'un modèle FE, l'entrepreneur choisit où installer son activité.

Plusieurs hypothèses concernant les dégradations environnementales

Les modèles de la NEG intégrant les dégradations environnementales cherchent à comprendre comment se localisent les agents en fonction de cette externalité négative. Il s'agit alors de déterminer quel est l'équilibre de localisation des firmes et des ménages en considérant que les activités industrielles sont polluantes. L'ensemble des travaux supposent que les ménages attribuent une certaine valeur à la qualité environnementale de leur territoire par l'introduction d'une variable « qualité environnementale » dans leur fonction d'utilité.

Dans la plupart des cas, les résultats de ces modèles sont mis en parallèle avec le modèle de la NEG choisi comme référence. Ainsi selon les caractéristiques du polluant, qu'il soit stationnaire ou mobile, qu'il soit issu uniquement de l'industrie, de l'agriculture ou également

22. C'est la raison pour laquelle la résolution du modèle est plus simple que celle du modèle CP. Pour cette raison, le modèle *FE* est proche du modèle *Footloose Capital* (FC) dans lequel le coût fixe en capital peut être interprété comme un brevet. Le travail qualifié constitue le coût fixe dans un modèle FE.

résidentiel, l'équilibre de localisation diffère plus ou moins de celui issu du modèle traditionnel de la NEG. Concernant la provenance de la pollution, van Marrewijk (2005) précise ainsi que l'équilibre de localisation dépend de la part des émissions industrielles par rapport à celles du secteur agricole. Il montre que si la pollution issue du secteur agricole est plus forte que celle du secteur industriel, la pollution ne constitue plus une force de dispersion.

Précisons quelques éléments concernant la propriété de diffusion des polluants qui est essentielle pour les résultats des travaux. Hosoe et Naito (2006) et Ciucci *et al.* (2015) choisissent un cadre d'analyse où la pollution industrielle se diffuse au delà des frontières de la région. Ce degré de diffusion s'avère crucial pour l'analyse de la stabilité des équilibres. Hosoe et Naito (2006) montrent qu'il existe ainsi un degré de diffusion de la pollution critique pour lequel l'équilibre de *dispersion* des activités passe d'un équilibre stable à un équilibre instable. Donc si le degré de diffusion dépasse cette valeur, seul l'équilibre d'*agglomération* est stable. Aussi la force de dispersion que constituent les émissions polluantes issues de l'industrie s'affaiblit lorsque le degré de diffusion des polluants augmente. Elles peuvent même constituer une force centripète si le degré de diffusion dépasse un certain seuil (Ciucci, 2011).

Il est aussi important de noter que si la pollution de l'air ou de l'eau représente le plus souvent le dommage environnemental ciblé par ces travaux. Quelques auteurs se sont plutôt intéressés aux impacts sur la biodiversité. Rauscher et Barbier (2010) introduisent ainsi deux types de biodiversité : les espèces endémiques et redondantes. Un index global de la biodiversité influence positivement l'utilité des ménages et est inférieur à la somme des espèces localisées dans les deux régions puisque certaines sont redondantes entre les deux régions.

Enfin, la modélisation retenue pour l'environnement dans ces travaux n'est pas neutre. Ainsi Lange et Quaas (2007) montrent que le niveau d'agglomération des activités dépend fortement de la valeur marginale des dégradations environnementales accordée par les ménages. La présence de dommages environnementaux locaux constituent uniquement une force de dispersion et permettent d'obtenir des équilibres asymétriques stables.

	Modèle de base	Mobilité des facteurs	Type de pollution	Impact de la pollution	Politique publique	Résultats principaux
Brakman et al. (1996)	Krugman (1991)	Capital : mobile Travail qualifié : mobile	- congestion	sur l'offre de travail	—	Dispersion des activités
Elbers et Withagen (2004)	Fujita et al (1999) Pflüger (2001)	Capital : mobile Travail non qualifié : immobile Travail qualifié : mobile	- issue de l'industrie - locale ou globale	sur l'utilité des consommateurs	- t et t* sur les inputs - <i>lump sum</i> transfert - équilibre de Nash	Pas de dumping écologique
van Marrewijk (2005)	Forslid et Ottaviano (2003)	Travail qualifié : mobile	- issue des deux secteurs - locale	sur l'utilité des consommateurs	—	Dépend de l'intensité de pollution des secteurs
Hosoe et Naito (2006)	Krugman (1991) Copeland et Taylor (1999)	Travail : mobile Capital environnemental uniquement	- issue de l'industrie - transfrontalière	-sur le secteur agricole -sur l'utilité indirecte à LT -affecte le capital environnemental	taxe sur les biens ; sans redistribution	Pas de paradis de pollueurs
Lange et Quaas (2007)	Forslid et Ottaviano (2003)	Travail qualifié : mobile Travail non qualifié : immobile	- locale	sur l'utilité des consommateurs	—	
Rauscher (2009)	Krugman (1991) (pas de secteur traditionnel)	Travail : mobile - déconnexion du lieu de résidence à celui du travail	- issue de l'industrie - locale	sur l'utilité des consommateurs	politique optimale, sur le facteur de pollution	Phénomène de « chase and flee »
Zeng et Zhao (2009)	Martin et Rogers (1995)	Capital : mobile Travail : immobile	- issue de l'industrie - transfrontalière	sur le secteur agricole	politique qui contraint à utiliser plus de travail	Pas de paradis de pollueurs (<i>puisque la pollution affecte la productivité du secteur agricole et ainsi les revenus des ménages</i>)
Rauscher et Barbier (2010)	Ottaviano et al. (2002) Martin et Rogers (1995)	Capital : immobile/mobile Travail : mobile /immobile	- issue de l'industrie et des ménages - locale	sur l'utilité des consommateurs	taxe Pigou	- différence biodiversité endémique et redondante. - agglomération bénéfique à la biodiversité (endémique).
Ciucci (2014)	Forslid et Ottaviano (2003)	Travail non qualifié : immobile Travail qualifié : mobile	- issue de l'industrie - transfrontalière	sur l'utilité des consommateurs	- t et t* sur le coût fixe - <i>lump sum</i> transfert - équilibre de Nash	Impact de la taxe sur la localisation uniquement à partir d'un certain seuil
Gaigné et al. (2012)	Ottaviano et al. (2002)	Travail : mobile (entre deux villes)	- issue du transport (biens et des navettes domicile-travail) - locale	pas directement sur les agents (point de vue extérieur)	—	La densification n'est pas toujours bénéfique pour l'environnement

Figure 2.9 – Principaux modèles de la NEG intégrant la pollution industrielle

Les principaux résultats

Les interactions avec la localisation des entreprises et les conséquences sur l'activité économique sont nombreuses.

Le résultat majeur de cette littérature peut être résumé ainsi : l'équilibre de localisation des activités est plus dispersé et stable. Ainsi contrairement au modèle de Krugman (1991), la prise en compte de l'environnement permet d'obtenir des résultats plus proches de la réalité, i.e. des équilibres de localisation certes asymétriques, mais où l'ensemble des activités industrielles ne sont pas dans une seule région. Pour autant ce résultat varie selon les hypothèses précédemment citées dans chacun des modèles.

Un autre phénomène peut émerger lorsque les agents ne sont pas liés à la région dans laquelle leurs revenus sont créés. Ils peuvent en effet vivre et consommer dans une région, mais travailler dans une autre. Les consommateurs vont fuir la région la plus polluée. Or les ménages constituent bien une demande pour les entreprises. Ces dernières vont donc *suivre* les ménages dans leur migration pour garantir leur marché. Rauscher (2009) intègre donc cette dynamique cyclique de type *chase and flee*²³. Dans le cas où les dommages environnementaux sont trop importants, il y a séparation des deux types d'acteurs. Consommateurs et firmes industrielles sont alors localisés dans deux régions différentes.

De plus, lorsque la pollution impacte particulièrement la localisation des ménages qualifiés (Ciucci *et al.*, 2015), des conséquences indirectes sur la croissance de la région peuvent alors se faire ressentir. La présence de main d'œuvre qualifiée peut en effet favoriser la productivité du secteur manufacturier ou celui de R&D s'il est présent.

Enfin, pour permettre d'ouvrir à de nouvelles perspectives, deux domaines d'économie spatiale peuvent être intégrés dans un même cadre d'analyse. Plus précisément, celui-ci peut réunir les migrations à l'échelle inter régionale (la NEG) et le processus d'allocation des sols à une échelle intra-régionale (l'Economie Urbaine). Si plusieurs auteurs ont cherché à allier ces deux cadres d'analyse (par exemple, Tabuchi et Thisse, 2006), rares sont ceux qui y ont intégré les dommages environnementaux. Les travaux tels que Gaigné *et al.* (2012) ou Borck et Pflüger (2015) analysent un système de deux villes dont la taille de chaque ville est respectivement exogène et endogène. Ils considèrent tant la densité urbaine que les interactions entre villes. Cela revient à considérer différentes sources de pollution : transport des biens, transport domicile-travail, secteur industriel, secteur agricole et pollution résidentielle. Ces articles seront plus amplement présentés dans la section suivante puisqu'ils s'interrogent sur

23. Littéralement, chercher et fuir.

les situations écologiquement et socialement désirables.

Bénéfices liés à l'agglomération et environnement

Dans cette section, nous avons relevé les éléments dans la littérature étayant le fait que l'environnement affecte les choix de localisation des agents et touche ainsi l'organisation spatiale du territoire. L'environnement n'impacte pas que l'organisation du territoire mais aussi les bénéfices que les agents peuvent en retirer. On peut noter dès lors que les économies d'agglomération, i.e. les bénéfices de l'agglomération des activités économiques sur la productivité, sont affectées par la pollution. En tenant compte des émissions de NO_X , Drut et Mahieux (2017) montrent ainsi que l'estimation de l'effet des économies d'agglomération sur la productivité connaît une baisse de 13%. Les effets néfastes des émissions polluantes sur la productivité modifient donc le mécanisme entre organisation spatiale et performance économique des firmes. Le propos de Drut et Mahieux (2017) n'est pas de mettre en garde contre une effet mitigé de l'agglomération sur la productivité. Outre les mécanismes usuels des économies d'agglomération (Duranton et Puga, 2004), la densité apparaît comme un vecteur d'une meilleure qualité environnementale. L'amélioration de la qualité de l'air permet de favoriser la productivité. Elles font donc apparaître un impact indirect positif de la densité sur la productivité. L'hypothèse qui sous tend ce résultat est la relation négative entre pollution et densité au niveau régional.

2.3.2 Capital mobile

Les choix de localisation des activités économiques sont au cœur des modèles de la NEG. Plusieurs travaux de la NEG intègrent la prise en compte de l'environnement par les firmes du secteur manufacturier. On cible dans cette section les modèles où seul le capital est mobile (i.e. les modèles de type FC (Martin et Rogers, 1995), voir récapitulatif dans le tableau 2.9, page 93) ou ceux centrés sur le comportement des firmes.

La question est de savoir si les firmes industrielles intègrent les dégradations environnementales dans leur choix de localisation et comment est alors modifié l'équilibre spatial. Les travaux d'économie internationale sont aussi présentés dans cette section même s'ils ne traitent pas de l'équilibre de localisation des firmes industrielles à proprement parler ni du phénomène d'agglomération. Pourtant ils proposent un éclairage essentiel concernant l'impact de la politique environnementale ²⁴.

24. Par ailleurs ce qui distingue l'article Krugman (1980), modèle de commerce international, et l'article canonique de la NEG (Krugman, 1991) est la migration endogène des acteurs économiques.

Entre la NEG et Économie Internationale

Nous allons analyser les travaux se concentrant sur la localisation des firmes lorsque les dégradations environnementales affectent leur activité. L'impact direct du capital environnemental sur l'activité des entreprises est peu intégré dans les modèles de NEG et Environnement (tenant davantage compte de la mobilité des ménages face à la qualité environnementale). Le capital est simplement considéré dans ce cas-là comme un stock ayant un effet positif sur la production ou sur les ménages, dont le niveau diminue lorsque les émissions polluantes augmentent.

Les canaux possibles dans les modèles de la NEG sont : la localisation des travailleurs, le revenu et/ou la productivité des travailleurs, l'effet intersectoriel et les politiques environnementales. Tout d'abord, indirectement les entreprises industrielles sont affectées par la localisation des travailleurs puisqu'ils constituent leur marché et le cas échéant un facteur de production. Le cas des modèles de la NEG avec mobilité des travailleurs a été traité dans la section précédente. Ensuite, dans certains travaux, ce sont les entreprises du secteur traditionnel qui sont touchées par cette dégradation du capital environnemental (par exemple, Hosoe et Naito, 2006; Zeng et Zhao, 2009). Pour autant les activités agricoles ne sont pas mobiles et utilisent un facteur de production statique. La baisse de ce "capital environnemental" ne peut affecter par définition leur choix de localisation. En revanche, la pollution des firmes industrielles peut dégrader la productivité des autres secteurs. Le seul *input* du secteur agricole en concurrence pure et parfaite est le travail. Donc dégrader la productivité de ce secteur affecte directement celle des travailleurs et provoque alors une baisse de leur salaire et la taille de marché dans la région (Zeng et Zhao, 2009).

Enfin, dans ce cadre d'analyse, les firmes du secteur industriel vont faire l'objet de politiques environnementales contraignantes que nous développons dans la sous-section suivante.

Il semble important de préciser que la prise en compte d'une forme d'hétérogénéité entre les firmes est particulièrement pertinente dans un cadre d'analyse de la NEG (Behrens et Robert-Nicoud, 2015), en particulier lorsque l'on souhaite traiter la pollution industrielle. D'après le modèle canonique de Melitz (2003), introduire une forme d'hétérogénéité dans un modèle de la NEG permet de mieux discuter la complexité des différentes situations d'organisation spatiale. Il s'agit alors de comprendre comment les différences en termes d'efficacité entre les firmes interagissent avec les différences de coût de production et de taille de marché. La firme la moins efficace a davantage intérêt à éviter la compétition. L'hétérogénéité agit comme une force centrifuge dans cette situation. Si on ajoute une hétérogénéité en termes de

niveau d'émissions polluantes, cela pourrait permettre d'appréhender mieux la diversité de la répartition spatiale des firmes polluantes.

Ainsi Wu et Reimer (2016)²⁵ font le constat qu'aux États Unis certaines firmes de secteurs polluants semblent dispersées dans l'espace, alors que d'autres vont être, au contraire, plus concentrées que la moyenne. Ils intègrent deux hétérogénéités parmi les firmes industrielles : le niveau de productivité et le degré de nuisance en termes de pollution. On distingue alors le secteur des services, considéré comme non polluant, et le secteur industriel, considéré comme polluant²⁶. Ils s'interrogent sur les différentes configurations possibles d'équilibre selon plusieurs situations : les entreprises les plus polluantes sont les moins productives et une situation où les entreprises polluantes sont les plus productives. L'équilibre de localisation de l'ensemble des firmes du secteur manufacturier diffère selon les scénarii considérés. Ils confrontent ensuite les résultats de l'équilibre à une situation optimale. Les auteurs montrent qu'il est socialement préférable que toutes les entreprises polluantes soient localisées dans une même région lorsque la pollution est mobile.

Si les travaux de la NEG et Environnement sont relativement peu nombreux, on rappelle que la littérature associant commerce international et environnement est en revanche très vaste. L'ouvrage de Copeland et Taylor (2013) propose ainsi une synthèse approfondie des travaux dans ce domaine. Deux principales problématiques y sont abordées. Leur première question est de savoir si l'augmentation de l'activité économique liée à la libéralisation des échanges est nocive pour l'environnement. La seconde problématique majeure de l'ouvrage est de comprendre comment les politiques environnementales peuvent avoir un effet sur le schéma de commerce international ou inter-régional.

L'effet intersectoriel néfaste au secteur agricole est étudié par Copeland et Taylor (1999) dans un modèle de commerce international. Le commerce international peut façonner l'organisation spatiale de ces deux secteurs sachant que l'industrie crée des externalités négatives de production sur le secteur agricole. Finalement, ils mettent en évidence que le commerce permet, en présence de pollution industrielle, de séparer les activités peu compatibles, i.e. des activités polluantes et des activités dont la productivité est affectée par la pollution.

25. Ce modèle repose sur un cadre d'analyse de type FE avec un fonction d'utilité quadratique quasi linéaire (Ottaviano *et al.*, 2002).

26. Il s'agit bien sûr d'une hypothèse forte. Si les services sont a priori moins émetteurs de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre, ils demeurent de grands consommateurs d'internet ou d'énergie et ils peuvent dépendre d'activités nettement plus polluantes.

Pour conclure, la présence d'émissions polluantes dans un territoire influence les choix de localisation des acteurs économiques. En effet, le niveau d'utilité des ménages, la productivité des firmes ou leur "charge fiscale" dépendent du capital environnemental. Les études montrent qu'un équilibre stable d'agglomération partielle des activités industrielles est désormais possible. En effet, la prise en compte de l'environnement a tendance à séparer producteurs et consommateurs. Nous verrons dans le chapitre 3 un état des lieux concernant la prise en compte des politiques environnementales dans le choix de localisation (voir page 121). Si l'on suppose souvent que les politiques environnementales ont une influence négative sur l'implantation des firmes, cet effet semble atténué par d'autres phénomènes : la considération positive de la préservation de l'environnement par les ménages ou les économies d'agglomération par exemple.

2.4 Organisation spatiale et croissance affectent l'environnement

Si les agents économiques intègrent les dégradations environnementales et les externalités dans leur choix de localisation, l'organisation spatiale peut-elle aussi affecter les niveaux local et global de pollution ? On considère ainsi dans cette partie comment l'économie et en particulier la structure d'un territoire est en mesure d'affecter la qualité environnementale locale. La littérature théorique et empirique en économie spatiale relève la question suivante : quelles sont les différentes organisations du territoire permettant que les émissions polluantes globales (ou locales) soient minimisées et le bien être social maximisé ? En effet, l'organisation spatiale d'un territoire impliquerait une certaine structure du réseau de transport, un type de consommation énergétique, un schéma des échanges commerciaux, une organisation des déplacements domicile travail, etc.

L'organisation spatiale du territoire peut certes avoir de fortes conséquences sur l'environnement, mais l'activité économique et la croissance sont aussi déterminantes. Nous présentons les mécanismes par lesquels la croissance impacte le niveau global d'émissions à la fin de la section.

2.4.1 Comment la qualité environnementale dépend t-elle de la localisation des activités ?

Identifier l'impact des différentes organisations spatiales sur l'environnement représente l'enjeu de cette section et permet d'identifier des facteurs spatiaux des dégradations environnemen-

tales²⁷. Selon l'échelle d'analyse ciblée, les mécanismes liant organisation spatiale et l'environnement diffèrent. Parmi les caractéristiques de l'organisation spatiale ayant un impact sur l'environnement, on peut citer, entre autres : les flux de transport (générateur de pollution), les consommations énergétiques (maison individuelle peut être à l'origine d'une plus grande consommation énergétique), ou la qualité et l'utilisation d'une ressource naturelle (comme le sol).

2.4.1.1 Localisation, densité et distance

He *et al.* (2014) travaillent sur la répartition spatiale des dégradations environnementales en Chine. Ils choisissent dans leur étude empirique d'expliquer le niveau de pollution selon trois indicateurs : un indicateur de *densité*, un indicateur de *distance* et un indicateur de *division*. Ces trois concepts sont identifiés par la Banque Mondiale (2009). De ces différents aspects caractérisant l'espace émanent diverses forces impactant le niveau de l'environnement sur le territoire. On présente donc "l'impact environnemental" de chacun de ces concepts.

Afin de conduire cet état des lieux de la littérature, He *et al.* (2014) présentent ces trois dimensions prises par les travaux évaluant la "géographie des émissions polluantes". Il existe ainsi une relation non linéaire entre la *densité* et la pollution (Panayotou, 1997). Lorsque la densité d'activités économiques est relativement basse, les pollueurs sont peu nombreux et les émissions polluantes seront plutôt faibles. Les ménages, et les pouvoirs publics, d'une région à faible densité peuvent montrer un intérêt limité vis à vis des restrictions environnementales puisque les enjeux ne semblent pas évidents. En revanche, une forte densité favorise à la fois une augmentation du nombre de pollueurs et une prise de conscience de l'importance d'agir en faveur de l'environnement. C'est pourquoi, en théorie, la relation entre niveau de pollution et densité est de forme *U* inversé. La forme de la relation implique qu'il existerait un niveau seuil de densité où la pression sociale deviendrait telle que des régulations environnementales et de moyens de transport peu polluants seraient mis en place²⁸. Ce raisonnement suppose qu'il y ait effectivement un changement sectoriel (plus de services par rapport aux secteurs polluants) et une certaine efficacité de la pression sociale vers plus de régulation environnementale. Les résultats empiriques sont contrastés concernant cette question. Certains travaux

27. Parmi les facteurs spatiaux des dégradations environnementales évaluées sur un territoire, nombreux relèvent de la géographie physique tels que la présence de vent, la situation géographique en bord de mer ou en montagne, etc. Nous évaluons pour notre part l'impact des facteurs spatiaux liés à la répartition des activités humaines et économiques sur le territoire.

28. L'idée est proche de celle de la courbe de Kuznet environnementale (Grossman et Krueger, 1991) dans laquelle la densité remplace le développement économique.

analysent l'impact de la concentration spatiale sur le niveau des émissions polluantes et soulignent qu'une hausse de la densité favorise la pollution (par exemple, Zeng et Eastin, 2007). D'autres mettent, au contraire, en évidence que la concentration spatiale diminue le niveau de pollution émise (Shen, 2006; He *et al.*, 2008; Drut et Mahieux, 2017). Les contextes d'étude et le choix des variables sont différents expliquant, en partie, la variabilité des résultats. A partir de données allant de 1996 à 2004, Zeng et Eastin (2007) travaillent sur la variabilité des performances environnementales des régions chinoises. Ils montrent que l'augmentation de densité de population, calculée à l'échelle des provinces chinoises, provoque une hausse des émissions de SO_2 . Drut et Mahieux (2017) travaillent en revanche sur la densité au niveau des zones d'emploi en France et utilisent des estimations des émissions de NO_x au niveau des régions en 2009.

De plus, la *distance* à la source d'émissions polluantes constitue un critère crucial dans l'appréciation et la perception des enjeux environnementaux. L'indicateur de *distance* reflète la facilité avec laquelle biens, ménages, facteurs de production ou information parcourent l'espace. On peut citer par exemple l'importance de la distance dans l'évaluation du potentiel de marché - facteur important de localisation.

La distance a plusieurs implications concernant le niveau de pollution local. D'un côté, l'exposition à la pollution est bien souvent d'autant plus forte que l'on se situe à proximité de la source de pollution. Plus la distance entre la ville/région "centre" dense et polluée et une ville/région périphérique augmente, moins cette dernière est exposée à la pollution de la région centre. D'un autre côté, une grande distance avec les régions "centre", très denses et très polluées peut s'avérer être un facteur favorisant la pollution. He *et al.* (2014) donnent, en effet, l'exemple de villes chinoises des régions peu développées éloignées des principaux pôles d'activité et donc foyers très importants de pollution. Ces villes vont accueillir facilement de nouvelles activités polluantes, poussées à quitter ces grands centres urbains des régions développées où l'inquiétude vis à vis de la qualité environnementale est grandissante. Ainsi la distance aux grandes métropoles peut augmenter le niveau de pollution dans les grandes villes situées dans des régions peu développées.

Enfin, He *et al.* (2014) utilisent un dernier critère : la *division* mesurant le degré de d'ouverture au commerce international. Dans le cas où les réglementations environnementales sont clémentes sur un territoire, les activités seraient alors incitées à s'y installer et pourraient le faire facilement dans un contexte de mondialisation. En revanche, l'intégration croissante des

activités économiques dans la mondialisation peut favoriser la baisse des émissions polluantes. Parmi les explications possibles, on peut citer l'exemple des exportations qui sont dans l'obligation de répondre à des critères environnementaux pour les marchés étrangers. La diffusion des normes environnementales serait alors favorisée par la mondialisation, désignée comme la *division* par les auteurs.

2.4.1.2 A l'échelle urbaine

On rappelle que notre intérêt se concentre davantage sur les apports de l'économie géographique. Elle est, cependant, influencée par les travaux d'économie urbaine sur la question que nous présentons succinctement dans cette partie. Dans cette section, il s'agit donc de comprendre comment l'organisation spatiale à l'échelle d'une ville peut modifier les émissions polluantes totales.

A l'échelle d'une ville, les études s'interrogent sur la forme urbaine permettant de minimiser la pollution. Celle le plus souvent citée par les pouvoirs publics est la ville compacte, a priori considérée comme l'objectif à atteindre. En considérant une ville monocentrique, une augmentation de la densité diminue le niveau de pollution urbaine (Glaeser et Kahn, 2010). Elle représente ainsi une sorte d'idéal en termes de structure de ville en raison de la baisse des distances des déplacements domicile-travail, de la mise en place de transport en commun et l'avantage comparatif de son utilisation par rapport à la voiture. C'est parce que les émissions polluantes issues des déplacements domicile travail ont été ciblées par les politiques publiques que la ville compacte est apparue comme la solution. Par ailleurs, Glaeser et Kahn (2010) analysent l'effet de l'expansion des villes sur les émissions de CO_2 de 66 aires métropolitaines aux États-Unis. Leur étude porte sur des données de 2000-2001. Ils soulignent, par exemple, qu'une ville située en Californie émet en moyenne bien moins de CO_2 qu'une ville située au Texas. Les villes du Nord Est des États-Unis se situent entre les deux, si les émissions issues du transport domicile-travail sont plus faibles, les ménages utilisent davantage de chauffage. La forme de la ville est essentielle pour le niveau d'émissions polluantes mais la situation géographique représente aussi un facteur important.

Cependant, plusieurs travaux discutent cet « idéal » souvent véhiculé par les experts. Si on ne considère pas uniquement les émissions polluantes issues du transport, mais aussi celles des firmes polluantes et leurs interactions, les conclusions quant à la forme urbaine optimale sont modifiées (pour une étude récente, Regnier, 2017). De plus, prendre en compte le fait que les villes soient en interaction entre elles, et ainsi considérer l'économie dans son ensemble,

permet de nuancer les résultats sur la ville compacte (Gagné *et al.*, 2012). Le transport des marchandises entre les unités urbaines est alors source de pollution. Finalement, on ne peut écarter le cas où une ville monocentrique et compacte générerait plus de pollution qu'une ville polycentrique et dispersée. En effet, Gagné *et al.* (2012) expliquent que l'état initial, i.e. le niveau d'agglomération, doit être pris en compte pour savoir si un accroissement de l'agglomération est effectivement bénéfique à l'environnement. Il reste encore à considérer les émissions liées aux transports hors trajet domicile-travail avec une localisation endogène des activités de type commerce et loisirs.

Outre la ville compacte, la ville polycentrique peut aussi apparaître comme une solution afin de minimiser les émissions. Avec l'apparition de multiple centres secondaires où les activités économiques sont installées, la distance moyenne domicile-travail diminue en raison d'un rapprochement des ménages et des entreprises. Pour autant, si l'on considère que la taille du logement n'est pas fixe, la densité de population peut varier (Denant-Boëmont *et al.*, 2016). En considérant que la taille du logement est déterminée en fonction de la localisation des entreprises et du prix de la rente, d'autres mécanismes apparaissent pouvant nuancer l'impact positif de la ville polycentrique sur l'environnement. Denant-Boëmont *et al.* (2016) expliquent qu'une ville polycentrique amène les entreprises et les emplois à s'installer relativement plus loin du centre principal. Grâce au prix du foncier attractif en périphérie de ces centres secondaires, la taille des logements augmente à la bordure de la ville. La frontière de la ville est donc repoussée et provoque finalement une augmentation des distances moyennes de navettes domicile-travail. On comprend ici comment la structure de la ville influence l'utilisation d'une ressource telle que le sol (via la taille du logement et l'étalement urbain) et la consommation énergétique. Plus précisément, l'utilisation du sol est, en effet, très souvent mobilisée comme un critère pour évaluer l'impact de la forme urbaine sur l'environnement (différent de celui concernant les émissions atmosphériques). L'urbanisation des sols peut, par exemple, perturber le cycle de l'eau et menacer la biodiversité. Legras et Cavailhès (2016) évaluent ainsi l'impact de la forme urbaine sur les émissions de gaz à effet de serre et sur l'utilisation du sol. Deux caractéristiques principales sont alors prises en considération : la première est de savoir s'il existe ou pas des centres secondaires et leurs tailles, et la seconde concerne le type de zones résidentielles périphériques (plus ou moins denses). Legras et Cavailhès (2016) mettent en évidence que les politiques publiques gagneraient en pertinence si elles tenaient compte à la fois l'urbanisation des sols et les émissions de gaz à effet de serre et les interactions entre ces deux phénomènes, alliant alors les politiques de zonage à celles des transports.

2.4.1.3 A l'échelle régionale

A l'échelle des régions, le même type de question se pose quant à la répartition optimale des activités industrielles pour minimiser les conséquences sur l'environnement. Cette dernière diffère potentiellement de l'organisation optimale pour maximiser le bien-être et la croissance au niveau global. Nous présentons dans cette section les travaux d'économie géographique traitant cette problématique, en soulignant l'impact environnemental de l'organisation spatiale à l'échelle régionale. Contrairement à la section 2.3 présentant comment la qualité environnementale affecte les décisions de localisation, l'objectif ici est de comprendre si l'organisation spatiale des activités économiques a, à son tour, un impact sur l'environnement.

Il est à nouveau essentiel de déterminer la nature, la source et l'impact des pressions environnementales lorsque on intègre celles issues de la sphère économique (Koesler, 2010). On peut considérer trois types d'impacts possibles de l'organisation spatiale sur l'environnement : les émissions polluantes et déchets, la biodiversité et la consommation énergétique. Pour le premier type d'impact, les émissions polluantes peuvent être issues du transport des marchandises et navette domicile-travail, des ménages et/ou des établissements industriels selon les modèles.

Pour le second type d'impact, le travail théorique de Rauscher et Barbier (2010) porte sur les conséquences de l'organisation spatiale à l'échelle régionale sur la préservation de la biodiversité. Rauscher et Barbier (2010) cherchent à déterminer la localisation optimale pour minimiser l'impact sur l'index de biodiversité. Sous certaines conditions, ils déterminent qu'il est parfois préférable d'agglomérer toutes les activités industrielles pour favoriser le maintien de la diversité des espèces. En effet, si les espèces biologiques sont plutôt endémiques (c'est à dire propre à un lieu), l'organisation spatiale des activités économique la plus favorable à la préservation des espèces est la dispersion. Au contraire si les espèces sont redondantes (espèce très similaire ayant un rôle écologique semblable), l'agglomération des activités est préférable. Sachant cela, la proportion d'espèces redondantes par rapport aux espèces endémiques constitue un élément déterminant pour définir l'organisation spatiale optimale des activités économiques.

Enfin, pour le troisième type d'impact, la consommation énergétique représente une part importante des émissions polluantes. On peut donc apporter des précisions quant à la relation entre concentration des activités économiques et efficacité énergétique. en se posant la question suivante : comment l'agglomération industrielle peut-elle influencer la consommation énergé-

tique ? L'étude empirique de Liu *et al.* (2017a) porte sur 285 villes entre 2003 et 2013 et estime l'effet de l'agglomération des activités sur l'efficacité énergétique. Leur travail identifie plusieurs biais pouvant effectivement affecter la consommation énergétique. D'une part, ils suggèrent que l'agglomération industrielle favorise le progrès technique et constitue alors une force vers une consommation énergétique plus mesurée. D'autre part, plusieurs mécanismes peuvent induire une hausse de la consommation en énergie. L'agglomération industrielle provoque une forte hausse du niveau de la consommation énergétique. L'agglomération peut en outre être la conséquence d'une baisse de la régulation environnementale pour attirer ces établissements. Enfin, l'agglomération industrielle permet à certains établissements d'opter pour un comportement de "passager clandestin". L'effet estimé est donc un effet global intégrant les divers facteurs, allant potentiellement en sens inverse, cités ci-dessous. Les auteurs montrent finalement que l'agglomération permet une meilleure efficacité au niveau du pays, mais des résultats contrastés au niveau régional.

Un éclairage sectoriel

L'influence de l'organisation spatiale varie selon la composition sectorielle de l'économie. De fait si l'agglomération des activités s'accompagne d'une concentration sectorielle d'entreprises issues de secteurs polluants, le niveau de pollution local sera impacté.

Par exemple, Grazi *et al.* (2007) construisent plusieurs configurations spatiales dont ils analysent l'impact environnemental. Ils ne travaillent pas tant sur une hétérogénéité de secteurs mais plutôt sur une pluralité de types d'activité et d'utilisation du sol. Pour chacune des deux régions, trois structures spatiales sont envisagées : un secteur industriel fortement concentré, un secteur agricole dominant et le dernier où la nature domine. Cinq configurations possibles sont alors sélectionnées et font l'objet de simulations numériques selon différents scénarios et ensembles de paramètres. Le modèle est construit dans une perspective de court terme donc il n'y a pas de migration des activités économiques ni des ménages. Dans la plupart des cas, la configuration qui maximise le bien être social n'est pas celle qui minimise l'impact environnemental, sauf lorsque les externalités environnementales négatives dominent les effets positifs de l'agglomération et du commerce.

L'impact de l'agglomération des activités sur l'environnement peut aussi être étudié au sein même d'un secteur polluant. Récemment, Liu *et al.* (2017b) examinent en quoi l'agglomération et l'échelle de production d'un secteur influence ses émissions polluantes. Ils mènent ainsi une

étude sur le secteur de l'élevage porcin²⁹ en Chine. A partir d'un certain seuil, l'épandage de fumier diminue avec l'échelle de production pour privilégier d'autres méthodes plus propres. De plus, l'agglomération des activités de ce secteur permet d'investir dans des alternatives afin de traiter les déchets. On peut supposer que la réaction des établissements en fonction de la proximité d'établissements issus du même secteur varie selon le type d'activité.

2.4.2 La croissance détériore-t-elle l'environnement ?

Puisque l'on s'intéresse à l'impact de l'agglomération sur l'environnement via la croissance, il est nécessaire de présenter rapidement les mécanismes entre croissance économique et environnement, et pas seulement selon l'organisation spatiale.

Dans cette section, il s'agit de compléter notre analyse concernant l'influence de la sphère économique, via l'organisation spatiale des activités ou via la croissance, sur l'environnement. A priori les effets de la croissance sont négatifs sur l'environnement. Cette dernière implique, en effet, une augmentation de l'activité économique, une utilisation accrue des ressources naturelles et une augmentation des émissions. En revanche, si la hausse de l'activité économique augmente les revenus réels des consommateurs et améliore leur sensibilité à la protection de l'environnement, il est possible que le lien entre croissance et environnement soit modifié.

Le développement économique est un vecteur de consommation et crée des dégradations environnementales majeures. L'indice d'empreinte écologique (Wackernagel et Rees, 1998) permet ainsi d'évaluer cet impact. Il mesure la surface nécessaire pour satisfaire la consommation d'une population et assimiler les déchets associés pour une date donnée. Selon WWF (2014), la population mondiale nécessitait, en 2010, plus d'une planète Terre et demie pour couvrir ses besoins de consommation et d'absorption de ses déchets. Grossman et Krueger (1991) suggèrent l'importance de considérer trois facteurs différents du développement sur l'environnement : l'effet d'échelle, l'effet de composition et l'effet technologique.

Dans le cas de *l'effet d'échelle*, l'accroissement de la consommation et/ou de la production occasionné par le développement économique détériore l'environnement en gardant la nature des activités inchangée. La modification du système productif coïncide avec *l'effet de composition*. Une économie peut être orientée vers les activités agricoles, les activités industrielles ou plutôt vers les activités de service. Ces dernières utilisent moins de facteurs de production

29. Même si nous avons choisi de se concentrer sur les secteurs industriels émetteurs de pollution, le secteur agricole est grand pollueur, y compris en France (voir figure 2.2).

polluants. Donc selon la composition du système productif, le développement économique diminue et maintient l'environnement. Enfin *l'effet technique* nuance aussi l'effet d'échelle, le progrès technique peut ainsi permettre d'atteindre le même niveau de production avec un impact environnemental moindre ; améliorations technologiques peuvent aussi être directement pensées en faveur des innovations dites *vertes* (technologies de dépollution par exemple).

Ces mécanismes sont-ils liés à l'organisation de l'espace ?

Cela revient finalement à s'interroger sur la manière dont on doit intégrer l'organisation spatiale dans cette recherche de croissance durable (minimisant l'impact sur l'environnement). Quelles sont les principales avancées permettant de penser que la croissance n'est pas incompatible avec le respect de l'environnement ? Et surtout, est ce qu'intégrer l'organisation spatiale des activités permet d'améliorer ces solutions ?

L'empreinte écologique (EF, pour "*ecological footprint*") peut s'avérer un outil utile de mesure afin d'évaluer les dégâts environnementaux liés à l'activité humaine (Wackernagel et Rees, 1998). Une des critiques faites à l'encontre de l'EF est la faible prise en compte de l'espace (Grazi *et al.*, 2007). Les auteurs soulignent qu'intégrer l'espace à la problématique de la soutenabilité est essentielle pour deux raisons. Premièrement, cela permet de concrétiser la notion de soutenabilité en différenciant entre plusieurs schémas de transport, de commerce et d'occupation du sol. Deuxièmement, cela autorise les auteurs à mobiliser et tester différents outils pratiques de politiques publiques concernant les transports, le commerce et la localisation des activités face aux objectifs globaux de réduction des dommages environnementaux. Grazi *et al.* (2007) sont ainsi en mesure de simuler plusieurs outils de politiques publiques afin de donner plusieurs mesures possibles en fonction des différents scénarios.

Pour conclure, si le niveau de pollution a un impact sur les choix de localisation, l'organisation spatiale des activités s'avère à son tour déterminante pour la qualité environnementale d'un espace. Par ailleurs, comme nous le présentons dans le chapitre 3, cet effet est accentué lorsque l'on considère que l'efficacité d'une régulation environnementale dépend du niveau d'agglomération des activités.

Conclusion

Les dégradations environnementales, et en particulier la qualité de l'air, impactent les choix de localisation puisque tant les ménages que les entreprises peuvent anticiper les désagréments liés à la proximité de la pollution. D'une part, les travaux d'économie urbaine et d'économie géographique intègrent la prise en compte de la qualité environnementale de leur voisinage dans la fonction d'utilité des ménages. D'autre part, les évaluations empiriques de la place de l'environnement dans l'achat de biens immobiliers -plutôt dans un cadre urbain- a été largement étayé (Maslianskaïa-Pautrel, 2009). De part les difficultés inhérentes aux études empiriques concernant les déterminants locaux de la localisation des entreprises (Combes et Gobillon, 2015), il est encore relativement difficile d'intégrer la qualité environnementale locale dans les choix d'installation d'un établissement.

A son tour, l'organisation spatiale du territoire peut être déterminante pour la qualité de l'environnement et génère, entre autres, des coûts environnementaux. Sachant qu'il demeure compliqué pour les pouvoirs publics de prétendre maîtriser la localisation des ménages (Storper, 2010), comprendre l'organisation spatiale qui minimise les émissions polluantes est une question difficile mais justifiée.

Finalement, les liens entre croissance et environnement dépendent de l'organisation spatiale. Des questions demeurent : comment la localisation des ménages (potentiellement travailleurs qualifiés), affectée par la qualité environnementale du territoire, est cruciale pour la croissance et les investissements ? Comment la régulation environnementale peut à la fois affecter les choix d'installation des entreprises et leur incitation à produire et à innover ? Un travail important a été fait concernant la place de la fiscalité environnementale dans les choix de localisation ou dans les choix d'investissements étrangers (Eskeland et Harrison, 2003). Les résultats sont mitigés et prennent, de plus, en plus en compte les bénéfices liés à l'agglomération. Le chapitre suivant participe à cette réflexion concernant les choix de localisation des firmes polluantes et l'impact sur le bien être des ménages.

Annexes Chapitre 2

Concentration spatiale et pollution par secteur

Secteurs (niveau 2)	Pollution CH ₄	Concentration spatiale		
	Rang	Indice	Rang	Rang*
Collecte traitement des déchets	1	0,0017	69	10
Métallurgie	2	0,0124	20	1
Industrie chimique	3	0,0048	45	5
Fabrication machines	4	0,0037	50	7
Entreposage et services transports	5	0,0045	47	6
Industrie du papier	6	0,0051	43	3
Prod. distrib. électricité gaz	7	0,0051	44	4
Fab. pdts minéraux non métalliques	8	0,0064	39	2
Transports terrestres	9	0,0008	80	12
Travail du bois	10	0,0034	52	8
Industries alimentaires	11	0,0018	68	9
Travaux construction	12	0,0014	75	11

Tableau 2.5 – Concentration spatiale et intensité de pollution en CH₄

Pour le CH₄, les premiers émetteurs sont les établissements de traitement des déchets (cf. tableau 2.5). Les établissements de ce type sont nécessaires sur l'ensemble du territoire, c'est pourquoi l'indice de concentration est faible. Les émissions de CH₄ sont plutôt concentrées dans un nombre réduit de secteurs. On constate que les secteurs émetteurs ne sont pas particulièrement concentrés dans l'ensemble (les "Rang(1)" sont tous supérieurs à 39).

Secteurs (NAF niveau 2)	Pollution CO2		Concentration spatiale	
	Rang	Indice	Rang(1)	Rang*(2)
Cokéfaction et raffinage	1	0,0552	9	4
Métallurgie	2	0,0124	20	7
Industrie chimique	3	0,0048	45	18
Industrie papier	4	0,0051	43	16
Fab. pdts à base de tabac	5	0,1607	4	3
Fab. pdts minéraux non métalliques	6	0,0064	39	13
Prod. Distrib. électricité gaz	7	0,0051	44	17
Collecte traitement des déchets	8	0,0017	69	29
Collecte traitement eaux usées	9	0,0071	34	11
Industrie pharmaceutique	10	0,0105	24	9
Industrie automobile	11	0,0136	19	6
Extraction hydrocarbure	12	0,3545	1	1
Industries alimentaires	13	0,0018	68	28
Fabrication matériels de transport	14	0,0366	11	5
Travail du bois	15	0,0034	52	23
Autres industries extractives	16	0,0035	51	22
Fab. pdts caoutchouc plastique	17	0,0069	36	12
Fab. de boisson	18	0,0115	22	8
Fab. équipts électriques	19	0,0051	42	15
Fab. pdts métalliques	20	0,0026	59	26
Transports aériens	21	0,1670	3	2
Entreposage et services de transports	22	0,0045	47	20
Fabrication de machines	23	0,0037	50	21
Transports terrestres	24	0,0008	80	30
Fab. pdts informatiques	25	0,0099	26	10
Fabrication de textiles	26	0,0062	40	14
Sylviculture explt. forestière	27	0,0047	46	19
Imprimerie	28	0,0024	63	27
Réparation machines	29	0,0030	55	24
Commerce de gros	30	0,0007	82	31
Commerce de détail	31	0,0003	85	32
Culture et production animale	32	0,0030	56	25

Rang*(2) correspond au classement parmi les secteurs émetteurs de CO2 ; données : CLAP, IREP ; année : 2014

Tableau 2.6 – Concentration spatiale et intensité de pollution en CO2 par secteur

Le tableau 2.6 présente les nombreux secteurs émetteurs de CO_2 . Le tableau permet d'identifier la concentration spatiale d'un secteur par rapport aux autres et de comparer la concentration de deux secteurs. Dans le cas des émissions de CO_2 , le premier secteur industriel émetteur est la *cokéfaction et le raffinage*. Puisque dépendant de situation géographique particulière, ce secteur est aussi très concentré spatialement. Par ailleurs, de nombreux secteurs émetteurs de CO_2 font très nettement partie des secteurs les plus concentrés en France (même s'il s'agit aussi de secteurs fortement concentrés économiquement comme l'*extraction d'hydrocarbure*). On note que la variable de concentration spatiale $Rang(1)$ a été calculée sur l'ensemble des secteurs alors que le $Rang * (2)$ ne porte que sur les secteurs émetteurs de CO_2 .

Secteurs (niveau 2)	Pollution CO	Concentration spatiale		
	Rang	Indice	Rang	Rang*
Métallurgie	1	0,0124	20	2
Cokéfaction et raffinage	2	0,0552	9	1
Industrie chimique	3	0,0048	45	6
Industrie du papier	4	0,0051	43	4
Fab. pdts minéraux non métalliques	5	0,0064	39	3
Collecte traitement déchets	6	0,0017	69	9
Travail du bois	7	0,0034	52	7
Prod. distrib. électricité gaz	8	0,0051	44	5
Industries alimentaires	9	0,0018	68	8

Tableau 2.7 – Concentration et intensité de pollution en CO

Secteurs (niveau 2)	Pollution COVNM	Concentration spatiale		
	Rang	Indice	Rang(1)	Rang*(2)
Cokéfaction et raffinage	1	0,0552	9	2
Industrie chimique	2	0,0048	45	19
Industrie pharmaceutique	3	0,0105	24	9
Métallurgie	4	0,0124	20	7
Industrie automobile	5	0,0136	19	6
Fab, de pdts caoutchouc plastique	6	0,0069	36	12
Industrie du papier et carton	7	0,0051	43	17
Fabrication matériels transport	8	0,0366	11	3
Extraction hydrocarbure	9	0,3545	1	1
Fab, de boisson	10	0,0115	22	8
Travail du bois	11	0,0034	52	23
Fab, de produits métalliques	12	0,0026	59	26
Imprimerie	13	0,0024	63	27
Fab, de textiles	14	0,0062	40	14
Fab. machines équipements	15	0,0037	50	21
Fab. pdts minéraux non métalliques	16	0,0064	39	13
Industries alimentaires	17	0,0018	68	28
Fab. pdts informatiques électroniques	18	0,0099	26	10
Fab. d'équipements électriques	19	0,0051	42	16
Entreposage et services des transports	20	0,0045	47	20
Industrie du cuir et de la chaussure	21	0,0097	27	11
Fabrication de meubles	22	0,0056	41	15
Autres industries manufacturières	23	0,0029	57	25
Collecte traitement des déchets	24	0,0017	69	29
Autres industries extractives	25	0,0035	51	22
Édition	26	0,0173	14	5
Industrie de l'habillement	27	0,0295	12	4
Transports terrestres	28	0,0008	80	31
Commerce de gros	29	0,0007	82	32
Réparation machines équipements	30	0,0030	55	24
Production distrib électricité, de gaz	31	0,0051	44	18
Travaux de construction spécialisés	32	0,0014	75	30

Tableau 2.8 – Concentration et intensité de pollution en COVNM

Secteurs (niveau 2)	Pollution HAP	Concentration spatiale		
	Rang	Indice	Rang(1)	Rang*(2)
Métallurgie	1	0,0124	20	1
Fabrication d'équipements électriques	2	0,0051	42	5
Collecte trait. eaux usées	3	0,0071	34	2
Fab. pdts minéraux non métalliques	4	0,0064	39	4
Fab. Pdts caoutchouc plastique	5	0,0069	36	3
Transports terrestres	6	0,0008	80	9
Production distrib électricité et gaz	7	0,0051	44	6
Collecte traitement déchets	8	0,0017	69	8
Collecte traitement déchets	9	0,0029	57	7

Tableau 2.9 – Concentration et intensité de pollution en HAP

Secteurs (niveau 2)	Pollution Hg	Concentration spatiale		
	Rang	Indice	Rang(1)	Rang*(2)
Métallurgie	1	0,0124	20	2
Cokéfaction et raffinage	2	0,0552	9	1
Collecte trait. eaux usées	3	0,0071	34	3
Industrie du papier et carton	4	0,0051	43	6
Industrie chimique	5	0,0048	45	8
Collecte traitement déchets	6	0,0017	69	11
Fab. pdts minéraux non métalliques	7	0,0064	39	5
Captage, traitement et distribution d'eau	8	0,0064	38	4
Production distrib. électricité gaz	9	0,0051	44	7
Fab. produits métalliques	10	0,0026	59	9
Génie civil	11	0,0026	60	10

Tableau 2.10 – Concentration et intensité de pollution en Hg

Secteurs (niveau 2)	Pollution SO2	Concentration spatiale		
	Rang	Indice	Rang(1)	Rang*(2)
Cokéfaction et raffinage	1	0,0552	9	2
Métallurgie	2	0,0124	20	3
Industrie chimique	3	0,0048	45	8
Extraction hydrocarbure	4	0,3545	1	1
Prod. distrib. électricité gaz	5	0,0051	44	7
Fab. pdts minéraux non métalliques	6	0,0064	39	4
Fabrication de produits métalliques, à l'exception des machines et des équipements	7	0,0026	59	10
Industrie papier	8	0,0051	43	6
Autres industries extractives	9	0,0035	51	9
Fab. équipements électriques	10	0,0051	42	5
Industries alimentaires	11	0,0018	68	11
Collecte traitement des déchets	12	0,0017	69	12

Tableau 2.11 – Concentration et intensité de pollution en SO_2

Secteurs (niveau 2)	Pollution NO2		Concentration spatiale	
	Rang	Indice	Rang(1)	Rang*(2)
Cokéfaction et raffinage	1	0,0552	9	2
Métallurgie	2	0,0124	20	4
Industrie chimique	3	0,0048	45	11
Fab. pdts minéraux non métalliques	4	0,0064	39	7
Fab, de pdts caoutchouc plastique	5	0,0069	36	6
Industrie du papier et carton	6	0,0051	43	9
Fab, de produits métalliques	7	0,0026	59	15
Production distrib électricité, de gaz	8	0,0051	44	10
Collecte traitement des déchets	9	0,0017	69	17
Travail du bois	10	0,0034	52	14
	11	0,1670	3	1
Autres industries extractives	12	0,0051	42	8
Fabrication matériels transport	13	0,0366	11	3
Collecte et traitement des eaux usées	14	0,0071	34	5
Industries alimentaires	15	0,0018	68	16
Fab. machines équipements	16	0,0037	50	13
Entreposage et services auxiliaires des transports	17	0,0045	47	12

Tableau 2.12 – Concentration et intensité de pollution en NO2

Secteurs (niveau 2)	Pollution TSP	Concentration spatiale		
	Rang	Indice	Rang(1)	Rang*(2)
Cokéfaction et raffinage	1	0,0552	9	1
Métallurgie	2	0,0124	20	2
Industrie du papier et carton	3	0,0051	43	4
Autres industries extractives	4	0,0035	51	7
Industrie chimique	5	0,0048	45	6
Travail du bois	6	0,0034	52	8
Prod. distrib électricité, de gaz	7	0,0051	44	5
Fab. pdts minéraux non métalliques	8	0,0064	39	3
Industrie alimentaire	9	0,0018	68	9

Tableau 2.13 – Concentration et intensité de pollution en TSP

Un point sur les polluants atmosphériques

	Caractéristiques	Secteurs émetteurs		Tendance	
		2000	2011		
SO2	Sans couleur ;Odeur pénétrante ; pluies acides (Encore très présent Havre, Fos-Berre par exemple)	Energie 48% Manufacturier 34%	Energie 40% (raffinage) Manufacturier 45% (surtout chimie)	↓	Baisse de 86% entre 1960 et 2011 (grâce entre autres aux réglementations environnementales)
Hg	Extrême volatilité (facilement respiré)	Manufacturier 73% Energie 23%	Manufacturier 73% (surtout chimie, cimenterie, métallurgie) Energie 23%	↓	Baisse de 81% entre 1990 et 2011 (grâce à l'amélioration des techniques d'incinération des déchets et nouvelles normes d'utilisation de ce métal)
Pb		Manufacturier 60% Transport routier 21%	Transport routier 45% Manufacturier 38% (surtout métallurgie)	↓	Baisse de 97% entre 1990 et 2011 (grâce à la fermeture d'une usine -Metaleurop- en 2003 et, de nouvelles normes de production telles que des équipements spécifiques pour réduire les particules)
Cd	Métal argenté, se ternit à l'air et soluble dans les acides mais pas en milieu alcalin	Manufacturier 78% Energie 15%	Manufacturier 65% (surtout sidérurgie, métallurgie) Transport routier 18%	↓	Baisse de 87% entre 1990 et 2011 (amélioration des techniques dans les secteurs tels que la sidérurgie, de la métallurgie et dans le traitement des fumées des usines d'incinération)
CO	Indore incolore Haut pouvoir de dispersion	Transport routier 39% Résidentiel 28% Manufacturier 27%	Manufacturier 42% Transport routier 14% Résidentiel 34%	~	Plutôt en baisse (diminution de l'activité en sidérurgie et renouvellement du parc automobile) mais hausse en 2004 et 2010 (reprise dans le secteur sidérurgique et hiver froid)
N2O	Gaz roux	Agriculture 76% Manufacturier 19%	Agriculture 89% Manufacturier 6% (surtout chimie)	↓	Baisse de 12% entre 1990 et 2011
NOx	Pluies acides	Transport routier 58% Manufacturier 13%	Transport routier 56% Manufacturier 14% (surtout minéraux, construction, chimie)	↓	Baisse depuis 1993 (grâce au renouvellement du parc automobile et les pots catalytiques)
CO2		Transport routier 31% Manufacturier 27% Résidentiel 22%	Transport routier 35% Manufacturier 24% Résidentiel 22%	~	Plutôt en hausse dans le secteur résidentiel (utilisation énergétique de la biomasse en augmentation entre les années 1960 et 2011) Fluctuations dans le secteur manufacturier (puisque l'activité dépend des fluctuations économiques – crise)
CH4		Agriculture 68% Manufacturier 20%	Agriculture 76% Manufacturier 20% (surtout déchets)	~	Plutôt constant (intensification de la production laitière compensée par une baisse du cheptel)
COVNM		Résidentiel 30% Transport 31% Manufacturier 29%	Résidentiel 38% (surtout solvant) Manufacturier 36% (peinture) Transport 12 %	↓	Baisse de 92% de 1990 et 2011 (grâce par exemple à l'équipement pots catalytiques depuis 1993)
HAP		Résidentiel/tertiaire 79% Transport routier 14%	Résidentiel/tertiaire 61% (biomasse) Transport routier 30%	↓	Baisse de 53% entre 1990 et 2011 (dans tous les secteurs sauf transport en raison d'une hausse du trafic et hausse de la part des véhicules diesel)
PM_{2.5}		Résidentiel/tertiaire 48% Transport routier 19% Manufacturier 17%	Résidentiel/tertiaire 45% Manufacturier 24% Transport routier 18%	↓	Baisse de 58% entre 1990 et 2011 grâce à l'amélioration des techniques de combustion (technique de dépolluierage)

Figure 2.10 – Secteurs et évolution des émissions atmosphériques (source : CITEPA(2013))

Liste des sigles

Polluants	
CH_4	Méthane
CO_2	Dioxyde de carbone
Cd	Cadmium
NO_X	Oxyde d'azote
N_2O	Protoxyde d'azote
HFC	Hydrofluorocarbure
Hg	Mercure
COVNM	Composé organique volatil non méthanique
PES	Particules en suspension
$s PM$	Particules fines
SO_2	Dioxyde de soufre
Autres sigles	
SOeS	Service Observations et Statistiques
TGAP	Taxe Générale sur les Activités Polluantes
IREP	Registre des Émissions Polluantes
ICPE	Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

Un modèle d’agglomération et croissance : l’impact d’une régulation environnementale

Introduction

Comme le suggère Wu *et al.* (2017), “*the history of agglomeration and industrial concentration has, to a large extent, been a history of environmental pollution*”. L’agglomération des activités n’engendre pas que des avantages tels que la croissance économique et les gains de productivité pour les firmes, mais représente aussi un enjeu environnemental. Parmi les différents problèmes environnementaux, nous nous focalisons sur les émissions polluantes issues du secteur industriel.

Les chapitres 1 et 2 nous ont permis d’établir les principaux mécanismes liant d’une part l’agglomération des activités économiques et ses bénéfices pour l’innovation, et d’autre part les dégradations environnementales industrielles et leurs conséquences sur l’organisation spatiale des firmes et des ménages. Dans ce chapitre, il nous semble pertinent de considérer les dommages environnementaux liés à la production industrielle dans un *modèle de NEG* pour plusieurs raisons. Tout d’abord, cela permet de poursuivre la compréhension des mécanismes liant agglomération et environnement présents dans les travaux de NEG (Elbers et Withagen, 2004; Lange et Quaas, 2007; Ciucci *et al.*, 2015). Afin de compléter les apports de cette littérature, on intègre les conséquences de la pollution et/ou de la taxe environnementale sur la croissance économique dans ce cadre d’équilibre général. La croissance économique représente un enjeu incontournable de politiques publiques. L’objectif de croissance économique pour le territoire fait, en effet, consensus pour les pouvoirs publics, contrairement à l’agglomération des activités (Shearmur, 2012; Montmartin, 2015). Ensuite, nous pouvons aisément trouver des

situations illustrant notre propos avec deux régions voisines (Rhône alpes *vs* Auvergne). L'une des régions est dotée de nombreuses firmes polluantes mais aussi d'une forte proportion d'activités porteuses d'innovation. L'autre région a, au contraire, moins d'activités économiques mais la qualité environnementale y est supérieure. Enfin, la NEG-G permet de considérer les externalités de connaissance et ses conséquences en termes de croissance dans un cadre d'économie géographique. On envisage dans ce chapitre une nouvelle source d'externalité liée à la pollution issue de la production industrielle.

Rappelons que l'économie de l'environnement s'est interrogée pour savoir si une régulation environnementale laxiste dans une région profite ou pas aux firmes polluantes (par exemple, Jeppesen *et al.*, 2002; Levinson et Taylor, 2008). Cet effet est dénommé comme "l'effet havre de pollution". De plus, intégrer une régulation environnementale dans un cadre d'analyse avec croissance endogène a largement été investi. Avec différentes formalisations du phénomène de croissance (par exemple, Ono, 2002; Nakada, 2004; Bianco, 2017), les travaux se sont interrogés sur l'impact potentiellement positif et incitatif d'une régulation environnementale sur l'innovation, i.e. la validité de l'hypothèse de Porter.

Les questions soulevées dans ce chapitre sont les suivantes : comment les choix de localisation sont affectés par la mise en place de la taxe environnementale ? Avec une situation d'asymétrie initiale en termes de richesse, comment évoluent les inégalités de revenu et de bien être entre les deux régions une fois la pollution locale et la taxe prises en compte ?

Pour répondre à ces objectifs, nous travaillons dans le cadre d'un modèle de NEG-G (Martin et Ottaviano, 1999) introduisant le phénomène de croissance endogène à la Romer (1990). L'objectif est multiple. Nous donnons un nouvel éclairage quant à la prise en compte d'un effet néfaste de l'agglomération sur le bien être des consommateurs, résidents de la région dense, dans un modèle de la NEG-G. L'impact de la pollution industrielle est supposé local dans notre travail. Peu de travaux ont considéré une politique publique dans un cadre d'analyse de la NEG-G (sauf, Martin et Ottaviano, 1999; Riou, 2003; Montmartin, 2015), et ce malgré la sensibilité du sujet (Baldwin *et al.*, 2004, chapitre 11). Introduire une politique publique constitue le deuxième objectif. La présence de firmes industrielles dans une région affecte deux éléments clefs dans notre travail : le niveau de pollution locale et le niveau de "connaissances". Les firmes industrielles ne génèrent pas seulement des dégradations environnementales, mais favorisent aussi, par leur simple présence, le secteur de R&D.

3.1 Prise en compte des politiques environnementales dans le choix de localisation

Afin de réduire le niveau global de pollution, les pouvoirs publics s'intéressent particulièrement à la mise en œuvre d'une politique environnementale cohérente au niveau inter-régional ou international. Nous présentons, dans le tableau 3.1 page 123, les principales réglementations et taxes visant les entreprises polluantes pour réduire leur émissions en France. Les pouvoirs publics sont, de même, soucieux de maintenir des activités économiques sur leur territoire. Les résultats concernant le meilleur schéma de taxation dépendent de l'objectif des gouvernements, par exemple selon si l'objectif est une réduction locale ou une réduction globale du niveau de pollution. De plus, les réactions des entreprises diffèrent selon le contexte. La pollution pouvant être stationnaire ou transfrontalière : si elle est transfrontalière alors, taxer dans une région a un effet moindre sur la satisfaction des ménages (électeurs par ailleurs).

Les acteurs économiques peuvent ne pas prendre en considération, par manque d'information ou défaut de perception, la qualité environnementale dans leurs choix économiques. Pour autant, ils peuvent utiliser la présence de politiques environnementales comme source d'information sur la qualité environnementale du territoire ou comme élément à considérer lors du choix de localisation. En effet, les entreprises ne prennent pas nécessairement en compte la qualité environnementale comme un facteur favorisant leur système de production. Dans certains secteurs, l'environnement peut pourtant constituer une ressource et un véritable input dans le système de production tels que l'agriculture ou le tourisme. Puisque la fiscalité environnementale constitue à court terme une contrainte directe, les firmes l'intègrent automatiquement dans leurs choix de production. A priori, tout type de fiscalité ou norme, contraint son activité donc elles ne sont pas favorables à la mise en place de tels instruments dans un premier temps. Cet effet peut être nuancé sur le long terme si la fiscalité environnementale améliore les inputs utilisés dans le processus de production, comme des ressources naturelles (l'eau de bonne qualité) ou les travailleurs dont la productivité et le bien être sont améliorés.

Il existe une problématique majeure d'actualité pour les pouvoirs publics et les négociations internationales sur la mise en place d'une taxe environnementale à une échelle mondiale, en particulier pour combattre le problème global du réchauffement climatique. En théorie, la fiscalité environnementale hétérogène selon les pays inciterait certaines entreprises à se délocaliser là où la contrainte est la plus faible afin de maximiser leur profit. Cette délocalisation est d'autant plus facile que les coûts de transport sont en baisse avec la libéralisation des

échanges. Les pays avec une fiscalité faible deviennent alors des *havres de pollution*. Leurs existences remettent alors en cause la lutte contre la pollution mondiale. Il faut préciser qu'il y a *a priori* deux mécanismes distingués par Copeland et Taylor (2004), un qui relève de la réaction des firmes polluantes à la fiscalité environnementale (*l'effet havre de pollution*) et un autre qui évoque la réaction de ces entreprises face à la libéralisation des échanges en bien et capital (*l'hypothèse havre de pollution*).

Empiriquement, il y a davantage de travaux traitant de l'impact de la fiscalité environnementale sur la localisation des entreprises au niveau régional que sur celle des ménages. Il y a un large panel d'études travaillant sur la question de la localisation des firmes en fonction de la fiscalité environnementale dans une perspective d'économie internationale¹.

Les preuves empiriques sont par ailleurs partagées sur ce sujet. D'une part, certains auteurs montrent qu'il existe effectivement un effet *havre de pollution* identifié dans la littérature théorique. A l'échelle des secteurs, Levinson et Taylor (2008) étudient l'impact des mesures de réduction de la pollution avec des données de panel sur 130 secteurs aux États-Unis entre 1977 et 1986. Ils identifient l'effet *havre de pollution* en prenant en compte les caractéristiques inobservables grâce aux données de panel. Leur méthode corrige l'endogénéité de la variable la mise en place de politiques environnementales² et utilise le niveau des importations nettes pour mesurer la délocalisation. Finalement une hausse de 1% des coûts de réduction de la pollution provoque une hausse de 0.4% des importations nettes issues du Canada. Les auteurs montrent par ailleurs que les industries ayant supporté la plus forte hausse du coût de réduction de la pollution sont celles ayant connu la plus forte augmentation des importations nettes.

D'autre part, d'autres travaux suggèrent au contraire que l'effet *havre de pollution* n'est pas clairement identifiables (Jeppesen *et al.*, 2002; Eskeland et Harrison, 2003). Concernant l'hypothèse de havre de pollution, Eskeland et Harrison (2003) étudient les investissements étrangers dans quatre pays en développement (Mexique, Côte d'Ivoire, Maroc et Venezuela). Ils ciblent les investissements dans des secteurs fortement polluants et suggèrent qu'il existe de faibles preuves que les investissements soient plus concentrés dans les secteurs polluants. Ils ne parviennent pas à établir de relation entre le coût de réduction des émissions polluantes dans les pays d'origine des investissements et le niveau d'investissement. Plusieurs facteurs peuvent, en effet, expliquer ces résultats mitigés et expliquent que la mise en place d'une taxe

1. On notera, à nouveau, que ces études empiriques ne constituent pas une évaluation économétrique des modèles de la NEG, mais se réfèrent davantage au cadre d'économie internationale.

2. Les coûts de réduction de la pollution et flux commerciaux sont déterminés simultanément, des variables inobservables sont négativement corrélées au niveau des importations.

environnementale ne fait pas nécessairement fuir les entreprises polluantes. Tout d'abord, le coût que représente la législation environnementale est finalement relativement faible, d'où l'effet mineur identifié. De plus, la fiscalité environnementale favorise une hausse de l'innovation, selon *hypothèse de Porter*, voire une hausse de ses exportations pour l'entreprise. Ces effets peuvent donc freiner les firmes à migrer vers des pays où la fiscalité est plus faible. Jeppesen *et al.* (2002) mènent une méta analyse des travaux liant flux de capitaux (variable représentant les installations de nouveaux établissements) et politiques environnementales. Leur travail mobilise les résultats de 11 études avec des données allant de 1964 à 1994 aux États-Unis. Le choix des variables s'avèrent déterminant pour comprendre la variabilité des résultats. Ils montrent que les effets sont très hétérogènes et la relation de causalité entre politiques publiques environnementales et installation de nouvelles firmes est difficile à identifier. Leur méta analyse permet toutefois de proposer plusieurs remarques concernant la variabilité des résultats. Ainsi, plus l'unité spatiale retenue est petite, plus l'impact évalué de la fiscalité environnementale sur le choix de localisation des firmes est important. Ils mettent aussi en évidence que les entreprises étrangères s'implantant aux États-Unis sont plus sensibles à cette fiscalité pour leur choix de localisation que les entreprises domestiques.

Enfin, la littérature de commerce international traitant de l'*effet havre de pollution* ne prend pas nécessairement en compte les économies d'agglomération, d'où le potentiel décalage entre résultats empiriques et théoriques (Zeng et Zhao, 2009; Elbers et Withagen, 2004). Ces économies d'agglomération vont alors contrebalancer l'effet d'une taxe dont le taux serait supérieur dans le grand pays - doté d'un marché plus important. De plus, Zeng et Zhao (2009) introduisent une externalité intersectorielle qui relativise cet effet *havre de pollution*. Rappelons que les dégradations environnementales ont un effet négatif sur la productivité des travailleurs et ainsi sur leur demande. La mise en place d'une taxe permet donc de favoriser l'*effet demande*, mais représente aussi une hausse des coûts pour une entreprise polluante. A nouveau, le degré de diffusion de la pollution est crucial dans cet arbitrage. En effet, si la pollution et ses effets sont très localisés, cela crée des différences plus fortes en termes de productivité du travail. Par exemple, Zeng et Zhao (2009) suggèrent que dans ce cas, l'effet réduction de la demande est plus fort dans le pays concerné par une forte présence industrielle. Ce mécanisme incite les entreprises à s'installer dans le pays doté d'une réglementation élevée favorable à l'environnement.

Indirectement ces politiques environnementales destinées aux entreprises peuvent influencer les choix de localisation des ménages si ces derniers sont mobiles entre les régions ou les pays.

En effet, on suppose alors que les politiques environnementales ont un effet positif sur la qualité environnementale locale. Ainsi Ciucci *et al.* (2015) considèrent un cadre d'analyse avec les travailleurs qualifiés mobiles entre les régions et qui réagissent positivement à la mise en place d'une politique publique en faveur de l'environnement. Pour les entreprises polluantes, une taxe environnementale dans un pays a deux effets opposés. Elle ajoute une contrainte fiscale mais, en attirant les ménages, augmente la taille du marché.

Puisque les pouvoirs publics redoutent l'effet *havre de pollution*, une des solutions pourrait donc être de mettre en place une taxe dont le taux serait identique quelle que soit la région (ou le pays). Cela implique alors une organisation supranationale capable de mettre en place cette taxe. Exbrayat *et al.* (2013) analysent cette solution dans un cadre d'analyse basé sur le modèle de Brander et Krugman (1983) où les firmes sont mobiles et en oligopole. L'environnement, à travers cette politique environnementale globale, façonne les choix de localisation de ces entreprises. Malgré ce taux unique de taxation, la fiscalité a un impact sur l'organisation spatiale et des délocalisations vers la région Sud demeurent. Ce modèle permet entre autre de discuter le poids de la fiscalité environnementale pour les délocalisations. L'étude permet à nouveau d'expliquer pourquoi la fiscalité environnementale n'aurait qu'un effet limité sur la localisation des firmes polluantes.

Tableau 3.1 – Dispositifs réglementaires et fiscaux en France pour les firmes polluantes

- *Taxation* : Essentiellement assises sur les consommations énergétiques (en particulier sur l'énergie fossile), le montant des taxes dites "vertes" correspond à 2.1% du PIB en 2014 (contre 2.5% pour la moyenne de l'UE). La taxe carbone est une composante carbone à la fiscalité sur les produits énergétiques (TICPE) et le gaz naturel. Selon la loi sur la transition énergétique pour la croissance verte, le taux devra atteindre 100 euros par tonne en 2030 (alors qu'il était de 7 euros par tonne de CO_2 en 2014). Les outils fiscaux cités ci-dessus concernent tant les ménages que les entreprises. Les établissements peuvent être aussi contraints de payer une taxe sur les émissions polluantes dans l'air et l'eau, appelée la Taxe Générale sur les Activités Polluantes (TGAP, voir le tableau 3.3 pour les taux par polluant en annexe, page 169). Parmi les recettes issues des taxes environnementales, seules 6% sont issues de la TGAP. Selon le Rapport Environnement (2016), les taux de la TGAP étant faibles, ils ne représentent pas réellement un instrument incitatif pour les entreprises ni des recettes fiscales significatives.
- *Réglementation et démarche volontaire* : Plusieurs dispositifs hors fiscalité cohabitent afin de réglementer l'activité des firmes polluantes. Il existe d'une part des dispositifs volontaires tels que les certifications, et d'autre part des contraintes de déclarations de suivi de l'activité.
 1. Système de management environnemental : deux systèmes sont certifiés et officiels tels que la norme ISO 14001 et l'enregistrement EMAS (au niveau européen). Délivrés par des organismes accrédités, ces certifications représentent une démarche volontaire de l'entreprise souhaitant maîtriser l'impact environnemental de son activité et ne sont pas nécessairement contraignantes.
 2. Responsabilité *sociétale* des entreprises (RSE) : il s'agit d'une démarche volontaire qui concerne un ensemble de sujets parmi lesquels on trouve l'impact environnemental de l'activité. Ce concept demeure encore mal connu (avec 43% des entreprises industrielles disant avoir entendu parler de la RSE en 2010 (Rapport Industries, 2014)).
 3. Réglementations sur l'eau, les déchets et l'air : elles incitent les entreprises à investir pour modifier le système de production afin de respecter ces réglementations.
 4. Dispositif de surveillance des activités polluantes tels que l'obligation de déclarer les risques environnementaux lors de l'installation et annuellement (ICPE).
- *Système de Quotas* : Il a été instauré au niveau européen en 2005 à destination des producteurs d'énergie et des entreprises des secteurs principaux émetteurs de gaz à effet de serre afin de répondre aux objectifs fixés de réduction des émissions par le protocole de Kyoto (1997). On note que le secteur de l'électricité ne reçoit désormais plus de quotas gratuits et devient le premier acheteur de quotas.

En France, la fiscalité n'est qu'un outil parmi d'autres pour lutter contre les pollutions issues du secteur industriel (cf. tableau 3.1). Sans qu'il ne s'agisse d'une taxe, l'obligation de déclarer les émissions polluantes pourrait constituer un moyen de dissuasion. Il en va de même aux Etats Unis où il existe un programme, équivalent à la base de données IREP, rendant publiques les émissions polluantes des firmes, sachant que rendre ces informations publiques rééquilibre l'asymétrie d'information concernant les émissions polluantes industrielles. Bui et Mayer (2003) et Mastromonaco (2015) procèdent à une étude comparant les choix des ménages sur le marché du foncier aux États Unis, mais divers domaines pourraient être affectés. Bui et Mayer (2003) montrent que l'impact est plutôt restreint sur le comportement des ménages. Mastromonaco (2015) travaille sur la réforme du TRI³ en 2001 qui étend l'obligation de déclarer à de nouveaux établissements et à de nouveaux produits, mais choisit de focaliser son étude sur la présence de substances dangereuses et les risques accidentels. Il estime l'impact de l'application de la réforme sur les prix immobiliers grâce à la méthode des doubles différences. Selon l'étude, la baisse des prix immobiliers peut aller jusqu'à 11% dans un périmètre de 1 *miles* autour de l'établissement utilisant des produits chimiques dangereux.

Inégalités spatiales de la taxe environnementale

La taxe carbone a été introduite dans quelques pays européens (en 2012 en France). Elle concerne tant les ménages que les entreprises. Pour autant sa mise en place suscite des interrogations concernant la pratique et le principe d'équité. Charlier *et al.* (2016) analysent ainsi les inégalités spatiales entre les pays européens en termes d'émissions de CO_2 . Selon eux, une taxe carbone européenne, fixée à 20 euros par tonne par exemple, aggraverait les inégalités. Sur un territoire comme la France, il existe aussi de grandes disparités spatiales en termes de besoin énergétique, liées par exemple au climat de chaque région. La taxe ne semble pas s'adapter à ces inégalités spatiales pré existantes. S'il existe une variabilité des contraintes d'utilisation de biens polluants selon les régions, il en existe aussi entre une zone urbaine et une zone rurale. A l'échelle individuelle, un ménage vivant dans une zone rurale et travaillant en ville va de fait être davantage contraint dans ses modes de consommation (transport, chauffage) qu'un ménage résidant en zone urbaine. Le type d'habitation en zone rurale implique bien souvent une plus grande consommation énergétique pour le chauffage par exemple. Ainsi la localisation des ménages orientant leurs types de consommation, leurs participations aux émissions polluantes les font donc apparaître comme les premiers contributeurs d'une "taxe

3. Programme d'information rendant publiques les émissions annuelles des établissements industriels.

carbone”.

Comment l'organisation spatiale affecte l'efficacité des politiques environnementales ?

Dans la section précédente, il est question de la prise en compte de la taxe environnementale dans le choix de localisation, abordant alors la problématique des havres de pollution. Rappelons que les économies d'agglomération (une des conséquences de l'organisation spatiale) modifient le résultat et l'objectif d'une taxe environnementale, i.e. la quantité de pollution émise ou perçue dans une région. La réponse à la question présentée dans cette partie dépend de l'objectif fixé concernant l'amélioration de l'environnement. Cela dépend, entre autres, si l'amélioration visée concerne la qualité environnementale au niveau local ou celle au niveau global. D'autres paramètres, en particulier la fonction de bien être social, seront déterminants. Le travail de Calmette et Péchoux (2007) constitue un exemple selon lequel l'organisation spatiale altère la mise en place d'une politique environnementale. Elles suggèrent que ces mesures visant à limiter les émissions polluantes n'ont pas toujours l'effet attendu sur le niveau de pollution totale. Cet article intègre ainsi une politique sous la forme de quotas d'émissions fixés par région dans un modèle d'économie géographique où les travailleurs sont mobiles et sensibles au niveau global d'émissions polluantes. Lorsque deux régions sont asymétriques, la politique environnementale peut s'avérer contreproductive, i.e. augmenter le niveau total d'émissions polluantes dans l'économie. Ce résultat dépend d'une hypothèse forte : la *désutilité* de la pollution des ménages diminue davantage dans la région Centre puisque celle-ci est proportionnelle au nombre d'entreprises localisées dans la région. La région Centre devient alors à nouveau plus attractive, ce qui renforce finalement l'agglomération des activités. Calmette et Péchoux (2007) obtiennent que la taxe environnementale encourage l'agglomération des entreprises industrielles et peut s'avérer défavorable à la préservation de l'environnement puisque elle ne tenait pas compte de l'organisation spatiale.

Wu *et al.* (2017) déplorent le fait que les résultats de l'économie régionale soient finalement peu utilisés en économie de l'environnement et pour l'analyse des politiques environnementales. Il s'agit de comprendre comment les économies d'agglomération affectent la mise en place d'une politique environnementale et de son efficacité. Selon Wu *et al.* (2017), il existe plusieurs raisons pour lesquelles les économies d'agglomération et la régulation environnementale ne sont pas indépendantes. Dans un premier temps, les entreprises situées dans une région dense vont être mieux informées, et la main d'œuvre de meilleure qualité peut leur permettre d'être plus efficaces dans le respect de la régulation environnementale. Les régions denses peuvent représenter un endroit fortement pollué et les nouveaux établissements s'y installant

doivent faire face à un degré d'exigence plus important concernant le respect des normes environnementales. Dans un deuxième temps, ils suggèrent que les agences de contrôle sont plus à même d'effectuer leur travail rigoureusement dans les régions où les établissements sont moins nombreux. L'agglomération diminue alors les coûts de régulation environnementale. Pour autant, l'agglomération des activités, en intensifiant la concurrence, amènent les entreprises à préférer une régulation plus stricte en espérant que les établissements concurrents soient davantage affectés. Enfin, si les économies d'agglomération permettent de réduire les coûts d'entrée d'une nouvelle firme, il est fort probable qu'une taxe environnementale aille en sens inverse. En revanche, la régulation environnementale - selon l'hypothèse de Porter, et le phénomène d'agglomération peuvent favoriser l'innovation parallèlement.

Exbrayat *et al.* (2013) proposent d'analyser la mise en place d'une taxe carbone globale afin d'éviter les effets de havre de pollution. Ainsi lorsqu'ils considèrent que la localisation des firmes et la taxe sont indépendantes, plusieurs effets de la localisation des firmes sur le niveau d'émissions sont mis en avant. D'une part, l'augmentation du nombre de firmes dans la région Nord, avec davantage de consommateurs, augmente les dommages environnementaux. D'autre part, l'augmentation du nombre de firmes intensifie la concurrence et amène à diminuer le niveau de production par firme. Les mêmes mécanismes opèrent dans le même temps dans la région Sud (en sens opposé). Finalement, la quantité d'émissions polluantes est une fonction croissante du nombre de firmes installées dans le Nord, s'il existe une asymétrie entre les deux régions et des coûts de transport non nuls. Puisque la taxe carbone globale n'est pas neutre sur l'agglomération des firmes dans le Nord, elle peut permettre une baisse des émissions totales.

Dans notre cas, nous souhaitons identifier l'effet d'une régulation environnementale sur le choix de localisation des firmes industrielles. Grâce au cadre d'analyse de la NEGG, nous serons en mesure d'évaluer l'effet sur la croissance économique.

3.2 Un modèle de la NEGG avec pollution industrielle

3.2.1 Cadre du modèle

On développe un modèle de la Nouvelle Économie Géographique et Croissance Endogène (NEGG) semblable à celui de Martin et Ottaviano (1999) avec pour principale différence la prise en compte, par les ménages, des dommages environnementaux. Seules les firmes industrielles émettent de la pollution lors du processus de production dans notre travail. Le cadre d'analyse à la Dixit et Stiglitz (1977) de concurrence monopolistique permet d'associer un

phénomène de croissance endogène (Grossman et Helpman, 1991) et un phénomène d'agglomération des activités économiques (Krugman, 1991) dans un modèle d'équilibre général. Le mécanisme d'agglomération est en réalité plus proche de celui présent dans Martin et Rogers (1995) que de celui présent dans Krugman (1991). Les ménages sont, en effet, immobiles et seules les firmes industrielles, i.e. les capitaux, sont mobiles. Il s'agit donc d'un modèle de type *Footloose Capital* (FC) dans lequel le nombre de firmes est endogène.

3.2.1.1 Généralités

On considère l'équilibre général d'une économie dotée de deux régions, appelées région A et région B . Les variables de la région B sont désignées par un astérisque $*$. Les consommateurs et les secteurs de production sont semblables quelle que soit la région. L travailleurs résident dans chacune des régions et ont les mêmes préférences. Ils sont mobiles entre les secteurs mais immobiles entre les régions. Seul le niveau de richesse initial diffère entre les deux régions ; par convention, on pose que la région A est plus dotée en capital que la région B . On pose donc que $K_0 > K_0^*$, avec K_0 la quantité de richesse ou capital que possèdent les ménages de la région A initialement (à la date 0) et K_0^* pour ceux de la région B . Une situation d'asymétrie en termes de richesse est pertinente puisqu'elle reflète une configuration d'organisation spatiale sensible pour les pouvoirs publics⁴. Nous nous concentrons sur le problème des agents économiques de la région A , parfaitement symétriques à ceux de la région B . La répartition de la richesse entre les deux régions est fixe puisque les ménages détiennent le capital et sont immobiles.

Il existe trois secteurs de production, initialement présents dans chacune des régions. Tout d'abord, le secteur traditionnel (ou agricole) produit un bien homogène Y par une firme représentative qui vend l'intégralité de sa production sur le marché local.

Ensuite, le secteur industriel est composé de n firmes dans la région A et de n^* firmes dans l'autre région, avec $N = n + n^*$ le nombre total de firmes dans ce secteur. Elles vendent leur production dans les deux régions. La part de capital "possédé" dans la région A (i.e. $s_K = \frac{K}{K+K^*}$) est différente de la distribution spatiale des firmes industrielles. La part de capital "actif" dans la région A (i.e. $s_n = \frac{n}{N}$) correspond au nombre de firmes industrielles actives sur le territoire régional. On note $n^* = N(1 - s_n)$ le nombre de variétés produites dans la région B . Les différentes variétés de biens industriels constituent un bien de consommation

4. Cependant cette asymétrie initiale est aussi indispensable pour qu'il y ait un phénomène d'agglomération dans un modèle de type FC. Sans cette asymétrie initiale, aucun mouvement de capitaux n'aurait lieu dans un modèle FC.

composite, noté D .

Enfin, le dernier secteur est celui de R&D dont l'activité consiste à produire des brevets. Chaque unité produite dans ce secteur correspond donc à une nouvelle variété de bien donc une nouvelle firme industrielle pouvant s'installer dans les deux régions. L'innovation horizontale est à l'origine du phénomène de croissance dans l'économie : le taux de croissance de l'économie correspond au taux de croissance du nombre de variétés disponibles.

Les deux facteurs mobilisés de production sont les suivants : le *travail*⁵ est utilisé dans tous les secteurs comme un coût variable et le *capital* mobile entre les deux régions mais il n'est mobilisé que dans le secteur industriel comme un coût fixe.

Une spécificité importante d'un modèle de type FC est l'absence de mécanismes de *causalité circulaire* faisant de l'agglomération des firmes un phénomène auto entretenu. Plus précisément, il n'existe pas, a priori, de liens de causalité par la demande et par les coûts permettant de renforcer l'agglomération des activités, pouvant ainsi provoquer un phénomène d'agglomération "catastrophique" (Krugman, 1991). Même si la migration du capital implique une hausse de la production dans la région d'arrivée, le revenu disponible et le niveau de dépenses des ménages demeurent inchangés. De plus, le coût de la vie dans une région n'est plus pris en compte dans le choix de localisation du facteur de production mobile⁶. L'absence de ces deux mécanismes simplifie la résolution du modèle.

On présente ci-dessous un schéma, figure 3.1, synthétisant les caractéristiques de l'économie du point de vue de la région A , dans lequel on intègre les dommages environnementaux issus de l'industrie.

5. Il n'existe ici qu'un seul type de travail contrairement au modèle CP (Krugman, 1991).

6. Dans un modèle Centre Périphérie de la NEG, le travail constitue le facteur mobile et tient compte de l'indice des prix dans son choix de localisation. Plus les travailleurs qualifiés sont nombreux dans une région plus le nombre de variétés produites dans celle-ci est important. Or, lorsque les variétés sont produites sur place, les ménages (i.e. le facteur mobile) n'ont pas à payer les frais de transport. Les ménages privilégient donc une région avec le plus de firmes industrielles. Cela renforce le phénomène d'agglomération, on appelle donc ce mécanisme le lien par le coût de la vie.

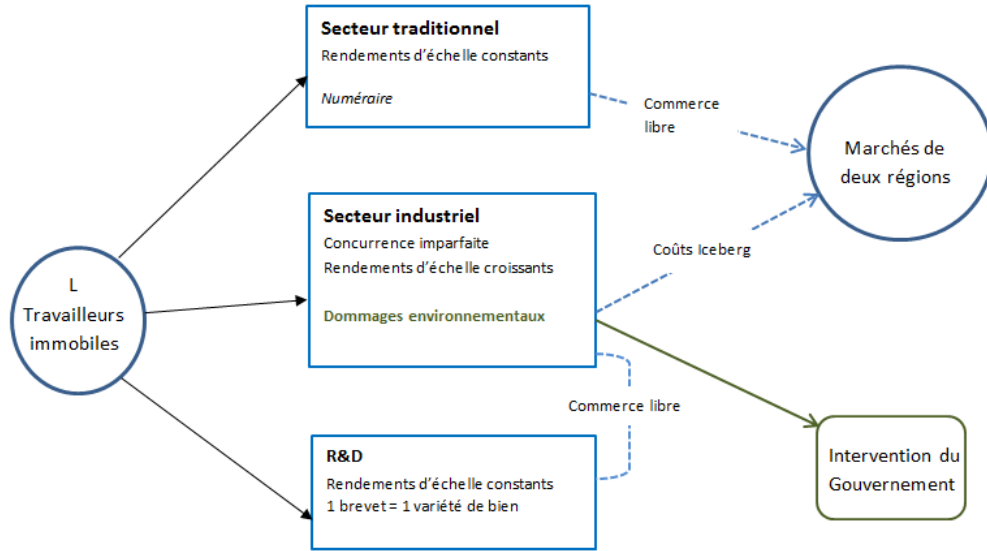


Figure 3.1 – Modèle NEGG avec dommages environnementaux industriels

On peut brièvement synthétiser les résultats de ce type de modèles de la manière suivante : la croissance est favorisée par l'agglomération des activités industrielles dans une région lorsque les externalités spatiales de connaissance sont locales. C'est la taille de marché de la région A qui incite les entreprises du secteur industriel à s'y installer. Plus précisément, l'agglomération favorise la croissance en diminuant le coût de production dans le secteur R&D. Par ailleurs, l'agglomération n'a, a priori, aucun effet négatif sur la croissance dans ce cadre d'analyse.

3.2.1.2 Consommation

Les individus consomment deux types de biens : des biens industriels issus des deux régions et du bien traditionnel issu de leur propre région. Pour leur épargne, ils peuvent acquérir des actions et récupèrent ainsi le profit des firmes industrielles. La quantité de travail disponible dans chacune des régions est égale à L . On suppose que les préférences des ménages sont identiques entre les régions. Chaque individu offre une unité de travail. Les travailleurs ne sont pas mobiles entre les régions mais mobiles entre les secteurs. Leur revenu est identique qu'ils travaillent dans le secteur industriel, traditionnel ou de R&D. L'environnement intervient de manière linéaire dans la fonction d'utilité. Les préférences des individus de la région A sont représentées par la fonction d'utilité suivante (identique dans la région B) :

$$U = \int_0^\infty \left(\ln [D(t)^\alpha Y(t)^{1-\alpha}] - \varphi \ln(\mathcal{E}(t)) \right) \exp(-\rho t) dt, \quad (3.1)$$

avec $D(t)$ est le niveau de consommation de biens industriels des consommateurs de la région A à la date t , Y le niveau consommation de bien traditionnel, $\mathcal{E}(t)$ les dommages environnementaux issus des entreprises actives dans la région A à la date t avec $\varphi \ln(\mathcal{E})$ la perception de ces derniers par les ménages dans la région et enfin α l'élasticité de substitution entre D et Y .

Le bien industriel D est un bien composite de type Dixit et Stiglitz (1977) :

$$D(t) = \left[\int_0^{N(t)} D_i(t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}},$$

avec $N(t)$ le nombre total de variétés à la date t (fixe dans un premier temps puis variable lorsque l'on introduit la croissance), σ l'élasticité de substitution entre les différentes variétés de biens industriels et D_i la demande de la variété i où $i \in \{1, \dots, N\}$. Il n'est pas nécessaire de garder la variable temporelle t pour le moment, puisque la maximisation qui suit est statique. En considérant le problème d'un ménage de la région A , les dépenses totales sont partagées entre trois types de biens : les biens industriels produits dans la région A , les biens industriels produits dans la région B et les biens agricoles produits dans la région A (dont le commerce est libre). La contrainte budgétaire pour un ménage de la région A est donc la suivante :

$$\int_1^n p_i D_i di + \int_1^{n^*} \tau p_j^* D_j dj + P_Y Y = E.$$

L'indice i désigne les variétés produites dans la région du ménage, lorsque l'indice j désigne au contraire les variétés de biens produites dans l'autre région ; donc le choix de l'indice i ou j est relatif au problème visé. p_i désigne le prix du bien i acheté et produit dans la région A , D_i la demande de ce bien émise par un ménage de la région A , τ les coûts de transport et E l'ensemble des dépenses. On rappelle que les variables sans astérisque caractérisent celles de la région A , celles avec un astérisque représentent les variables de la région B ⁷.

D_j représente la demande émise par un ménage de la région A mais produite dans la région B . D_j est achetée au prix τp_j^* , i.e. au prix du producteur en vigueur dans la région B auquel il faut ajouter le coût de transport de type *iceberg* τ (Samuelson, 1954).

7. Par exemple, on obtient que $p_i = \frac{\beta\sigma}{\sigma-1} w$ (prix du bien produit et consommé dans la région A) et $p_i^* = \frac{\beta\sigma}{\sigma-1} w^*$ (prix du bien produit et consommé dans la région B).

Les coûts de transaction sont symétriques et proportionnels au prix à la sortie d'usine⁸. L'ouverture au commerce est ainsi synthétisée par δ avec le paramètre $\delta = \tau^{1-\sigma}$. Lorsque les coûts de transport τ augmentent, l'ouverture du commerce δ diminue. Ce paramètre s'avère déterminant sur les variables du modèle à l'équilibre, i.e. sur l'organisation spatiale et indirectement sur le taux de croissance.

Les dommages environnementaux

Trois aspects sont à définir concernant les dommages environnementaux : la nature, la source et l'impact de la pollution (Koesler, 2010). La nature de la pollution s'apparente à un flux enregistré à la date t (Elbasha et Roe, 1996; Koesler, 2010; Bianco, 2017). Le flux d'émissions polluantes est issu du système de production, il va donc dépendre du nombre d'entreprises du secteur polluant, actives dans la région A et du niveau de production par entreprise dans la région. Il s'agit d'une externalité issue du processus de production (entre autres Nakada, 2004). Enfin, les dommages environnementaux affectent les ménages de la région mais ceux de la région voisine.

Les dommages environnementaux présents à la période t dans la région A peuvent ainsi être synthétisés :

$$\mathcal{E}_t = \int_1^n \varsigma x_t(i) di = n \times \varsigma x_t,$$

avec x_t le niveau de production d'une firme industrielle installée dans la région A (sachant que, $\forall i, x(i) = x$ puisque toutes les entreprises ont la même fonction de production) à la date t . Le paramètre ς représente une mesure de "performance environnementale" et appartient à l'intervalle $[0, 1]$. Un paramètre ς faible équivaut à un faible niveau de pollution par firme industrielle. On suppose que ce paramètre est identique que les firmes soient installées dans la région A ou la région B . Le nombre d'entreprises dans la région, leur niveau de production et l'intensité de pollution augmentent le niveau de pollution local. On différencie le phénomène de congestion de celui de la pollution industrielle en supposant que les émissions dépendent du niveau de production par firme (Wu et Reimer, 2016). On considère que les dégradations environnementales ne se cumulent pas dans le temps et ne sont pas transfrontalières. Pour la région B à la période t , les dommages environnementaux sont donnés par $\mathcal{E}_t^* = n^* \times \varsigma x^*$.

8. Les coûts de transport de type *iceberg* représentent la part de la marchandise dite "tombée du camion" lors du transport. Ils ne dépendent pas de la distance géographique entre les régions.

Les dommages environnementaux entrent dans la fonction d'utilité des ménages (cf. équation (3.1)) de manière linéaire sous la forme de $\varphi \ln \mathcal{E}$. Puisque la pollution intervient de manière linéaire dans la fonction d'utilité, il n'y a pas d'effets de substitution possibles entre l'environnement et les biens de consommation. A chaque période, les consommateurs évaluent le niveau de dégradations environnementales mais ne considèrent pas celles passées.

Nous soulignons le fait que notre modèle considère que les ménages sont affectés par la pollution locale. Cela nous permet ainsi de cibler la *perception*, par les individus, des risques environnementaux liés à la pollution industrielle. On envisage alors qu'un paramètre, appelé φ dans le modèle, correspond plus à la quantité d'information disponible ou la sensibilité à ces informations des ménages qu'à la concentration effective de polluants. Plusieurs articles de NEG intègrent une pollution globale qui coïncide avec l'enjeu majeur des gaz à effet de serre. Nous choisissons de se concentrer sur la perception locale des ménages, quand bien même les polluants sont globaux.

Procédure pour déterminer les consommations optimales

La fonction d'utilité est homothétique (voir équation (3.1)), ce qui permet de résoudre le programme du consommateur en trois étapes. Une première étape permet de déterminer D_i optimal en fonction de D , et la seconde étape permet d'identifier D et Y optimaux par rapport aux niveaux de dépenses totales. On détaille en annexe (page 163) la procédure pour déterminer les consommations optimales suivantes pour les consommateurs de la région A^9 :

$$\begin{aligned} D_i &= \frac{\alpha E}{p(n + \delta n^*)}, \\ D_j &= \frac{\alpha \tau^{-\sigma} E}{p(n + \delta n^*)}, \\ Y &= (1 - \alpha)E, \end{aligned}$$

avec $\delta = \tau^{1-\sigma}$.

La troisième étape détermine comment le ménage alloue le niveau de revenu entre consommation et épargne. La dernière variable de choix pour les ménages est donc le montant d'épargne à chaque période. L'épargne peut alors prendre deux formes : des actifs sans risque ou l'investissement dans une entreprise en achetant des actions. Pour établir le niveau d'épargne, il faut comprendre l'arbitrage inter temporel entre consommation et épargne

9. La formulation notée ci-dessus des consommations optimales repose sur l'égalité des *markup* que l'on montrera ultérieurement.

(i.e. la consommation future), et déterminer le problème de maximisation en considérant que les variables D et Y de la forme suivante : $D = \alpha \frac{E}{P}$ et $Y = (1 - \alpha)E$.

$$\begin{cases} \text{Max}_{z,E} U = \int_0^\infty \left[\ln(D^\alpha Y^{1-\alpha}) - \varphi \ln(\mathcal{E}(t)) \right] \exp(-\rho t) dt \\ \text{sc} : \dot{z} = r(t)z(t) + w(t) - E(t), \end{cases}$$

avec $z(t)$ comme le stock de richesse (d'épargne), $w(t)$ le salaire, $r(t)$ le taux d'intérêt et $E(t)$ l'ensemble des dépenses. Après avoir résolu l'hamiltonien ci-dessus, on obtient l'équation d'Euler suivante :

$$\frac{\dot{E}(t)}{E(t)} = r(t) - \rho. \quad (3.2)$$

Le taux de croissance du niveau de dépenses par ménage est positif si le taux d'intérêt est supérieur au taux de préférence pour le présent, i.e. $r(t) \geq \rho$.

3.2.1.3 Production

Parmi les trois secteurs d'activité, i.e. le secteur traditionnel, le secteur industriel et le secteur de R&D, seul le secteur industriel est considéré comme polluant dans notre modèle.

Secteur traditionnel

Dans le secteur traditionnel ou agricole, les firmes sont en concurrence pure et parfaite et produisent un bien homogène Y (resp. Y^* dans la région B). Le secteur est réduit à une firme représentative dans chacune des deux régions. Le commerce entre les deux régions est parfaitement libre. Puisque chaque région produit la quantité nécessaire de bien traditionnel pour satisfaire la demande interne¹⁰, le commerce du bien traditionnel n'est finalement pas nécessaire. Ce secteur n'utilisant que du facteur travail, le profit correspond à :

$$\begin{cases} \text{Max}_Y \Pi_Y = P_Y Y - wY \\ \text{sc} : Y = L_Y, \end{cases} \quad (3.3)$$

avec L_Y la demande de travail nécessaire à la production de Y dans la région A .

En maximisant le profit de la firme représentative, le prix d'équilibre devient $P_Y = w$. Le bien traditionnel dans la région A étant le numéraire, on obtient que $P_Y = 1$ et $w = 1$, et ce

10. Pour s'assurer de la présence du secteur traditionnel dans les deux régions, il faut vérifier que la région B ne puisse pas répondre, elle seule, à la demande globale de bien traditionnel. Cette demande équivaut à $(1 - \alpha)L(E + E^*)$ alors que le niveau de production de bien traditionnel mobilisant l'ensemble de la main d'œuvre de la région B correspond à L . La condition devient $(1 - \alpha)L(E + E^*) > L$. Finalement lorsque toutes les entreprises industrielles sont localisées dans la région A , on obtient la condition suivante : $(1 - \alpha)(2L + \eta\rho) > L$.

pour l'ensemble des secteurs dans lequel le travailleur est impliqué. L'hypothèse de commerce libre¹¹ des biens du secteur traditionnel implique l'égalité des prix P_Y et P_Y^* . Cela conduit alors à l'égalité des salaires entre les deux régions $w = w^*$.

Secteur industriel

Dans le secteur industriel, les firmes sont en concurrence monopolistique et produisent chacune une variété. On a donc l'équivalence entre le nombre de firmes et le nombre de variétés. Pour produire, les firmes industrielles mobilisent le travail mobile entre les secteurs mais immobile spatialement et un brevet nécessaire pour débiter la production. Ce dernier peut être créé dans l'une ou l'autre des régions puisque parfaitement mobile spatialement. Le profit instantané de la firme produisant la variété i correspond donc à :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Max}_{p_i} \Pi_i = p_i x_i(p_i) - w \beta x_i(p_i), \end{array} \right. \quad (3.4)$$

où x_i représente le niveau de production d'une firme produisant la variété i dans la région A et $L_{i,x} = \beta x_i$, la demande de travail pour produire x_i . La durée de vie du brevet est considérée comme infinie et permet à la firme de maintenir son monopole indéfiniment sur la production de cette variété. Pour acquérir ce brevet, la firme doit émettre des actions sur le marché financier. Alors que le profit sur une période est non nul, la somme actualisée des profits futurs correspond au coût fixe nécessaire pour débiter la production : le coût d'un brevet (ou d'une unité de capital). Finalement la somme des profits engrangés à chaque période sont absorbés par la rémunération du capital.

En résolvant le programme du producteur, le prix obtenu correspond à un taux de marge constant (voir annexe, page 166, pour détermination du *markup*). Le prix est identique dans les deux régions puisque les firmes industrielles mobilisent la même technique de production quelle que soit la région. Enfin les salaires w et w^* sont identiques en raison du commerce libre de biens traditionnels. Le *markup* p est donc le suivant :

$$p = \beta \frac{\sigma}{\sigma - 1}. \quad (3.5)$$

On utilise le résultat selon lequel $w = 1$ puisque le bien traditionnel est le numéraire. L'indice de prix des différentes variétés du secteur industriel dans la région A est désigné par P (resp.

11. Les hypothèses, en particulier l'homogénéité du bien et l'absence de coûts de transport, dans le secteur traditionnel ne sont pas neutres pour les résultats du modèle. Par exemple, Davis (1998) suppose que le secteur traditionnel supporte des frais de transport et montre alors que l'effet taille de marché n'est plus valable dans ce cas là.

P^*), i.e. :

$$P = \left(\int_1^n p(i)^{-(\sigma-1)} di + \int_1^{n^*} (\tau p(j)^*)^{-(\sigma-1)} dj \right)^{-\frac{1}{\sigma-1}}.$$

En tenant compte de la valeur du *markup*, l'indice de prix devient alors :

$$P = \frac{\beta\sigma}{\sigma-1} \frac{1}{N} \left(s_n + \delta(1-s_n) \right)^{-\frac{1}{\sigma-1}}. \quad (3.6)$$

Si les détenteurs de capital sont immobiles, le capital est, quant à lui, parfaitement mobile. C'est pour cette raison que s_n , la part des firmes industrielles actives dans la région A , est potentiellement différente de la part de capitaux s_K possédée dans la région A . Les propriétaires allouent donc le capital entre les deux régions, mais le profit est toujours rapatrié par les propriétaires là où ils sont installés. Rappelons qu'en raison de cette hypothèse, il n'y a plus de lien de causalité par la demande, présent dans un modèle de la NEG par exemple. Plus précisément, le revenu du capital n'est pas nécessairement dépensé localement. Toute chose égale par ailleurs, le déplacement du capital ne modifie pas le revenu des consommateurs. Finalement, la hausse de production n'implique pas une demande supplémentaire pour les entreprises.

On peut, dès maintenant, préciser que l'organisation spatiale à l'équilibre est nécessairement une situation d'agglomération partielle des activités économiques, telle que $s_n > \frac{1}{2}$. Cette organisation spatiale s'établit en raison de l'asymétrie initiale entre les régions (i.e. $K_0 > K_0^*$). Puisque les ménages de la région A détiennent une part plus importante de capital, le revenu disponible et le niveau de dépenses dans cette région sont plus élevés. L'effet taille de marché avec des coûts de transport non nuls, issu de la littérature de commerce internationale (Krugman, 1980), incite les firmes à se localiser là où le marché est le plus important.

Secteur de R&D

Le troisième secteur est celui de R&D dont est issue l'innovation. Ce dernier constitue le nouveau secteur par rapport au cadre d'analyse initial de la NEG (Krugman, 1991), permettant ainsi d'introduire la croissance économique endogène. La croissance correspond au processus de création de nouvelles variétés (Grossman et Helpman, 1991).

Pour innover, la firme a besoin de $\frac{\eta}{W \times N}$ unités de travail. W correspond au paramètre mesurant l'impact des *spillovers* de connaissance à la Jacobs (1969)¹² sur la productivité du secteur de R&D. N représente le stock global de "connaissances" et plus précisément le nombre de

12. Contrairement aux *spillovers* de type MAR reposant sur les bénéfices liés aux interactions au sein d'un même secteur.

brevets/variétés disponible dans l'économie. Le secteur de R&D bénéficie ainsi d'interactions avec le secteur industriel.

Dans les travaux tels que Montmartin (2012) et Cerina et Mureddu (2014), les *spillovers* sont partiellement locaux selon une formulation proposée initialement par Baldwin *et al.* (2001) dans un modèle de la NEGG. De la même manière, on exprime W de la façon suivante :

$$W = s_n + \lambda(1 - s_n),$$

avec λ le degré de diffusion des externalités de connaissance.

Il est donc possible de faire varier le degré de diffusion des connaissances. Si on considère les cas extrêmes, c'est-à-dire $\lambda \in \{0, 1\}$, on retrouve les deux situations analysées dans Martin et Ottaviano (1999). Dans le cas de *spillovers* globaux, avec $\lambda = 1$, les interactions entre le secteur industriel et le secteur de R&D s'établissent au niveau global et on obtient $W = 1$ et $W^* = 1$. Dans ce cas, la firme du secteur de R&D a besoin de $\frac{\eta}{N}$ unité de travail pour innover. En revanche, dans le cas de *spillovers* purement locaux, avec $\lambda = 0$, le secteur de R&D de la région A profite de la présence de firmes du secteur installées dans la région A uniquement. Le paramètre W diffère alors selon la région et on obtient $W = s_n$ et $W^* = s_{n*}$, avec s_n (resp. s_{n*}) la part d'entreprises du secteur industriel installées dans la région A (resp. dans B). Finalement, le cas de *spillovers* partiellement locaux permet de modéliser l'idée selon laquelle le secteur de R&D dans la région A bénéficie de la présence des firmes industrielles installées dans la région A et, dans une moindre mesure, de la présence des firmes industrielles de la région B .

Si on considère Z la production de R&D, le profit d'une entreprise de R&D correspond à :

$$\begin{cases} \max_Z \Pi_{R\&D} = P_{R\&D}Z - w \frac{\eta}{NW}Z \\ sc : Z = \frac{NW}{\eta} L_{R\&D} \end{cases} \quad (3.7)$$

avec $L_{R\&D}$, la demande de travail dans le secteur, η le paramètre de la fonction de production de R&D et $w = 1$. La production dans ce secteur correspond à l'augmentation du nombre de variétés, i.e. $Z = \dot{N}$. Sachant que le bien agricole est le numéraire, le coût de production d'un brevet ou d'une unité de capital correspond à :

$$F_{R\&D} = \frac{\eta}{NW}. \quad (3.8)$$

Lorsque les *spillovers* sont globaux, la présence d'une firme supplémentaire (peu importe son lieu d'implantation) améliore la productivité du secteur de R&D des deux régions, i.e. baisse le coût unitaire du travail dans ce secteur. En revanche dans le cas où les *spillovers* sont partiellement locaux, i.e. $\lambda \neq 1$, l'apparition d'une firme n'a pas le même effet selon la région dans laquelle elle s'implante. L'impact positif sur la productivité du secteur de R&D est plus fort dans la région d'installation que dans la région voisine. Or, on sait que $s_n > \frac{1}{2}$ par définition, ce qui implique $W > W^*$, la productivité de ce secteur est donc plus importante dans la région A . L'ensemble de l'activité de R&D se fait donc dans la région A .

Concernant la stratégie économique d'une firme de R&D, la valeur d'un brevet v est égale au coût marginal puisque le secteur est en concurrence parfaite. La condition de libre entrée dans le secteur de R&D implique ainsi que la valeur du brevet v correspond à son coût de production $F_{R\&D}$. La hausse du nombre de variétés correspond à la hausse de la quantité de capital¹³, pour autant il n'y a pas nécessairement égalité entre n le nombre de variétés produites dans la région A et K le montant de capitaux possédé dans la région A .

De plus, l'augmentation du nombre de variétés/de firmes baisse le profit pour chaque entreprise et ainsi la valeur d'une unité de capital. La baisse du profit est compensée par la baisse du coût d'innovation, de telle sorte que l'incitation à s'engager dans la R&D est toujours la même à l'équilibre.

Le niveau d'investissement en R&D correspond à la quantité de travail allouée dans ce secteur. Plus précisément, il s'agit de l'expression suivante :

$$L_{R\&D} = \frac{\eta}{NW} \times Z = \frac{\eta g}{W}.$$

Le niveau d'investissement dépend alors du taux de croissance et de W . Les effets de l'agglomération et croissance vont en sens inverse sur l'investissement.

Enfin, en dérivant l'expression du coût d'une unité de capital (cf. équation (3.8)), on obtient :

$$\frac{\dot{v}}{v} = -g, \quad (3.9)$$

avec g le taux de croissance dans l'économie. La valeur d'un brevet diminue lorsque les nombres de brevets et de firmes augmentent.

13. Dans notre modèle, la dépréciation du capital n'est pas prise en compte.

3.2.2 État d'équilibre

La procédure pour déterminer l'équilibre de l'économie s'établit en plusieurs étapes. Tout d'abord, l'équilibre correspond à une situation où le niveau de production x du secteur industriel est tel que les firmes n'ont plus d'incitation à se délocaliser. Ensuite, les équilibres sur le marché des biens et du travail ainsi que la condition de non arbitrage (marché financier) permettent de déterminer le taux de croissance de l'économie. Un état d'équilibre est donc synthétisé par le couple (s_n, g, s_E) , avec $g = \frac{\dot{N}}{N}$, $s_n = \frac{n}{N}$ et $s_E = \frac{E}{E+E^*}$. Dans cette partie, la manière dont sont présentés les résultats est inspirée de Montmartin (2015).

3.2.2.1 Équilibre sur le marché des biens

On rappelle que L habitants sont installés dans chacune des régions et que E représente le niveau individuel de dépenses. Les demandes de la région A sont issues de la maximisation du programme du consommateur (cf. équation (3.1)). On remplace p par sa valeur (cf. équation (3.5)) et on rappelle que le bien Y est le numéraire. Les demandes pour les biens différenciés (D_i et D_j) et celle du bien traditionnel (Y) d'un ménage de la région A sont les suivantes :

$$\begin{aligned} \text{Demande issue d'un ménage de la région } A \text{ et produit en } A : \quad D_i &= \frac{\sigma-1}{\beta\sigma} \frac{\alpha E}{n+n^*\delta} \\ \text{Demande issue d'un ménage de la région } A \text{ et produit en } B : \quad D_j &= \frac{\sigma-1}{\beta\sigma} \frac{\alpha E \tau^{-\sigma}}{n+n^*\delta} \\ \text{Demande de bien traditionnel :} \quad Y &= (1-\alpha)E \end{aligned}$$

À l'équilibre, l'offre d'une variété de bien industriel est égale à la demande totale de cette variété issue de l'ensemble des consommateurs des deux régions. La taille d'une entreprise du secteur industriel dans la région A correspond donc à :

$$x = L(D_i + \tau D_j^*).$$

En effet, pour D_j^* unités de bien consommées dans la région B , le niveau de production exportée par une entreprise de la région A est τD_j^* . Puisqu'il existe un coût de transport τ , l'entreprise doit produire une quantité de bien supérieure à celle qui pourra effectivement être consommée dans l'autre région. Rappelons que x représente le niveau de production d'une variété de bien industriel par une entreprise dans la région A mais ce bien est aussi bien consommé dans la région A que dans la région B . On peut alors caractériser x , pour des

niveaux de dépenses E et E^* donnés, par :

$$x = \frac{\alpha L(\sigma - 1)}{\beta \sigma} \left(\frac{E}{n + n^* \delta} + \frac{E^* \delta}{n^* + n \delta} \right). \quad (3.10)$$

A l'équilibre, l'offre totale de bien traditionnel doit égaler la demande issue des deux régions.

L'équilibre global pour le bien traditionnel équivaut à :

$$Y + Y^* = (1 - \alpha)(E + E^*)L. \quad (3.11)$$

3.2.2.2 Équilibre de localisation

L'équilibre sur le marché des biens est déterminé en considérant que la variable s_n est constante, i.e. dans une situation dite “court terme”. Il s'agit dans cette section de déterminer l'équilibre de “long terme”, i.e. lorsque l'organisation spatiale n'est pas fixe mais endogène. On établit donc le choix de localisation des entreprises, sachant que la délocalisation des firmes s'opère sans coûts. Rappelons que les ménages peuvent être propriétaires d'une entreprise située dans l'autre région.

Égalité des profits

A l'équilibre, les entreprises du secteur industriel n'ont aucune incitation à se déplacer. Les profits réalisés dans les deux régions doivent alors répondre à cette condition :

$$\Pi = \Pi^*, \quad (3.12)$$

avec Π et Π^* profits des firmes du secteur industriel dans les régions A et B . On explicite Π et Π^* (équation (3.4)) en utilisant les valeurs de p (équation (3.5), page 134) et de x issues de l'équilibre sur les marchés des biens (équation (3.10)). Les profits d'une firme industrielle installée dans les régions A et B peuvent alors s'écrire de la manière suivante :

$$\begin{aligned} \Pi &= \frac{\alpha L}{\sigma N} \left(\frac{E}{(1 - \delta)s_n + \delta} + \frac{E^* \delta}{(\delta - 1)s_n + 1} \right), \\ \Pi^* &= \frac{\alpha L}{\sigma N} \left(\frac{E \delta}{(1 - \delta)s_n + \delta} + \frac{E^*}{(\delta - 1)s_n + 1} \right). \end{aligned}$$

Organisation spatiale

La variable d'organisation spatiale, telle que la condition d'équilibre (cf. équation (3.12), page 139) soit vérifiée à l'équilibre, est de la forme suivante :

$$s_n = \frac{1+\delta}{1-\delta} s_E - \frac{\delta}{1-\delta} = \frac{1}{2} + \frac{1+\delta}{1-\delta} \left(s_E - \frac{1}{2} \right). \quad (3.13)$$

L'organisation spatiale à l'équilibre peut être aussi représentée par l'expression équivalente :

$$s_n = \frac{1}{1-\delta} \frac{E - \delta E^*}{E + E^*}.$$

Plusieurs interprétations émergent de la formulation de s_n à l'équilibre.

Tout d'abord, l'organisation spatiale et les choix de localisation des entreprises dépendent de la part de la consommation issue des ménages de la région A sur le niveau de consommation totale, i.e. $s_E = \frac{E}{E+E^*}$. La variable s_E représente l'indice d'inégalités de revenu entre les deux régions. La dérivée de s_n par s_E constitue, quant à elle, l'effet *taille de marché* (HME, acronyme en anglais), et doit donc être supérieure à 1 dans ce type de modèles pour qu'il y ait une force d'agglomération. On dérive s_n par s_E et on obtient :

$$\frac{\partial s_n}{\partial s_E} = \frac{1+\delta}{1-\delta}.$$

Une hausse de la taille de marché doit ainsi entraîner une hausse plus que proportionnelle de l'agglomération des activités. On rappelle que l'HME est une des forces d'agglomération d'un modèle de NEG mais la seule dans un modèle de la NEGG avec mobilité parfaite du capital. Seule la variable s_E peut engendrer l'intensification de l'agglomération dans l'équation (3.13). Ainsi les entreprises industrielles tiennent seulement compte du niveau de revenu dans les deux régions pour déterminer leur localisation. L'impact de s_E sur s_n est d'autant plus fort que le degré d'ouverture du commerce est important.

Ensuite, l'équation (3.13) permet de confirmer que s_n est supérieure à $\frac{1}{2}$. La région A héberge davantage de firmes industrielles que la région B à l'équilibre. Enfin, contrairement à s_E , la forme prise par s_n ne change pas selon le degré de diffusion des connaissances.

Inégalités régionales

L'inégalité de niveau de dépenses entre les deux régions est représentée par la variable s_E . Le niveau de revenu *par ménage* dans les deux régions correspondent au revenu issu du travail

et du capital, E prend donc la forme suivante :

$$\begin{aligned} E &= 1 + r \times \frac{K(0)v(0)}{L} \\ \Rightarrow E &= 1 + \rho \frac{\eta k}{WL} \end{aligned} \quad (3.14)$$

avec $k = \frac{K}{N}$, $r = \rho$ (cf. équation (3.17), page 143), on rappelle que $W = s_n + \lambda(1 - s_n)$ et $K(0)$ désigne à la date $t = 0$ le niveau de capital possédé dans la région A .

Le niveau de revenu dans la région B est équivalente et correspond à $E^* = 1 + \rho \frac{\eta(1-k)}{WL}$. La valeur d'une unité de capital $v(0)$ dépend de l'organisation spatiale s_n si les *spillovers* ne sont pas globaux, i.e. $W \neq 1$. Le revenu disponible est, en partie, issu du revenu du capital et dépend ainsi de la valeur d'une unité de capital. Puisque l'intégralité de l'activité de R&D prend place dans la région A , le revenu issu du capital correspond à la valeur d'un brevet issu de la région A . De plus, la partie du revenu issue du capital correspond à l'investissement initial par ménage, i.e. $\frac{K(0)v(0)}{L}$, multiplié par r le taux de rendement. Les inégalités de revenu sont synthétisées dans la formulation suivante :

$$s_E = \frac{LW + \rho\eta k}{2LW + \rho\eta}.$$

Les niveaux de dépenses E , E^* et a fortiori la variable s_E dépendent de l'organisation spatiale s_n et des niveaux initiaux de richesse dans les deux régions K et K^* . L'inégalité de niveaux de dépenses entre les deux régions s'explique uniquement par l'inégalité initiale en termes de capitaux puisque le salaire et le retour sur investissement sont les mêmes d'une région à l'autre. Initialement, l'inégalité de richesse est telle que $K_0 > K_0^*$, donc k est toujours supérieur à $\frac{1}{2}$. De plus, une modification de la valeur d'une unité de capital entraîne un impact plus important sur les ménages de la région A que sur ceux de la région B puisque leurs revenus dépendent plus nettement du capital et de sa valeur.

Afin d'établir les écarts de niveaux de vie entre les deux régions, on détermine le niveau de revenus réels. Pour cela, on définit l'indice de prix global $\tilde{P}$ issu de la maximisation de la fonction d'utilité de la manière suivante :

$$\tilde{P} = \frac{P^\alpha P_Y^{1-\alpha}}{\alpha^\alpha (1-\alpha)^{1-\alpha}},$$

avec P l'indice de prix pour les biens industriels et P_Y le prix du bien traditionnel. En utilisant l'équation (3.6) (voir page 135), le revenu réel $\tilde{E}$ de la région A s'exprime de la manière

suivante :

$$\tilde{E} = \frac{E}{\tilde{P}} = E \times \frac{\alpha^\alpha (1 - \alpha)^{1-\alpha}}{P^\alpha}.$$

Les revenus réels $\tilde{E}$ et $\tilde{E}^*$ dépendent du taux de croissance et varient dans le temps, contrairement aux revenus nominaux puisque $\dot{E} = 0$. Le revenu réel dans la région A évolue au taux positif suivant (pour les étapes de calcul, voir Annexe D, page 166) :

$$\frac{\dot{\tilde{E}}}{\tilde{E}} = \frac{\alpha}{\sigma - 1} g.$$

Les revenus réels ont le même taux de croissance dans les deux régions¹⁴.

3.2.2.3 Équilibre sur le marché du travail

L'équilibre sur le marché du travail correspond à l'égalité entre les demandes de chaque secteur issues des deux régions et l'offre totale avec $2L$ travailleurs dans l'économie. On décrit l'équilibre ainsi :

$$2L = L_{R\&D} + (nL_x + n^*L_{x^*}) + (L_Y + L_{Y^*}).$$

Le détail de la demande de travail pour chaque secteur peut être résumé de la manière suivante :

- Dans le secteur de R&D (cf. équation (3.7), page 136), la demande de travail correspond à $\frac{\eta}{W} \frac{\dot{N}}{N}$ puisque le coût unitaire du travail est égal à $\frac{\eta}{WN}$ et $\dot{N}$ correspond au niveau de production global de ce secteur.
- Dans le secteur industriel (cf. équation (3.4), page 134), la demande de travail correspond à $N \times \beta x$ puisqu'il existe N firmes au total dans ce secteur et que β correspond au coût unitaire du travail. De plus, on sait que la taille d'une firme industrielle est identique dans les deux régions puisque $\Pi = \Pi^*$ implique que $x = x^*$ (s'il existe une différence entre les deux régions, on obtiendrait la demande de travail suivante : $\beta(nx + nx^*)$).
- Dans le secteur traditionnel (cf. équation (3.3), page 133), la demande de travail pour les deux régions correspond à $Y + Y^*$ puisque le coût unitaire est égale à 1 dans ce secteur et que Y représente la production de la firme représentative de secteur dans la région A .

14. Ce dernier aspect est au cœur de la critique du modèle de Martin et Ottaviano (1999) par Cerina et Mureddu (2014). En effet, le fait que la croissance du revenu réel dans la région B ne soit pas affectée par l'agglomération des activités dans la région A semble peu réaliste. La présence de dommages environnementaux, introduit de manière linéaire dans la fonction d'utilité, ne permet pas de modifier ce résultat.

Pour déterminer la demande travail dans le secteur industriel, il est nécessaire de connaître le niveau de production par firme à l'équilibre ; Pour cela, on remplace la valeur de s_n à l'équilibre dans l'équation (3.10) (page 139) pour obtenir la taille optimale de chaque firme x à l'équilibre. On obtient ainsi :

$$x = \frac{\alpha(\sigma - 1)}{\beta\sigma} \frac{1}{N} (E + E^*) L. \quad (3.15)$$

La taille optimale d'une firme ne dépend donc pas de l'organisation spatiale ni des coûts de transport¹⁵. Elle varie, en revanche, selon le niveau total des revenus/dépenses, i.e. le PIB, $L(E + E^*)$, et selon nombre total de variétés. Si N augmente, la taille d'une firme à l'équilibre va diminuer puisque la part de marché disponible par entreprise diminue, et ce peu importe où les firmes sont installées.

On résume l'ensemble des informations présentées ci-dessus dans l'équation d'équilibre du marché du travail global. On obtient alors :

$$\frac{\eta}{WN} \dot{N} + \beta N \frac{\alpha L(\sigma - 1)}{\beta\sigma} \frac{1}{N} (E + E^*) + L(1 - \alpha)(E + E^*) = 2L.$$

Les équilibres sur les marchés des biens (cf. équations (3.11) page 139 et (3.15) page 143) sont ensuite mobilisés pour écrire l'équilibre du marché du facteur travail dans cette économie. On sait que le taux de croissance correspond par définition à $g = \frac{\dot{N}}{N}$. En remplaçant les valeurs de x et Y , l'équation d'équilibre sur le marché prend alors la forme suivante :

$$\frac{\eta}{W} g + L \frac{\sigma - \alpha}{\sigma} (E + E^*) = 2L. \quad (3.16)$$

Enfin, on précise que l'offre de travail est constante dans ce type de modèle et égale à $2L$. La demande totale doit elle aussi être constante à l'équilibre. L'équation d'Euler (3.2) nous permet alors d'obtenir que :

$$\dot{E} = 0 \Rightarrow \rho = r. \quad (3.17)$$

3.2.2.4 Équilibre sur le marché financier

Les ménages peuvent épargner soit en faisant un placement au taux d'intérêt r soit en investissant dans une firme industrielle. On cherche donc la condition de non arbitrage sur le

15. Cette caractéristique dépend de plusieurs aspects du modèle : les coûts de transport iceberg, la fonction de coût doit être homothétique et les prix d'équilibre proportionnels au coût marginal.

marché financier. On sait que la valeur d'une firme est constituée de la somme actualisée des profits futurs de chaque période. La valeur d'une firme de la région A est donc de la forme :

$$v(t) = \int_t^\infty \exp^{-[R(s)-R(t)]} \Pi(s) ds, \quad (3.18)$$

avec $R(t)$ taux d'actualisation cumulé à la période t et $v(t)$ la valeur d'une firme à la date t . Sachant que le capital est mobile, on rappelle que l'équilibre de localisation est tel que les profits industriels de deux régions soient égalisés (cf. équation (3.12)). Donc la valeur d'une firme dans la région A correspond à celle de la région B . On dérive l'expression de la valeur d'une firme donnée dans l'équation précédente (cf. équation (3.18)), ce qui nous permet de faire apparaître la condition de non arbitrage :

$$\frac{\beta x}{\sigma - 1} + \dot{v} = rv. \quad (3.19)$$

Le placement d'un montant v en actifs sans risque rémunérés au taux r doit égaler la rémunération pour avoir investi dans une firme, i.e. le niveau de profit et la modification de la valeur de la firme.

3.2.2.5 Taux de croissance

Le taux de croissance de l'économie correspond au taux de croissance du nombre de variétés disponibles dans les deux régions. Afin de déterminer les résultats du modèle d'équilibre général *dynamique*, on intègre la valeur de x à l'équilibre (cf. équation (3.15)) dans la condition de non arbitrage (3.19) afin d'obtenir l'équation suivante :

$$\frac{\alpha L}{\sigma} \frac{E + E^*}{N} + \dot{v} = rv,$$

sachant que la valeur d'une firme industrielle correspond à $v = \frac{\eta}{WN}$. De plus, on mobilise l'égalité (3.9) permettant de remplacer $-\frac{\dot{v}}{v}$ par g ainsi que le résultat issu de l'équation d'Euler (cf. équation (3.17)). L'étape intermédiaire afin de déterminer g devient alors :

$$g = \frac{\alpha L}{\sigma} \frac{W}{\eta} (E + E^*) - \rho.$$

L'équilibre sur le marché du travail (cf. équation (3.16)) est employé pour obtenir le taux de croissance :

$$g = \frac{2L}{\eta} \frac{\alpha}{\rho} W - \frac{\sigma - \alpha}{\sigma} \rho. \quad (3.20)$$

Rappelons que $W = s_n + \lambda(1 - s_n)$. Le taux de croissance dépend positivement de l'agglomération des activités industrielles (i.e. W) dans la région A dans laquelle sont installées les activités de R&D et ce d'autant plus si le degré de diffusion de connaissances est important. De la même manière, la variable s_n peut être considérée comme un déterminant de concentration du capital de connaissances. Lorsque les *spillovers* sont globaux, i.e. $W = 1$, le taux de croissance de l'économie ne dépend pas de la répartition des activités industrielles entre les deux régions.

3.2.3 Synthèse

Pour définir l'état d'équilibre de cette économie, trois variables doivent être déterminées : la répartition des firmes industrielles entre les deux régions, le taux de croissance et l'inégalité de revenus, soit le triplet (s_n, g, s_E) . L'équation du second degré par rapport à s_n issue de l'équation (3.13), dans laquelle E et E^* sont remplacés par leurs valeurs à l'équilibre, est la suivante :

$$(1 - \delta)(1 - \lambda)2Ls_n^2 + (1 - \delta)\left((3\lambda - 1)L + \rho\eta\right)s_n - \lambda(1 - \delta)L - \eta\rho(k - \delta(1 - k)) = 0.$$

Deux solutions émergent, nommées s_{n1} et s_{n2} (voir annexe E, page 167). On obtient d'emblée que $s_{n1} \leq 0$; il ne reste donc plus qu'une solution possible. Il est possible de vérifier que la valeur de s_{n2} est bien comprise entre $\frac{1}{2}$ et 1 (voir annexe F, page 167).

L'équilibre de l'économie dans le modèle est donné par le triplet suivant :

$$\begin{cases} s_n = s_{n2}, \\ g = \frac{2L}{\eta} \frac{\alpha}{\rho} W - \frac{\sigma - \alpha}{\sigma} \rho, \\ s_E = \frac{WL + \rho\eta k}{2WL + \rho\eta}, \end{cases} \quad (3.21)$$

avec $W = s_n(1 - \lambda) + \lambda$ et la formulation exacte de s_{n2} est donnée en annexe, page 167.

Analyse de la sensibilité des variables d'équilibre

L'équilibre de l'économie correspond à une situation où les firmes n'ont plus d'intérêt à déplacer leur activité. L'ensemble de l'activité R&D est localisée dans la région A . De plus, une part égale à s_n des entreprises du secteur industriel sont localisés dans cette même région.

Plusieurs mécanismes peuvent être identifiés dans ce type de modèle g . Tout d'abord, l'état initial de l'économie est déterminant pour les dynamiques en place. Le taux de croissance est

positivement influencé par la taille de la population, $\frac{\partial g}{\partial L} \geq 0$. Il existe, alors, un effet d'échelle classique dans les modèles de croissance endogène de première génération (de type Grossman et Helpman, 1991).

La part d'entreprises possédées dans la région A (k) reflète aussi l'état initial de l'économie. Nous supposons que le niveau de richesse est supérieur dans la région A que dans la région B . Plus l'économie est inégalitaire initialement, plus le niveaux de dépenses dans la région A est importante. Ce qui engendre une intensification de l'agglomération des activités due à l'effet taille de marché.

Ensuite, deux paramètres sont fréquemment analysés (Martin et Ottaviano, 1999; Martin, 1999a; Riou, 2003) et déterminants dans un modèle de NEGG : l'ouverture du commerce (δ) et la diffusion des connaissances (λ). Lorsque l'ouverture au commerce s'intensifie, l'effet de taille de marché augmente et accentue l'agglomération des activités économiques s_n . C'est, par ailleurs, grâce à cet effet que l'ouverture du commerce est favorable à la croissance. En effet, la baisse des coûts de transaction incitent les entreprises à s'installer dans la région A tout en continuant à exporter à moindre coûts dans la région B . L'activité de R&D bénéficie de la présence accrue d'entreprises industrielles, d'où un impact positif sur la croissance. Le degré de diffusion des externalités de connaissance est aussi déterminant puisqu'il améliore directement la productivité du secteur de R&D.

Enfin, on peut faire apparaître l'impact de s_n ou de g sur s_E . On utilise les expressions d'équilibre de l'équation (3.21) et on obtient :

$$s_E = \frac{\frac{1}{2} \frac{\eta \rho}{\alpha} (g + \frac{\sigma - \alpha}{\sigma} \rho) + \rho \eta k}{\frac{\eta \rho}{\alpha} (g + \frac{\sigma - \alpha}{\sigma} \rho) + \rho \eta}.$$

On peut montrer que $\frac{\partial s_E}{\partial g} \leq 0$. Ainsi lorsque l'agglomération des activités progresse, on sait que le taux de croissance augmente. Ayant, dès lors, davantage de concurrents (i.e. $N \uparrow$), la valeur d'une firme diminue. La baisse du revenu du capital affecte davantage les consommateurs de la région A que ceux de la région B , donc s_E est décroissante par rapport à g . En effet, la part du revenu du capital est supérieure pour les ménages de la région A .

3.2.4 Analyse du bien être dans l'économie

3.2.4.1 Niveaux de bien être dans notre cadre d'analyse

Le niveau de bien être correspond au niveau d'utilité indirecte. On utilise les expressions de consommations optimales et le niveau d'émissions polluantes dans la région. Rappelons que les niveaux de consommations et celui d'émissions polluantes, à l'équilibre, dans la région A , sont les suivants :

$$\begin{cases} D(t) = \alpha \frac{\sigma - 1}{\beta \sigma} N(t)^{\frac{1}{\sigma-1}} (s_n + \delta(1 - s_n))^{\frac{1}{\sigma-1}} \times E, \\ Y(t) = (1 - \alpha)E, \\ \mathcal{E}_t = s_n N(t) \varsigma \frac{\alpha(\sigma - 1)}{\beta \sigma} \frac{1}{N(t)} (E + E^*) L. \end{cases}$$

On remplace les niveaux de consommation et les dommages environnementaux dans la fonction d'utilité et on obtient pour chacune des régions l'utilité indirecte en fonction des variables d'équilibre g, s_n, E, E^* .

$$\begin{aligned} V(s_n, g, E, E^*) = \frac{1}{\rho} \ln \left\{ \alpha^\alpha (1 - \alpha)^{1-\alpha} \left(\frac{\sigma - 1}{\beta \sigma} \right)^\alpha E (s_n + \delta(1 - s_n))^{\frac{\alpha}{\sigma-1}} N_0^{\frac{\alpha}{\sigma-1}} e^{\alpha g / \rho(\sigma-1)} \right\} \\ - \frac{\varphi}{\rho} \ln \left(s_n \varsigma \frac{\alpha(\sigma - 1)}{\beta \sigma} (E + E^*) L \right) \end{aligned} \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} V^*(s_n, g, E, E^*) = \frac{1}{\rho} \ln \left\{ \alpha^\alpha (1 - \alpha)^{1-\alpha} \left(\frac{\sigma - 1}{\beta \sigma} \right)^\alpha E^* (\delta s_n + (1 - s_n))^{\frac{\alpha}{\sigma-1}} N_0^{\frac{\alpha}{\sigma-1}} e^{\alpha g / \rho(\sigma-1)} \right\} \\ - \frac{\varphi}{\rho} \ln \left((1 - s_n) \varsigma \frac{\alpha(\sigma - 1)}{\beta \sigma} (E + E^*) L \right) \end{aligned} \quad (3.23)$$

L'essentiel est ensuite de comprendre le comportement de l'utilité indirecte face à une intensification de l'agglomération, sachant que la prise en compte des dégradations environnementales entraîne l'apparition d'un nouvel effet négatif. A priori, l'effet négatif sur le bien être dû à la pollution est plus fort dans la région A que dans la région B , puisque $s_n \geq \frac{1}{2}$. Les dommages environnementaux dans la région A dépendent du nombre d'entreprises dans la région mais aussi du niveau de production par entreprise. Par ailleurs, le niveau de production x est une fonction linéaire des dépenses globales dans notre modèle. Ces dernières dépendent du revenu du capital et donc de l'organisation spatiale s_n .

On peut dès lors identifier plusieurs forces à l'œuvre. Pour comprendre quel est l'effet de l'agglomération des activités, on dérive ainsi les niveaux de bien être issus des équations

(3.22) et (3.23) par s_n :

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial s_n} = & \frac{-\eta(1-\lambda)k}{W(W+\eta k)} + \frac{\sigma}{\rho(\sigma-1)} \frac{1-\delta}{s_n(1-\delta)+\delta} + \frac{2\alpha^2(1-\lambda)L}{\rho^2(\sigma-1)\eta} \\ & - \frac{\varphi}{\rho} \left(\frac{1}{s_n} + \frac{2(1-\lambda)}{2s_n(1-\lambda)+2\lambda+\eta\rho} - \frac{1-\lambda}{s_n(1-\lambda)+\lambda} \right) \end{aligned} \quad (3.24)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V^*}{\partial s_n} = & \frac{-\eta(1-\lambda)(1-k)}{W(W+\eta(1-k))} - \frac{\sigma}{\rho(\sigma-1)} \frac{1-\delta}{1-s_n(1-\delta)} + \frac{2\alpha^2(1-\lambda)L}{\rho^2(\sigma-1)\eta} \\ & - \frac{\varphi}{\rho} \left(\frac{1}{1-s_n} + \frac{2(1-\lambda)}{2s_n(1-\lambda)+2\lambda+\eta\rho} - \frac{1-\lambda}{s_n(1-\lambda)+\lambda} \right) \end{aligned} \quad (3.25)$$

Les trois premiers termes des expressions ci-dessus correspondent aux forces présentes dans Martin et Ottaviano (1999). Le premier équivaut à l'effet négatif d'une hausse de l'agglomération sur le niveau de dépenses ; ce dernier est affecté par une perte de revenu du capital. Le deuxième terme synthétise le phénomène suivant : l'agglomération des activités dans la région A permet aux ménages de la région d'importer moins de biens différenciés. Cet effet va alors nécessairement en sens inverse pour les ménages de la région B . Le troisième terme représente l'effet positif de la croissance sur les deux régions.

Les trois derniers termes représentent l'effet de la qualité environnementale sur le bien-être. L'effet issu de l'impact du niveau de production par firme correspond aux deux derniers termes dont on peut montrer que la somme est négative¹⁶. L'effet total du niveau de production via les dommages environnementaux est ainsi positif sur le bien être.

Pour les mêmes raisons énoncées précédemment, la concentration des firmes diminue le revenu du capital et ainsi le niveau de dépenses. La baisse du niveau de dépenses E et E^* affecte alors la taille de l'entreprise x . Finalement, sachant que la taille d'une entreprise diminue avec l'agglomération, cette dernière ne constitue pas uniquement une force négative pour le bien environnemental. Considérer que les dommages environnementaux dépendent *à la fois* du nombre d'entreprises *et* de leur taille amenuise l'effet d'une hausse de l'agglomération, via les dommages environnementaux, sur le bien être.

Nous donnons quelques précision concernant l'impact environnemental. Les dommages environnementaux globaux $I_{\mathcal{E}}$, i.e. la somme des dommages environnementaux de la région A

16. On a bien $\frac{2(1-\lambda)}{2s_n(1-\lambda)+2\lambda+\eta\rho} \leq \frac{1-\lambda}{s_n(1-\lambda)+\lambda}$.

et de la région B , peuvent être synthétisés de la manière suivante :

$$I_{\mathcal{E}} = 2L \frac{\varphi}{\rho} \left(\ln(s_n) + \ln(1 - s_n) + 2\ln(E + E^*) + \text{constante} \right), \quad (3.26)$$

où *constante* désigne un ensemble de paramètre qui ne dépend de s_n .

Dans chacune des régions, les dommages dépendent du nombre d'entreprises installées et également, du niveau de production par firme¹⁷. Les deux premiers termes $\ln(s_n) + \ln(1 - s_n)$ correspondent à l'impact de la répartition des firmes entre les deux régions et, le troisième terme $\ln(E + E^*)$ représente l'influence du niveau de production globale. Nous pouvons facilement montrer que $E + E^*$ est une fonction décroissante par rapport à s_n . Le troisième terme tend alors à diminuer l'impact environnemental global $I_{\mathcal{E}}$ lorsque l'agglomération s'intensifie. Considérons l'expression de l'équation (3.26) en dérivant par s_n pour déterminer les valeurs de s_n minimisant les dommages environnementaux. Il s'agit de résoudre cette équation en s_n du 3ème degré :

$$-4L(1 - \lambda)s_n^3 + 4L(1 - \lambda)(1 - 2\lambda)s_n^2 - (2 - \lambda)(2L\lambda + \eta\rho)s_n + \lambda(2L\lambda + \eta\rho) \geq 0$$

Nous étudions cette expression dans la l'analyse numérique de la section suivante.

3.2.4.2 Analyse numérique

Nous analysons numériquement les forces en place afin de donner quelques éléments de compréhension. La première ligne du tableau correspond à l'état de l'économie, considéré par Martin et Ottaviano (1999), Montmartin (2012) ou Cerina et Mureddu (2014), avec les valeurs de paramètres suivantes : l'élasticité de substitution entre les variétés $\sigma = 3$, la part du revenu en faveur des biens différenciés $\alpha = 0.8$, les coût de transport $\tau = 1.2$, le paramètre du coût de la R&D $\eta = 10$, la préférence pour le présent $\rho = 0.05$ et le degré de diffusion des connaissances $\lambda = 0.5$. Supposons que la productivité du travail dans le secteur industriel, β , soit égale à 1.

Les dotations de travail et de capital correspondent à $L = 2$ et $k = 0.8$ dans la région A . Dans la première ligne du tableau, les dommages environnementaux n'affectent pas les ménages, i.e. $\varphi = 0$. Le paramètre φ représente la sensibilité des consommateurs aux dommages environnementaux, considérée comme égale à 0.2 dans le reste du tableau. De plus, on pose que la

17. Si les dommages ne dépendaient que du nombre d'entreprises dans la région, la somme serait à $\frac{\varphi}{\rho} \left(\ln(s_n) + \ln(1 - s_n) + cst \right)$. Dans ce cas là, on peut aisément montrer qu'ils sont minimisés lorsque $s_n = \frac{1}{2}$.

performance environnementale par entreprise équivaut à $\varsigma = 1$. Les dotations de travail et de capital correspondent à $L = 2$ et $k = 0.8$ dans la région A . Dans la première ligne du tableau, les dommages environnementaux n'affectent pas les ménages, i.e. $\varphi = 0$. Le paramètre φ représente la sensibilité des consommateurs aux dommages environnementaux, considérée comme égale à 0.2 dans le reste du tableau. De plus, on pose que la performance environnementale par entreprise équivaut à $\varsigma = 1$.

Paramètres									État initial		Variables		Bien être			$\partial I_{\mathcal{E}}/\partial s_n$
φ	σ	α	τ	η	ρ	λ	k	L	s_n	g	V	V^*	$V - V^*$			
0	3	0,8	1,2	10	0,05	0,5	0,8	2	0,685	5,355	741,8	738,06	3,74	-		
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,685	5,355	739,82	739,18	0,64	-2,6		
-	-	-	-	-	-	0,1	-	-	0,685	4,548	610,73	610,09	0,64	-0,692		
-	-	-	-	-	-	0,9	-	-	0,685	6,162	868,9	868,27	0,63	0,044		
-	-	-	-	-	-	0,5	0,55	-	0,531	4,862	660,47	660,34	0,13	-1,338		
-	4	-	-	-	-	-	0,8	-	0,625	5,159	425,87	424,53	1,34	-2,06		
-	-	0,5	-	-	-	-	-	-	0,625	3,206	78,973	77,899	1,074	-2,069		
-	-	-	1,5	-	-	-	-	-	0,561	3,079	70,277	68,149	2,128	-1,563		
-	-	-	-	20	-	-	-	-	0,611	1,566	-28,053	-31,882	3,829	-2,157		
-	-	-	-	-	0,03	-	-	-	0,572	2,593	256,24	252,08	4,16	-1,68		

Tableau 3.2 – Analyse numérique

Dans un premier temps, concentrons-nous sur l'évolution des niveaux de bien être des deux régions. Lorsque les ménages ne sont pas sensibles aux dommages environnementaux, $\varphi = 0$, le niveau de bien être dans la région A est supérieur à celui de la région B . En revanche, une fois l'impact environnemental pris en compte, l'écart de bien être entre les ménages des deux régions, $V - V^*$ se réduit nettement. Il est nécessaire de rester prudent quant aux résultats concernant les niveaux de bien être puisqu'ils sont très dépendants des valeurs des paramètres choisies. Il est, en effet, préférable d'interpréter les variations.

Dans un deuxième temps, nous analysons la différence entre le bien être des ménages de la région A et celui des ménages de la région B selon l'état initial et les paramètres. Cette différence est au plus bas lorsque l'état initial, k , est égal à 0.55. Une situation de départ moins inégalitaire permet de minimiser la différence entre les régions mais cela diminue les niveaux respectifs de bien être. Lorsque les coûts de transport τ augmentent, on remarque que l'écart entre les niveaux de bien être diminue. En effet, le coût supplémentaire induit par cette hausse est plus forte pour les consommateurs de la région B puisqu'ils importent davantage

de biens.

Enfin, on calcule la dérivée de $I_{\mathcal{E}}$ par rapport à s_n pour les valeurs d'équilibre. On note que les dégradations environnementales ont tendance à diminuer lorsque l'agglomération s'intensifie. Lorsque les *spillovers* sont quasiment globaux, i.e. proche de 1, et que $s = 0.685$, les dommages ne diminuent pas avec s_n . Dans ce cas là, une augmentation de l'agglomération des activités permet de diminuer l'impact environnemental. Cela confirme que le niveau d'agglomération minimisant l'impact environnemental varie selon la valeur des paramètres. Nous obtenons ce résultat, plutôt contre intuitif, puisque les dommages environnementaux locaux dépendent du niveau de production. Dans ce modèle avec une concurrence monopolistique, une augmentation de s_n favorise la croissance et ainsi une hausse de N . La hausse du nombre de concurrents, i.e. taux de croissance g , a un effet négatif sur la valeur du capital et donc sur le revenu issu du capital. Les dépenses globales étant en baisse E , l'agglomération peut avoir un effet contre intuitif et positif sur la qualité environnementale.

3.3 Introduction d'une régulation environnementale

Puisque la pollution est une source de nuisances pour les ménages dans chaque région, le gouvernement national met en place une taxe pour limiter les émissions liées à la production industrielle dans les deux régions. Cette taxe oblige les entreprises à internaliser les dommages causés sur les ménages.

3.3.1 Présentation du modèle avec la taxe

La pollution est émise par le processus de production et peut être considérée comme un *input* que les firmes sont contraintes d'utiliser. Taxer les émissions polluantes revient alors à faire apparaître un nouvel input, qui n'était que sous entendu dans la partie précédente sans taxe. Les émissions sont taxées au taux t dans la région A et au taux t^* dans la région B , avec t potentiellement différent de t^* . On rappelle que les consommateurs sont sensibles à la présence de pollution locale liée à la production industrielle de leur région. Cependant la baisse de leur bien être n'affecte pas leur localisation puisqu'ils sont immobiles. Le profit d'une firme industrielle dans chacune des régions devient :

$$\Pi_i = p_i x_i(p_i) - w\beta x_i(p_i) - t \times x_i(p_i),$$

$$\Pi_i^* = p_i^* x_i^*(p_i^*) - w\beta x_i^*(p_i^*) - t^* \times x_i^*(p_i^*) ,$$

avec $\beta x_i(p_i)$ représentant la demande de travail au prix w et $tx_i(p_i)$ représentant la demande de polluant au prix t nécessaire à la production de x_i unités de bien de variété i dans la région A . Les variables sont définies de manière équivalente dans la région B . Le salaire w est toujours égal à 1. En concurrence monopolistique et après prise en compte de la taxe, les *markup* dans chacune des régions deviennent donc :

$$p = \frac{\sigma(\beta + t)}{\sigma - 1},$$

$$p^* = \frac{\sigma(\beta + t^*)}{\sigma - 1}.$$

Le gouvernement a la possibilité de ne pas appliquer le même taux de taxe sur émissions polluantes selon la région. Dans ce cas là, le *markup* des firmes industrielles de la région A est différent de celui des firmes actives dans la région B . En effet, les firmes augmentent le prix en réaction à la mise en place de la taxe qui représente une hausse du coût de production.

Gouvernement

Le gouvernement représente un régulateur national responsable des deux régions. Il a pour objectif de lutter contre les émissions polluantes issues du processus de production des biens industriels. Il impose aussi une taxe sur ces émissions au taux de taxe t et t^* respectivement dans les régions A et B . Les propriétaires des entreprises installées dans la région A peuvent être situés dans les deux régions. Rappelons que la taxe représente le prix d'un nouvel input proportionnel au niveau de production. Une situation dans laquelle le gouvernement subventionnerait la pollution n'est pas envisagée $t, t^* \geq 0$.

3.3.2 État d'équilibre avec une taxe

Nous déterminons l'équilibre de l'économie selon la même procédure mobilisée dans la section sans taxe. Il est alors nécessaire d'établir : les demandes issues de l'équilibre sur le marché des biens, l'organisation spatiale issue de l'équilibre de localisation, le taux de croissance et le niveau des dépenses par région. Dans un premier temps, nous déterminons les **demandes de chaque type de biens** dans les deux régions. La demande de bien traditionnel demeure inchangée. Pour le bien traditionnel, l'équilibre correspond toujours à $Y + Y^* = (1 - \alpha)(E + E^*)$. En revanche, la demande de biens différenciés varie puisque le prix fixé par la firme est différent. L'offre émise par une firme industrielle dans la région A égale les demandes issues des consommateurs des régions A et B . On obtient alors l'équation d'équilibre, sur le marché

des biens industriels, suivante :

$$\begin{aligned} x &= D_i + \tau D_j^* = \alpha \frac{p^{-\sigma} \times E}{P^{1-\sigma}} + \alpha \frac{\delta p^{-\sigma} \times E^*}{(P^*)^{1-\sigma}} \\ \Rightarrow x &= \frac{\alpha L}{N} \frac{\sigma - 1}{\sigma(\beta + t)} \left(\frac{E}{s_n(1 - \delta C) + \delta C} + \frac{\delta E^*}{-s_n(C - \delta) + C} \right), \end{aligned} \quad (3.27)$$

avec C défini de la manière suivante :

$$C = \left(\frac{\beta + t}{\beta + t^*} \right)^{\sigma-1},$$

avec $\sigma \geq 1$ et C représente la différence entre la productivité dans le secteur industriel de la région A et celle de la région B , en tenant compte des coûts de transaction. Le poids relatif de la taxe t dans la région A par rapport à la taxe t^* varie selon les valeurs prises par C . On obtient alors :

1. $C < 1$ si $t < t^*$
2. $C = 1$ si $t = t^*$
3. $C > 1$ si $t > t^*$

Nous ne considérerons que les deux derniers cas dans notre analyse.

Dans un second temps, on établit la variable de **l'organisation spatiale**, s_n , telle que les entreprises du secteur industriel n'aient plus d'incitation à migrer d'une région à l'autre. Puisque les entreprises choisissent leur localisation en fonction du niveau de profit, cela revient à écrire l'égalité entre les profits réalisés dans les deux régions :

$$\begin{aligned} \Pi &= \Pi^* \\ \Leftrightarrow \frac{E}{s_n(1 - \delta C) + \delta C} + \frac{\delta E^*}{-s_n(C - \delta) + C} &= \frac{\delta E}{s_n(1 - \delta C) + \delta C} + \frac{E^*}{-s_n(C - \delta) + C} \end{aligned}$$

Notons que le profit d'une firme équivaut à $\Pi = \frac{\beta+t}{\sigma-1}x$. On remarque alors que si x est constant par rapport à la taxe ou ne décroît pas suffisamment, le profit peut s'avérer croissant avec la taxe t . La présence de la taxe représente une hausse du coût de production, c'est pourquoi le *markup* des firmes industrielles augmente.

L'équation de l'organisation spatiale à l'équilibre avec taxe environnementale peut donc être résumée ainsi :

$$s_n = \frac{C(E - \delta E^*)}{(C - \delta)E + (1 - \delta C)E^*}, \quad (3.28)$$

avec C défini ci-dessus. Introduire C dans les expressions permet une meilleure lisibilité et une comparaison plus aisée avec les résultats du modèle sans taxe. On cible ainsi le rôle du poids relatif de t par rapport à t^* . Afin de faire apparaître l'effet taille du marché, on exprime s_n en fonction de s_E :

$$s_n = \frac{C((1 + \delta)s_E - \delta)}{(1 + \delta)(C - 1)s_E + (1 - \delta C)}. \quad (3.29)$$

Ensuite, pour définir l'état d'équilibre, nous devons déterminer **le taux de croissance** à partir de la condition de non arbitrage dans la région A , exprimée de la manière suivante :

$$\dot{v} + \frac{x(\beta + t)}{\sigma - 1} = rv.$$

Puisque la parfaite mobilité du capital et l'égalisation des profits entre les régions amènent à $x(\beta + t) = x^*(\beta + t^*)$, la condition de non arbitrage dans la région B serait parfaitement équivalente. On remplace s_n par sa valeur (cf. (3.28)) dans l'équation (3.27) de x (page 153). Nous obtenons alors que la taille d'une firme du secteur industriel s'écrit de la manière suivante :

$$x = \alpha \frac{L}{N} \frac{\sigma - 1}{\sigma} \frac{1}{\beta + t} (E + E^*). \quad (3.30)$$

Pour écrire l'équilibre sur le marché du travail, le niveau de production à l'équilibre issu de l'équation (3.30) est mobilisé, révélant la demande de travail de ce secteur. La contrainte d'équilibre sur le marché du travail prend la forme suivante :

$$\frac{\eta}{W}g + \frac{\sigma - \alpha}{\sigma}(E + E^*) = 2L.$$

Finalement, la condition de non arbitrage et l'équation d'équilibre sur le marché du travail nous permet de déduire la valeur du taux de croissance. On obtient la même expression que dans la section précédente :

$$g = \frac{2L}{\eta} \frac{\alpha}{\rho} W - \frac{\sigma - \alpha}{\sigma} \rho. \quad (3.31)$$

Le taux de croissance ne dépend pas directement des taxes t et t^* dans les régions A et B .

Enfin, nous devons déterminer **les niveaux de dépenses** à l'équilibre, synthétisés par la variable s_E . Puisque le gouvernement ne redistribue pas les recettes fiscales, les niveaux de dépenses correspondent à l'économie sans taxe environnementale.

Nous présentons dans les sections suivantes les deux stratégies : même taux de taxe dans les deux régions et taux de taxe différent.

3.3.3 Le gouvernement fixe le même taux de taxe

Dans cette section, la taxe fixée par le gouvernement est identique dans les deux régions. Dans ce cas, l'équilibre de l'économie n'est pas modifié par la présence de la taxe, y compris les niveaux de revenu E et E^* . En raison de la parfaite mobilité du capital, taxer les firmes dans la région A affecte les propriétaires situés dans la région A ou la région B . Ainsi, la variation du profit perçu par les firmes situées dans la région A n'affecte pas les dépenses de cette région en particulier, mais touche l'ensemble des propriétaires de ces firmes, qu'ils résident dans la région A ou la région B .

Une amélioration de la qualité environnementale n'influence pas le choix de localisation des firmes¹⁸. Il est donc intuitif que cette taxe ne modifie pas l'équilibre (s_n, g, s_E) de l'économie.

Étude du bien être

Si les variables à l'équilibre ne sont pas modifiées par la présence d'une taxe sur les émissions, seul le bien être est affecté par la mise en place d'une taxe. En effet, les niveaux de consommation sont les suivants :

$$\begin{cases} D(s) = \alpha \frac{\sigma - 1}{(\beta + t)\sigma} N(s)^{\frac{1}{\sigma-1}} (s_n + \delta(1 - s_n))^{\frac{1}{\sigma-1}} E, \\ Y(s) = (1 - \alpha)E, \\ \mathcal{E}_s = s_n N(s) \varsigma \frac{\alpha(\sigma - 1)}{(\beta + t)\sigma} \frac{1}{N(s)} (E + E^*) L. \end{cases} \quad (3.32)$$

avec s le temps. On note alors que le niveau de consommation de biens différenciés D diminue avec la taxe t . Il en va de même pour les dommages environnementaux. Donc le niveau de bien être devient dans chacune des régions :

$$\begin{aligned} V(s_n, g, E, E^*, t) = \frac{1}{\rho} \ln \left\{ \alpha^\alpha (1 - \alpha)^{1-\alpha} \left(\frac{\sigma - 1}{(\beta + t)\sigma} \right)^\alpha E (s_n + \delta(1 - s_n))^{\frac{\alpha}{\sigma-1}} N_0^{\frac{\alpha}{\sigma-1}} e^{\alpha g / \rho(\sigma-1)} \right\} \\ - \frac{\varphi}{\rho} \ln \left(s_n \varsigma \frac{\alpha(\sigma - 1)}{(\beta + t)\sigma} (E + E^*) L \right), \end{aligned} \quad (3.33)$$

18. Dans certains modèles de NEG avec environnement, les travailleurs qualifiés intègrent directement la qualité environnementale (par exemple Ciucci *et al.*, 2015)

$$V^*(s_n, g, E, E^*, t) = \frac{1}{\rho} \ln \left\{ \alpha^\alpha (1 - \alpha)^{1-\alpha} \left(\frac{\sigma - 1}{(\beta + t)\sigma} \right)^\alpha E^* (\delta s_n + (1 - s_n))^{\frac{\alpha}{\sigma-1}} N_0^{\frac{\alpha}{\sigma-1}} e^{\alpha g / \rho(\sigma-1)} \right\} - \frac{\varphi}{\rho} \ln \left((1 - s_n) \varsigma \frac{\alpha(\sigma - 1)}{(\beta + t)\sigma} (E + E^*) L \right). \quad (3.34)$$

Analyse numérique avec $C = 1$

Les hypothèses concernant les valeurs de paramètres sont identiques à celles posées dans la section 3.2.4.2 page 149. Nous supposons ainsi : $\sigma = 3$, $\alpha = 0.8$, $\tau = 1.2$, $\eta = 10$, $\rho = 0.05$ et $\lambda = 0.5$. Pour les paramètres liés aux dégâts environnementaux et à leur perception, on fait de nouveau l'hypothèse que $\varphi = 0.2$ et $\varsigma = 1$. Le maximum que peut atteindre la taxe est fixé à 0.35 ($0 \leq t \leq 0.35$).

Le niveau de consommation des biens différenciés est affecté par la présence d'une taxe environnementale. Puisque la production par firme diminue, les dommages environnementaux perçus par les consommateurs se réduisent.

La figure 3.2 représente la variation du bien être environnemental en fonction de la taxe sur les émissions polluantes. Cette source de bien être est toujours supérieure dans la région B que dans la région A . Dans les deux régions, le bien être environnemental augmente avec la taxe.

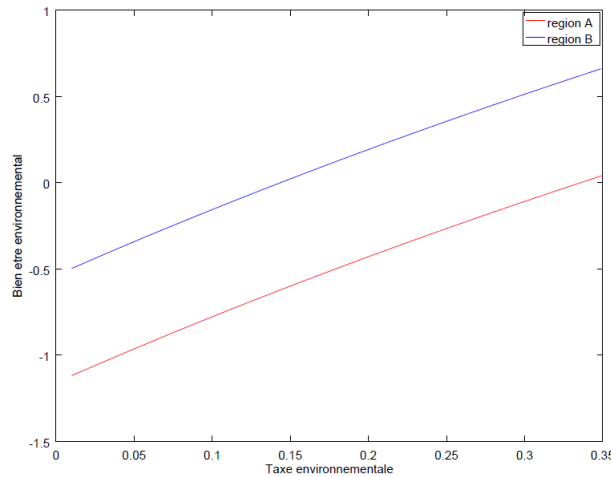


Figure 3.2 – Variations du bien être environnemental en fonction de la taxe

La figure 3.3 représente la variation du bien être total en fonction de la taxe environnementale. Les ménages de la région A bénéficient d'un bien être supérieur de celui dont bénéficient ceux résidant dans la région B . On remarque que ce bien être diminue avec la taxe. L'effet positif issu de la réduction des dommages environnementaux ne compense pas l'impact de la taxe sur les prix dans ce modèle avec les hypothèses prises pour les paramètres.

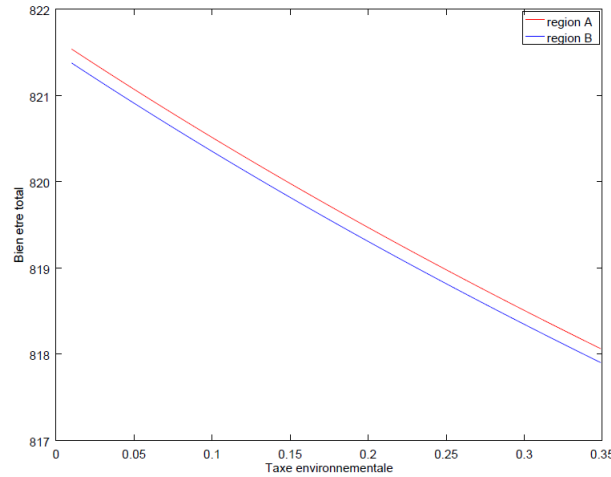


Figure 3.3 – Variations du bien être total en fonction de la taxe

3.3.4 Le gouvernement fixe un taux de taxe différent selon la région

Le gouvernement peut choisir d'augmenter la taxe dans la région A puisque les ménages, qui résident dans cette région, pâtissent davantage des dégâts environnementaux en raison de l'agglomération des entreprises. On a alors $t \geq t^*$ ce qui implique que $C \geq 1$. L'équilibre du modèle dans cette situation peut être résumé par le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} s_n = \frac{C((1+\delta)s_E - \delta)}{(1+\delta)(C-1)s_E + (1-\delta C)}, \\ g = \frac{2L}{\eta} \frac{\alpha}{\rho} W - \frac{\sigma - \alpha}{\sigma} \rho, \\ s_E = \frac{WL + \rho\eta k}{2WL + \rho\eta}. \end{cases}$$

Résoudre ce système à trois équations et trois inconnues permet d'identifier l'équilibre. La solution pour s_n correspond, à nouveau, à la résolution d'une équation du second degré (cf. section 3.2.3 page 145), dont le résultat est peu lisible. Nous privilégions d'analyser l'impact de la taxe sur l'équilibre de l'économie.

3.3.4.1 Comment l'équilibre varie selon la taxe avec $C \geq 1$

Effet sur l'organisation spatiale

L'organisation spatiale dépend de l'indice du poids de la taxe dans la région A par rapport à

la région B , i.e. C . On analyse la dérivée de s_n par rapport à C :

$$\begin{aligned}\frac{ds_n}{dC} &= \frac{\partial s_n}{\partial s_E} \frac{\partial s_E}{\partial s_n} \frac{ds_n}{dC} + \frac{\partial s_n}{\partial C} \\ \Rightarrow \frac{ds_n}{dC} &= \frac{\partial s_n}{\partial C} \left(1 - \frac{\partial s_n}{\partial s_E} \frac{\partial s_E}{\partial s_n} \right)^{-1}.\end{aligned}$$

Prenons chaque terme séparément pour connaître leur signe et déterminer le comportement de s_n par rapport à t .

1. Pour le terme $\frac{\partial s_n}{\partial C}$: on rappelle que s_E doit nécessairement être compris entre $\frac{1}{2}$ et 1 par hypothèse initiale du modèle. Les ménages de la région A détiennent toujours davantage de capitaux et ont donc un niveau de revenu supérieur de celui perçu par les ménages de la région B .

$$\begin{aligned}\frac{\partial s_n}{\partial C} &\leq 0 \\ \Leftrightarrow \frac{\left((1+\delta)s_E - \delta \right) \left(1 - (1+\delta)s_E \right)}{[(1+\delta)(C-1)s_E + (1-\delta C)]^2} &\leq 0 \\ \Leftrightarrow \left((1+\delta)s_E - \delta \right) \left(1 - (1+\delta)s_E \right) &\leq 0\end{aligned}$$

On obtient alors :

$$\frac{\partial s_n}{\partial C} : \begin{cases} \leq 0 & \text{si } s_E \geq \frac{1}{1+\delta} \\ \geq 0 & \text{si } \frac{1}{2} \leq s_E \leq \frac{1}{1+\delta} \end{cases}$$

Cet effet représente l'impact de l'indice de prix modifié par la présence de la taxe.

2. Ensuite, pour le terme $\frac{\partial s_E}{\partial s_n}$:

$$\begin{aligned}\frac{\partial s_E}{\partial s_n} &\leq 0 \\ \Leftrightarrow (1-\lambda)L\rho\eta(1-2k) &\Leftrightarrow k \geq \frac{1}{2} \\ \text{Or on fait l'hypothèse initiale que } k &\geq \frac{1}{2} \\ \Rightarrow \frac{\partial s_E}{\partial s_n} &\leq 0\end{aligned}$$

3. Enfin, pour le terme $\frac{\partial s_n}{\partial s_E}$:

$$\begin{aligned}\frac{\partial s_n}{\partial s_E} &\geq 0 \\ \Leftrightarrow C(1+\delta)(1-\delta C) + C\delta(1+\delta)(C-1) &\geq 0 \\ \Leftrightarrow 1-\delta \geq 0 &\text{ proposition toujours vraie}\end{aligned}$$

Finalement, nous obtenons que :

$$\frac{ds_n}{dC} \geq 0 \Leftrightarrow \frac{\partial s_n}{\partial C} \geq 0$$

On note que la dérivée de s_n par rapport à s_E dépend de la taxe environnementale, cela revient à dire que la présence de la taxe environnementale modifie l'intensité de la force d'agglomération du modèle. De même, l'impact de la taxe sur la localisation des firmes est à évaluer en fonction du niveau d'inégalité de revenu. Or, l'inégalité de revenu dépend, entre autres, de la situation d'asymétrie initiale en terme de richesse (k).

Si l'inégalité de revenu dépasse un certain seuil, la mise en place de la taxe environnementale diminue la concentration des entreprises, i.e. lorsque $s_E \geq \frac{1}{1+\delta}$. Plus surprenant, en deçà de ce seuil, la hausse de C implique une hausse de l'agglomération spatiale, i.e. lorsque $s_E \leq \frac{1}{1+\delta}$.

Effet sur le taux de croissance

La dérivée du taux de croissance par rapport à C :

$$\begin{aligned} \frac{dg}{dC} &= \frac{\partial g}{\partial s_n} \frac{ds_n}{dC} \\ \Rightarrow \frac{dg}{dC} &\geq 0 \Leftrightarrow \frac{ds_n}{dC} \geq 0 \end{aligned}$$

En effet, la croissance est favorisée par l'agglomération des activités. La concentration des firmes industrielles favorise la productivité du secteur de R&D grâce aux *spillovers* de connaissance. Nous avons donc que $\frac{\partial g}{\partial s_n} \geq 0$.

Effet sur la répartition des dépenses

La dérivée de l'indice d'inégalité de revenu par rapport à C :

$$\begin{aligned} \frac{ds_E}{dC} &= \frac{\partial s_E}{\partial s_n} \frac{ds_n}{dC} \\ \Rightarrow \frac{ds_E}{dC} &\leq 0 \Leftrightarrow \frac{ds_n}{dC} \geq 0 \end{aligned}$$

En effet, l'inégalité de revenu se réduit lorsque les entreprises sont plus concentrées puisque la concurrence accrue diminue le revenu du capital, source d'inégalités entre les deux régions.

Nous avons donc que $\frac{\partial s_E}{\partial s_n} \leq 0$.

3.3.4.2 Étude du bien être avec $C \geq 1$

On détermine les niveaux de consommations à l'équilibre, sachant que le niveau $D(s)$ diffère de celui déterminé précédemment lorsque $C = 1$. Rappelons que le niveau de consommation du bien composite D s'écrit de la manière suivante :

$$D(t) = \left[\int_0^n D_i(t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di + \int_0^{n^*} D_j(t)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} dj \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

Puisque les prix sont désormais différents d'une région à l'autre, on obtient les consommations suivantes pour un individu résidant dans la région A :

$$\begin{cases} D(s) = \alpha \frac{\sigma-1}{\sigma(\beta+t)} N(s)^{\frac{1}{\sigma-1}} \left(s_n + \delta(1-s_n)C \right)^{\frac{1}{\sigma-1}} E \\ Y(s) = (1-\alpha)E \\ \mathcal{E}_s = s_n N(s) \varsigma \frac{\alpha(\sigma-1)}{(\beta+t)\sigma} \frac{1}{N(s)} (E + E^*) L \end{cases} \quad (3.35)$$

Donc les niveaux de bien être deviennent dans chacune des régions :

$$\begin{aligned} V(s_n, g, E, E^*, t) &= \frac{1}{\rho} \ln \left\{ \alpha^\alpha (1-\alpha)^{1-\alpha} \left(\frac{\sigma-1}{(\beta+t)\sigma} \right)^\alpha E (s_n + \delta(1-s_n)C)^{\frac{\alpha}{\sigma-1}} N_0^{\frac{\alpha}{\sigma-1}} e^{\alpha g/\rho(\sigma-1)} \right\} \\ &\quad - \frac{\varphi}{\rho} \ln \left(s_n \varsigma \frac{\alpha(\sigma-1)}{(\beta+t)\sigma} (E + E^*) L \right), \\ V^*(s_n, g, E, E^*, t) &= \frac{1}{\rho} \ln \left\{ \alpha^\alpha (1-\alpha)^{1-\alpha} \left(\frac{\sigma-1}{(\beta+t^*)\sigma} \right)^\alpha E^* (\delta s_n + (1-s_n)C)^{\frac{\alpha}{\sigma-1}} N_0^{\frac{\alpha}{\sigma-1}} e^{\alpha g/\rho(\sigma-1)} \right\} \\ &\quad - \frac{\varphi}{\rho} \ln \left((1-s_n) \varsigma \frac{\alpha(\sigma-1)}{(\beta+t^*)\sigma} (E + E^*) L \right). \end{aligned}$$

Analyse numérique du bien être

Nous gardons les mêmes hypothèses concernant les valeurs des paramètres que celles faites précédemment. Nous supposons que la valeur de $t^* = 0.1$ et que celle de $t \geq 0.1$. On suppose alors que C augmente sachant que t^* demeure constant et t est à la hausse. Lorsque les taux de taxe sont différents d'une région à l'autre, on note que l'évolution du bien être varie selon la région.

La figure 3.4 représente la variation du bien être environnemental en fonction de la taxe sur les émissions polluantes. Cette source de bien être est toujours supérieure dans la région B . Dans les deux régions, le bien être environnemental augmente avec la taxe t , sachant que t^* demeure constant. On remarque que l'impact environnemental de la région A baisse plus rapidement que celui de la région B . En effet, l'exemple considéré ci-dessous correspond à la

situation où l'agglomération des activités augmente avec le taux de taxe t . Donc le bien être environnemental dans la région A augmente, mais la hausse de la qualité environnementale est freinée par l'intensification de l'agglomération spatiale des firmes industrielles.

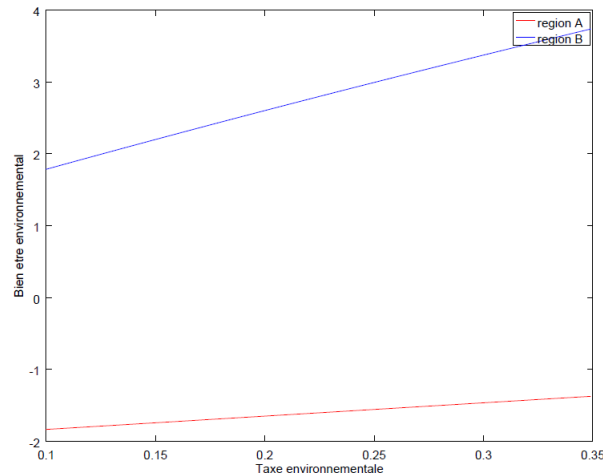


Figure 3.4 – Variations du bien être environnemental en fonction de la taxe

La figure 3.5 représente la variation du bien être total en fonction de la taxe environnementale. Les ménages de la région A bénéficient d'un bien être supérieur de celui dont bénéficient les individus de la région B . Le bien être total augmente avec la taxe puisque l'exemple cité dans les graphiques 3.4 et 3.5 correspond à la situation où l'agglomération des activités économiques est favorisée par la taxe environnementale, favorisant ainsi la croissance dans l'économie. Finalement le coût d'achat des biens différenciés polluants est certes à la hausse, mais cet effet négatif sur le bien être est compensé par la hausse de la croissance et l'amélioration du bien être environnemental.

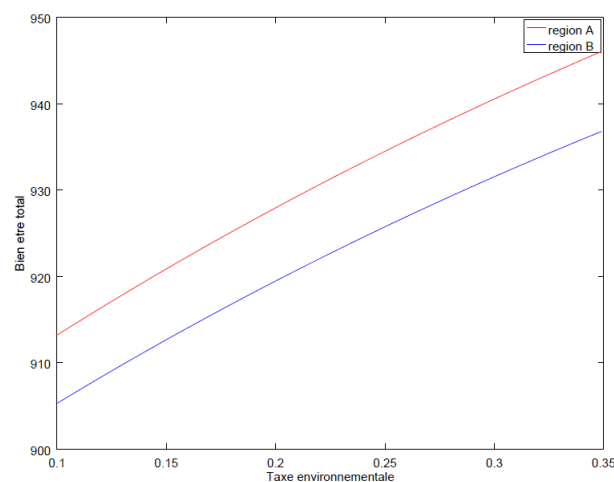


Figure 3.5 – Variations du bien être total en fonction de la taxe

Conclusion

Nous avons construit un modèle de la NEGG de type *FC* (Martin et Ottaviano, 1999) en considérant que le processus de production créait de la pollution. Les ménages sont sensibles à la pollution de leur région et voient alors leur bien être affectés par ces dégradations environnementales. Un modèle de la NEGG permet de comprendre les conséquences de l'agglomération sur la croissance économique via l'existence d'un secteur de R&D.

Avec un même taux de taxe dans les deux régions, le gouvernement ne modifie par l'équilibre en mettant en place une régulation environnementale. Le bien être total de l'économie est décroissant avec le taux de taxe.

Lorsque le gouvernement décide d'imposer différemment les entreprises actives dans la région *A* et celles installées dans la région *B*, l'équilibre de l'économie est modifié. L'impact de la taxe dépend du niveau d'inégalité de revenu entre les deux régions. Dans le cas où la taxe favorise l'agglomération spatiale, on note par ailleurs que l'amélioration du bien être environnemental est plus rapide dans la région *B* que dans la région *A*.

Plusieurs possibilités existent pour approfondir le modèle. Tout d'abord, une politique en faveur de la R&D pourrait être intégrée pour identifier un potentiel effet positif de la taxe environnementale sur la croissance. De plus, il serait pertinent de supposer que les firmes puissent modifier leur technologie de production, par exemple dans notre modèle cela reviendrait à une baisse de ς . L'adoption et la diffusion de cette technologie propre pourraient alors être spatialement différenciées.

Annexes Chapitre 3

Annexe A : Tableau des paramètres

paramètre	définition	intervalle
α	répartition entre biens industriels et bien traditionnel	$]0, 1[$
σ	élasticité de substitution entre les variétés (fonction de)	$]1, +\infty[$
τ	coûts de transport de type iceberg	$[1, +\infty[$
δ	mesure de l'ouverture du commerce	$]0, 1[$
ς	intensité en pollution du secteur industriel	
φ	mesure de l'impact de la pollution sur l'utilité des ménages	
β	coût unitaire du travail dans le secteur industriel	
η	paramètre lié au coût travail dans le secteur de R&D	

Annexe B : Consommations optimales

Nous donnons dans cette section les détails pour définir les niveaux de consommation optimale pour un consommateur de la région A , sachant que le problème est symétrique pour un consommateur de la région B .

Première étape

$$\begin{cases} \underset{D(i), D(j)}{\text{Min}} \int_{i=1}^n p(i) D(i) di + \int_{j=1}^{n^*} \tau p(j) D(j) dj \\ \text{s.c. } D = \left[\int_{i=1}^n D(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \int_{j=1}^{n^*} D(j)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \end{cases}$$

$$L = \int_{i=1}^n p(i) D(i) di + \int_{j=1}^{n^*} \tau p(j)^* D(j) dj + \lambda \left(D - \left[\int_{i=1}^n D(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} + \int_{j=1}^{n^*} D(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \right)$$

On dérive par $D(i)$ et $D(j)$, on détermine ensuite l'indice de consommation D :

$$D(i) = \left(\frac{p(i)}{\tau p(j)^*} \right)^{-\sigma} D(j)$$

$$D(j) = \left(\frac{\tau p(j)^*}{p(i)} \right)^{-\sigma} D(i)$$

On transforme les deux expressions précédentes pour obtenir D

$$\int_1^n D(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di = \int_1^n \left(\frac{p(i)}{\tau p(j)^*} \right)^{-(\sigma-1)} D(j)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di$$

$$\int_1^{n^*} D(j)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} dj = \int_1^{n^*} \left(\frac{\tau p(j)^*}{p(i)} \right)^{-(\sigma-1)} D(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} dj$$

On fait la somme des deux dernières lignes

$$\int_1^n D(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di + \int_1^{n^*} D(j)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} dj = \int_1^n \left(\frac{p(i)}{\tau p(j)^*} \right)^{-(\sigma-1)} D(j)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di + \int_1^{n^*} \left(\frac{\tau p(j)^*}{p(i)} \right)^{-(\sigma-1)} D(i)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} di$$

$$D = \left[\left(\tau p(j)^* \cdot D(j)^{\frac{1}{\sigma}} \right)^{\sigma-1} \int_1^n p(i)^{-(\sigma-1)} di + \left(p(i) \cdot D(i)^{\frac{1}{\sigma}} \right)^{\sigma-1} \int_1^{n^*} (\tau p(j)^*)^{-(\sigma-1)} dj \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

Cependant, on sait que $D(j) = \left(\frac{\tau p(j)}{p(i)} \right)^{-\sigma} D(i)$

$$D(j)^{\frac{1}{\sigma}} = \left(\left(\frac{\tau p(j)^*}{p_i} \right)^{-\sigma} D(i) \right)^{\frac{1}{\sigma}} = \left(\frac{p_i}{\tau p(j)^*} \right) D(i)^{\frac{1}{\sigma}}$$

On obtient donc :

$$D = \left[\left(\tau p(j)^* \cdot \frac{p_i}{\tau p(j)^*} D(i)^{\frac{1}{\sigma}} \right)^{\sigma-1} \int_1^n p(i)^{-(\sigma-1)} di + \left(p(i) \cdot D(i)^{\frac{1}{\sigma}} \right)^{\sigma-1} \int_1^{n^*} (\tau p(j)^*)^{-(\sigma-1)} dj \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

$$\Rightarrow D = \left[\left(p(i) \cdot D(i)^{\frac{1}{\sigma}} \right)^{\sigma-1} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \left(\int_1^n p(i)^{-(\sigma-1)} di + \int_1^{n^*} (\tau p(j)^*)^{-(\sigma-1)} dj \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

$$\Rightarrow D = p(i)^{\sigma} \times D(i) \times \left(\left(\int_1^n p(i)^{-(\sigma-1)} di + \int_1^{n^*} (\tau p(j)^*)^{-(\sigma-1)} dj \right)^{-\frac{1}{\sigma-1}} \right)^{-\sigma}$$

On conclue que $D(i) = \left(\frac{p(i)}{P} \right)^{-\sigma} D$

On obtient alors $D(i)$ en fonction des deux indices P (indice des prix) et D . Le même raisonnement peut être conduit avec $D(j)$. :

$$D = \left[\left(\tau p(j)^* \cdot D(j)^{\frac{1}{\sigma}} \right)^{\sigma-1} \right]^{\frac{\sigma}{\sigma-1}} \left(\int_1^n p(i)^{-(\sigma-1)} di + \int_1^{n^*} (\tau p(j)^*)^{-(\sigma-1)} dj \right)^{\frac{\sigma}{\sigma-1}}$$

$$D(j) = \left(\frac{\tau p(j)^*}{P} \right)^{-\sigma} D$$

Deuxième étape

Dans un second temps, nous allons chercher à déterminer D .

$$\begin{cases} \text{Max}_{D,Y} D^\alpha Y^{1-\alpha} \\ \text{s.c.} \int_{i \in n} p(i) D(i) di + \int_{j \in n^*} p(j)^* D(j) dj + P_Y Y = E \\ i.e. PD + P_Y Y = E \end{cases}$$

On résout le Lagrangien suivant :

$$L = D^\alpha Y^{1-\alpha} - \lambda \left(\int_{i \in n} p(i) D(i) di + \int_{j \in n^*} p(j)^* D(j) dj + P_Y Y - E \right)$$

$$D = \frac{\alpha E}{P}$$

$$Y = \frac{(1-\alpha)E}{P_Y}$$

On rappelle que l'indice des prix peut s'écrire ainsi :

$$P = \left[\int_1^n p_i^{-(\sigma-1)} di + \int_1^{n^*} (\tau p_j^*)^{-(\sigma-1)} dj \right]^{-\frac{1}{\sigma-1}}$$

Pour tout i , $p_i = p$, pour tout j , $p_j^* = p^*$ et on sait que $p = p^*$ puisque les salaires sont identiques dans les deux régions

$$P = \left[p^{1-\sigma} \int_1^n 1 di + (\tau p)^{1-\sigma} \int_1^{n^*} 1 di \right]^{-\frac{1}{\sigma-1}}$$

$$P = p \left[n + \tau^{1-\sigma} n^* \right]^{-\frac{1}{\sigma-1}}$$

Annexe C : Calcul du markup

Le secteur est en concurrence monopolistique, donc le *markup* est déterminé de la façon suivante :

$$\begin{aligned}
 \Pi_i &= p_i x_i(p_i) - w\beta x_i(p_i) \\
 \frac{\partial \Pi_i}{\partial p_i} : x_i(p_i) + p_i \frac{\partial x_i}{\partial p_i} - w\beta \frac{\partial x_i}{\partial p_i} &= 0 \\
 \Rightarrow \frac{x_i(p_i)}{\frac{\partial x_i}{\partial p_i}} + p_i &= w\beta \\
 \Rightarrow p_i \left(1 + \frac{\frac{x_i(p_i)}{p_i}}{\frac{\partial x_i}{\partial p_i}} \right) &= w\beta \\
 \Rightarrow p_i \left(1 - \frac{1}{\sigma} \right) &= w\beta \\
 \Rightarrow p &= w\beta \frac{\sigma}{\sigma - 1}
 \end{aligned}$$

Annexe D : Taux de croissance du revenu réel

Contrairement au revenu nominal, le revenu réel évolue dans le temps au taux $\frac{\alpha}{\sigma-1}g$.

$$\begin{aligned}
 \tilde{E} &= E \times \frac{\alpha^\alpha (1-\alpha)^{1-\alpha}}{P^\alpha P_Y^{1-\alpha}} \\
 \Rightarrow \ln(\tilde{E}) &= \ln(E) - \alpha \ln(P) + \text{constante} \\
 \Rightarrow \frac{\partial \ln(\tilde{E})}{\partial t} &= 0 - \frac{\alpha}{1-\sigma} \frac{\partial \ln N}{\partial t} \\
 \frac{\dot{\tilde{E}}}{\tilde{E}} &= \frac{\partial \ln \tilde{E}}{\partial t} = \frac{\alpha}{\sigma-1} g
 \end{aligned}$$

avec $\sigma \geq 1$.

Annexe E : Résolution de l'équation du second degré

Pour déterminer le s_n exacte à l'équilibre, nous devons résoudre cette équation :

$$(1 - \delta)(1 - \lambda)2Ls_n^2 + (1 - \delta)\left((3\lambda - 1)L + \rho\eta\right)s_n - \lambda(1 - \delta)L - \eta\rho(k - \delta(1 - k)) = 0$$

$$As_n^2 + Bs_n + C = 0$$

avec $A = (1 - \delta)(1 - \lambda)2L$, $B = (1 - \delta)\left((3\lambda - 1)L + \rho\eta\right)$ et $C = -\lambda(1 - \delta)L - \eta\rho(k - \delta(1 - k))$.

Le déterminant est le suivant :

$$\Delta = (1 - \delta)^2\left((3\lambda - 1)L + \rho\eta\right)^2 + 8(1 - \delta)(1 - \lambda)L\left(\lambda(1 - \delta)L + \eta\rho(k - \delta(1 - k))\right)$$

On a bien $\Delta \geq 0$ puisque $(k - \delta(1 - k)) \geq 0 \Leftrightarrow k \geq \frac{\delta}{1 + \delta}$

Or $k \geq \frac{1}{2}$ par hypothèse initiale et $\delta \leq 1$ par définition

Puisque $\Delta \geq 0$, on a deux solutions pour s_n .

$$s_{n1} = \frac{-B + \sqrt{\Delta}}{2A}$$

$$s_{n2} = \frac{-B - \sqrt{\Delta}}{2A}$$

On obtient d'emblée que $s_{n1} \leq 0$, il ne reste donc plus qu'une solution possible. Il est possible de vérifier que la valeur de s_{n2} est bien comprise entre $\frac{1}{2}$ et 1 (voir Annexe F).

Annexe F : Intervalle de s_n

On vérifie que l'intervalle de la solution d'équilibre de s_n corresponde bien à notre cadre d'analyse. On cherche pour quelles valeurs de paramètres, on a $\frac{1}{2} < s_n < 1$. La solution issue de l'équation du second degré (3.13) est la suivante (l'autre étant négative) : zz

$$s_{n2} = \frac{-(1 - \delta)\left((3\lambda - 1)L + \rho\eta\right) + \sqrt{(1 - \delta)^2((3\lambda - 1)L + \rho\eta)^2 + 8(1 - \delta)(1 - \lambda)L(\lambda(1 - \delta)L + \eta\rho(k - \delta(1 - k)))}}{4(1 - \delta)(1 - \lambda)L}$$

Pour obtenir : $\frac{1}{2} \leq s_n \leq 1$, on donc vérifier que :

$$\text{D'une part } \frac{1}{2} \leq s_n \Leftrightarrow 4\eta(1-\lambda)L\left(-\rho(1-\delta) + 2\rho(k-\delta(1-k))\right) \geq 0$$

$$\text{Finalement } \frac{1}{2} \leq s_n \Leftrightarrow k \geq \frac{1}{2}$$

Or, l'asymétrie de niveau de richesse initiale entre les deux régions correspond à : $k \geq \frac{1}{2}$

$$\text{D'autre part } s_n \leq 1 \Leftrightarrow 4(1-\lambda)L\left[2(1-\delta)L + \rho\eta(1-\delta) - \eta\rho(k-\delta(1-k))\right] \geq 0$$

$$\text{Finalement } s_n \leq 1 \Leftrightarrow \rho\eta[(1+\delta)k-1] \leq L(1-\delta)$$

Pour éviter la solution en coin telle que la totalité des activités industrielles seraient situées dans la région A , on suppose donc que $\rho\eta[(1+\delta)k-1] < L(1-\delta)$.

Annexe I : TGAP

Il nous semble pertinent de faire un point sur la législation concernant les émissions polluantes en France, la Taxe Générale sur les Activités Polluantes, loi de finance 1999 et rentrée en vigueur le 1er janvier 2000. La Taxe Parafiscale sur la Pollution Atmosphérique (TPPA) a été instauré en 1985 et a été remplacée par la TGAP.

Hauvuy et Riedinger (2005) suggèrent que cette taxe n'est pas incitative et a pour but de financer des équipements et actions de surveillance de la qualité de l'air. Si les économistes privilégient la taxe aux normes et réglementations, il semble que la contrainte technologique pour les entreprises industrielles repose davantage sur les réglementations. La charge que représente la TGAP pour les entreprises est très faible. Les coûts marginaux d'abattement par polluant sont supérieurs au taux de la TGAP par polluant (Hauvuy et Riedinger, 2005). Dû au « choc de simplification » de 2015, cette taxe n'est plus appliquée aux établissements ICPE. Le produit de la taxe est de 726 millions d'euros en 2015.

La TGAP se décompose en plusieurs types de prélèvement : la TGAP à l'installation et la TGAP à l'exploitation sur déchets, émissions, carburants. Il y a d'abord la TGAP à payer lors de l'installation contre autorisation d'exercer et l'exploitation pour certains établissements présentant des risques particuliers pour l'environnement. Les taux de taxation pour les émissions polluantes sont les suivants :

	unité	2015	2017
Oxydes de soufre et autres composés soufrés	tonne	139,57	140,13
Acide chlorhydrique	tonne	47,5	47,69
Protoxyde d'azote	tonne	71,27	71,56
Oxyde d'azote et autres composées oxygénés de l'azote	tonne	168,47	169,14
COVNM	tonne	139,57	140,13
Poussière totales en suspension	tonne	266,65	267,72
Arsenic	kg	513,07	515,12
Sélénium	kg	513,07	512,12
Mercure	kg	1026,13	1030,23
Benzène	kg	5,14	5,16
HAP	kg	51,31	51,52
Plomb	kg	10,07	10,11
Zinc	kg	5,04	5,06
Chrome	kg	20,14	20,22
Cuivre	kg	5,04	5,06
Nickel	kg	100,7	101,1
Cadmium	kg	503,5	505,51
Vanadium	kg	5,04	5,06

Tableau 3.3 – Taux en euros de la TGAP

Do agglomeration economies are lower for polluting sectors ?

The chapter comes from a joint work with Mathieu Sanch Maritan (EconomiX, Paris Nanterre ; CESAER, INRA Dijon)

Introduction

Quantifying the benefits and spillovers of agglomeration economies has been a major interest in the urban literature over past decades. Rosenthal and Strange (2004) find that agglomeration economies elasticity for productivity ranges between 0.03 and 0.08: 1% increase of agglomeration implies an increase of 0.03% to 0.08% in labor productivity. The vast majority of the empirical literature on agglomeration economies studies the net impact of density on labor productivity¹. These studies measure the overall impact of agglomeration on productivity taking into account both positive and negative effects. Positive agglomeration effects can also turn negative above some city size threshold, or induce some accompanying effects, and one cannot say to which extent positive effects offset the negative, as only the total net impact is evaluated (see for example, Combes and Gobillon, 2015).

The aim of this chapter is to estimate agglomeration economies considering a new source of heterogeneity among industries: the degree of pollution. In New Economic Geography (NEG) models, spatial equilibrium is more dispersed when the model incorporates some degree of

1. Drut and Mahieux (2017) are an exception considering they aim to disentangle the real impact of agglomeration on productivity from pollution effect.

pollution heterogeneity. For instance, Lange and Quaas (2007) show that interior equilibria (where not all activities are agglomerated in the Core - namely CP equilibrium) are more frequent once the model takes into account the negative effect of industrial pollution on households.

Due to pollution perception acting as a dispersion force, we expect *net* agglomeration economies to be lower for polluting firms. In fact, polluting firms may anticipate that households and other firms are reluctant to locate near sources of pollution. Households are reluctant to locate near polluted areas as it implies a loss of well-being. Several channels can operate among others: bad reputation links with anticipation of environmental risks, noise, bad smell, unpleasant views or health issues. Moreover, since pollution can directly reduce workers' productivity (Graff Zivin and Neidell, 2012 ; Hanna and Oliva, 2015), including their own employees' productivity, degree of pollution may play a negative role in firms' location choices. Pollution can also reduce productivity through a negative impact on other factors. For instance, soil quality is detrimental for agricultural productivity and we may expect that farmers are reluctant to locate nearby polluting industrial firms. More generally, all sectors in which firms use natural resources might be affected by pollution.

In this chapter, we focus on particular type of pollution. As we have seen in Chapter 2, we choose to focus on *air* pollution from *industrial* activities. Air pollution damages household's *health*, with for instance some clear results in Chay and Greenstone (2003) considering *Total Suspension Particulate* on asthma and other respiratory diseases. Moreover, this kind of pollution is rather well-known by households as a result of forecasting of daily pollution levels and the warnings seen in various media.

One could think that industrial pollution becomes a side issue compared to agriculture and transport pollution. Although industrial emissions have decreased sharply since 1980, industry remains the main emitter for some key types of pollution. For instance, emissions of SO_2 (sulfur dioxide) from the sectors of energy production and manufacturing industry represent 85% of total emissions in France in 2011 (CITEP, 2013). Ozone concentration results from interaction between NO_x (nitrogen oxide) and VOC (volatile organic chemical). For these two types of emissions, manufacturing industry and energy production remain important emitters with 41% of total VOC emissions and 20% of NO_x emissions in France in 2011.

Our study introduces a new measure of heterogeneity affecting magnitude of agglomeration economies across sectors. As we have information on the level of emissions for all pollutants, we define a continuous variable of pollution that varies across sectors and employment zones.

We construct a strategy with an interaction term between density and pollution variable. We estimate the impact of pollution on the amplitude of agglomeration economies thanks to such interaction term.

We have the following result: for sectors emitting some key pollutants as carbon dioxide, nitrogen dioxide, lead or sulfur dioxide, agglomeration benefits will be lower as pollutant emissions increase. Two endogeneity dimensions have been taken into account in our work. First, we exploit historical and geological instruments to tackle endogeneity issue on density variables. Moreover, sectoral productivity and pollutant emissions might be both linked with omitted variables such as local negative economic shocks. Therefore, we treat endogeneity issues affecting the interaction term coefficient thanks to a shift-share strategy (Bartik, 1991). We construct a predicted local level of emissions exploiting national rates of emission growth uncorrelated with specific local sectoral shocks.

To do so, we exploit a unique IREP (“Registre des émissions polluantes”) database rarely used in economic studies (an exception, Caudeville and Rican, 2016). The IREP dataset records polluting plants constrained to declare levels of pollutant emissions, wastes and dangerous inputs. We match polluting emissions and wages from DADS (“Données Annuelles de Déclarations Sociales”) database at the sectoral and employment zone level. Hence, we are able to identify wages in polluting sectors at a fine spatial scale over the time period 2003-2013.

The chapter is built in the following way: we first present the literature on agglomeration economies and wonder how the effect of industrial pollution is assessed so far. We then detail our identification strategy: we implement a pooled estimation with an interaction term between agglomeration and pollution emission. We test if the impact of industrial atmospheric pollution affects agglomeration economies for polluting firms. Lastly, we present our results and some guidelines for future research.

4.1 Literature review

Through the review of literature, we aim to enlighten links between NEG with pollution literature and agglomeration economies evaluation literature. To do so, we first summarize the main results of theoretical contributions on the impact of industrial pollution in a economic geography model. Then, we present methodology and results of empirical works agglomeration economies. We focus on the best way to introduce polluting emissions in such work based on previous works.

4.1.1 NEG and industrial polluting emissions

Building on the sample of NEG models explained in Chapter 2, we start by summarizing the main predictions of the literature regarding our empirical question. Most of the papers cited below consider only two sectors: traditional sector and industrial sector. Industrial production leads to polluting emissions. This pollution may directly impact household's utility and agricultural sector productivity. Several channels operate in this situation. First, when qualified workers (or entrepreneurs) are mobile, they take into account the quantity of polluting emissions by region in their location choice (for instance: Elbers and Withagen, 2004; van Marrewijk, 2005; Lange and Quaas, 2007; Rauscher, 2009). Their behavior depends on the characteristics of pollution (transboundary or not), the source of pollution (e.g. industrial or residential sectors), and the individual parameters (sensitivity toward pollution). When industrial damages are integrated, local pollution is simply measured as the number of polluting firms in the region. Because workers are less disposed to locate in the region with the largest number of industrial firms, market in this region becomes thinner. Yet, market size is one of the main agglomeration forces. If this force decreases while the dispersion forces are still active, firm are less willing to agglomerate in the *Core* region. Similar reasoning can be applied with inter-sectoral impact. Industrial pollution alters traditional sector productivity. In the end, labor productivity impact local wages, so a decrease in wage represents a decrease of purchasing power that deteriorates home market effect (Zeng and Zhao, 2009). Allowing firms to emit pollution can change spatial equilibrium outcome, and then spatial equilibrium becomes more dispersed.

While in previous research cited above, all industrial firms emit pollution, this chapter introduces heterogeneity among firms regarding pollution emissions. This strategy allows the analyze of pollution in a different context than congestion², to which it has been previously compared. Wu and Reimer (2016) suggest a few insights to differentiate congestion from pollution phenomena. Pollution variability across firms or sectors seems much higher than variability in congestion contribution. Moreover, pollution emissions depend on the level of production, which is not evident in the case of congestion. Lastly, pollution may be transboundary while congestion cannot really “transport” itself from a region to a different one.

2. Works in economic geography include congestion: Brakman *et al.* (1996), Baldwin *et al.* (2004), Fujita and Thisse (2013).

Wu and Reimer (2016) build a model with two types of mobile firms: polluting and non-polluting firms. In their case, spatial equilibrium must be computed for both types of firms between two symmetric regions: West and East. If agglomeration occurs, they assume that it is in the East. The model considers the service firms as the non-polluting sector. The following is a summary of their polluting cases with equilibrium outcome:

1. *Clean and Dirty firms have the same levels of productivity.* In this situation, if a dirty firm choose to move to the East, its agglomeration benefits are moderated by the associated pollution brought to the East. That's also why the more pollution is transboundary, the less pollution matters. Agglomeration benefits become higher and this effect dominates. If the polluting sector has the “benchmark” level of productivity, firms relatively less polluting -among the polluting ones- are more concentrated in space.
2. *Clean firms are more productive.* Clean firms will agglomerate, while distribution of the dirty ones depends on the level and mobility of pollution. Indeed, if dirty firms produce relatively low levels of pollution, those firms will also agglomerate. On the contrary, if they produce a high level of pollution, they will better disperse.
3. *Dirty firms are more productive.* Spatial equilibrium will again depend on pollution differential between clean and dirty sectors. When the differential is relatively small, agglomeration effect is stringer, and the equilibrium is an agglomerated one. If the difference is larger (but not too large), dirty firms still agglomerate when clean ones prefer to disperse. Finally, when pollution differential is large enough, the equilibrium of this economy is a dispersed one.

Wu and Reimer (2016) give intuition about the mechanisms behind spatial equilibrium when polluting firms are distinguished from the clean ones.

Heterogeneity in NEG: can pollution intensity be considered as a source of heterogeneity?

Heterogeneity among locations has been one key issue in economic geography. We displays usual sources of heterogeneity, among which pollutant emissions could figure in. We do so because several forms of heterogeneity in terms of spatial organization have been empirically tested. First, “Macro heterogeneity” among regions is explained by NEG models where mechanisms of agglomeration drive to asymmetric allocations, as CP equilibrium. In the same time, Krugman (1991) already uses two kinds of workers-qualified and less qualified- to describe

agglomeration phenomenon based on qualified labor migration. Then, few papers tackled the question of heterogeneity among agents in theoretical economic geography models. Originally introduced by Melitz (2003) in a trade framework, firm heterogeneity enlarges deeply the picture of firm interactions in a global world. It provides an explanation of current intra-industry reallocation into international or domestic markets and helps to identify the factors that drive firms to actually enter international markets.

Empirical studies target to determine the size and direction of the effect agglomeration has on local productivity. Firm data availability allows researchers to explain firm productivity and the role of local context. In this sense, empirical findings bring theory to better capture on spatial sorting and selection phenomenon.

Theoretical models take into account diversity of productivity levels among firms. While identical firm assumption is very convenient in a NEG model, it is also an unrealistic assumption. Firms can vary according to their level of productivity, size, and behavior toward trade. Baldwin and Okubo (2006) use firm heterogeneity in agglomeration economics, while Behrens and Robert-Nicoud (2015) make an overview of contributions about heterogeneous agents in an urban setting. Magnitude of agglomeration economies will vary among firms with different productivity levels. The number of competitive firms per industry matters. The following options have been introduced to overcome the limits induced by typical NEG model. First, Dixit-Stiglitz monopolistic competition can be replaced by an oligopolistic framework to introduce firm interactions with quadratic linear utility function (Ottaviano *et al.*, 2002). Second, following Melitz (2003), a monopolistic framework with heterogeneity (Baldwin and Okubo, 2006) permits to identify empirical findings. While Melitz (2003) or Melitz and Ottaviano (2008) explain that selection effect drives least efficient firms out of international markets or exit the market within their country of origin, Baldwin and Okubo (2006) focus on spatial selection in some locations. They use firm productivity heterogeneity where the distribution of firm productivity is given for each region. They show that firms from small regions moving to a larger market are the most efficient ones. The firms with largest sales in terms of volume benefit from smaller trade costs when locating in larger markets.

Larger or denser cities (employment areas in our case) experience higher productivity because of local advantages and thanks to agglomeration economies. More productive firms sort in the areas that represent larger markets. Those areas select most efficient firms and the same reasoning can be conducted for workers.

Finally, another source of heterogeneity could be introduced such as pollution intensity, or, more generally, the environmental effort made by each firm. The latter aspect remains hard to evaluate and may need qualitative information on the behavior of entrepreneurs. In an economic geography model, Wu and Reimer (2016) are the first to introduce two sources of heterogeneity: pollution and productivity. Willingness to comply with environmental regulation might be correlated with the agglomeration benefits that firms expect.

4.1.2 Agglomeration economies evaluation with polluting emissions

We want to stress how industrial levels of polluting emission can be introduced in empirical evaluations of agglomeration economies. We first establish the existent links between NEG and his empirical applications. Then, the methodology in agglomeration economies evaluation is displayed and gives grounds for our empirical choices. Finally, we focus on a few relevant empirical studies considering air pollution emissions.

4.1.2.1 NEG and empirics

Empirical applications of NEG models have been rather sparse (Redding, 2010). Empirical studies on NEG models analyze market access measure and plant location choice. However, to go beyond descriptive analysis as concentration indexes or spatial autocorrelation studies with plant location empirics (Redding, 2010; Combes and Gobillon, 2015) are problematic. Direct evaluation of NEG model would require to estimate local determinants of profit, as firms choose their location according to expected local profit. Structural econometric models are able to overcome limits that have been previously raised ; for instance, Head and Mayer (2004) who study location choice of FDI from Japanese firms in European countries.

If current industrial spatial organization reflects maximization profit behavior, it is interesting to evaluate the importance of agglomeration economies across sectors. Most of the time, papers estimating agglomeration economies that build a theoretical part, construct a model deriving from profit maximization an equation of productivity, depending on local determinants. However, they are quite different from NEG models which relate predominantly to agglomeration determinants rather than to productivity determinants.

The most direct way to test a theoretical NEG model with pollution would be to identify agglomeration mechanisms taking into account heterogeneous firms according to their amount of polluting emissions. One could, secondly, consider the result, i.e. the local determinants of firm performance with agglomeration as a variable of interest. Our study belongs to the

second category. As we remarked it before, the first one remains mostly descriptive³, while the second has been investigated by Ciccone and Hall (1996), Ciccone (2002) or Combes *et al.* (2008a) for instance, and permits to have guidelines. This approach still gives some intuitions about forces that drive firms to agglomerate and if those who are polluting might benefit in a different way from agglomeration. We test a hypothesis used in theoretical models and an implied aspect contained in theoretical work (for instance, Elbers and Withagen, 2004; Lange and Quaas, 2007; Wu and Reimer, 2016): polluting firms choose less frequently agglomerated areas because they benefit less from agglomeration economies.

4.1.2.2 Evaluation of agglomeration economies

One of the long-term objectives of quantitative evaluation of static agglomeration economies is to figure out if current city size or activities distribution across space is optimal. To do so, one needs to estimate whether firms and workers have an interest to locate in dense areas through obtaining wages or profit premiums.

The usual procedure is to estimate local productivity toward local determinants including a variable of “agglomeration”. More precisely, there are two main possibilities to measure productivity: total factor productivity (*TFP*) or *wage*. Whereas *wage* is an approximation of labor productivity -under perfect competition, *TFP* constitutes a measure of productivity at the firm level. In theory, wage is determined by labor productivity. The multiplicative factor depends on the type of competition setting in which the firm belongs to: the higher the monopoly power, the further wage is from labor productivity⁴. The set of covariates contains local determinants such as market access, local industrial composition and, in particular, a measure of “agglomeration”, which is most often local employment density Rosenthal and Strange (2004), computed as the ratio between the number of employees working in the zone and the zone surface.

In most studies following Ciccone and Hall (1996), the empirical specification uses the logarithm of nominal wage⁵ as the outcome and the logarithm of local density as the key explanatory variable. As usually, the log-log form reduces extreme values weight and the

3. Rosenthal and Strange, (2001) study the agglomeration determinants.

4. This factor might be correlated to local determinants, using *TFP* permits to bypass this issue. However, using *TFP* requires larger amount of firm data and an estimation of production function for which empirical strategy is still discussed in the literature (Combes and Gobillon 2015)

5. The choice of nominal wage has been discussed by Moretti (2004), controlling for land price does not seem necessary.

density coefficients can be interpreted as an elasticity. The basic estimation equation of agglomeration effects in a reduced form can be summarized in the following way:

$$y_{i,t} = Z_{i,t}\gamma + \eta_{i,t} , \quad (4.1)$$

with $y_{i,t}$ being the logarithm of wage, $Z_{i,t}$ the set of covariates (local productivity determinants including the logarithm of density and labor skills), γ vector of estimated coefficients, $\eta_{i,t}$ random residual.

Depending on the study and the empirical specification, 1% increase of local density implies an increase of productivity from 0.03 to 0.08%. In other words, if the local density is multiplied by 2, it implies an increase of local productivity by $2^{0.08} - 1 \approx 5.7\%$ ⁶ for a coefficient of density equals to 0.08 (upper bond).

Most of empirical studies cited above identify the *causal effect* of local determinants on local productivity. If unobserved variables in the residual are correlated with density, OLS estimator of density will be biased. Since Ciccone and Hall (1996), researchers have focused on the endogeneity issue. We present our strategy in the next section. We can identify endogeneity issue with the regression equation (4.1). A positive bias in the estimation of density effect can arise from reverse causality: higher wages $-y_{i,t}-$ may attract more workers and consequently increase employment density- $Z_{i,t}$. Then, missing variables may influence both local productivity and explanatory variables including employment density. For instance, infrastructure amenities may create a positive bias if they are not included in the regression because they may simultaneously increase productivity and attract workers. Omitted variables can also generate negative bias: some amenities as cultural ones may not directly influence firm productivity. Because they attract people, land price increases and pushes firm to use less land with respect to labor. This mechanism affects labor productivity negatively. Moreover, endogeneity concerns may arise from individual level. Workers can self-select in some locations according to unobserved individual variables or choose their location according to expected wage they will receive.

There exists a branch of the literature very critical of the way agglomeration economies is evaluated *à la* Ciccone and Hall (1996). For example, using wage as employment area's

6. As usual, if local density $dens_1$ is multiplied by 2 to achieve $dens_2$, the increase of productivity from w_1 to w_2 is $(2^\beta - 1) \times 100\%$. Indeed, $\ln(\frac{w_2}{w_1}) = \beta \ln(\frac{dens_2}{dens_1}) = \beta \ln(2) = \ln 2^\beta$, we apply exponential function to get: $\frac{w_2}{w_1} = 2^\beta$. It implies that $\frac{w_2 - w_1}{w_1} = 2^\beta - 1$.

productivity has some evident drawbacks: underlying assumption is that through efficient labor market, wage is a good estimation of individual productivity. However, a very few macro territorial elements take into account in such evaluations, and “smaller cities may utilize other attributes and context advantages to boost their locational advantage” (Camagni *et al.*, 2016).

4.1.2.3 Introducing heterogeneity in the specification

The first heterogeneity dimension is the fact that agglomeration economies might not be positive for all cities. Agglomeration phenomenon exists up to a certain level after which dispersion forces become stronger. However, most of empirical studies find a positive impact of density on productivity. Agglomeration economies intensity depends on the level of agglomeration.

A growing amount of papers tends to introduce heterogeneous effects according to sector characteristics (Brulhart and Mathys, 2008), to firms (Combes *et al.*, 2012; Martin *et al.*, 2011), to types of workers (Glaeser and Maré, 2001) or to agglomeration size (Graham, 2007). Sector⁷ heterogeneity has not been so often analyzed in the literature. However, a lot of empirical studies focus on few sectors where agglomeration effects are supposed to be stronger, as manufacturing or R&D for instance. Indeed there exist a large literature on the specificity of R&D sector and the advantages that R&D firms get by locating close to each others. Benefits from innovative activities concentration in R&D has been widely studied (for a literature review, see Carlino and Kerr (2015)). One of the solutions in the particular case of innovation production is to estimate a production function.

However, building a production function for each sector requires a lot of information and might not be relevant because of large diversity of products. Combes *et al.* (2016) suggest in this case two main possibilities to introduce industry approach in econometric study of agglomeration. First, if agglomeration economies are not equally distributed across sectors, we should find that industries are not spatially concentrated in the same way⁸. Second, agglomeration economies are capitalized and can be observed through labor marginal productivity. We choose to follow this approach and to estimate wages according to local determinants.

Brulhart and Mathys (2008) or Foster and Stehrer (2009) conduct a sectoral analysis of agglomeration economies for European countries. Brülhart et Mathys (2008) focus, in partic-

7. Industry and sectors can be considered as synonymous in this chapter.

8. However, this proposition tends to confuse between concentration and agglomeration concepts. Agglomeration is linked to specific dense locations contrary to concentration index. A sector can be spatially concentrated but not located in agglomerated areas.

ular, on manufacturing and financial services. Foster and Stehrer (2009) find that agricultural sector has negative agglomeration economies. That is because density makes land price way more expensive and becomes a dispersion force for agricultural firms. Despite this particular result, these two papers show that there exist positive agglomeration economies for all sectors, but their magnitudes differ according to sectoral features. Contrary to Brulhart and Mathys (2008) or Foster and Stehrer (2009), we exploit sectoral productivity data on a much finer spatial scale.

Other studies focus on sectoral heterogeneity of agglomeration economies. Graham (2007) introduces road congestion in agglomeration economies evaluation in the United Kingdom. He finds that some specific industries show concave relation between density and productivity: manufacturing, construction, hotel trade, transport & storage. In this sense, road congestion can offset 30% of agglomeration economies in the evaluation. Without road congestion, total agglomeration economies would be much higher. However, he also shows that for few sectors like banking or business service, agglomeration economies are constant or increasing with congestion.

Introducing interaction terms

There exist several ways to discuss how agglomeration economies may vary with other factors. While Brulhart and Mathys (2008) or Foster and Stehrer (2009) run several estimations for each sector, Abel *et al.* (2012) or Combes *et al.* (2016) insert an interaction term in their specification that necessarily includes the density variable.

Abel *et al.* (2012) investigate how the magnitude of agglomeration economies on urban productivity varies according to local human capital stock. They find that not only human capital has a direct effect of productivity, but it also increases the positive effect of density on urban productivity. The interaction term is called the density of human capital. Their study is based on all 363 U.S. metropolitan areas data. The authors use the average output per worker between 2001 and 2005 to represent urban productivity. The agglomeration variable uses a population-based density. They show that the positive effect of human capital stock is higher in knowledge-intensive sectors as Service, Information or Finance. As in Combes *et al.* (2016), they introduce individual heterogeneity. The authors insert an interaction term to enlighten heterogeneity both among occupational status and sectors. They try to understand who benefit most from agglomeration economies among workers. More precisely, Combes *et al.* (2016) build two dummy variables: worker's occupational status and worker's sector. Their specification contains an interaction term with the product of these two dummies and

density. In summary, workers with a high wage occupation benefit more from density than the others.

In this chapter, the aim is to stress sectoral heterogeneity on pollution intensity. In this sense, we try to understand how pollution can affect agglomeration economies. The objective is close to Abel *et al.* (2012) and Combes *et al.* (2016): we assess the magnitude of agglomeration economies according to a potential source of heterogeneity.

4.1.2.4 Air pollution in empirical studies

The impact of atmospheric pollution on location in urban context has been evaluated several times for households⁹. However, air pollution in the evaluation of agglomeration economies has been introduced only by Drut and Mahieux (2017). This paper has been determinant in our work. They compare a standard estimation of agglomeration economies with an estimation integrating NO_X emissions. The difference corresponds to the net effect of agglomeration decreased by the pollution effect. As a first step, they find that employment density is negatively correlated with polluting emissions. Once they introduced pollution variable in the estimation, the impact of agglomeration economies decreases by more than 13% compared to standard estimates. The mechanisms behind are the following. Pollution damages labor productivity and higher density decreases pollution. Because they ignored the negative impact of density on pollution, previous studies over estimated the direct impact of density on productivity. Not only agglomeration increases productivity, but also decreases pollution. The latter is the indirect positive effect of density on productivity through a decrease of pollution. Drut and Mahieux (2017) do not introduce a cost of agglomeration, but on the contrary they insert a positive impact of density on productivity that is usually not taken into account (a decrease of pollution through an increase density has a positive impact on productivity). The negative correlation between density and pollution found by Drut and Mahieux (2017) is essential in their work. However, the relation between density and pollution remains an open question in the literature, as we have seen in Chapter 2. In their case, density is computed at the level of employment areas, while they measure pollution at the level NUTS 2¹⁰. Yet, if a negative relation was found between density and pollution, we would get the reverse result: standard agglomeration economies measures are under-evaluated. The relation between density and pollution is not obvious and would deserve deeper analysis (Zeng and

9. We have presented the strategy and the main results of this hedonic price literature in chapter 2.

10. NUTS 2 corresponds to one level of *classification of territorial units for statistics* ;there are 27 NUTS 2 (French regions) over the dataset period they use.

Eastin, 2007; He *et al.*, 2014. Because the authors want to build their analysis on health effect of pollution, they point out that an appropriate indicator could be the number of days when pollution exceeds certain limit.

Drut and Mahieux (2017) focus on NO_X emissions from all sources, knowing that half of NO_X emissions comes from transports in France. Contrary to their study, our dataset covers all sectors but only emissions from highly polluting firms.

China constitutes a contemporary example of *arbitrage* between agglomeration with its benefits and environmental risks. In China, annual environmental cost has been evaluated to 8% of national GDP (Huchet, 2016). Another striking fact concerns the number of most polluted towns in the world: 16 over first 20 are Chinese cities in 2001 (World Bank, 2001). The interest can be seen through the number of recent publications on Chinese data. Nevertheless, French case remains also interesting. In France, plant locations of industries as metalworking or refineries and environmental awareness are older phenomena. These characteristics represent an advantage because we are looking for capitalized effects of density on productivity and of local polluting industrial emissions.

He *et al.* (2014) find contrasted results about the link between density and pollution concentration or emissions. In their work, the relation corresponds to an inverse U-shape: pollution emissions of SO_2 increase up to a certain level of density and decrease afterward. They also analyze SO_2 pollution intensity which corresponds to total annual emissions divided by gross industrial output. While density seems to be mainly positively linked to industrial pollution emissions, it is not the case with pollution intensity. This work makes us aware on the difficulties to get simple results on the links between density and pollution.

4.2 Data and variables

Our dataset covers all French employment areas between 2003 and 2013 in *metropolitan* France. In total, we consider at first: observations with 277 employment areas on 11 years for 79 sectors¹¹. From the dataset DADS, we extract information on number of plants, average wage per sector and employment zones over the period. DADS dataset has the advantage to be exhaustive and reliable on the period. We also exploit IREP dataset in which yearly

11. However, we have in total only 180 763 observations. First, some sectors are not active in all employment zones. Moreover, the number of plants by sector in an employment zone may be very small. In this case, we could not have information on this sector in the employment zone scale because INSEE wants to make sure that we can not identify some specific plant information on wages.

polluting emission information at the plant level is available. Plants belong to this dataset because they are considered as polluting plant and must declare every year their emissions. In the following section, we describe the most commonly used variables in the general framework -without pollution- to estimate the effect of employment density on productivity per worker. We also describe more precisely the *pollution* variable we build for the study.

The choice of spatial unit

A fine spatial scale seems to be determinant to investigate the effects of agglomeration and to identify the effect of polluting firms on agglomeration economies magnitude. We choose to measure productivity and all other variables at the level of *French employment areas*. While numerous studies are conducted at a larger scale with European regions on NUTS 3 level¹² (for example, Ciccone and Hall 2002), or on NUTS 2 level (see Brulhart and Mathys, 2008; Foster and Stehrer, 2009) ; we choose employment areas because agglomeration effects and perception of polluting emissions seem to decrease relatively quickly with distance.

French *employment areas* (“Zones d’Emploi” in French) are defined by INSEE, we choose to work with the latest version 2010 that fits well with our sample. Their borders are defined by economic mechanism as commuting patterns around a city. *Employment areas* are economically homogeneous and have lower border effects compared to administrative units. There are 304 employment areas in our dataset¹³. Using *employment areas*, in this kind of studies, has been initiated by Combes (2000) and adopted by the following works: Di Addario and Patacchini (2008), Combes *et al.* (2010, 2008b, 2012), Drut et Mahieux (2017), among others. An interesting feature of our dataset is that all the variables can be calculated at the same spatial scale, including productivity, pollution and human capital variables¹⁴.

12. NUTS 3 levels corresponds to “*d’épartement*” and NUTS 2 level corresponds to “*région*” in France.

13. We exclude DOM-TOM areas because of boundaries effects and the very different spatial context.

14. Keeping the same spatial unit for measuring productivity and pollution is central. This is a key difference with other paper in the literature.

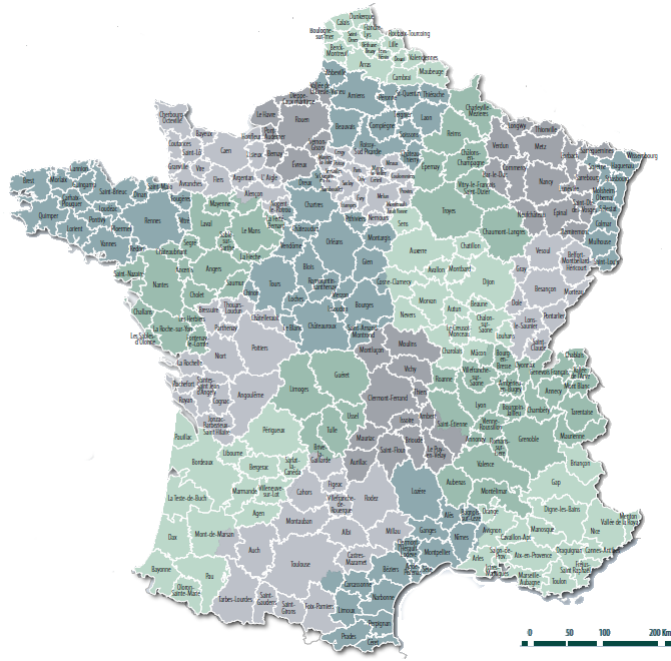


Figure 4.1 – French employment areas, source : INSEE, Datar, 2011

Productivity and density

To assess the impact of agglomeration on productivity, we need some reliable information on the local level of both *agglomeration* and *productivity*. From an empirical point of view, the variable *agglomeration* is usually represented through the outcome, i.e. the *density*. However, we remind that the outcome and the process of agglomeration are different from a theoretical point of view. Because of a large heterogeneity of spatial extent of the geographical units, using a continuous variable such as *density* appears to be the best solution to reduce problems about mis-measurement. This measure has first been introduced by Ciccone and Hall 1996. While density of population has been used, we believe that employment density is more relevant in our study. It better corresponds to the level of local economic activity. Technically, we divide the number of jobs by the surface areas of employment zone.

Then, our measure of *productivity* is based on workplace-based data on nominal wages. We focus our analysis on labor productivity rather than *TFP* for several reasons. First, such information on wages is easily available; moreover, the correlation between these two measures of productivity is very high (Rice *et al.*, 2006) and *TFP* has some notable drawbacks previously noted (section 4.1.2.2 page 178). To our knowledge, this chapter, is the first empirical analysis matching polluting emission from IREP dataset and administrative data on wages (DADS). We match sectoral polluting emission, at the employment zone level, with sectoral wages at the same spatial scale. This matching makes possible the evaluation of the impact of pollution emissions on the amplitude of agglomeration economies for polluting sectors. Number

of jobs and wages by employment areas are extracted from the DADS (Données Annuelles de Déclarations Sociales). The DADS is a declaration procedure which must be completed by all businesses that employ staff. In this document, which serves both fiscal and social administrative purposes, employers provide annually and for every establishment certain information pertaining to their establishments and employees. We first have 86 sectors, but we keep only 79 sectors because locations of agriculture or extractive activities are too dependent on natural resources location. Most variables in our specification such as labor productivity information and quantity of polluting emissions are given at the industry levels.

Finally, to distinguish the agglomeration effect from the scale effect, we add a variable of spatial unit size: the *surface* of employment area from 2010 classification. Indeed, the size of the zone may influence directly productivity, because it represents the extent of local market and a certain ability to create interactions through proximity, with *density* considered as given. In this way, it is easier to understand and identify both density and size impacts¹⁵.

Control variables

In order to get reliable coefficient of density, we introduce other local productivity determinants. *Market potential* of one area is the sum of “market” opportunities raised from all other neighboring zones. Indeed, if a plant wants to trade his production, it will consider all potential buyers around. We expect then a positive effect of market potential on productivity that depends on spatial extent considered. In theory, the home market effect is also a key factor of agglomeration (Krugman, 1991); more precisely, the accessibility to a large market favors agglomeration of economic activities. The *market potential* represents also the fact that agglomeration economies may spill over. Therefore, it takes into account the spatial extent of agglomeration effects, because external markets can influence local productivity.

We define market potential as the sum of the density of the other areas, weighted by the inverse distance to these areas. We use euclidean distance between centroids of employment zones. $MP_{i,t}$ is the market potential of the employment area i at date t is calculated *à la* Harris (1954):

$$MP_{i,t} = \sum_{j \neq i} \frac{dens_{j,t}}{dist_{i,j}}, \quad (4.2)$$

with $dens_{j,t}$ the density of employment zone j and $dist_{i,j}$ the distance between employment areas i and all the others j . As density of the zone, market potential from all other zones is

15. However, to include both variables *surface* and *density* requires to be careful on the interpretations of estimated coefficients; see more details in appendix on this question, page 210.

likely to be endogenous.

The picture is not complete if we do not consider the industrial structure of the local economy. The heterogeneous effect of agglomeration economies can be partially captured by one variable: *diversity*. As *density*, *land area* or *market potential*, the variable *diversity* does not depend on a particular sector, but it is a local determinant of productivity. This indicator is inspired by Jacobs's intuition (Jacobs, 1969): that diversity of firms and sectors favors mutually interesting exchanges in a dense zone. The index of industrial *diversity* is constructed as the inverse of Herfindahl index.

$$Diversity_{i,t} = 1/H_{i,t} ,$$

with $H_{i,t} = \sum_s \frac{emp_{i,t,s}}{emp_{i,t}}$ the Herfindahl index, and $emp_{i,t,s}$ number of jobs of employment area i in sector s at time t .

We are conscious that Herfindahl index has some drawbacks. For instance, its values are influenced by the number of sub-categories, i.e. the number of industries (as we choose relatively detailed industry classification). Moreover, it doesn't take into account productive concentration by considering the number of plants and their size per industry. Yet, several arguments encourage us to use this index. First, it is the most commonly used in this literature (a few examples among others: Combes *et al.*, 2008b; Martin *et al.* 2011; Drut and Mahieux, 2017) and it allows to compare with benchmark studies. Thus, using an index like Ellison and Glaeser (1997), which controls for productive concentration, would add a source of bias with the productivity variable. Indeed, industry level of productivity may influence plant size and productive structure in the sector.

Education variables complete our set of control variables, with the aim to introduce human capital externalities. To build those variables, we use data from General Census of Population fully available on INSEE website at municipality level for population above 16 years old. We extract information on years: 1999, 2006 and 2011. Five categories of schooling achievements are established: *Without diploma*, *Middle school*, *High school* and *University*. To fit with the dataset 2003-2013, we identify levels of schooling for each employment zone and for each year in this way: 2003 to 1999 level, 2004-2008 to 2006 level, 2009-2013 to 2011 level.

Without considering such variables, we would overestimate the effect of density over productivity. Indeed, since education is one of the main local determinant of productivity, omitting

this variable could lead to mis-identification of density effect¹⁶. However, we are aware that education might be endogenous: a high wage city can locally provide better education.

Pollution by sector

The study focuses on the years from 2003 to 2013 because data on polluting emissions are available on this period. IREP dataset is fully available on line¹⁷ and contains yearly declarations of emissions from the main polluting plants in France.

Regional services of Environment Ministry audit polluting plants and assess their data reports. We keep only the 9 atmospheric polluting emissions among other polluting emissions and wastes reports¹⁸. We use the following list of IREP dataset pollutants: carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO_2), methane (CH_4), lead (Pb), mercury (Hg), cadmium (Cd), nitrogen oxide (NO_X), sulfur oxide (SO_X) and solvents and other volatile organic compounds ($COVNM$). These 9 pollutants are the most represented in terms of numbers of emitting plants in the IREP dataset. For every pollutant above, *Pollutant* variables count all the emissions from IREP plants in each sector and employment zone, emitted in one year.

Table 4.1 shows general classification of polluting emissions we chose to focus on. It displays three main categories established by CITEPA (2013).

Table 4.1 – Overview of polluting emissions and their consequences

	Pollutants
Acidification and eutrofication	SO_2 , NO_X , $COVNM$, CO
Greenhouse effect	CO_2 , CH_4
Metal contamination	Cd , Pb , Hg

Table 4.2 gives an overview of sectoral sources for polluting atmospheric emissions in our dataset. These features depend partially on plants that are present in IREP dataset. Two main sources are not included in our study: residential and individual transport emissions. However, one can observe that such information shares common trends with CITEPA (2013)

16. Stock of human capital is considered as exogenous in our work. We need individual data to go beyond this hypothesis. Sorting effect may play an important role in this case (Combes *et al.*, 2010), that is why the use of individual level data -if available- can permit to control for this source of heterogeneity.

17. On the website <http://www.georisques.gouv.fr>. This dataset has been very rarely used in empirical work. One exception is the work of Mastromonaco (2015) for equivalent US data in which he evaluates the market effects of the information availability on house market. The US program is called *Toxic Release Inventory*. In the French case, Caudeville et Rican (2016) employ IREP dataset to assess spatial and social inequalities toward environmental risks.

18. Our dataset is valuable for several reasons: first, agencies check the authenticity of emission reports. We also believe that information of this dataset is meaningful because these reports are partially used to levy tax called TGAP (see appendix in Chapter 3 for more details, page 174) depending of the levels of pollution emissions for Sulfur oxide, Hydrochloric acid, Nitrogen oxide, Non-methane hydrocarbons, Solvents and other volatile organic compounds, fine particulates (PTS), polycyclic aromatic hydrocarbons.

data concerning emissions from firms, which is the French reference in terms of atmospheric pollution emissions.

Table 4.2 – Polluting emissions by sector of IREP plants in 2003 (in percentage)

	CH_4	CO	CO_2	$COVNM$	Cd	NO_X	Pb	SO_2
Manufacturing with coking	0,68	23,31	14,80	19,10	4,20	9,54	0,66	13,87
Chemical and metal-working	16,49	75,14	72,73	74,17	87,49	79,07	94,38	84,81
Electricity and water	74,02	-	9,17	3,10	6,67	8,09	2,39	0,90
Storage, trade and others	-	-	0,16	0,88	-	-	-	-
Services	0,47	-	2,19	2,76	-	2,81	0,11	0,13
Administration, public service	8,34	-	0,56	-	-	0,28	0,12	-
Creative activities	-	-	-	-	-	-	-	-

To summarize, heavy metal contamination is mainly issued from manufacturing and chemical. Metalworking industry is the first sector for pollutants Pb and Cd , while Hg is mainly emitted in chemistry. Then, among pollutants that generate acidification and eutrofication, the first emitters are the following: coking for SO_2 emissions, non metal mineral industry for NO_X , manufacturing industry for $COVNM$ and metalworking for CO . Finally, if CH_4 is mostly emitted by waste-processing industry (except farming, not included in our dataset), chemistry and mineral industry represent the most important emitters of CO_2 . This information depends on our dataset where residential and transport are not concerned. As discussed in the introduction, industrial emission levels have decreased and the repartition among sectors has changed since 2003.

4.3 Empirical strategy

We test the following conditional hypothesis: do agglomeration economies decrease with the industrial polluting atmospheric emissions? To do so, we implement agglomeration economies evaluation with an interaction term and exploit a panel data set measuring local wage at the sectoral level between 2003 and 2013. For the main industrial pollutants, we use the sectoral quantity of pollutants emitted as an indicator of the degree of pollution. To identify this effect, we exploit two sources of variability: among employment areas-*spatial variability* and among years-*time variability*. Since we look at the causal impact of agglomeration on a local outcome such as the wage level, we face endogeneity bias on our main explanatory variables.

To tackle this issue, we implement an instrumental strategy which geological and instrumental variables.

4.3.1 Our empirical specification

We regress sector average wage on employment density at French employment zone scale. We add several control variables such as: market access, index of sector composition and local skill composition. All variables are measured at industry and employment areas levels, calculated with log to get marginal effects and to smooth our data. Using variables in log also allows to compare our results with the majority of prior studies using log-log specification. The general specification is the following:

$$\log w_{ist} = \beta_0 + \beta_1 \log dens_{it} + \beta_{30} \log MP_{it} + \beta_{31} \log area_i + \beta_{32} \log div_{it} + \beta_{33} X_{it} + \gamma_s + \mu_t + \epsilon_{ist}, \quad (4.3)$$

where w_{ist} is the average wage in employment zone i , $dens_{it}$ represents the employment density in zone i , $area_i$ its surface, X_{it} corresponds to local human capital endowment, γ_s and μ_t are respectively an industry fixed effect and a time fixed effect, and ϵ_{ist} the error terms.

Table 4.3 displays the correlation between variables. As expected the variable *productivity* is positively correlated with local *density*, which is a necessary condition for positive agglomeration economies. All the other variables seems to have a positive correlation with *productivity*, except *area*, which is insignificant. We can also notice that *market potential* is highly correlated with *density* and it suggests a strong interconnection between both variables. As Jacobs (1969) predicted, the index of *diversity* is also positively correlated to *productivity*. We use

Table 4.3 – Correlation matrix

variables	$\log w$	$\log dens$	$\log MP$	$\log area$	$\log div$
$\log w$	1				
$\log dens$	0,265 ***	1			
$\log MP$	0,1642***	0,493***	1		
$\log area$	0,0025	-0,327 ***	- 0,399***	1	
$\log div$	0,1491 ***	0,389 ***	0,133***	0,307***	1
* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$					

two types of fixed effects. We consider year fixed effects to control for economic phenomena and temporal shocks that affect all sectors. For instance, the economic crisis of 2008 decreases production and therefore polluting emissions. Moreover, pollution emissions have also been reduced over this period because of an increase of general awareness toward environmental

damages and the raise of regulations in Europe. Such temporal phenomena cannot disturb our estimation if we introduce year fixed effect¹⁹.

Then, industry fixed effects are introduced. Industry fixed effects allow us to focus on pollution effect and to make our results independent from sectoral structures (Martin *et al.*, 2011; Combes *et al.*, 2008b, 2016). For instance, waste processing industry and sector of R&D have very different production strategy and the magnitude of sectoral agglomeration economies would be impacted by industry structures. Yet, we need to isolate the effect of polluting emission levels from industry structure effect.

Finally, in order to identify the effect of density on local productivity, we analyze the variability of density across employment areas. With the same reasoning, to establish whether polluting emissions have an effect of agglomeration economies, we use “between employments areas variability” of polluting emissions within a sector.

Why we do not control for local fixed effects?

Even if it would permit to control all unobserved local determinants of productivity, we choose not to introduce local fixed effect for the same reasons. Even if it would permit to take into account all unobserved local determinants of productivity (such as historical amenities), local fixed effects have serious limits in this context. First, if the specification includes local fixed effect, the estimation of density effect is built on time-related variation of density. As we explained it before, variability of density is likely to be tracked by measurement errors. Second, inserting local fixed effect is not sufficient for tackling the endogeneity issue. Indeed, it only address the endogeneity from all local unobserved features that were omitted. Local fixed effects do not help tackling reverse causality.

4.3.2 Specification with polluting emissions

We want to fit as much as possible to the results of NEG models with polluting firms. The aim is to explore whether pollution emissions affects economics agglomerations. Do benefits for an industry to locate in a dense areas decrease with its amount of pollution emitted? Contrary to Drut and Mahieux (2017), our purpose is not to assess the impact of the local level of pollution on local productivity²⁰, but rather to evaluate the extent to which agglomeration economies are lower for polluting sectors.

19. We need to suppose that the crisis affected all sectors in a similar way. This assumption is frequently made in such studies (for instance Combes *et al.*, 2008b).

20. In chapter 2, we presented literature trying to assess pollution impact on productivity and empirical challenges to identify pollution effects on worker productivity.

To figure out whether generating pollution decrease the benefit of agglomeration for polluting firms, we look at the effect of the variable *pollution* on agglomeration economies. We introduce the variable *pollution* in an interaction term with *density*. For each pollutant, the specification is the following:

$$\log w_{is} = \beta_0 + \beta_1 \log dens_i + \beta_2 \log dens_i \times \log pollution_{is} + \beta_3 \log pollution_{is} + \beta_4 X_i + \gamma_s + \mu_t + \epsilon_{ist}, \quad (4.4)$$

where $pollution_{is}$ represents the level of pollution emitted by sector s in employment zone i , and x_i represent all control variables at the employment zone scale. In this section, we are interested in the coefficients β_1 and β_2 , because they measure agglomeration economies accounting for polluting emissions effects. To sum up, we assess how the relationship between agglomerations and the sectoral productivity varies with the amount of pollution emitted by the sector.

4.3.3 Dealing with the endogeneity of local density

In the literature, two types of endogeneity concerns are specified: local and individual levels of endogeneity. First, at the local level, two sources of potential endogeneity threaten our identification strategy: missing variables and reverse causality. There might be local factors influencing both density and productivity that are difficult to capture. An area with a high average productivity attracts firms and workers, which increases density. GMM estimator with panel dataset could also be a way to correct for unobserved heterogeneity, however, it is not pertinent in our case²¹. Second, endogeneity issues at the individual levels will not be treated in this chapter because of data availability issues. Yet, there might be for instance some self-selection due to unobserved abilities.

21. Despite our panel dataset, we do not use panel dimension for several reasons. First, exogeneity of GMM instruments appears to be very problematic in our case. GMM approach uses lagged values of the variables of interest as instruments. The variable $Density_{i,t}$ in each area i at date t is clearly serially correlated. One solution could be to increase the lag, but it does not fit to our dataset. Indeed, GMM approach implies to restrict already to 8 over 10 years time period, because the two first years would be used for instrumentation. The restriction will be higher if we increase the lag. Second, as we have a relative short period of time, time variability of employment area density is low and not meaningful.

Moreover, we do not use GMM because this method captures only short-run variations, and we prefer to focus on long-term variations. From an economic point of view, short-run variations are not our purpose in this work because we want to identify capitalized agglomeration economies in wage - variations that might be influenced by the presence of polluting firms. To sum up, although panel data is an usual strategy toward endogeneity issue, it is not an appropriate method in this chapter due to the time span of our dataset and due to our problematic.

In a NEG model, productivity and agglomeration reinforce each other. So it would not be realistic to consider the level of agglomeration as exogenous in this empirical study. Endogeneity issues bias the estimate of the coefficient for three of our main variables: density, market potential and interaction term. We need to choose the best way to tackle this endogeneity bias. According to our dataset and in line with previous literature, we conduct an empirical strategy based on instrumental variables. We instrument endogenous variables with historical values of density (Ciconne and Hall, 1996) and geological variables (Rosenthal and Strange, 2008). An appropriate instrument should be correlated with instrumented variable *density*, but not correlated with the error terms, i.e. not correlated with missing local determinants and not explained by *productivity*.

Historical instruments

We use population densities from 1831 and 1861 for each current employment area²² to instrument employment *density* and the same values divided by the inter-zone distances to instrument *market potential*. Historical data on density or population are highly linked to current values of density. Indeed, some factory plant locations or housing of 19th remain until today, and they create at least a certain inertia in terms of density (Combes *et al.*, 2010). To be an accurate instrument, historical values should not be correlated with current local productivity. It is likely to be the case if we consider some historical instruments with a long lag. Because economy structure has changed deeply and several shocks as war have occurred since 1831, labor productivity should not be correlated with these historical instruments²³. With table 4.4, we can see that log *density 1831* and log *density 1861* are good predictors of current log *employment density*.

Table 4.4 – R^2 of univariate regressions: Historical values

	log <i>employment density</i>
log Density 1831	0.196
log Density 1861	0.236

Nb of observations: 277

22. These data are extracted from Guerin-Pace (1993) with her permission.

23. We are conscious that there exist a growing trend criticizing historical instruments of density. For instance, according to Redding (2010), institutions, some natural endowments or good climate are very long lasting. These might represent omitted variables influencing both productivity and instruments. For the same reason, cultural and historical amenities may create a phenomenon of sorting. These instrument seem to offset only partially this issue. Historical censuses were conducted for any municipality with population above 5000 inhabitants. We drop employment zones for which historical values are not available, 277 employment zones remain.

Geological instruments

Geological variables come from the European Soil Database (ESDB) and include soil features, altitude, water stocks and many other characteristics. Those variables had a great impact on past population location because agriculture activities strongly contributed to the emergence of cities. Then, geographical variables on soil do not directly affect the labor demand or the current productivity in most sectors. One exception might be farming but this sector is excluded from the dataset. Moreover, agriculture weight in national economy decreased sharply and the land fertility does not drive local wealth anymore. Combes and Gobillon (2015) point out that geological instruments do not have as strong explanatory power as historical instrument. However, the over identification test is relevant if we have instruments of different nature and not only past population densities as instruments. Moreover, our results are very unlikely to be impacted by a violation of the exclusion restrictions since we test for the stability of our coefficient by switching among different instruments.

All geological variables, cited below in table 4.5, are composed of several dummies. We regress *log employment density* against the 6 sets of variables. Then, we choose to present only the R^2 for each regression to compare the prediction power, in comparison with historical variables. In general, we can notice that geological instruments do not predict as well as historical instruments *log employment density*. Yet, three of them seem to explain relatively well employment density (see tables 4.5): Depth to rock, Dominant parent material and Subsoil water capacity.

Table 4.5 – R^2 of univariate regressions: Geological values

	<i>log employment density</i>
Depth to rock (3 dummies)	0.131
Subsoil water capacity (6 dummies)	0.139
Soil differentiation (4 dummies)	0.126
Soil erodibility (5 dummies)	0.129
Topsoil mineralogy (6 dummies)	0.127
Dominant parent material (14 dummies)	0.132

Nb of observations: 277

Table 4.6 displays the first stage of the 2SLS estimation: it the OLS regressions of the endogenous variable on our instruments. We do not report all coefficients for every dummies; however, it must be noted that at least one dummy for every set of instruments is significant at 5%. Partial R^2 are reported in columns (1) to (8). We develop a weak instrument tests (Stock and Yogo, 2005) with the F-test reported in the table. Because results of F-test are

clearly above the critical threshold suggested by Stock and Yogo (2005), historical values of population can be considered as strong instruments of employment density. Geological instruments have F-test results that confirm the fact they are weaker instruments (Combes *et al.*, 2010). At the end, we will only keep Depth to rock and Soil erodibility, which have a F-test above the threshold established by Stock and Yogo (2005). The variable *market potential*

Table 4.6 – First Stage estimates of Density

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
log Density 1831	0.019*** (0.002)							
log Density 1861		0.020*** (0.002)						
Depth to rock	-	-	✓	-	-	-	-	-
Subsoil water capacity	-	-	-	✓	-	-	-	-
Soil differentiation	-	-	-	-	✓	-	-	-
Soil erodibility	-	-	-	-	-	✓	-	-
Topsoil mineralogy	-	-	-	-	-	-	✓	-
Parent material	-	-	-	-	-	-	-	✓
R squared	0.196	0.236	0.131	0.139	0.126	0.129	0.127	0.132
F-test	67.23	84.94	13.72	8.774	13.07	8.013	7.819	3.338

Note: Dependent variable: log (employment density); Standard errors in parentheses, and * = $p < 0.10$, ** = $p < 0.05$, and *** = $p < 0.01$; nb of observations: 277

and the interaction term -in the second specification with pollution (see equation (4.4))- are plagued by the same endogeneity issue: we need to instrument them as well. In total, we will treat this identification issue on three potentially endogenous variables.

The instrument of *market potential* will use spatial lags of historical values (see equation (4.2), page 186). Moreover, we need to define a relevant instrument of the interaction term. Abel *et al.* (2012) investigate how education achievement influences urban economies and face the same problem. To construct a relevant instrument, they use the instrument of density multiplied by education term to build the instrument of interaction term. We will proceed in the same way to instrument our interaction term : : instrument of density multiplied b pollution.

4.4 Results

We present the aggregate results and pollutant specific results in the following sections. The first section aims to present the results of the basic framework of agglomeration economies evaluation. Then, we introduce our variable of interest with an interaction term to check whether agglomeration economies vary with polluting emissions.

4.4.1 Aggregated effects

General results are displayed in table 4.7 that is composed of 7 columns, one by regression. The method followed in the first three columns assumes that *density* variable is uncorrelated with the error term. However, as we explained in section 4.3.3, several bias can occur. To tackle this problem, we insert two types of instrument, both at the employment zone spatial scale: historical population density and geological variables. For the geological variables, we keep the local indexes of depth to rock and soil differentiation because of the outcomes of F-test cited above. We check that our estimation strategy is consistent to a change of instruments. Indeed, when we introduce each instrument one by one, the coefficient of density remains similar. It attests that the results are not too local and that the exclusion restrictions is very unlikely to be violated. Because the instruments based on historical values show stronger explanatory power, we keep them for the rest of the study.

Table 4.7 shows that employment density clearly favors labor productivity, the coefficient is significant at 1% level for all our specification. Following density variable, all control variables have a positive influence on productivity. Differences in the level of agglomeration are high among employment zones in France. We find that the interdecile ratio $\frac{P_{90}}{P_{10}}$ is around 10 in 2003. For instance, following specification (1), predicted agglomeration economies are 14% higher for the employment zone of Mulhouse (P90) than for the employment zone of Auch (P10)²⁴.

Beside non negligible effect on density coefficient, industry fixed effects increase sharply the R^2 (from column (1) to column (2)). Such result also confirms the interest to insert both year and industry fixed effects in the estimation. To introduce local human capital makes employment density effects smaller as suggested by Combes *et al.* (2011a).

The coefficient of *density* decreases from 0.055 (see columns (2)) to 0.043 (see columns (4)) once we take into account endogeneity through historical instruments, in accordance with the literature. We also account endogeneity bias that can affect the variable *market potential*. Our instrumentation strategy affects a little less its coefficient with a decrease from 0.041 to 0.038, considering the regressions without education.

To sum up, we choose to interpret the results of column (7) because endogeneity issue on density has been treated and human capital is included as a control variable. We think regression (7) captures well the treated mechanisms and constitutes the best regression at this stage. We can read the coefficients of column (7) in the following way. In the regression of

24. We follow Combes et Lafourcade (2012) and apply the following formula: $\left(\frac{P_{90}}{P_{10}}\right)^{\beta_1} - 1 \times 100$.

Table 4.7 – Aggregate Agglomeration Effects

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	OLS			2SLS			
				$\log w_{is}$			
log Density	0.063*** (0.003)	0.055*** (0.003)	0.029*** (0.003)	0.043*** (0.007)	0.062*** (0.014)	0.066*** (0.010)	0.022*** (0.005)
log Market potential	0.042*** (0.008)	0.041*** (0.008)	0.051*** (0.005)	0.038*** (0.011)	0.050* (0.029)	0.039** (0.020)	0.047*** (0.007)
log Area	0.037*** (0.003)	0.029*** (0.003)	0.012*** (0.003)	0.020*** (0.004)	0.035*** (0.007)	0.035*** (0.007)	0.006* (0.003)
log Diversity	0.019* (0.011)	0.014 (0.011)	0.021** (0.010)	0.045*** (0.014)	-0.004 (0.027)	-0.010 (0.022)	0.032*** (0.011)
Middle school			-0.658*** (0.185)				-0.649*** (0.189)
High school			0.466** (0.198)				0.417** (0.211)
University			0.515*** (0.072)				0.612*** (0.076)
Historical instrument	–	–	–	✓	–	–	✓
Soil differentiation	–	–	–	–	✓	–	–
Depth to rock	–	–	–	–	–	✓	✓
Year fixed effect	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Industry fixed effect	–	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Observations	187,856	187,856	187,856	187,856	187,856	187,856	187,856
R-squared	0.181	0.635	0.643	0.633	0.634	0.634	0.642

This table reports the OLS (1-3) and 2SLS (2-5) regressions coefficients of employment density over sectoral wages. The local level of density is instrumented by local historical urban population in 1831 and 1861 and geological variables described at the employment zone scale, market potential is instrumented by spatial lags of urban population in 1831 and 1861. The sample is restricted to employment areas with non-null urban population in 1831 (277 employment zones). All regressions include a constant. Standard errors are in brackets and they are clustered at the employment area level; * = $p < 0.10$, ** = $p < 0.05$, and *** = $p < 0.01$.

aggregate agglomeration economies with instrumental variables, an increase of 1% in density implies an increase of 0.022 % in local labor productivity. In other words, predicted agglomeration economies are 4 % higher for the employment zone of Mulhouse (P90) than for the employment zone of Auch (P10). Concerning the control variables, human capital variables have the expected positive effect on labor productivity. We take the value “*Without Diploma*” as the reference. For instance, an increase of individuals with a high school or a university degree favors local productivity, compared to those without any diploma²⁵. *Market potential* is positive and highly significant: 10% of increase in *market potential* implies 0.46 % in *productivity*. The surface of the zone does not have a very significant coefficient, mostly because of the variable definition (see appendix, page 210): an increase of 10% in surface induces a 0.06 % increase of productivity. In the literature, the variable can have some contradictory results. Our study tends to confirm Jacobs (1969)’s intuition and we find that a 10% of increase in diversity implies 0.32 % increase in productivity.

4.4.2 Agglomeration and polluting emissions

4.4.2.1 Interaction between agglomeration and pollution

In section 4.1, we see that pollution affects the amplitude of agglomeration economies. To assess empirically this prediction, we estimate the impact of pollution emissions on agglomeration economies ; we remind the rationale behind this specification in the following equation:

$$\log w_{is} = \beta_0 + \beta_1 \log dens_i + \beta_2 \log dens_i \times \log pollution_{is} \\ + \beta_3 \log pollution_{is} + \beta_4 X_i + \gamma_s + \mu_t + \epsilon_{ist},$$

For each sector s in location i , we introduce an interaction term between the total quantities emitted by sector s in location i and the local density in location i .

Table 4.8 displays the results of our interaction specification for 9 pollutants. As explained in detail by Brambor *et al.* (2005), coefficients in interaction models should not be interpreted independently. To interpret the interaction terms, we need to consider that the condition *Pollution* modifies the effect of density on productivity and calculate proper marginal effects. In table 4.8, we see that 4 over 9 pollutants have an interaction term negative and significant.

25. We remind that the magnitude of each control variable coefficients is not our aim ; yet, we will focus on heterogeneous pollution effect of agglomeration economies.

To be able to interpret the results, one needs to focus on graphs presented in figure 4.2.

Figure 4.2 illustrates how the marginal effects of agglomeration on sectoral productivity change with the sectoral level of pollution. Any particular point on the black lines corresponds to:

$$\frac{\partial w_{is}}{\partial \text{Density}_i} = \beta_1 + \beta_3 \log \text{Pollution}_{is},$$

with β_1 and β_3 corresponding coefficients of the empirical specification equation (4.4) (page 192).

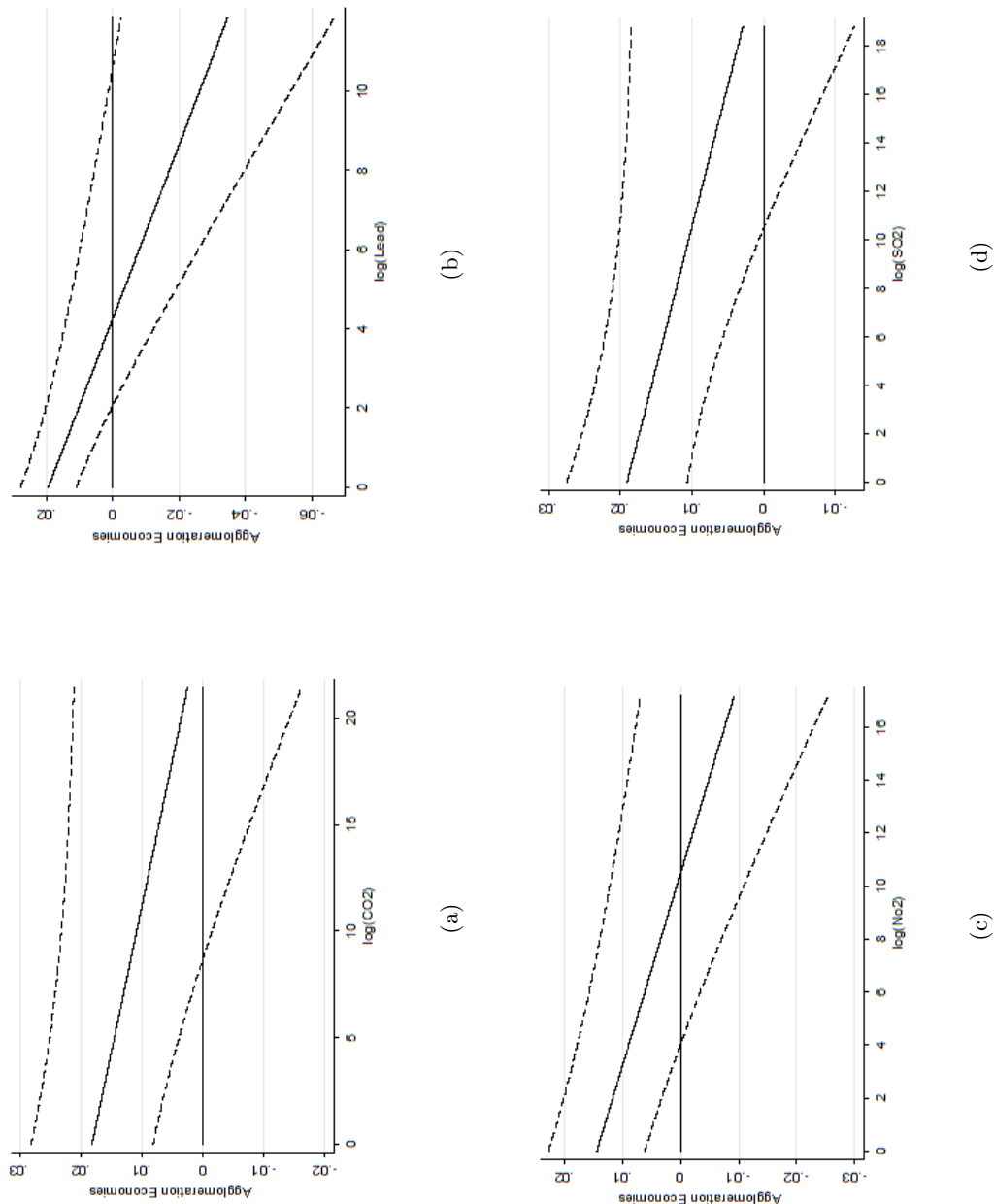
The dotted line depicts the 5 % confidence interval. Figure 4.2 is very informative on the magnitude of agglomeration economies. For non-polluting sectors economic agglomeration is high and highly significant. For instance, figure 4.3b shows that agglomeration economies are around 0.02%, meaning that an increase of 10 % in the level of local density lead to an increase of labor productivity around 0.02 % for non-polluting sectors). However, sectoral agglomeration economies shift towards zero as sectoral pollution increases. For instance, figure 4.3b shows that, if a sector emits more than 70 grams of lead per day, then his agglomeration economies are around zero. For very high level of sectoral emission, agglomeration economies turn out to be negative. For instance, for high levels of *lead* pollution, figure 4.3b wages decrease with agglomeration (negative agglomeration effects significantly different from zero). The intuition is the following: given the risks of lead pollution, less dense places clearly represent a better alternative for productivity for those sectors using lead. We find similar results for others source of pollution such as: CO_2 , SO_2 , and NO_2 .

Table 4.8 – Interaction between Sectoral Pollution and Agglomeration

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	CH_4	CO	CO_2	COVNM	$\log w_{i,s}$ with 2SLS				
					Cd	Hg	NO_2	Pb	SO_2
log Density	0.020*** (0.005)	0.020*** (0.005)	0.019*** (0.005)	0.019*** (0.005)	0.020*** (0.005)	0.020*** (0.005)	0.020*** (0.005)	0.020*** (0.005)	0.020*** (0.005)
log Pollution	0.002 (0.001)	0.000 (0.001)	-0.001* (0.000)	0.000 (0.000)	-0.000 (0.002)	-0.008* (0.004)	-0.001*** (0.001)	-0.004*** (0.002)	-0.001 (0.001)
log Pollution $\times$ log Density	0.005*** (0.001)	0.009*** (0.001)	0.008*** (0.001)	0.006*** (0.001)	0.015*** (0.003)	0.026*** (0.004)	0.009*** (0.001)	0.013*** (0.002)	0.010*** (0.001)
log Market potential	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)
log Area	0.005 (0.004)	0.005 (0.004)	0.004 (0.004)	0.005 (0.004)	0.005 (0.004)	0.005 (0.004)	0.005 (0.004)	0.005 (0.004)	0.005 (0.004)
log Diversity	0.031*** (0.011)	0.032*** (0.011)	0.031*** (0.011)	0.031*** (0.011)	0.031*** (0.011)	0.031*** (0.011)	0.031*** (0.011)	0.031*** (0.011)	0.031*** (0.011)
Middle school	-0.710*** (0.198)	-0.708*** (0.199)	-0.679*** (0.198)	-0.693*** (0.197)	-0.713*** (0.199)	-0.709*** (0.199)	-0.695*** (0.198)	-0.708*** (0.199)	-0.702*** (0.198)
High school	0.391* (0.219)	0.389* (0.220)	0.395* (0.220)	0.402* (0.218)	0.390* (0.219)	0.390* (0.220)	0.386* (0.220)	0.389* (0.220)	0.389* (0.219)
University	0.623*** (0.075)	0.623*** (0.076)	0.631*** (0.076)	0.627*** (0.075)	0.622*** (0.075)	0.623*** (0.075)	0.627*** (0.076)	0.624*** (0.076)	0.626*** (0.075)
Year fixed effect	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Industry fixed effect	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Observations	187856	187856	187856	187856	187856	187856	187856	187856	187856
R-squared	0.638	0.638	0.640	0.639	0.638	0.638	0.639	0.638	0.639

This table reports the 2SLS (1-9) regressions coefficients of employment density over sectoral wages. The local level of density is instrumented by local historical urban population in 1831 and 1861, market potential is instrumented by spatial lags of urban population in 1831 and 1861. The sample is restricted to employment areas with non-null urban population in 1831. All regressions include a constant. Standard errors are in brackets and they are clustered at the employment area level; * = $p < 0.10$, ** = $p < 0.05$, and *** = $p < 0.01$.

Figure 4.2 – Interaction model: Impact of pollution emissions on economics agglomerations



These plots (cf. figure 4.2) display the effect of sectoral level of emission on economics agglomeration. They illustrate how the marginal effect of density on wages changes with the sectoral level of emission. Any particular point on the black lines corresponds to: $\frac{\partial w_{is}}{\partial \text{Density}_i} = \beta_1 + \beta_3 \log \text{Pollution}_{is}$. The dotted line depicts the 10 % confidence interval.

To sum up, as sector polluting emissions increase, firms belonging to this sector will benefit less from agglomeration. However, our results might be biased due to the endogeneity of pollution. In following subsection, we discuss this potential bias and propose a strategy to deal with this issue.

4.4.2.2 Dealing with the endogeneity of pollution

Our measure of the local sectoral degree of pollution (namely variable pollution_{is}) is potentially endogenous. There may exist some omitted variables that influence both local labor productivity and local polluting emissions. For instance, a local negative economic shock can affect both local wages in a specific zone, and pollution emissions via a decrease in the final demand for goods.

A suitable strategy to address the endogeneity issue is to use variations in pollution emission that is a plausibly exogenous to the evolution of the local sectoral context. We instrument the local level of pollution in a specific sector by a *shift-share* instruments²⁶. With *shift-share* methodology, we consider that pollution *shift* is constituted of several components (or *share*, hence the name of the methodology). Change of our *shift-share* instrument contains variations that are uncorrelated with possibly endogeneous local-industry component. Our instrumental variable approach focuses on national year-to-year changes in pollution emission. This strategy is based on the following idea: national variations in polluting emissions are uncorrelated with some specific local economic shocks. Yet, such variations are more related to technical progress, e.g. "green" technical progress. National changes in pollution emissions are translated into expected levels of pollutant emissions by sector and employment zones. We use the levels of local sectoral emissions in 2003 to construct the predicted local levels of emissions. The formula is the following:

$$\widehat{\text{Pollution}_{ist}} = \text{Pollution}_{is,2003} \times (1 + \Delta \text{Pollution}_{fr,2003-t}) ,$$

26. Shift-share instruments are popular in labor economics. Since Bartik (1991), local employment growth rate is instrumented by its prediction: an interaction between local industry employment shares with national industry employment growth rates.

where $\widehat{Pollution}_{ist}$ is the predicted quantity of pollutants emitted by sector s in the employment area i and year t . $\Delta Pollution_{fr,2003-t}$ are the national rates of emission growth between 2003 and year t . $Pollution_{is,2003}$ is the level of emitted pollutant in location i in the sector s for the year 2003. In this dataset, 2003 constitutes the first year for which such geographic detail is available.

This prediction is independent from local specific sectoral shocks. Two identification assumptions are made. First, we assume that the initial pollution in 2003 is not influenced by some omitted variables affecting local productivity in the future. The second identifying assumption is the following: national rates of emission growth are not influenced by the quantity emitted by a particular sector in a particular spatial zone. Such assumption is easily fulfilled, since no local sector is sufficiently large to track national rates of emissions. We construct such predicted pollution for all of our nine pollutants.

Table 4.9 shows the first stage of the 2SLS estimation. In the first stage, actual levels of emission of sector s in area i are regressed on the predicted levels of emission and the other control variables in table 4.8. All instruments are highly significant. Partial F-test critical values for the excluded instruments vary between 240 to 35 depending on the pollutants. All instruments are above critical values tabulates by Stock et Yogo (2005); therefore, we can predict sectoral levels of pollutants by using the national rates of emission growth.

Table 4.10 presents the basic results using instrumental variables. Pollution is instrumented by the fitted values obtained from the regressions in table 4.9. Results are broadly similar to those in the specification in which pollutant emissions are not instrumented (see table 4.8). The interaction term of CO_2 , lead and NO_2 are still significant and keep the same magnitude. However, once SO_2 emission is instrumented, its interaction term and degree of agglomeration are no longer significant. Coefficients after instrumentation of Hg (mercure) and Cd (cadmium) -heavy metal contamination- are now significant. Generally, the stability of our coefficients across specifications demonstrate that our findings are not tracked by endogeneity issues.

Table 4.9 – First Stage Estimates of Local Sectoral Level of Pollution

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)	(9)	(10)
	$CH_{4,ist}$	CO_{ist}	$CO_{2,ist}$	$COVNM_{ist}$	$C'_{d,ist}$	Hg_{ist}	$NO_{2,ist}$	Pb_{ist}	$SO_{2,ist}$
log Predicted Pollution	0.598*** (0.039)	0.459*** (0.082)	0.681*** (0.019)	0.551*** (0.021)	0.427*** (0.073)	0.509*** (0.073)	0.683*** (0.030)	0.453*** (0.041)	0.788*** (0.044)
Control variables	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Industry fixed effects	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Year fixed effects	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
F-Test	234.9	31.52	1326	677.2	34.46	48.02	517.3	121.4	323.6
Observations	171054	171055	171056	171057	171058	171060	171061	171062	171063
R-squared	0.335	0.186	0.499	0.355	0.056	0.242	0.474	0.185	0.427

The table shows the regressions of emission of pollutants for sector s located in area i for year t on the predictions (instrumental variables).

Control variables are variables present in table 4.8, namely local level of density, Market Potential, Area, Diversity, Middle School, High School and University.

In 2003 (ie. reference year in our instrumental strategy), for some area and some sector, there are only one polluting firms by observation. We delete those observations. They do not constitute a credible baseline for our specification, because they are too dependent on the situation of a specific firms. Thus, the number of observations is not constant between pollutants.

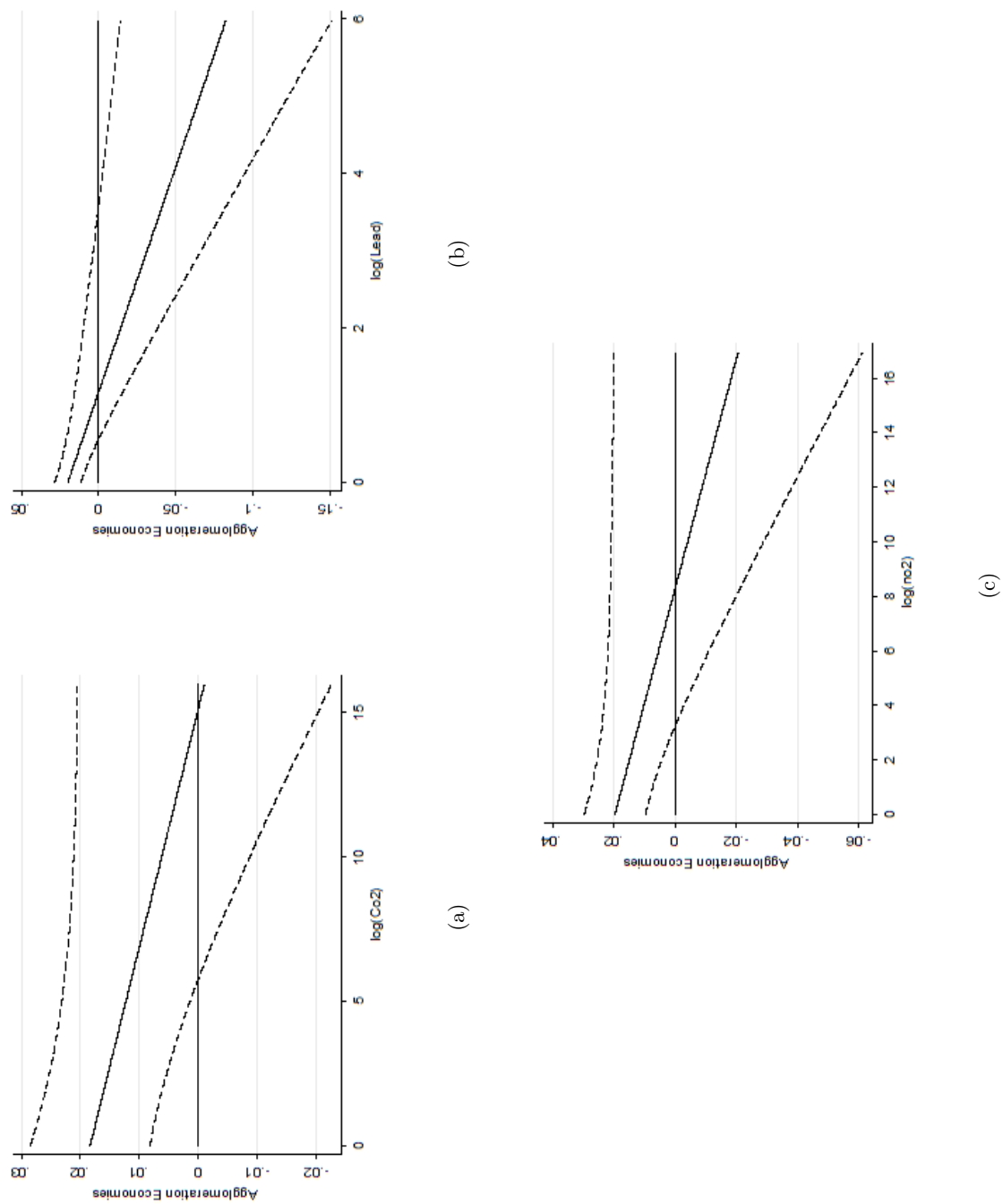
All regressions include a constant. Standard errors are in brackets and they are clustered and the employment area level; * = $p < 0.10$, ** = $p < 0.05$, and *** = $p < 0.01$.

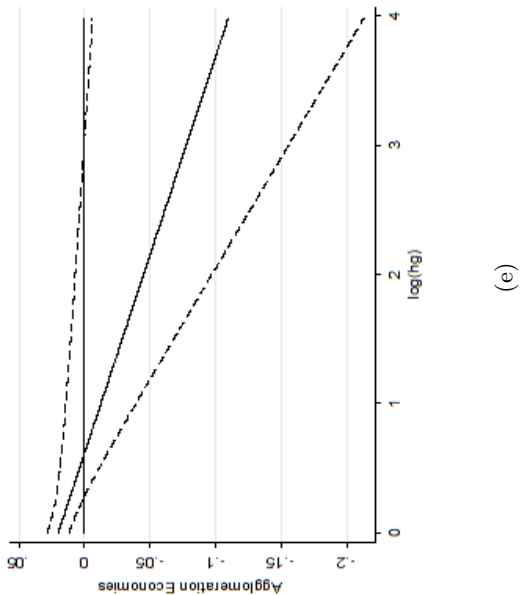
Table 4.10 – Interaction between Pollution and Agglomeration when both Density and Pollution are Instrumented

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	CH_4	CO	CO_2	COVNM	Cd	Hg	NO_2	Pb	SO_2
	$\log w_{is}$ with 2SLS								
log Density	0.020*** (0.005)	0.020*** (0.005)	0.018*** (0.005)	0.018*** (0.005)	0.020*** (0.005)	0.020*** (0.005)	0.020*** (0.005)	0.020*** (0.005)	0.019*** (0.005)
log Pollution	0.010 (0.007)	0.014** (0.006)	0.010*** (0.001)	0.011*** (0.001)	0.067*** (0.014)	0.034*** (0.011)	0.010*** (0.002)	0.022*** (0.008)	0.012*** (0.002)
log Pollution $\times$ log Density	0.003 (0.006)	0.001 (0.018)	-0.001* (0.001)	0.001 (0.001)	-0.030*** (0.011)	-0.033** (0.016)	-0.002* (0.001)	-0.017** (0.007)	-0.000 (0.001)
log Market potential	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)	0.048*** (0.007)
log Area	0.005 (0.004)	0.005 (0.004)	0.004 (0.004)	0.004 (0.004)	0.005 (0.004)	0.005 (0.004)	0.005 (0.004)	0.005 (0.004)	0.005 (0.004)
log Diversity	0.031*** (0.011)	0.032*** (0.011)	0.031*** (0.011)	0.031*** (0.011)	0.032*** (0.011)	0.031*** (0.011)	0.031*** (0.011)	0.031*** (0.011)	0.032*** (0.011)
Middle school	-0.705*** (0.198)	-0.705*** (0.199)	-0.661*** (0.199)	-0.681*** (0.195)	-0.701*** (0.200)	-0.700*** (0.199)	-0.690*** (0.199)	-0.695*** (0.200)	-0.698*** (0.197)
High school	0.390* (0.219)	0.389* (0.219)	0.392* (0.223)	0.413* (0.214)	0.373* (0.223)	0.385* (0.222)	0.383* (0.221)	0.378* (0.223)	0.389* (0.217)
University	0.625*** (0.075)	0.623*** (0.076)	0.634*** (0.076)	0.630*** (0.074)	0.629*** (0.076)	0.624*** (0.076)	0.628*** (0.076)	0.627*** (0.076)	0.628*** (0.075)
Industry fixed effects	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Year fixed effects	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Observations	171,054	171,055	171,056	171,057	171,058	171,059	171,060	171,061	171,062
R-squared	0.637	0.638	0.640	0.638	0.631	0.637	0.639	0.637	0.638

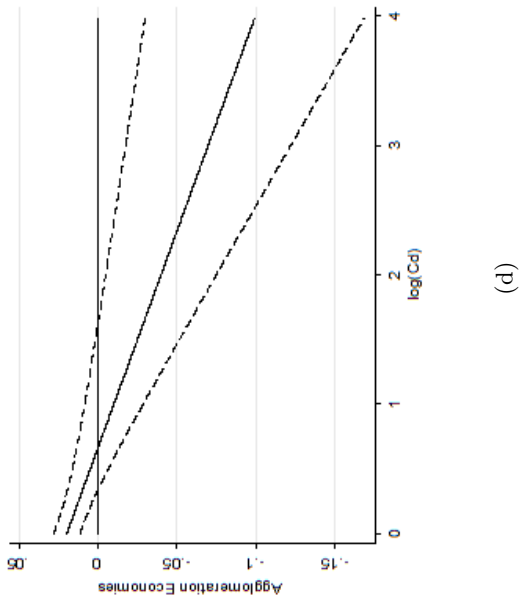
This table reports the 2SLS (1-9) regressions coefficients of employment density over sectoral wages. The local level of *density* is instrumented by local historical urban population in 1831 and 1861, *market potential* is instrumented by spatial lags of urban population in 1831 and 1861. The level of pollution is instrumented by its predicted value. The sample is restricted to employment areas with non-null urban population in 1831. All regressions include a constant. Standard errors are in brackets and they are clustered at the employment area level; * = $p < 0.10$, ** = $p < 0.05$, and *** = $p < 0.01$. In 2003 (i.e. reference year in our instrumental strategy), for some areas and some sectors, there are only one polluting firms per observation. We need to delete those observations. They do not constitute a credible baseline for our specification, because they are too dependent on the situation of a specific firm. Thus, the number of observations is not constant across pollutants.

Figure 4.3 – Interaction model: Impact of pollution emissions on economics agglomerations when both agglomerations and pollution are instrumented





(e)



(d)

These plots display (cf. figure 4.3) the effect of sectoral level of emission on economics agglomeration when both density and agglomerations are instrumented. They illustrate how the marginal effect of density on wages changes with the sectoral level of emission. Any particular point on the black lines corresponds to: $\frac{\partial w_{is}}{\partial \text{Density}_i} = \beta_1 + \beta_3 \log \text{Pollution}_{is}$. The dotted line depicts the 10 % confidence interval.

Conclusion

This chapter answers an understudied question of the empirics on agglomeration economies. The vast majority of the empirical literature on agglomeration economies studies the net impact of density on labor productivity. To our knowledge, we are the first study to assess if agglomeration economies are lower for polluting firms. Grounded on NEG models, our intuition is that positive agglomeration effects may turn out to be negative for polluting firms above some pollution thresholds.

To do so, we exploit French labor productivity and pollutant emissions data between 2003 and 2013. Thus, we match polluting emissions (from IREP dataset) and wages from DADS database at the sectoral and employment zone levels. Hence, we are able to identify wages in polluting sectors at a fine spatial scale. Our empirical study raises two crucial empirical issues related to possible endogeneity biases. First, our empirical specifications may be biased due to reverse causality between productivity and urban density. We use historical and geological data as sources of exogenous variations in local density. Second, sectoral pollution is potentially endogenous. There may exist some omitted variables that influence both local labor productivity and local polluting emissions. We instrument observed levels of pollution with variations in polluting emission exogenous to the evolution of the local industry context. Variation in the emissions of NO_2 , lead, CO_2 or SO_2 interfere in the way firms benefit from agglomeration economies. More precisely, we find that firms have lower interest to locate in dense areas as their polluting emissions increase. Above a certain threshold-defined for each pollutant, wages start to decrease as employment density increase.

Our study brings new insights on negative aspects of agglomeration on labor productivity. While in most studies, only positive impact of agglomeration is considered, we concentrate on polluting emissions as a source of heterogeneous effect of agglomeration.

Several limits and avenues for future research can be underlined. In this chapter, our aim was not to identifying channels through which industrial pollution affects agglomeration economies for polluting firms. One way of looking into the black box of agglomeration economies would be to identify the impact of pollution on health. This question raises the unsolved question of the endogeneity of pollution exposure in the long term. Despite the fact that we chose to focus on agglomeration economies evaluation, the next step will be to tackle the question of firm location choice.

Appendix Chapter 4

Discussion about some coefficients

Few precisions need to be done about coefficients for some control variables. Because we are considering several times the same variables in our ln specification, their coefficients should not be directly interpreted. Here is the explanation for *area* and *specialisation* variables.

Specification equation can be synthesized as:

$$\ln prod_{zs} = \alpha + \beta \ln dens_z + v \ln area_z + \theta \ln spe_{zs}$$

Knowing that:

$$\beta \ln dens_z + v \ln area_z + \theta \ln spe_{zs} = \beta \ln emp_z - \beta \ln area_z + v \ln area_z + \theta \ln emp_{zs} - \theta \ln emp_z$$

We can then conclude by:

$$\ln prod_{zs} = \alpha + \rho \ln emp_z + \gamma \ln area_z + \theta \ln emp_{zs}$$

with $\rho = \beta - \theta$ and $\gamma = v - \beta$.

The last line pictures what we observe after running our regression. So if ρ is negative for instance it doesn't mean that density has a negative effect, but more that both can be positive but θ larger than β .

With the same approach, if γ is negative or non significant, it would be wrong to conclude that *area* does have a negative impact on productivity. Combes et Gobillon (2015) summarize in this way: "When using density and land area, agglomeration gains exist when any of the estimated coefficients is significantly positive".

Conclusion générale

Le sujet des émissions polluantes demeure brulant comme l'atteste une récente enquête parue en 2017, FOS EPSAL (Allen *et al.*, 2017), sur les conséquences sanitaires des émissions polluantes industrielles. L'étude cible les personnes résidant à proximité du pôle d'entreprises très polluantes sur les communes de Fos-sur-Mer et Port-Saint-Louis-du-Rhône dans le sud de la France. Ce rapport mené par une équipe pluridisciplinaire évalue aussi la perception des risques sanitaires par les habitants. La méthodologie et le contexte de l'étude ne permettent pas d'établir une causalité certaine. Cependant les auteurs suggèrent une forte présomption de lien entre la pollution et les maladies des habitants du territoire (telles que les diabètes de type 1, certains cancers, l'asthme, etc.). De plus, l'Institut *Ecocitoyen*²⁷ se charge de mesurer les fortes émissions de particules ultra fines (de la taille d'un micron, $PM_{1.0}$, et en dessous) et alerte la société civile concernant les réactions entre plusieurs polluants, appelées *effet cocktail*. Certains polluants industriels, comme les particules ultra fines, ne sont pas répertoriés et mesurés dans la législation européenne, ce qui explique en partie pourquoi le niveau d'alerte n'a jamais été déclenché dans cette région depuis 2010.

La spécificité des polluants industriels et l'impact localisé de la pollution confirment l'intérêt que nous avons porté aux émissions industrielles.

La localisation des firmes polluantes est au cœur de notre travail de thèse. Nous l'avons abordé selon le prisme de la Nouvelle Économie Géographique (NEG) et de la Nouvelle Économie Géographique et Croissance (NEGG). Ce parti pris nous a permis d'envisager la localisation des firmes polluantes comme une caractéristique du phénomène d'agglomération des activités économiques. Puisque les conséquences économiques de l'agglomération nous intéressaient, nous avons mis en évidence comment l'innovation a pu être intégrée dans un cadre de la NEG et pourquoi cela a permis la formation de la NEGG. Plusieurs discussions et limites émergent de notre travail sur la littérature de la NEG et NEGG. Cela nous a amené à être vigilant concernant le concept d'agglomération et la mesure de ses effets sur la croissance. Il demeure que peu de place est laissée aux forces de dispersion comme les dégradations

27. <http://www.institut-ecocitoyen.fr/>

environnementales.

Nous abordons plusieurs aspects des choix de localisation des firmes polluantes : leurs déterminants et leurs conséquences économiques.

D'une part, la compréhension des modèles de la NEG nous a permis d'identifier les déterminants de la localisation des firmes. Dans la lignée de Brakman *et al.* (1996) ou Lange et Quaas (2007), nous considérons que ces firmes émettent de la pollution lors de leur processus de production. On cible donc la question sur les choix de localisation des firmes polluantes. Deux déterminants de la localisation des activités polluantes sont mis en évidence et ainsi mobilisés dans le modèle du chapitre 3 : la taille de marché et la régulation environnementale. Nous avons ainsi montré dans le chapitre 2 l'importance du type de pollution mobilisé et des hypothèses concernant la mobilité des facteurs de production dans les modèles. De la même manière, notre analyse statistique présente les différentes organisations spatiales selon le type d'établissement : établissement Seveso ou établissement IED (émetteur de pollution).

D'autre part, nous montrons que la localisation des firmes polluantes peut avoir des effets sur le bien être des ménages et éventuellement sur la croissance. Mobiliser un modèle dynamique en équilibre général nous permet de considérer à la fois les déterminants de la localisation des entreprises et les conséquences de cette dernière sur l'économie, en particulier sur la croissance et le bien être des ménages. Finalement, nous menons essentiellement deux types de travaux mobilisant les conséquences de l'agglomération des activités. Dans le chapitre 3, l'agglomération des activités favorise la croissance via les *spillovers* de connaissance de type Jacobs (1969). Le chapitre 4 constitue une évaluation empirique des gains de productivité liés à l'agglomération des activités. Dans ces deux derniers chapitres, nous nous concentrons les firmes industrielles polluantes, leurs localisation et leurs places dans le phénomène d'agglomération des activités.

Notre travail de modélisation s'est intéressé aux effets de la mise en place d'une régulation environnementale dans une économie composée de deux régions asymétriques, la région *A* étant davantage dotée en capital que la région *B*. Dans un premier temps, nous avons supposé que les ménages sont certes sensibles aux dommages environnementaux sans pour autant que les pouvoirs publics aient mis en place de politique environnementale. Dans un second temps, plusieurs types de régulations environnementales sont envisagées. Ce schéma nous a permis d'analyser deux stratégies pour le gouvernement : il fixe le même niveau de contrainte dans les deux régions ou un niveau de contrainte différent selon la région. Le gouvernement ne

redistribue pas les recettes aux ménages. Ce type de taxe, sans redistribution, s'apparente à la mise en place d'un standard ou d'une obligation spécifique au secteur polluant qui augmente leur coût de production. Lorsque le niveau de taxe est identique dans les deux régions, aucun effet n'est visible sur l'équilibre de l'économie ; en effet, l'équilibre de localisation implique l'égalité des profits entre les deux régions.

Pour finir, nous avons mené une évaluation empirique des économies d'agglomération. Nous avons testé l'hypothèse selon laquelle les firmes des secteurs polluants bénéficient moins des bénéfices liés à l'agglomération. Pour cela nous avons utilisé les données de salaires issues des DADS et d'émissions polluantes à l'échelle sectorielle et de la zone d'emploi en France entre 2003 et 2013. Nous introduisons un terme d'interaction entre la densité d'emploi et le niveau d'émissions par secteur et zone d'emploi afin de mettre en évidence la variation de l'effet de la densité sur la productivité due aux émissions polluantes. Au vu de notre objectif dans ce chapitre, nous devons répondre aux problèmes pouvant biaiser les coefficients de nos variables d'intérêt suivantes : la densité d'emplois et le terme d'interaction entre la densité et les émissions polluantes. Les variables de population historiques et des variables géologiques sont utilisées pour isoler la variation exogène de la densité (Combes *et al.*, 2010). De plus, le niveau d'émissions par secteur est potentiellement endogène puisque des variables omises peuvent influencer à la fois la productivité locale et le niveau d'émissions sectorielles dans la zone. Nous mobilisons donc un instrument inspiré de Bartik (1991) de type *shift share*. L'instrument utilise la variation nationale des émissions polluantes qui n'est pas corrélée avec de potentiels chocs sectoriels locaux.

Sur le plan théorique, une réflexion doit être portée concernant une meilleure redistribution des recettes fiscales issues de la taxe environnementale afin de favoriser la croissance, par exemple en subventionnant le secteur de R&D. Comme le soulignent Wu *et al.* (2017), les effets positifs d'une régulation environnementale sur la croissance sont à envisager dans un cadre d'économie spatiale. Cette perspective de recherche contribue à l'idée selon laquelle la préservation de l'environnement ne répond pas à des seules logiques de "conviction écologique", mais peut avoir un impact économique direct et localisé pouvant être renforcé ou non par l'agglomération des activités.

Nous suggérons d'autres pistes de travail à considérer dans un cadre d'analyse de la NEG ou de la NEGG. Premièrement, il serait pertinent d'intégrer un effet négatif sur les ménages (travailleurs mobiles) ou sur les autres secteurs. Zeng et Zhao (2009) l'intègrent déjà pour

expliquer l'écart entre la théorie et les travaux empiriques concernant les havres de pollution. L'enjeu devient alors de considérer l'impact en termes de croissance économique. L'effet négatif via la santé et la productivité des travailleurs peut affecter les activités d'innovation, en particulier si l'on envisage que les travailleurs qualifiés, entrepreneurs et créateurs d'innovation sont plus sensibles que les autres aux pollutions. Deuxièmement, une hétérogénéité en termes de pollution entre les entreprises permettrait de faire émerger une plus grande diversité d'organisations spatiales. Wu et Reimer (2016) proposent ainsi d'étudier l'équilibre de localisation de deux catégories de firmes mobiles : polluantes (industrie) et non polluantes (service). Introduire divers degrés de pollution pourrait alors permettre de mieux appréhender théoriquement les phénomènes identifiés dans nos analyses empiriques (chapitre 2 et chapitre 4). Enfin, le cadre dynamique avec croissance endogène, dans lequel le chapitre 3 se situe, peut nous amener à considérer la manière dont une firme polluante s'adapte à la régulation environnementale par un changement de technologie plus propre. Une première étape serait alors de considérer que le paramètre ς représentant l'intensité polluante dans le secteur industriel varie selon la région ou les *spillovers* de connaissance.

Sur le plan empirique, plusieurs pistes de travail sont envisageables. Tout d'abord, nous pouvons approfondir l'étude empirique en identifiant les canaux entre niveau d'émissions polluantes et les économies d'agglomération. Si l'on considère que l'effet réel sur la santé est un des éléments de la "boîte noire", il semble nécessaire de modifier notre méthode concernant l'évaluation de la pollution. Nous devons alors améliorer la prise en compte de l'endogénéité de l'exposition aux émissions polluantes. En effet, les travailleurs avec un haut revenu et ainsi dotés d'une productivité élevée, vont être en mesure de payer un logement dans une zone peu polluée. De plus, les ménages avec un fort niveau d'éducation peuvent avoir une meilleure connaissance des dangers de la pollution. Par exemple, parce qu'ils évaluent mieux les risques, ils vont être en capacité de mieux réagir aux alertes (Neidell, 2009).

De plus, l'accès aux données individuelles des firmes permettrait, en outre, de mieux considérer l'endogénéité de la densité mais aussi d'être en mesure d'analyser le choix de localisation des entreprises. Pour cela, la disponibilité des données au niveau de la firme est un pré requis. Plus largement, il semble nécessaire d'approfondir le lien entre les modèles théoriques de la NEG et ses évaluations empiriques, en considérant par exemple le choix de localisation de nouveaux établissements polluants en France.

Bibliographie

- ABEL, J. R., DEY, I. et GABE, T. M. (2012). Productivity and the density of human capital. *Journal of Regional Science*, 52(4):562–586.
- ACCETTURO, A. (2010). Agglomeration and growth : The effects of commuting costs. *Papers in Regional Science*, 89(1):173–190.
- ACS, Z. J., ANSELIN, L. et VARGA, A. (2002). Patents and innovation counts as measures of regional production of new knowledge. *Research Policy*, 31(7):1069–1085.
- ACS, Z. J. et AUDRETSCH, D. B. (1993). Analysing innovation output indicators : The US experience. In KLEINKNECHT, A. et BAIN, D., éditeurs : *New concepts in innovation output measurement*, pages 10–41. Palgrave Macmillan UK.
- AGHION, P. et HOWITT, P. (1992). A model of growth through creative destruction. *Econometrica*, 60(2):322–51.
- ALGAN, Y. et CAHUC, P. (2010). Inherited trust and growth. *The American Economic Review*, 100(5):2060–2092.
- ALLEN, B. L., COHEN, A. K., FERRIER, Y. et LEES, J. (2017). Fosepseal* etude participative en santé environnement ancrée localement sur le front industriel de fos-sur-mer et port-saint-louis-du-rhône. *Rapport final, janvier*.
- ALMEIDA, P. et KOGUT, B. (1997). The exploration of technological diversity and geographic localization in innovation : Start-up firms in the semiconductor industry. *Small Business Economics*, 9(1):21–31.
- ANNESI-MAESANO, I., MOREAU, D., CAILLAUD, D., LAVAUD, F., LE MOULLEC, Y., TAYTARD, A., PAULI, G. et CHARPIN, D. (2007). Residential proximity fine particles related to allergic sensitisation and asthma in primary school children. *Respiratory medicine*, 101(8):1721–1729.

- ANSELIN, L. (1993). The Moran scatterplot as an ESDA tool to assess local instability in spatial association. *In Spatial analytical perspective on GIS*, pages 111–125. Regional Research Institute, West Virginia University Morgantown, WV.
- ANSELIN, L., VARGA, A. et ACS, Z. J. (1997). Local geographic spillovers between university research and high technology innovations. *Journal of Urban Economics*, 42(3):422–448.
- ARBIA, G. (2001). The role of spatial effects in the empirical analysis of regional concentration. *Journal of Geographical Systems*, 3(May 2000):271–281.
- ARNOTT, R., HOCHMAN, O. et RAUSSER, G. C. (2008). Pollution and land use : optimum and decentralization. *Journal of Urban Economics*, 64(2):390–407.
- ASHEIM, B. et HANSEN, H. K. (2009). Knowledge bases, talents, and contexts : On the usefulness of the creative class approach in Sweden. *Economic Geography*, 85(4):425–442.
- ASKENAZY, P. et MARTIN, P. (2015). Note CAE n27 : Promouvoir l'égalité des chances à travers le territoire. Rapport technique, Conseil d'Analyse Economique.
- AUDRETSCH, D. B. et FELDMAN, M. P. (1996). Innovative clusters and the industry life cycle. *Review of Industrial Organization*, 11(2):253–273.
- AUDRETSCH, D. B. et FELDMAN, M. P. (2004). Knowledge spillovers and the geography of innovation. *Handbook of Regional and Urban Economics*, 4:2713–2739.
- AUTANT-BERNARD, C. (2001). Science and knowledge flows : evidence from the French case. *Research Policy*, 30(7):1069–1078.
- AUTANT-BERNARD, C., MAIRESSE, J. et MASSARD, N. (2007). Spatial knowledge diffusion through collaborative networks. *Papers in Regional Science*, 86(3):341–350.
- BAIN, A. (2016). Suburban creativity and innovation. *In Handbook on the Geographies of Innovation*. Cheltenham : Edward Elgar.
- BAIROCH, P. (1985). *De Jericho à Mexico*. Gallimard, Paris.
- BALDWIN, R. (2000). The core periphery mostabilizing and destabilizing integration. *Economia*, 67(267):307–324.
- BALDWIN, R. E. (1999). Agglomeration and endogenous capital. *European Economic Review*, 43(2):253–280.

- BALDWIN, R. E., FORSLID, R., MARTIN, P., OTTAVIANO, G. I. P. et ROBERT-NICOUD, F. (2004). *Economic Geography and Public Policy*. Princeton University Press.
- BALDWIN, R. E. et MARTIN, P. (2004). Agglomeration and regional growth. *Handbook of Regional and Urban Economics*, 4(4):2671–2711.
- BALDWIN, R. E., MARTIN, P. et OTTAVIANO, G. I. P. (2001). Global income divergence, trade and industrialisation : The geography of growth take-offs. *Journal of Economic Growth*, 6(1):5–37.
- BALDWIN, R. E. et OKUBO, T. (2006). Heterogeneous firms, agglomeration and economic geography : Spatial selection and sorting. *Journal of Economic Geography*, 6(3):323–346.
- BANQUE MONDIALE, B. (2000). Electronic Conference on Cluster. Rapport technique, Washington : World Bank.
- BANQUE MONDIALE, B. (2009). World Development Report 2009 : Reshaping economic geography. Rapport technique, Washington : World Bank.
- BARRO, R. J. et Sala-i MARTIN, X. (1997). Technological diffusion, convergence and growth. *Journal of Economic Growth*, 2(1):1–26.
- BARTIK, T. J. (1991). Who benefits from state and local economic development policies ? *WE Upjohn Institute for Employment Research*.
- BAUMONT, C. et GUILLAIN, R. (2013). Interactions, spillovers de connaissance et croissance des villes européennes. *Région et Développement*, 38:161–207.
- BAUMONT, C. et HURIOT, J.-M. (1995). Agglomération, industrie et ville. Document de travail.
- BAUMONT, C. et HURIOT, J.-M. (1999). L'interaction agglomération-croissance en économie géographique. In *Villes et croissance*, pages 133–168. Economica.
- BEHRENS, K. (2004). Agglomeration without trade : How non-traded goods shape the space-economy. *Journal of Urban Economics*, 55(1):68–92.
- BEHRENS, K., MION, G., MURATA, Y. et SÜDEKUM, J. (2017). Spatial frictions. *Journal of Urban Economics*, 97:40–70.
- BEHRENS, K. et PICARD, P. M. (2011). Transportation, freight rates, and economic geography. *Journal of International Economics*, 85(2):280–291.

- BEHRENS, K. et ROBERT-NICOUD, F. (2009). Krugman's papers in Regional Science : The 100 dollar bill on the sidewalk is gone and the 2008 Nobel prize well-deserved. *Papers in Regional Science*, 88(2):467–489.
- BEHRENS, K. et ROBERT-NICOUD, F. (2011). Tempora mutantur : in search of a new testament for NEG. *Journal of Economic Geography*, 11(2):215–230.
- BEHRENS, K. et ROBERT-NICOUD, F. (2015). Agglomeration theory with heterogeneous agents. In *Handbook of Regional and Urban Economics*, pages 171–245. Elsevier North Holland.
- BIANCO, D. (2007). Competition and growth in an endogenous growth model with expanding product variety without scale effects. *Brussels Economic Review/Cahiers Economiques de Bruxelles*, 49(3):191–202.
- BIANCO, D. (2017). Environmental policy in an endogenous growth model with expanding variety. *Revue d'économie politique*, 127(6):1013–1028.
- BLÉHAUT, M. (2015). Risque industriel, prix des logements et ségrégation résidentielle. *Revue française d'économie*, XXX:137–153.
- BORCK, R. et PFLÜGER, M. (2015). Green cities ? Urbanization, trade and the environment. Working paper.
- BOSCHMA, R. (2005). Does geographical proximity favour innovation ? *Economie et Institutions*, 6:111–127.
- BOUBA-OLGA, O. et GROSSETTI, M. (2015). La métropolisation, horizon indépassable de la croissance économique ? *Revue de l'OFCE*, 143(7):117–144.
- BOUCEKKINE, R., CAMACHO, C. et ZOU, B. (2009). Bridging the gap between growth theory and the new economic geography : The spatial Ramsey. *Macroeconomic Dynamics*, 13(1): 20–45.
- BRAKMAN, S., GARRETSEN, H., GIGENGACK, R., van MARREWIJK, C. et WAGENVOORT, R. (1996). Negative Feedbacks in the Economy and Industrial Location. *Journal of Regional Science*, 36(4):631–651.
- BRAMBOR, T., CLARK, W. R. et GOLDR, M. (2005). Understanding interaction models : Improving empirical analyses. *Political analysis*, 14(1):63–82.

- BRANDER, J. et KRUGMAN, P. (1983). A reciprocal dumping model of international trade. *Journal of International Economics*, 14(3):313—321.
- BRIANT, A., COMBES, P.-P. et LAFOURCADE, M. (2010). Dots to boxes : Do the size and shape of spatial units jeopardize economic geography estimations? *Journal of Urban Economics*, 67(3):287–302.
- BRÜLHART, M. et MATHYS, N. A. (2008). Sectoral agglomeration economies in a panel of European regions. *Regional Science and Urban Economics*, 38(4):348–362.
- BRÜLHART, M. et SBERGAMI, F. (2009). Agglomeration and growth : Cross-country evidence. *Journal of Urban Economics*, 65(1):48–63.
- BUI, L. T. M. et MAYER, C. J. (2003). Regulation and capitalization of anvironmental amenities : Evidence from the toxic release inventory in Massachusetts. *The Review of Economics and Statistics*, 85(3):693–708.
- BUZARD, K. et CARLINO, G. (2013). The geography of research and development activity in th US. *Handbook of Industry Studies and Economic Geography*, pages 389–411.
- CAIN, S. (2013). *Quiet : The power of introverts in a world that can't stop talking*. Broadway Books.
- CAIRNCROSS, F. (1997). *The death of distance : How the communications revolution will change our lives*. Harvard Business School Press.
- CALMETTE, M.-F. et LE POTTIER, J. (1995). Localisation des activités : un modèle bisectoriel avec coûts de transport. *Revue économique*, 46(3):901–909.
- CALMETTE, M.-f. et PÉCHOUX, I. (2007). Are environmental policies counterproductive? *Economic letters*, 95(2):186–191.
- CAMAGNI, R. (2002). On the concept of territorial competitiveness : sound or misleading? *Urban studies*, 39(13).
- CAMAGNI, R., CAPELLO, R. et CARAGLIU, A. (2015). The rise of second-rank cities : What role for agglomeration economies? *European Planning Studies*, 23(6):1069–1089.
- CAMAGNI, R., CAPELLO, R. et CARAGLIU, A. (2016). Static vs. dynamic agglomeration economies. Spatial context and structural evolution behind urban growth. *Papers in Regional Science*, 95(1):133–158.

- CANDAU, F. (2011). Is agglomeration desirable? *Annals of Economics and statistics*, 101/102(101):203–227.
- CAPELLO, R. (1999). Spatial transfer of knowledge in high technology milieux : Learning versus collective learning processes. *Regional Studies*, 33(4):353–365.
- CAPELLO, R. et LENZI, C. (2014). Spatial heterogeneity in knowledge, innovation, and economic growth nexus : Conceptual reflections and empirical evidence. *Journal of Regional Science*, 54(2):186–214.
- CARLINO, G., CARR, J., HUNT, R. et SMITH, T. (2012). The agglomeration of R&D labs. Rapport technique, Federal Reserve Bank of Philadelphia.
- CARLINO, G. et KERR, W. R. (2015). Agglomeration and innovation. *Handbook of Regional and Urban Economics*, 5(14):349–404.
- CARLINO, G. A., CHATTERJEE, S. et HUNT, R. M. (2007). Urban density and the rate of invention. *Journal of Urban Economics*, 61(3):389–419.
- CARLINO, G. A. et HUNT, R. (2009). What explains the quantity and quality of local inventive activity? In *Papers on Urban Affairs*. Brookings-Wharton Papers on Urban Affairs, Brookings Institution Press, Washington, D.C., in burtles édition.
- CARRINCAZEAX, C., LUNG, Y. et RALLET, A. (2001). Proximity and localisation of corporate R&D activities. *Research Policy*, 30(5):777–789.
- CARSON, R. T., KOUNDOURI, P. et NAUGES, C. (2010). Arsenic mitigation in Bangladesh : A household labor market approach. *American Journal of Agricultural Economics*, 93(2):407–414.
- CAUDEVILLE, J. et RICAN, S. (2016). Étude de l’inégalité socio-environnementale en France : associations spatiales entre désavantage social des populations et proximité à un site potentiellement dangereux. *Environnement, Risques et Santé*, 15(1):39–47.
- CERINA, F. et MUREDDU, F. (2014). Is agglomeration really good for growth? Global efficiency, interregional equity and uneven growth. *Journal of Urban Economics*, 84:9–22.
- CHARLIER, D., FODHA, M. et KIRAT, D. (2016). CO2 emissions from the residential sectors in Europe : drivers and distributive consequences. Working paper.

- CHARLOT, S., GAIGNÉ, C., ROBERT-NICOUD, F. et THISSE, J. F. (2006). Agglomeration and welfare : The core-periphery model in the light of Bentham, Kaldor, and Rawls. *Journal of Public Economics*, 90(1-2):325–347.
- CHAY, K. et GREENSTONE, M. (2003). The impact of air pollution on infant mortality : evidence from geographic variation in pollution shocks induced by a recession. *The Quarterly Journal of Economics*, 118(3):1121–1167.
- CHAY, K. Y. et GREENSTONE, M. (2005). Does air quality matter ? Evidence from the housing market. *Journal of political Economy*, 113(2):376–424.
- CICCONI, A. (2002). Agglomeration effects in Europe. *European Economic Review*, 46:213–227.
- CICCONI, A. et HALL, R. E. (1996). Productivity and the Density of Economic Activity. *The American Economic Review*, 86(1):54–70.
- CITEPA (2013). Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France séries sectorielles et analyses étendue. Rapport technique, Centre Interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique.
- CIUCCI, J. (2011). *Distribution Spatiale des Activités Economiques et Externalités Environnementales : Etude de l'Impact de la Pollution sur la Mobilité des Travailleurs Qualifiés*. Thèse de doctorat, Université de Corse Pascal Paoli.
- CIUCCI, J., PRUNETTI, D. et MAUPERTUIS, M.-A. (2015). Spatial distribution of economic activities and transboundary pollutions. *International Journal of Sustainable Development*, 18:77—93.
- COISSARD, S. (2007). Perspectives : La nouvelle économie géographique de Paul Krugman. *Revue d'Economie Régionale & urbaine*, pages 111–125.
- COLLIS, C., FELTON, E. et GRAHAM, P. (2010). Beyond the inner city : Real and imagined places in creative place policy and practice. *The Information Society*, 26(2):104–112.
- COMBES, P.-P. (2000). Economic structure and local growth : France, 1984-1993. *Journal of Urban Economics*, 47(3):329–355.
- COMBES, P. P., DURANTON, G. et GOBILLON, L. (2008a). Spatial wage disparities : Sorting matters! *Journal of Urban Economics*, 63(2):723–742.

- COMBES, P. P., DURANTON, G. et GOBILLON, L. (2011a). The identification of agglomeration economies. *Journal of Economic Geography*, 11(2):253–266.
- COMBES, P.-P., DURANTON, G., GOBILLON, L., PUGA, D. et ROUX, S. (2012). The productivity advantages of large cities : Distinguishing agglomeration from firm selection. *Econometrica*, 80(6):2543–2594.
- COMBES, P.-P., DURANTON, G., GOBILLON, L. et ROUX, S. (2010). Estimating agglomeration economies with history, geology, and worker effects. *In Agglomeration Economics*, pages 15–66. University of Chicago Press.
- COMBES, P.-p. et GOBILLON, L. (2015). The empirics of agglomeration economies. *Handbook of Regional and Urban Economics*, 5.
- COMBES, P.-p., GOBILLON, L. et LAFOURCADE, M. (2016). Gains de productivité statiques et d'apprentissage induits par les phénomènes d'agglomération au sein du Grand Paris. Rapport technique, CEPREMAP.
- COMBES, P.-P. et LAFOURCADE, M. (2012). Revue de la littérature académique quantifiant les effets d'agglomération sur la productivité et l'emploi. *Rapport commandité et financé par la Société du Grand Paris*.
- COMBES, P. P., LAFOURCADE, M., THISSE, J. F. et TOUTAIN, J. C. (2011b). The rise and fall of spatial inequalities in France : A long-run perspective. *Explorations in Economic History*, 48(2):243–271.
- COMBES, P.-P., MAYER, T. et THISSE, J.-F. (2008b). *Economic geography : The integration of regions and nations*. Princeton University Press.
- COOKE, P. (2011). Food geography and the organic empire : Modern quests for cultural-creative related variety. *In Beyond territory : dynamic geographies of knowledge creation, diffusion and innovation.*, pages 149–167.
- COPELAND, B. R. et TAYLOR, M. S. (1999). Trade, spatial separation and the environment. *Journal of International Economics*, 47(1):137–168.
- COPELAND, B. R. et TAYLOR, M. S. (2004). Trade, growth, and the environment. *Journal of Economic Literature*, 42(1):7–71.
- COPELAND, B. R. et TAYLOR, M. S. (2013). *Trade and the environment : Theory and evidence*. Princeton University Press.

- CROZET, M. et KOENIG, P. (2005). The cohesion vs growth tradeoff-evidence from EU regions (1980-2000). Working paper.
- CURRIE, J., HANUSHEK, E. A., KAHN, E. M., NEIDELL, M. et RIVKIN, S. G. (2009). Does pollution increase school absences? *The Review of Economics and Statistics*, 91(4):682–694.
- DASGUPTA, P. S. et HEAL, G. M. (1979). *Economic Theory and Exhaustible Resources*. Cambridge édition.
- DAVEZIES, L. et PECH, T. (2014). La nouvelle question territoriale. *Terra Nova*, septembre:1–30.
- DAVIS, C. et HASHIMOTO, K.-I. I. (2015). Industry concentration, knowledge diffusion and economic growth without scale effects. *Economica*, 82(328):769–789.
- DAVIS, D. R. (1998). The home market, trade, and industrial structure. *The American Economic Review*, 88(5):1264–1276.
- DEKLE, R. et EATON, J. (1999). Agglomeration and land rents, evidence from the prefectures. *Journal of Urban Economics*, 46(2):200—214.
- DENANT-BOÈMONT, L., GAIGNÉ, C. et GATÉ, R. (2016). Urban spatial structure, transport-related emissions and welfare. Working paper.
- DESMET, K. et ROSSI-HANSBERG, E. (2010). On spatial dynamics. *Journal of Regional Science*, 50(1):43–63.
- DI ADDARIO, S. et PATACCHINI, E. (2008). Wages and the city. Evidence from Italy. *Labour Economics*, 15(5):1040–1061.
- DIJKSTRA, L., GARCILAZO, E. et MCCANN, P. (2013). The Economic performance of European cities and city regions : Myths and realities. *European Planning Studies*, 21(3):334–354.
- DIXIT, A. K. et STIGLITZ, J. E. (1977). Monopolistic competition and optimum product diversity. *The American Economic Review*, 67(3):297–308.
- DRUT, M. et MAHIEUX, A. (2017). Correcting agglomeration economies : How air pollution matters. *Papers in Regional Science*, 96(2):381–400.
- DURANTON, G. et OVERMAN, H. (2005). Testing for localization using micro-geographic data. *The Review of Economic Studies*, 72(4):1077–1106.

- DURANTON, G. et OVERMAN, H. (2008). Exploring the detailed location patterns of UK manufacturing industries using microgeographic data. *Journal of Regional Science*, 48(1): 213–243.
- DURANTON, G. et PUGA, D. (2001). Nursery cities : Urban diversity, process innovation, and the life cycle of products. *The American Economic Review*, 91(5):1454–1477.
- DURANTON, G. et PUGA, D. (2004). Micro-foundations of urban agglomeration economies. *In Handbook of Regional and Urban Economics*, volume 4, pages 2063–2117. Elsevier.
- DURANTON, G. et RODRÍGUEZ-POSE, A. (2005). When economists and geographers collide, or the tale of the lions and the butterflies. *Environment and Planning A*, 37(10):1695–1705.
- DURANTON, G. et STORPER, M. (2006). Agglomeration and growth : a dialogue between economists and geographers. *Journal of Economic Geography*, 6(1):1–7.
- ELBASHA, E. H. et ROE, T. L. (1996). On endogenous growth : the implications of environmental externalities. *Journal of Environmental Economics and Management*, 31(2):240–268.
- ELBERS, C. et WITHAGEN, C. (2004). Environmental policy, population dynamics and agglomeration. *Contributions to Economic Analysis & Policy Environmental Policy*, 3(2):12–31.
- ELLISON, G. et GLAESER, E. L. (1997). Geographic concentration in U.S. manufacturing industries : A dartboard approach. *Journal of Political Economy*, 105(5):889–927.
- ELO, I. T. et PRESTON, S. H. (1996). Educational differentials in mortality : United States, 1979-1985. *Social science & medecine*, 42(1):47–57.
- EMEP (2010). Status report, transboundary acidification, eutrophication and ground level ozone in Europe in 2008. Rapport technique.
- ENCAOUA, D., FORAY, D., HATCHUEL, A. et MAIRESSE, J. (2004). Les enjeux économiques de l'innovation. *Revue d'économie politique*, 114(2):133–168.
- ERNST, D. (2009). A new geography of knowledge ? Asia's role in global innovation network. Working paper.
- ESKELAND, G. S. et HARRISON, A. E. (2003). Moving to greener pastures ? Multinationals and the pollution haven hypothesis. *Journal of development economics*, 70(1):1–23.
- EXBRAYAT, N., GAIGNÉ, C. et RIOU, S. (2013). Taxe carbone globale, effet taille de marché et mobilité des firmes. *Revue économique*, 64(2):265–278.

- FALLICK, B., FLEISCHMAN, C. A. et REBITZER, J. B. (2006). Job-hopping in Silicon Valley : some evidence concerning the microfoundations of a high-technology cluster. *The Review of Economics and Statistics*, 88(3):472–481.
- FLORIDA, R. (2002). *The rise of the creative class. And how it's transforming work, leisure and everyday life*. New York : Basic Books.
- FORAY, D. (2004). *Economics of knowledge*. MIT press.
- FORSLID, R. et OTTAVIANO, G. I. P. (2003). An analytically solvable core-periphery model. *Journal of Economic Geography*, 3(3):229–240.
- FOSTER, N. et STEHRER, R. (2009). Sectoral productivity, density and agglomeration in the Wider Europe. *Spatial Economic Analysis*, 4(4):427–446.
- FUJITA, B. M. et THISSE, J.-F. (2003). Does geographical agglomeration foster economic growth ? And who gains and loses from it ? *The Japanese Economic Review*, 54(2):121–145.
- FUJITA, M. et MORI, T. (2005). Frontiers of the New Economic Geography. *Papers in Regional Science*, 84(3):377–407.
- FUJITA, M. et THISSE, J.-f. (2013). *Economics of Agglomeration : Cities, Industrial Location and Globalization*. Cambridge University Press.
- GAIGNÉ, C., RIOU, S. et THISSE, J. F. (2012). Are compact cities environmentally friendly ? *Journal of Urban Economics*, 72(2-3):123–136.
- GARDINER, B., MARTIN, R. et TYLER, P. (2011). Does spatial agglomeration increase national growth ? Some evidence from Europe. *Journal of Economic Geography*, 11(6):979–1006.
- GARRETSEN, H. et MARTIN, R. (2010). Rethinking (New) Economic Geography models : Taking geography and history more seriously. *Spatial Economic Analysis*, 5(2):127–160.
- GLAESER, E. L. (1999). Learning in Cities. *Journal of Urban Economics*, 46(2):254–277.
- GLAESER, E. L. (2011). *The triumph of the city : How our greatest invention makes us richer, smarter, greener, healthier and happier*. Penguin.
- GLAESER, E. L. et KAHN, M. E. (2010). The greenness of cities : carbon dioxide emissions and urban development. *Journal of urban economics*, 67(3):404–418.

- GLAESER, E. L., KALLAL, H. D., SCHEINKMAN, J. A. et SHLEIFER, A. (1992). Growth in cities. *Journal of Political Economy*, 100(6):1126–1152.
- GLAESER, E. L. et MARÉ, D. C. (2001). Cities and skills. *Journal of labor economics*, 19(2):316–342.
- GRAFF ZIVIN, J. S. et NEIDELL, M. J. (2012). The impact of pollution on worker productivity. *American Economic Review*, 102(7):3652–3673.
- GRAHAM, D. J. (2007). Agglomeration economies and transport investment. *Discussion Paper*, 41(August 2006):23.
- GRAZI, F., VAN DEN BERGH, J. C. J. M. et RIETVELD, P. (2007). Spatial welfare economics versus ecological footprint : Modeling agglomeration, externalities and trade. *Environmental and Resource Economics*, 38(1):135–153.
- GRISLAIN-LETRÉMY, C. et KATOSKY, A. (2014). The impact of hazardous industrial facilities on housing prices : A comparison of parametric and semiparametric hedonic price models. *Regional Science and Urban Economics*, 49:93–107.
- GROSSMAN, G. et HELPMAN, E. (1991). *Innovation and growth in the global economy*. MIT press.
- GROSSMAN, G. M. et HELPMAN, E. (1990). Comparative advantage and long-run growth. *The American Economic Review*, 80(4):796–815.
- GROSSMAN, G. M. et KRUEGER, A. B. (1991). Environmental impacts of a North American free trade agreement. *National Bureau of Economic Research*.
- GUERIN-PACE, F. (1993). *Deux siècles de croissance urbaine*. Economica, anthopos édition.
- GUILLAIN, R. (1999). *Externalités d’informations et évolution des villes*. Thèse de doctorat, Université Bourgogne.
- GUILLAIN, R. et LE GALLO, J. (2010). Agglomeration and dispersion of economic activities in and around Paris : An exploratory spatial data analysis. *Environment and Planning B : Urban Analytics and City Science*, 37(6):961–981.
- GUIMARÃES, P., FIGUEIREDO, O. et WOODWARD, D. (2011). Accounting for neighboring effects in measures of spatial concentration. *Journal of Regional Science*, 51(4):678–693.

- HALL, B. H., JAFFE, A. B. et TRAJTENBERG, M. (2001). The NBER patent citation data file : Lessons, insights and methodological tools. Working paper.
- HANNA, B. G. (2007). House values, incomes, and industrial pollution. *Journal of Environmental Economics and Management*, 54(1):100–112.
- HANNA, R. et OLIVA, P. (2015). The effect of pollution on labor supply : Evidence from a natural experiment in Mexico City. *Journal of Public Economics*, 122:68–79.
- HARRIS, C. D. (1954). The Market as a factor in the localization of industry in the United States. *Annals of the association of American geographers*, 44(4):315–348.
- HARRIS, R. (2011). Models of regional growth : Past, present and future. *Journal of Economic Surveys*, 25(5):913–951.
- HAUVUY, E. et RIEDINGER, N. (2005). Une estimation du coût d'abattement de la pollution atmosphérique pour les entreprises françaises. *Economie et Prévisions*, 2:63–75.
- HE, C., HUANG, Z. et YE, X. (2014). Spatial heterogeneity of economic development and industrial pollution in urban China. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 28(4):767–781.
- HE, C., WEI, Y. D. et XIE, X. (2008). Globalization, institutional change, and industrial location : Economic transition and industrial concentration in China. *Regional studies*, 42(7):923–945.
- HEAD, K. et MAYER, T. (2004). Market potential and the location of Japanese investment in the European Union. *Review of Economics and Statistics*, 86(4):959–972.
- HELPMAN, E. (1998). The size of region. In *Topics in public economics : Theoretical and applied analysis*. Cambridge University Press.
- HELSLEY, R. W. et STRANGE, W. C. (2002). Innovation and input sharing. *Journal of Urban Economics*, 51(1):25–45.
- HENDERSON, J. V. (1977). Externalities in a spatial context : The case of air pollution. *Journal of Public Economics*, 7(1):89–110.
- HENDERSON, V. (2003). The urbanization process and economic growth : The so-what question. *Journal of Economic Growth*, 8(1):47–71.

- HIRSCHMAN, A. (1958). *The Strategy of Economic Development*. New Haven : Yale University Press.
- HOHENBERG, P. M. et LEES, L. H. (1995). *The making of urban Europe (1000-1994)*. Harvard University Press.
- HOSOE, M. et NAITO, T. (2006). Trans-boundary pollution transmission and regional agglomeration effects. *Papers in Regional Science*, 85(1):99–120.
- HUCHET, J. F. (2016). *La crise environnementale en Chine. Évolutions et limites des politiques publiques*. Presses de Sciences Po (P.F.N.S.P.).
- JACOBS, J. (1969). *The Economy of cities*. Vintage Books.
- JAFFE, A. B. (1989). Real effects of academic research. *The American Economic Review*, 79(5):957–970.
- JAFFE, A. B., TRAJTENBERG, M. et HENDERSON, R. (1993). Geographic localization of knowledge spillovers as evidenced by patent citations. *The Quarterly journal of Economics*, 108(3):577–598.
- JANKE, K., PROPPER, C. et HENDERSON, J. (2009). Do current levels of air pollution kill ? The impact of air pollution on population mortality in England. *Health economics*, 18(9):1031–1055.
- JEPPESEN, T., LIST, J. A. et FOLMER, H. (2002). Environmental Rregulations and new plant location decisions : Evidence from a meta-analysis. *Journal of Regional Science*, 42(1):19–49.
- JONES, C. I. (1995). R&D based models of economic growth. *The Journal of Political Economy*, 103(4):759–784.
- JONES, C. I. (1999). Growth : with or without scale effects ? *The American Economic Review*, 89(2):139–144.
- KIM, S. (1995). Expansion of markets and the geographic distribution of economic activities : the trends in US regional manufacturing structure, 1860-1987. *The Quartelely Journal of Economics*, 110(4):881–908.
- KLEPPER, S. (2010). The origin and growth of industry clusters : The making of Silicon Valley and Detroit. *Journal of Urban Economics*, 67(1):15–32.

- KOESLER, S. (2010). Pollution externalities in a Schumpeterian growth model. Working paper.
- KRUGMAN, P. (1980). Scale economies, product differentiation, and the pattern of trade. *The American Economic Review*, 70(5):950–959.
- KRUGMAN, P. (1981). Intraindustry specialization and the gains from trade. *Journal of Political Economy*, 89(5):959–973.
- KRUGMAN, P. (1991). Increasing Returns and Economic Geography. *The Journal of Political Economy*, 99(3):483–499.
- KUBO, Y. (1995). Scale economies, regional externalities, and the possibility of uneven regional development. *Journal of Regional Science*, 35(1):28–42.
- KYRIAKOPOULOU, E. et XEPAPADEAS, A. (2011). Spatial location decisions under environmental policy and housing externalities. *Environmental Economics and Policy Studies*, 13(3):195–217.
- LACROIX, V. et ZACCAÏ, E. (2010). Quarante ans de politique environnementale en France : évolutions, avancées, constante. *Revue française d'administration publique*, 134(2):205.
- LANGE, A. et QUAAS, M. F. (2007). Economic geography and the effect of environmental pollution on agglomeration economic. *The B. E. Journal of Economic Analysis & Policy Topics*, 7(1):10–29.
- LAURENT, O., BARD, D., FILLEUL, L. et SEGALA, C. (2007). Effect of socioeconomic status on the relationship between atmospheric pollution and mortality. *Journal of Epidemiology & Community Health*, 61(8):665—675.
- LAVAINÉ, E. (2014). An Econometric analysis of atmospheric pollution, environmental disparities and mortality rates. *Environmental and Resource Economics*, 60(2):215–242.
- LAVAINÉ, E. et NEIDELL, M. J. (2017). Energy production and health externalities : Evidence from oil strike refineries in France. *Journal of the Association of Environmental and Resource Economists*, 4(2):447–477.
- LAVY, V., EBENSTEIN, A. et ROTH, S. (2012). The impact of air pollution on cognitive performance and human capital formation. Working paper.
- LECOQ, P., DOR, F. et KAIRO, C. (2009). Description des valeurs repères toxicologiques utilisées lors d'expositions aigües par inhalation des populations. *Synthèse*, 2.

- LEGRAS, S. et CAVAILHÈS, J. (2016). Environmental performance of the urban form. *Regional Science and Urban Economics*, 59:1–11.
- LETOMBE, G. et ZUINDEAU, B. (2005). Impact d'un établissement industriel polluant sur les valeurs immobilières de proximité : le cas de Metaleurop-Nord. *Economie appliquée*, (4):161–191.
- LEVINSON, A. et TAYLOR, M. S. (2008). Unmasking the pollution haven effect. *International Economic Review*, 49(1):223–254.
- LITTLE, B. (2014). *Me, myself, and us : The science of personality and the art of well-being*. Public Affairs.
- LIU, J., CHENG, Z. et ZHANG, H. (2017a). Does industrial agglomeration promote the increase of energy efficiency in China? *Journal of Cleaner Production*, 164:30–37.
- LIU, Y., JI, Y., SHAO, S., ZHONG, F., ZHANG, N. et CHEN, Y. (2017b). Scale of production, agglomeration and agricultural pollutant treatment : evidence from a survey in China. *Ecological Economics*, 140:30–45.
- LUCAS, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. *Journal of Monetary Economics*, 22(1):3–42.
- MADIÈS, T. et PRAGER, J.-C. (2008). Innovation et compétitivité des régions. Rapport technique, Conseil d'Analyse Economique.
- MALECKI, E. J. (2010). Everywhere? The geography of knowledge. *Journal of Regional Science*, 50(1):493–513.
- MARSHALL, A. (1890). *Principles of Economics*. London : Macmillan.
- MARTIN, P. (1999a). Public policies, regional inequalities and growth. *Journal of Public Economics*, 73(1):85–105.
- MARTIN, P., MAYER, T. et MAYNERIS, F. (2011). Spatial concentration and plant-level productivity in France. *Journal of Urban Economics*, 69(2):182–195.
- MARTIN, P. et OTTAVIANO, G. I. P. (1999). Growing locations : Industry location in a model of endogenous growth. *European Economic Review*, 43(2):281–302.
- MARTIN, P. et OTTAVIANO, G. I. P. (2001). Growth and agglomeration. *International Economic Review*, 42(4):947–969.

- MARTIN, P. et ROGERS, C. A. (1995). Industrial location and public infrastructure. *Journal of International Economics*, 39(3):335–351.
- MARTIN, R. (1999b). The new 'geographical turn' in economics : Some critical reflections. *Cambridge Journal of Economics*, 23(1):65–91.
- MARTIN, R. et SUNLEY, P. (1998). Slow convergence ? The New Endogenous Growth theory and regional development. *Economic Geography*, 74(3):201–227.
- MARTIN, R. et SUNLEY, P. (2003). Deconstructing clusters : chaotic concept or policy panacea? *Journal of Economic Geography*, 3(1):5–35.
- MASLIANSKAÏA-PAUTREL, M. (2009). La valorisation de la qualité de l'air par l'approche hédonique : une revue de la littérature. *Revue française d'économie*, 23(3):109–160.
- MASTROMONACO, R. (2015). Do environmental right-to-know laws affect markets ? Capitalization of information in the toxic release inventory. *Journal of Environmental Economics and Management*, 71:54–70.
- MAUREL, F. et SÉDILLOT, B. (1999). A measure of the geographic concentration in french manufacturing industries. *Regional Science and Urban Economics*, 29(5):575–604.
- MELITZ, M. J. (2003). The impact of trade on intra-industry reallocations and aggregate industry productivity. *Econometrica*, 71(6):1695–1725.
- MELITZ, M. J. et OTTAVIANO, G. I. P. (2008). Market size, trade and productivity. *The Review of Economic Studies*, 75(1):295–316.
- MELO, P. C., GRAHAM, D. J. et NOLAND, R. B. (2009). A meta-analysis of estimates of urban agglomeration economies. *Regional Science and Urban Economics*, 39(3):332–342.
- MILLOCK, K. (2015). Migration and environment. *Annual Review of Resource Economics*, 7(1):35–60.
- MINNITI, A. et PARELLO, C. P. (2011). Trade integration and regional disparity in a model of scale-invariant growth. *Regional Science and Urban Economics*, 41(1):20–31.
- MONTMARTIN, B. (2012). *Essais sur la rationalité, les effets et l'efficacité des aides publiques à la R&D privée*. Thèse de doctorat, Université Jean Monnet St Etienne.
- MONTMARTIN, B. (2015). When geography matters for growth : Market inefficiencies and public policy implications. Gredeg working paper, Université Nice Sophia Antipolis.

- MORETTI, E. (2004). Human capital externalities in cities. *In Handbook of Regional and Urban Economics*.
- MYRDAL, G. et SITOANG, P. (1957). Economic theory and under-developed regions.
- NAKADA, M. (2004). Does environmental policy necessarily discourage growth? *Journal of Economics*, 81(3):249–275.
- NEIDELL, M. J. (2009). Information, avoidance behavior, and health the effect of ozone on asthma hospitalization. *Journal of Human resources*, 44(2):450–478.
- OCDE (2001). Innovative Clusters : Drivers of national innovative systems. Rapport technique, OECD Paris.
- OCDE (2009). Regions Matter : Economic recovery, innovation and sustainable growth. Rapport technique, OECD Paris.
- OMS (2006). Lignes directrices OMS relatives à la qualité de l'air : particules, ozone, dioxyde d'azote et dioxyde de soufre. Rapport technique, Organisation Mondiale de la Santé.
- OMS (2015). Economic Cost of the Health Impact of Air Pollution in Europe : Clean Air, Health and Wealth, Copenhagen. Rapport technique, Organisation Mondiale de Santé.
- ONO, T. (2002). The effects of emission permits on growth and the environment. *Environmental and Resource Economics*, 21(1):75–87.
- ONU (2014). Highlights, World Urbanization Prospects. Rapport technique.
- OPENSHAW, S. et TAYLOR, P. J. (1979). A million or so correlation coefficients : three experiments on the modifiable areal unit problem. *In Statistical Applications in the Spatial Sciences*, pages 127–144. N. wright édition.
- OSTRO, B. (1983). The effects of air pollution on work loss and morbidity. *Journal of Environmental Economics & Management*, 10(4):371–382.
- OTTAVIANO, G. I. P. (2011). 'New' new economic geography : Firm heterogeneity and agglomeration economies. *Journal of Economic Geography*, 11(2):231–240.
- OTTAVIANO, G. I. P., TABUCHI, T. et THISSE, J.-f. (2002). Agglomeration and trade revisited. *International Economic Review*, 43(2):409–436.

- PANAYOTOU, T. (1997). Demystifying the environmental Kuznets curve : turning a black box into a policy tool. *Environment and development economics*, 2(4):465–484.
- PFLÜGER, M. et TABUCHI, T. (2010). The size of regions with land use for production. *Regional Science and Urban Economics*, 40(6):481–489.
- PICARD, P. M. et ZENG, D. Z. (2005). Agricultural sector and industrial agglomeration. *Journal of Development Economics*, 77(1):75–106.
- POPE III, C. A., BURNETT, R. T., THUN, M. J., CALLE, E. E., KREWSKI, DANIEL ITO, K. et THURSTON, G. D. (2002). Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *The Journal of the American Medical Association*, 287(9):1132–1141.
- PORTER, M. (1998). *On competition*. Harvard Business Press.
- PORTER, M. et van der LINDE, C. (1995). Toward a new conception of the environment-competitiveness relationship. *Journal of Economic Perspective*, 9(4):97–118.
- PUGA, D. (2002). European regional policies in light of recent location theories. *Journal of Economic Geography*, 2(4):373–406.
- PUGA, D. (2010). The magnitude and causes of agglomeration economies. *Journal of Regional Science*, 50(1):203–219.
- RANSOM, M. R. et POPE III, C. A. (1995). External health costs of a steel mill. *Contemporary Economic Policy*, 13(2):86–97.
- RAPPORT ENVIRONNEMENT (2016). Fiscalité environnementale, un état des lieux. Rapport technique, Ministère de l’Environnement, THEMA.
- RAPPORT INDUSTRIES (2010). L’industrie. Rapport technique, Commissariat général au développement durable, Service de l’observation et des statistiques.
- RAPPORT INDUSTRIES (2014). Industries et Environnement. Rapport technique, Ministère de la Transition Ecologique, Repères.
- RAUSCHER, M. (2009). Concentration, separation, and dispersion : Economic geography and the environment. Working paper.
- RAUSCHER, M. et BARBIER, E. B. (2010). Biodiversity and geography. *Resource and Energy Economics*, 32(2):241–260.

- REDDING, S. J. (2010). The empirics of new economic geography. *Journal of Regional Science*, 50(1):297–311.
- REGNIER, C. (2017). *Développement urbain et services écosystémiques : une analyse du marché foncier*. Thèse de doctorat, Université Bourgogne Franche-Comté.
- REGNIER, C. et LEGRAS, S. (2017). Urban structure and environmental externalities. *Environmental and Resource Economics*.
- RICCI, F. (2007). Channels of transmission of environmental policy to economic growth : A survey of the theory. *Ecological Economics*, 60(4):688–699.
- RICCI, F. (2013). Trappes résultant d’externalités négatives dues à la répartition territoriale inégale des activités innovatrices. *Revue économique*, 64(3):527–539.
- RICE, P., VENABLES, A. J. et PATACCHINI, E. (2006). Spatial determinants of productivity : Analysis for the regions of Great Britain. *Regional Science and Urban Economics*, 36(6):727–752.
- RIOU, S. (2003). How growth and location are sensitive and telecommunication infrastructures? *Recherches économiques de Louvain*, 69(3):241–265.
- ROBACK, J. (1982). Wages, rents, and the quality of life. *Journal of political Economy*, 90(6):1257–1278.
- ROMER, P. M. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5):71–102.
- ROSENTHAL, S. S. et STRANGE, W. C. (2001). The determinants of agglomeration. *Journal of Urban Economics*, 50(2):191–229.
- ROSENTHAL, S. S. et STRANGE, W. C. (2003). Geography, industrial organization, and agglomeration. *The review of economics and statistics*, 85(2):377–393.
- ROSENTHAL, S. S. et STRANGE, W. C. (2004). Evidence on the nature and sources of agglomeration economies. In *Handbook of Regional and Urban Economics*, volume 4, pages 2120–2167.
- ROSENTHAL, S. S. et STRANGE, W. C. (2008). The attenuation of human capital spillovers. *Journal of Urban Economics*, 64(2):373–389.

- ROSSI-HANSBERG, E. (2005). A spatial theory of trade. *The American Economic Review*, 95(5):1464–1491.
- ROTEMBERG, J. J. et SALONER, G. (2000). Competition and human capital accumulation : a theory of interregional specialization and trade. *Regional Science and Urban Economics*, 30(4):373–404.
- ROTILLON, G. (2010). *Economie des Ressources Naturelles*. La découverte, repères édition.
- SAMUELSON, P. (1954). The transfer problem and transport costs : Analysis of effects of trade impediments. *The Economic Journal*, 64(254):264–289.
- SCHIKOWSKI, T., SUGIRI, D., REIMANN, V., PESCH, B., RANFT, U. et KRUMER, U. (2008). Contribution of smoking and air pollution exposure in urban areas to social differences in respiratory health. *BMC public health*, 8(1):179–189.
- SCHUMPETER, J. A. (1939). *Business cycles*. McGraw-Hill New York.
- SEDGLEY, N. et ELMSLIE, B. (2011). Do we still need cities ? Evidence on rates of innovation from count data models of metropolitan statistical area patents. *American Journal of economics and Sociology*, 70(1):86–108.
- SHEARMUR, R. (2012). Are cities the font of innovation ? A critical review of the literature on cities and innovation. *Cities*, 29(2):9–18.
- SHEARMUR, R. et DOLOREUX, D. (2016). How open innovation processes vary between urban and remote environments : Slow innovators, market-sourced information and frequency of interaction. *Entrepreneurship & Regional Development*, 28(5-6):337–357.
- SHEN, J. (2006). A simultaneous estimation of environmental Kuznets curve : evidence from China. *China Economic Review*, 17(4):383–394.
- SMITH, V. K. et HUANG, J.-C. (1995). Can markets value air quality ? A meta-analysis of hedonic property value models. *Journal of Political Economy*, 103(1):209–227.
- SOLOW, R. M. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1):65–94.
- STOCK, J. et YOGO, M. (2005). Testing for weak instruments in linear IV regression. In PRESS, C. U., éditeur : *Identification and inference for econometric models : Essays in honor of Thomas Rothenberg*, pages 80–108.

- STORPER, M. (2010). Agglomeration, trade, and spatial development : Bringing dynamics back in. *Journal of Regional Science*, 50(1):313–342.
- STORPER, M. et VENABLES, A. J. (2004). Buzz : face-to-face contact and the urban economy. *Journal of economic geography*, 4(4):351—370.
- SUGLIA, S. F., GRYPARIS, A., WRIGHT, R. O., SCHWARTZ, J. et WRIGHT, R. J. (2007). Association of black carbon with cognition among children in a prospective birth cohort study. *American journal of epidemiology*, 167(3):280–286.
- TABUCHI, T. et THISSE, J.-f. (2006). Regional specialization, urban hierarchy, and commuting costs. *International Economic Review*, 47(4):1295–1317.
- THISSE, J.-F. (2010). Toward a unified theory of economic geography and urban economics. *Journal of Regional Science*, 50(1):281–296.
- THOMPSON, P. et FOX-KEAN, M. (2005). Patent citations and the geography of knowledge spillovers : A reassessment. *The American Economic Review*, 95(1):450–460.
- TRAVERS, M., BONNET, E. et CHEVÉ, M. (2009). Risques industriels et zone naturelle estuarienne : une analyse hédoniste spatiale. *Economie & prévision*, (4):135–158.
- van MARREWIJK, C. (2005). Geographical economics and the role of pollution on location. Working paper.
- van OORT, F. G., BURGER, M. J., KNOBEN, J. et RASPE, O. (2012). Multilevel approaches and the firm-agglomeration ambiguity in economic growth studies. *Journal of Economic Surveys*, 26(3):468–491.
- VENABLES, A. J. (1996). Equilibrium locations of vertically linked industries. *International Economic Review*, 37(2):341–359.
- WACKERNAGEL, M. et REES, W. (1998). *Our ecological footprint : reducing human impact on the earth*. New Society Publishers, Canada.
- WALZ, U. (1996). Transport costs, intermediate goods, and localized growth. *Regional Science and Urban Economics*, 26(6):671–695.
- WILLIAM, P. D. et WARFORD, J. J. (1993). *A World Without End : Economics, Environment, and Sustainable Development*. Oxford University Press.

- WILLIAMSON, J. G. (1965). Regional inequality and the process of national development : a description of the patterns. *Economic development and cultural change*, 13(4):1–84.
- WON KIM, C., PHIPPS, T. et ANSELIN, L. (2003). Measuring the benefits of air quality improvements : A spatial hedonic approach. *Journal of Environmental Economics and Management*, 45(1):24–39.
- WORLD BANK, B. (2001). Energy and Development. Rapport technique, Energy and Development, Whashington DC.
- WU, J., WEBER, B. A. et PARTRIDGE, M. D. (2017). Rural-urban interdependence : A framework integrating regional, urban, and environmental economic insights. *American Journal of Agricultural Economics*, 99(2):464–480.
- WU, J. J. et REIMER, J. J. (2016). Pollution mobility, productivity disparity, and the spatial distribution of polluting and nonpolluting firms. *Journal of Regional Science*, 56(4):615–634.
- WWF (2014). *Protected planet report 2014*.
- ZENG, D.-Z. et ZHAO, L. (2009). Pollution havens and industrial agglomeration. *Journal of Environmental Economics & Management*, 58(2):141–153.
- ZENG, K. et EASTIN, J. (2007). International economic integration and environmental protection : The case of China. *International Studies Quarterly*, 51(4):971–995.

Table des figures

1.1	Causalité cumulative dans la NEG	27
1.2	Schéma de la NEGG	34
1.3	Courbe de Williamson	52
1.4	Problème MAUP	60
2.1	Établissements classés à risque ICPE	68
2.2	Localisation des ICPE et établissements Seveso dans les départements de France métropolitaine	69
2.3	Carte du Moran scatterpot pour les ICPE	71
2.4	Carte du Moran scatterpot avec significativité pour les ICPE	71
2.5	Carte du Moran scatterpot pour les SEVESO	72
2.6	Carte du Moran scatterpot avec significativité pour les SEVESO	72
2.7	Carte du Moran scatterpot pour les IED	72
2.8	Carte du Moran scatterpot avec significativité pour les IED	72
2.9	Principaux modèles de la NEG intégrant la pollution industrielle	93
2.10	Secteurs et évolution des émissions atmosphériques	115
3.1	Modèle NEGG avec dommages environnementaux industriels	129
3.2	Simulations avec taxe identique environnement	156
3.3	Simulations avec taxe identique bien être total	157
3.4	Simulations avec $C \geq 1$: environnement	161
3.5	Simulations avec $C \geq 1$: bien être total	161
4.1	Map of employment zones	185
4.2	Interaction term: marginal effects	201
4.3	Interaction term: marginal effects with pollution instrument	206

Liste des tableaux

1.1	Qu'est ce que l'innovation ?	9
1.2	NEGG : avec mobilité du travail	38
1.3	NEGG : avec liens verticaux	39
1.4	NEGG : avec mobilité parfaite du capital	42
2.1	Indices de Moran des ICPE	70
2.2	Quadrants du Moran scatterplot	70
2.3	Concentration et intensité de pollution en Plomb	77
2.4	Corrélation indice de concentration et intensité polluante	78
2.5	Concentration spatiale et intensité de pollution en CH_4	108
2.6	Concentration spatiale et intensité de pollution en CO_2 par secteur	109
2.7	Concentration et intensité de pollution en CO	110
2.8	Concentration et intensité de pollution en $COVNM$	111
2.9	Concentration et intensité de pollution en HAP	111
2.10	Concentration et intensité de pollution en Hg	112
2.11	Concentration et intensité de pollution en SO_2	112
2.12	Concentration et intensité de pollution en NO_2	113
2.13	Concentration et intensité de pollution en TSP	114
3.1	Dispositifs réglementaires et fiscaux	123
3.2	Analyse numérique	150
3.3	Taux en euros de la TGAP	169
4.1	Overview of polluting emissions and their consequences	188
4.2	Polluting emissions by sector of IREP plants	189
4.3	Correlation matrix	190
4.4	Historical instruments	193
4.5	Geological instruments	194
4.6	First stage: instruments	195

4.7	Aggregate Agglomeration Effects	197
4.8	Interaction terms with pollution	200
4.9	First stage: Instrument of pollution	204
4.10	Interaction terms with instrument of pollution	205

Table des matières

Introduction générale	1
1 Innovation en économie géographique	5
Introduction	5
1.1 Intégration de l'innovation en économie géographique	6
1.1.1 Innovation et modèles de croissance	6
1.1.2 Agglomération et innovation	11
1.1.2.1 Géographie de l'innovation	11
1.1.2.2 Facteurs spatiaux de l'innovation	16
1.1.3 Place de la NEG dans la production d'innovation	22
1.1.3.1 Cadre théorique de la NEG	23
1.1.3.2 Compatibilité entre NEG et Croissance endogène	28
1.2 L'agglomération favorise la croissance et <i>vice et versa</i> ?	32
1.2.1 Fondements	32
1.2.2 Modèles de la NEGG avec causalité cumulative	36
1.2.3 Modèles de la NEGG sans causalité cumulative	41
1.3 Limites et questions	44
1.3.1 Modélisation mathématique et NEG	44
1.3.2 Prise en compte de l'espace	46
1.3.3 Et si l'agglomération ne favorisait pas la croissance...	49
1.3.4 Politiques publiques et régionales en question	56
Conclusion	59
Annexes	60
2 Dégradations environnementales industrielles et organisation spatiale	61
Introduction	61
2.1 Pressions industrielles sur l'environnement	63
2.2 Effets des dégradations environnementales sur l'économie	79
2.3 Environnement et Localisation des agents	87

2.4 Organisation spatiale et croissance affectent l'environnement	98
Conclusion	107
Annexes	108
3 Modèle de la NEGG avec régulation environnementale	117
Introduction	117
3.1 Politique environnementale et localisation	119
3.2 Un modèle de la NEGG avec pollution industrielle	126
3.3 Introduction d'une régulation environnementale	151
Conclusion	162
Annexes	163
4 Do agglomeration economies are lower for polluting sectors ?	171
Introduction	171
4.1 Literature review	173
4.2 Data and variables	183
4.3 Empirical strategy	189
4.4 Results	195
Conclusion	208
Appendix	210
Conclusion générale	211
Références bibliographiques	215
Liste des Figures	239
Liste des Tableaux	241
Table des matières	243