Ecole Nationale des Ponts et Chaussées

Thèse pour l'obtention du titre de docteur de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées
Ecole doctorale Ville et Environnement

L'inertie des systèmes urbains et le tempo des politiques publiques face aux risques énergétiques et climatiques

François Gusdorf

Membres du Jury

Directeur de thèse : Jean-Charles Hourcade
Rapporteur : Alain Haurie
Rapporteur : Vincent Renard
Examinateur : Eric Brun
Examinateur : Stéphane Hallegatte

Centre International de Recherche sur l'Environnement et le Développement

Remerciements

Je tiens à exprimer ici l'étendue de ma gratitude à Jean-Charles Hourcade, mon directeur de thèse, qui m'a accueilli dans son laboratoire. Sans la confiance qu'il m'a accordée, sans la finesse de sa compréhension des enjeux scientifiques et politiques liés au changement climatique, cette thèse n'aurait pu voir le jour. Me prendre dans son équipe sur les sujets qui m'intéressent était un pari risqué, et j'espère avoir été à la hauteur des responsabilités qu'il a bien voulu me faire l'honneur de m'accorder.

Je suis infiniment reconnaissant à Stéphane Hallegatte, qui fut non seulement un guide tout au long de cette thèse, mais aussi un soutien précieux dans les moments de questionnement professionnel. A sa curiosité scientifique, à son intelligence aigüe et à la pertinence de ses interrogations, je dois des conversations stimulantes qui m'ont orienté et m'ont donné l'envie de pousser ce travail le plus loin possible. J'ai eu la chance de pouvoir m'inspirer de son exemple, en suivant au jour le jour son cheminement intellectuel face aux problèmatiques de recherche que nous examinions ensemble.

Je remercie chaudement le maestro Alain Lahellec : sa disponibilité bienveillante et sa volonté de creuser les problèmes jusqu'à en extraire leur substantifique moëlle m'ont servi d'aiguillon et de motivation pendant trois ans. Ma dette est grande également envers Patrice Dumas, dont la rigueur intellectuelle et l'érudition informatique m'ont permis d'avancer à une vitesse inaccessible sans lui. Je remercie avec eux les participants aux ZIRCONs, pour leurs précieuses réactions, et la façon dont ils m'ont intégré à leurs échanges, empreints de respect et de franchise.

Je suis reconnaissant à Tarik Tazdaït, à mes co-auteurs Franck Nadaud et Abdelhakim Hammoudi pour la qualité de leur aide, et leurs réflexions si utiles. Je remercie vivement Sylvain Champonnois, Arnaud Passalacqua et Eduardo Perez pour leur accompagnement et leurs remarques avisées malgré l'éloignement. Leurs observations sont à l'origine d'améliorations notables dont cette thèse garde aujourd'hui la trace.

Pour leur encourageante présence quotidienne, pour l'énergie qu'ils ont bien voulu consacrer à mes problématiques, pour leur amitié surtout, je remercie profondément Damien Demailly et Guy Meunier. Me rendre durant plus de trois ans dans un bureau où j'étais assuré de les retrouver a beaucoup contribué à mon assiduité. Ma reconnaissance sur ce plan va également à l'excentrique Meriem Hamdi-Cherif, dont le naturel et la gentillesse ont été un soutien inestimable.

Mon travail doit aussi beaucoup aux échanges, même sporadiques, avec Renaud Crassous, Vincent Gitz, Céline Guivarch, l'aérienne Sandrine Mathy, Pierre Matarasso, Hélène Ollivier, Philippe Quirion, Olivier Sassi, et le si patient Henri Waisman. Leur présence explique l'excellente ambiance de travail qui règne au CIRED, et le plaisir que j'en ai retiré. Le développement de mes idées est tributaire de leurs analyses, et des conversations que j'ai eues avec eux.

J'exprime également ici ma reconnaissance à Naceur Chaabane, Michèle Sadoun, Yaël Serfaty, Dany Tran et Eléonore Tyma, dont les efforts quotidiens sont indispensables au fonctionnement du laboratoire.

Last but not least, mon ultime remerciement est adressé à mes parents, à Audrey, Antoine et Laurence, pour leur soutien, leurs questions et leurs encouragements, ainsi qu'aux nombreux amis qui ont témoigné de leur intérêt pour mes réflexions.

Table des matières

1 La question urbaine au cœur des dossiers énergie et climat **19**
1.1 Changement climatique et instruments de réduction des émissions 19
1.2 Des outils d'analyse économique adaptés aux problématiques des négociations 22
1.3 Les villes concentrent les activités et les hommes 25
1.3.1 La question de l'énergie 25
1.3.2 Les inégalités 28
1.4 Le système urbain en univers incertain : analyse dynamique des villes 29
1.4.1 Prospective de long terme et prise en compte des déséquilibres économiques 30
1.4.2 Un problème d'articulation des échelles temporelles 31
1.4.3 Réaction aux chocs 33
1.5 Appréhender le système ville et ses vulnérabilités 34
1.5.1 Le système ville 34
1.5.2 La ville en économie 36
1.5.3 Interaction logement - transport, et vulnérabilité face aux changements 38

2 Behaviors and housing inertia are key factors in determining the consequences of a shock in transportation costs **45**
2.1 Introduction 46
2.2 Model 47
2.2.1 The Monocentric Closed City Model 48
2.2.2 The households 48
2.2.3 The landowners 50
2.2.4 Static Equilibrium 52
2.3 Transportation price shocks 57
2.3.1 No Inertia 57
2.3.2 Taking Inertia into Account 58
2.4 Conclusion 63
2.4.1 Summary 63
2.4.2 Discussion 64
2.A Appendix : analytical calculations 70
2.A.1 Characteristics of the urban system 70
2.A.2 Utility level 70

2.A.3 Housing structure . . . 70
2.A.4 Nomenclature . . . 71

3 Point d'étape - Evaluation empirique du lien entre les secteurs du logement et du transport 73
3.1 Transport et logement : une interaction au centre des évolutions urbaines . . 73
3.1.1 Développement des villes et moyens de transport disponibles . . . 73
3.1.2 L'étalement urbain . . . 74
3.2 Le lien transport - logement dans la littérature empirique . . . 75
3.2.1 Les faits stylisés . . . 75
3.2.2 Les études empiriques . . . 75
3.3 L'inertie urbaine à l'épreuve des faits . . . 76
3.3.1 La dynamique liée à un choc . . . 76
3.3.2 Un test sur des données agrégées . . . 77

4 An empirical analysis of the interactions between transportation prices and housing markets 81
4.1 Introduction . . . 82
4.2 The model . . . 83
4.2.1 The AIDS model . . . 83
4.2.2 Estimation methods, and choices . . . 85
4.2.3 Computing elasticities from the LA-AIDS model . . . 85
4.3 Description of the data . . . 87
4.3.1 Source and aggregation level . . . 87
4.3.2 Evolution of budget shares . . . 88
4.3.3 Price indexes . . . 92
4.4 Results . . . 94
4.4.1 Housing-related energy expenses included in the housing budget . . . 95
4.4.2 Housing-related energy expenses excluded from the housing budget . 95
4.5 Conclusion . . . 95
4.A Appendix : stationarity tests of the time series for AIDS estimation by DOLS 101

5 Point d'étape - Rendre les villes moins vulnérables 103
5.1 L'insertion dans les politiques urbaines . . . 103
5.1.1 Un débat de longue date . . . 103
5.1.2 Les tendances actuelles . . . 104
5.2 La forme des villes face aux chocs . . . 105
5.3 Taxe carbone : quelles vertus pour la ville ? . . . 107

6 Compact or Spread-Out Cities : Urban Planning, Taxation, and the Vulnerability to Transportation Shocks 111
6.1 Introduction . . . 112
6.2 The model . . . 113

6.2.1 The Closed City Model with taxation . . . 114
6.2.2 The city structure . . . 116
6.3 Compared vulnerability to external transportation shocks . . . 120
6.3.1 Accounting for inertia during the transition . . . 120
6.3.2 Effects on landowners . . . 121
6.3.3 Effects on households . . . 121
6.3.4 Vulnerable and robust cities . . . 122
6.4 Normative aspects . . . 123
6.4.1 Robust vs. vulnerable strategies . . . 123
6.4.2 The implementation of a transportation tax . . . 126
6.5 Conclusion . . . 127
6.A Appendix . . . 133
6.A.1 Relationships in a CSEnt . . . 133
6.A.2 Relationships in the medium-term equilibrium, with exogenous housing structure . . . 134

7 Point d'étape - Tempo des politiques publiques et effets redistributifs 137
7.1 Les villes : lieu d'inscription des inégalités dans l'espace . . . 137
7.2 Les effets redistributifs vus à travers le prisme de l'analyse dynamique . . . 139
7.3 Le besoin d'un cadre d'analyse complet . . . 140

8 Time and space matter : how urban transitions create inequality 145
8.1 Introduction . . . 145
8.2 The traditional equilibrium urban model . . . 147
8.3 Non Equilibrium Dynamic Urban Model . . . 149
8.3.1 Households behavior . . . 149
8.3.2 Rent curve dynamics . . . 150
8.3.3 Capital and investments . . . 150
8.3.4 Specific functional forms and calibration . . . 150
8.4 Dynamic analysis of a shock on transportation costs . . . 151
8.4.1 Average utility level . . . 152
8.4.2 Spatialized adaptation . . . 153
8.4.3 Redistributive consequences . . . 154
8.4.4 Crowding-out effect and macroeconomic feedbacks . . . 156
8.5 Sending a signal-price : when late is too late . . . 156
8.5.1 Early versus delayed action . . . 157
8.5.2 Welfare losses . . . 158
8.5.3 Redistributive effects . . . 159
8.6 Conclusion . . . 159
8.6.1 Summary . . . 159
8.6.2 Discussion . . . 161
A Appendix : The Non Equilibrium Dynamic Model . . . 164
A.1 Capital, and investment drivers . . . 165

A.2 Households behavior 166
A.3 Rent curve dynamics 168
A.4 Specific functional forms 169
B Appendix : the static equilibrium of NEDUM 170
B.1 Static equilibrium : existence and unicity 170
B.2 Analytical calculations for the static equilibrium 171

9 Conclusion : prise en compte des inerties urbaines, et irréversibilité des choix de développement 173
9.1 Vulnérabilité des villes 173
9.2 Remettre le signal-prix transport en perspective 178

Table des figures

2.1 Rent curve $R_H(r)$ (index $R_H(p,0)=1$) and per capita housing service consumption $q(r)$ (index $q(p,0)=1$), with respect to the distance from the city center, at equilibrium. The different curves correspond to transportation prices p and $2p$. 53

2.2 Housing structures corresponding to two different transportation prices, with respect to the distance from the CBD (left : index $h(p,0)=1$; right : index $H(p,5)=1$). 54

2.3 Equilibrium level of households utility u (index $u=1$ for $p=0.32$ dollars per kilometer), as a function of the transportation price p. 55

2.4 The variable $LLI(r)$ is the income generated by a square meter of land at location r. The two curves correspond to transportation prices p and $2p$ (index $LLI(0,p)=1$). 56

2.5 The Aggregate Landowners' Income with respect to the magnitude of changes in transportation prices (index $ALI_i = ALI_f = 100$), before and after the shock. 60

2.6 The housing rent during the three periods, for a shock corresponding to a doubling of the transportation price (index $R_H(p,0)=1$). 60

2.7 Left : for a doubling of the transportation price, the income generated by land with respect to the location r, in the three periods (index $LLI(p,0)=1$). Right : for the same shock, the landowners' income generated by the entire surface at distance r from CBD (index $\mathsf{Land}(5)\cdot LLI_i(5)=1$). 61

2.8 Left : utility levels u_f and u_m (index $u_i=1$) ; Right - Amplification effect of buildings inertia on the medium-period utility. For shock amplitude lower than 1.6, housing inertia smoothes the shock ; for shock amplitude larger than 1.6, housing inertia amplifies the shock 62

4.1 Composition of housing expenditures through time. 89

4.2 Composition of transport expenditures through time. 90

4.3 Shares of households' expenditures devoted to the composite good, the housing services, and the transportation services. 91

4.4 Engel curves based on data from year 1960 to year 2005, for the composite good, the housing services and the transportation services. 92

4.5 The evolution of price indexes of the composite good, the transportation services, and housing services, between year 1960 and year 2005. 93

6.1 Left : housing density $h(r)$ corresponding to different tax levels θ (index $h(0) = 1$ for zero tax). Right : housing structure $H(r)$ as a function of the tax level (index $H(10) = 1$ for zero tax). 117

6.2 The Aggregate Land Income, corresponding to different tax levels (index $ALI = 1$ for zero tax). 118

6.3 Impact of a tax θ on utility u (index $u = 1$ for $\theta = 0$). 119

6.4 For a doubling of transportation price, impact of θ_i on ALI (index $ALI_f = 100$). 121

6.5 For a doubling of transportation price, the impact of tax levels θ_i on utility levels u_i, u_m and u_f (index $u_i = 1$ for $\theta_i = \theta^*$). 122

6.6 Impact of θ_i for a utilitarian government ($\lambda = 1/2$) : green areas correspond to the couples (θ_i,μ) that ensure a better outcome than (0,μ) for W_C^U (C) and W_{CL}^U (CL) respectively. In red areas, both criteria perform worse than $\theta_i = 0$. 124

6.7 Impact of θ_i for a utilitarian government ($\lambda = 1/2$) : green areas correspond to the couples (θ_i,μ) that ensure a better outcome than (0,μ) for W_C^R (C), and for W_{CL}^R (CL) respectively. In red areas, both criteria perform worse than $\theta_i = 0$. 125

6.8 Impact of a tax θ vs. a price $p' = p(1 + \theta)$ on utility u (index $u = 1$ for $\theta = 0$). 126

6.9 Impact of tax levels θ_f on - Left : utility levels u_m and u_f. -Right : ALI_m compared to ALI_f. 127

8.1 The evolution of $\overline{u}$ with respect to time. Each curve corresponds to different values of the timescales τ_n, τ_R and τ_q (index $\overline{u} = 1$ at time $t = 0$). 152

8.2 Left : rent curves $R_H(r)$ before the shock, 5 years after the shock, and 150 years after the shock (index $R_H(0) = 1$ before the shock). Right : density curves $n(r)$ before the shock, 5 years after the shock, and 150 years after the shock (index $n(0) = 1$ before the shock). 153

8.3 Left : rent curves $R_H(r)$ before the shock, 15 years after the shock, and 150 years after the shock (index $R_H(0) = 1$ before the shock). Right : density curves $n(r)$ before the shock, 15 years after the shock, and 150 years after the shock (index $n(0) = 1$ before the shock). 154

8.4 Left : evolution of utility levels with respect to the time, at locations 5 km, 25 km, and 50 km in the city (index $u = 1$ before the shock) for 150 years after a shock in transportation costs. Right : evolution of the gini index characterizing inequalities of utility levels in the city. 155

8.5 Evolution of the economic output with respect to time (index $Y = 100$ before the shock), and of the rate of interest ρ. 156

8.6 Left : average utility level with respect to time, for policies starting in year 2000 and year 2040 (index $u = 1$ in year 1990). Right : Gini index with respect to time for policies starting in year 2000 and year 2040. 157

8.7 On these two panels, each curve is related to a sensitivity test to a given parameter. We show curves corresponding to a wide range of values of τ_R, τ_q, τ_n, a, and δ_H. The curve corresponding to the central values of these parameters is the bold red curve. Left : the welfare costs of tax implementation, with respect to the year of implementation. Right : the maximum value reached by the Gini index during the transition, depending on the year of implementation. 158

Liste des tableaux

4.1 Elementary statistics of budget shares 88
4.2 Estimation results, assumption (1). Non significant elasticities are in shaded areas. 96
4.3 Estimation results, assumption (2). Non significant elasticities are in shaded areas. 97
4.4 ADF stat stands for the t-stat of the lagged variable whose coefficient is (a-1) ; DT means “Deterministic Terms" with the Mac Kinnon notation : nc = no constant ; c = constant only ; ct = constant and trend. Lag is the number of lags of the dependant variable included in the ADF regression using the Campbell-Perron (1991) test-down procedure. P-value is the probability that the ADF distribution with deterministic term DT is smaller that the sample ADF statistic. The unit root (non stationarity) hypothesis is rejected if it is inferior to the chosen size (here 5%). The critical values are chosen for a sample size of 50 at size 5% are -1.93 for nc, -2.93 for c and -3.50 for ct. . . . 101

6.1 Symbols and variables 114
6.2 For a doubling of transportation price, the situation of agents in the medium run, relative to the final situation, for various levels of θ_i. 122

8.1 Nomenclature for the traditional Von Thuenen model. 148
8.2 Nomenclature : new variables introduced in NEDUM. 164

(...) il faut savoir se contenter d'une esquisse un peu grossière de la vérité ; et en ne raisonnant que sur des faits généralement mais non toujours vrais, on n'en doit tirer que des conclusions du même ordre. C'est avec cette indulgente réserve qu'il conviendra d'accueillir tout ce que nous dirons ici.

Aristote, *Éthique à Nicomaque*

Introduction

Les spécificités de la ville, en tant que système consommateur d'énergie et émetteur de gaz à effet de serre, ont été relativement peu exploitées ces dernières années par les travaux de prospective énergétique, ou par les analyses économiques des politiques climatiques. Cette faible place accordée au rôle des dynamiques proprement urbaines ne peut manquer de provoquer l'étonnement, tant est grande la place qu'occupent les villes dans nos systèmes socio-économiques : principaux lieux de production des richesses dans le monde, les villes concentrent également en leur sein les pouvoirs administratifs. L'histoire du dossier climat elle-même est d'ailleurs ponctuée des noms des villes qui ont accueilli les différentes Conférences des Parties engagées dans les négociations climatiques.

Deux facteurs expliquent que les économistes n'aient pas pris plus amplement en compte cet objet d'étude qu'ils ont pourtant constamment sous les yeux. D'une part, parmi les outils économiques disponibles au moment où le dossier climat a émergé, seuls les modèles de prospective énergétique étaient à même de venir appuyer des réflexions de long terme. Or ces modèles sont fondés sur une décomposition de l'économie en secteurs. Dans ce type de représentation, la ville disparaît quasiment et les grandes fonctions urbaines, notamment l'habitat et le logement, sont traitées comme des postes de consommation classiques.

D'autre part, le contexte politique et scientifique qui entoure la gestion du réchauffement global a orienté la littérature scientifique dans une direction bien spécifique. Les analyses des enjeux climatiques ont été pour une grande part concentrées sur les questions soulevées par les négociations internationales entamées au Sommet de la Terre à Rio en 1992. Les problématiques liées à ce processus concernent en premier lieu la détermination des cibles de réduction des émissions de gaz à effet de serre, par pays ou par groupes de pays. En corollaire de ces préoccupations, de nombreux travaux ont porté sur les moyens d'effectuer ces réductions à moindre coût à l'aide des mécanismes dits de flexibilité : crédits d'émissions négociables, mécanismes de Mise en Œuvre Conjointe, et Mécanismes de Développement Propre.

L'ensemble de ce processus, et la façon dont se sont cristallisées les négociations, sont responsables de la faible prise en compte des particularités urbaines dans les analyses climatiques et énergétiques. Le fonctionnement des villes repose pourtant sur une consommation d'énergie importante ; les formes urbaines déterminent une bonne part de la demande de mobilité des citadins, et donc de la consommation de carburant. Un premier constat s'impose donc : les contraintes climatiques et énergétiques qui se concrétiseront dans les décennies à venir pourraient nous amener à agir spécifiquement sur la structure des villes.

De plus, les villes concentrent en leur sein la majeure partie de la population mondiale, et sont le lieu de production de l'essentiel du PIB de la planète. Leur importance devrait d'ailleurs s'accroître encore tout le long du XXIème siècle. Pour ces raisons, les villes sont le lieu de l'inscription dans l'espace des particularités des systèmes sociaux-économiques qui les sous-tendent : dans ces endroits densément peuplés se détermine le mode de cohabitation entre des populations présentant des inégalités de revenu, des différences d'âge, de couleur de peau, etc... Notre deuxième constat est donc que toute tentative de mutation énergétique forte modifiera la façon dont fonctionnent les villes, et influencera la répartition des catégories de population dans l'espace urbain.

Ces deux constats restent valables tant qu'il n'existera pas de substitut du pétrole qui soit à la fois propre, bon marché et abondant. Les travaux que nous présentons ici sont fondés sur l'hypothèse qu'un substitut réunissant ces caractéristiques restera indisponible pendant plusieurs décennies encore. Aussi, cette thèse affirme que la façon dont les villes réagissent aux politiques énergétiques et climatiques doit être considérée comme un élément de poids dans les analyses des politiques urbaines ; et que les systèmes urbains sont caractérisés par des particularités qui, pour l'heure, ne sont pas suffisamment prises en compte par la littérature économique.

Le fonctionnement des villes repose en effet sur l'existence d'infrastructures dont les durées de vie sont très longues à l'échelle de l'analyse économique. Le logement, le transport, l'énergie, l'eau, les déchets, sont autant de secteurs où des infrastructures lourdes sont mises en place en réponse aux conditions économiques dans lesquelles évoluent les villes. La durée de vie de ces infrastructures dont le remplacement exige des investissements considérables entraîne l'apparition d'une inertie dans les évolutions urbaines.

D'autres facteurs, comme la localisation des agents et des activités, renforcent cette inertie : les déménagements entraînent des coûts, directs, comme l'acquittement d'une taxe lors de la vente ou de l'achat d'un domicile ; ou indirects, comme le temps nécessaire à la recherche du logement le plus adapté. Le fonctionnement du marché foncier est également avec soumis à des régulations nationales ou locales, qui impliquent souvent une certaine rigidité dans les prix. Pour toutes ces raisons, le système urbain ne saurait être considéré comme parfaitement flexible.

Devant l'absence d'outil adapté à la prise en compte des villes, notre choix est donc d'aborder le sujet en analysant les conséquences des inerties urbaines pour la mise au point des politiques liées à l'énergie ou au changement climatique. Nous développons dans ces pages des modèles stylisés à même de rendre compte des évolutions des systèmes urbains dans le temps et dans l'espace. Toute perturbation des conditions économiques entraîne une adaptation de la ville sur le long terme. Cette thèse s'attachera à montrer que cet état de long terme est précédé par une période de transition, caractérisée par des effets négatifs qui sont loin d'être négligeables. Les mécanismes que nous mettons en évidence soulignent en particulier la vulnérabilité des villes face aux changements brusques.

Les conditions de la mobilité urbaine sont particulièrement importantes pour la cohérence et le fonctionnement des villes. Nos travaux seront donc focalisés sur les modifications

affectant le secteur des transports, plus précisément sur les modifications dont la durée est courte comparée aux échelles temporelles caractéristiques des inerties urbaines. Par commodité de langage, nous emploierons dans cette thèse le terme de « choc » pour désigner ce type d'évolution, étant entendu que les facteurs à l'origine de ces bouleversements peuvent être très divers : chocs énergétiques induisant une hausse des coûts généralisés du transport, les politiques en matière de tarification du transport et de l'énergie, taxe carbone, ou encore réduction des vitesses de circulation, voire survenue d'un événement météorologique extrême.

Notre ambition n'est pas de proposer des évaluations précises des effets d'un choc sur un système urbain. Nous mettons en revanche au point une méthodologie permettant de capter l'importance des inerties urbaines ; et nous utilisons cette méthodologie dans le but de fournir des ordres de grandeur des conséquences économiques de ces inerties. Cette façon de procéder, en dépit des approximations qu'elle suppose, peut se révéler fort utile, et nous reprenons humblement à notre compte les mots portés en épigraphes de cette thèse.

En partant des exemples que nous avons sélectionnés, nous montrerons que les évolutions urbaines qui suivent une modification des conditions économiques sont fortement différenciées dans le temps et dans l'espace. Nous exposerons les raisons pour lesquelles, durant les périodes de transition, l'économie urbaine dans son ensemble est moins efficace, et nous mettrons en évidence d'importants phénomènes redistributifs. Les tensions sociales qui résulteraient de ces derniers pourraient constituer, dans la perspective des actions de réductions des émissions de GES, un obstacle au moins aussi important que celui du coût des politiques climatiques.

Certains de nos résultats indiquent par ailleurs que les villes compactes pourraient être moins vulnérables que les villes étalées, et qu'il est possible d'orienter le développement urbain vers ces formes robustes. Au final, l'existence d'inerties dans les systèmes urbains nous incite à plaider pour une mise en œuvre précoce et progressive des politiques énergétiques et climatiques, plutôt que tardive et brutale, ce qui permettrait d'atténuer considérablement l'ampleur des problèmes redistributifs.

Dans le chapitre 1, nous commençons par décrire brièvement le contexte dans lequel s'inscrit la question des politiques urbaines. Nous mettons notamment en évidence les raisons pour lesquelles les villes peuvent se révéler particulièrement vulnérables face aux chocs. L'ossature de la thèse est ensuite constituée de 4 articles en Anglais (chapitres 2, 4, 6 et 8), présentant des analyses volontairement théoriques, dont la vertu est de mettre en évidence les effets stylisés que nous souhaitons étudier, ainsi qu'une analyse empirique. Des « points d'étape » (chapitres 3, 5 et 7) soulignent l'articulation des réflexions que nous présentons dans ces pages.

Le chapitre 2 montre que, de fait, les conséquences des chocs pour les villes sont principalement liées aux comportements des agents économiques et aux inerties urbaines. L'ampleur

de la vulnérabilité des villes face aux chocs est estimée, et apparaît relativement importante. Le chapitre 3 replace cette vulnérabilité dans une perspective plus vaste, en rappelant combien les interactions entre coûts du transport et prix des logements ont toujours été au cœur de l'histoire des villes. Le chapitre 4 évalue empiriquement l'importance de ce lien. Le chapitre 5 identifie alors certaines formes de villes suceptibles d'être plus robustes face aux chocs dont nous traitons, et le chapitre 6 s'attache à évaluer les avantages dont bénéficie une ville dense par rapport à une ville étalée.

Le chapitre 7 identifie les limites de notre approche : prenant acte de la présence d'effets redistributifs forts, du besoin d'une analyse fine dans le temps et l'espace, et de la nécessité de mettre au point un outil d'analyse novateur dans cette direction, le chapitre 8 présente un premier pas dans cette direction, en détaillant les effets redistributifs liés aux périodes de transition. Le modèle NEDUM (Non Equilibrium Dynamic Urban Model) est utilisé pour analyser différents rythmes d'implémentation d'un même signal prix, et met en évidence les conséquences redistributives d'une taxe carbone mise en œuvre rapidement.

Le chapitre 9 conclut, présentant les enseignements que nous tirons de nos analyses quant à la mise au point des politiques urbaines et climatiques.

Chapitre 1

La question urbaine au cœur des dossiers énergie et climat

Dans ce chapitre, nous présentons le contexte dans lequel se situe la question des politiques urbaines, et nous montrons à quel point il est crucial d'étudier ces politiques. Nous commençons par rappeler brièvement comment le « dossier climat » a émergé, se cristallisant sur la négociation de cibles de réductions d'émissions de gaz à effet de serre spécifiées en quantités, et sur la mise au point des outils de flexibilité - notamment les crédits d'émission échangeables - permettant d'atteindre ces cibles à moindre coût.

Au cours de ce processus, les outils de prospective énergétique ont été privilégiés, et les villes en tant que systèmes spécifiques ont été relativement laissées de côté par les études économiques. Pourtant, les villes constituent des élements clefs de nos sociétés, et concentrent en leur sein une majeure partie de la consommation d'énergie de la planète. Nous insistons en conséquence sur l'existence de dynamiques spécifiquement urbaines qu'il est nécessaire de prendre en compte dans l'analyse des politiques publiques. Finalement, après un bref état de l'art de la modélisation des villes en économie urbaine, nous indiquons dans quelle direction ces éléments nous ont incité à développer nos travaux.

1.1 Changement climatique et instruments de réduction des émissions

Un problème global

Si la réalité d'un changement climatique trouvant sa source dans les activités humaines a longtemps été sujette à controverse, les travaux de recherche et les informations accumulées ces dernières années sur le climat permettent aujourd'hui de trancher. Les preuves scientifiques concernant l'effet des émissions anthropiques de gaz à effet de serre ont conduit le Groupe d'experts Intergouvernemental sur l'Effet du Climat (GIEC) à inclure dans son quatrième rapport des affirmations nettes [*GIEC* (2007)] :

Global atmospheric concentrations of carbon dioxide, methane and nitrous oxide have in-

creased markedly as a result of human activities since 1750 and now far exceed pre-industrial values determined from ice cores spanning many thousands of years (...). The global increases in carbon dioxide concentration are due primarily to fossil fuel use and land use change, while those of methane and nitrous oxide are primarily due to agriculture.

Et, selon le même rapport,

Most of the observed increase in global average temperatures since the mid-20th century is very likely due to the observed increase in anthropogenic greenhouse gas concentrations. (...) Discernible human influences now extend to other aspects of climate, including ocean warming, continental-average temperatures, temperature extremes and wind patterns.

Les conséquences socio-économiques de ces changements climatiques inquiètent les gouvernements de nombreux Etats. Ainsi, toujours selon le quatrième rapport du GIEC :

Impacts of climate change will vary regionally but, aggregated and discounted to the present, they are very likely to impose net annual costs which will increase over time as global temperatures increase.

Ainsi, l'augmentation des concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère provoquent des modifications du climat, qui influenceront le devenir de nos sociétés. Les mécanismes biologiques, chimiques et physiques qui sous-tendent le changement climatique en font l'affaire de toute la planète : l'émission d'une tonne de dioxyde de carbone a le même effet sur le climat quel que soit son lieu d'émission. Cette indifférenciation a une implication simple pour l'analyse économique du phénomène : les réductions des émissions de gaz à effet de serre sont un bien public. La nécessité d'accords au niveau planétaire a été soulignée dès l'émergence du dossier climat, et la coopération internationale a été consacrée en tant que principe de l'action dans la déclaration finale issue du sommet de la terre qui se tint à Rio en 1992 :

States shall cooperate in a spirit of global partnership to conserve, protect and restore the health and integrity of the Earth's ecosystem [*Rio*(1992)].

Aussi, l'histoire de la lutte contre le changement climatique est avant tout l'histoire d'une coordination internationale de politiques étatiques.

Une coopération internationale indispensable mais difficile à mettre en place

La coordination des actions de réduction des émissions de gaz à effet de serre se trouve menacée suivant un mécanisme bien connu. Toute politique de mitigation ambitieuse entraîne des coûts potentiellement élevés pour l'Etat qui la met en place, tandis que ses effets bénéficient à l'ensemble de la planète. Les conditions sont donc réunies pour que le risque de comportement de passager clandestin soit un obstacle important à l'action.

De fait, dans l'histoire du dossier climat, la question de la coordination internationale des politiques s'est rapidement imposée comme l'un des problèmes majeurs à résoudre. La

conclusion d'un accord se trouve encore compliquée par l'incertitude qui entoure le dossier climat : incertitude sur les changements climatiques à venir, sur l'évolution de nos systèmes économiques, sur les coûts économiques de la décarbonisation de nos économies, sur les technologies qui seront disponibles dans le futur, incertitude enfin concernant l'impact des changements climatiques sur le fonctionnement de nos économies [*Tulkens et Tulkens*(2006)].

Les objectifs des politiques climatiques eux-mêmes subissent les conséquences de ces incertitudes : même si des accords, comme le protocole de Kyoto, ont mis en place pour certains groupes de pays des objectifs précisément chiffrés, force est de reconnaître que cette précision est toute relative. D'une part la comptabilisation des émissions de gaz à effet de serre est un processus comportant une marge d'incertitude importante. D'autre part, vu le peu d'informations disponibles aujourd'hui, les accords existants ne fixent d'objectifs que sur des périodes limitées. Ainsi, les pays qui se sont engagés dans le protocole de Kyoto n'ont encore fixé de cibles que pour la période 2008-2012, renvoyant à plus tard la conclusion d'un accord sur l'après 2012.

Des négociations focalisées sur les quantités d'émission

Les difficultés rencontrées dans le processus de négociation internationale, les divergences des attitudes des pays engagés dans cette coopération, ont fortement conditionné l'angle d'approche de la problématique des émissions de gaz à effet de serre, et les outils économiques privilégiés dans ce dossier. Ainsi, la Convention Cadre des Nations Unies sur le Changement Climatique n'a pu produire initialement qu'une déclaration de principe volontairement vague. Pour des raisons diplomatiques et non économiques, cette déclaration a mentionné des objectifs qu'il était souhaitable d'atteindre, en terme de concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère :

The ultimate objective of this Convention and any related legal instruments that the Conference of the Parties may adopt is to achieve, in accordance with the relevant provisions of the Convention, stabilization of greenhouse gas concentrations in the atmosphere at a level that would prevent dangerous anthropogenic interference with the climate system [*UNFCCC*(1994)].

Depuis lors, les négociations internationales se sont poursuivies à un rythme soutenu lors des Conférences des Parties. Suivant l'unique piste indiquée par la déclaration initiale, les pourparlers ont été centrés sur la coopération de l'action à travers des cibles en quantité. Le protocole de Kyoto, signé en 1997, et étape symboliquement forte de ce processus, indique pour chaque Etat ou groupe d'Etats dans les pays de l'annexe B un niveau d'émission à ne pas dépasser.

En outre, le protocole de Kyoto prévoit l'application d'un principe de subsidiarité : chaque gouvernement reste libre du choix des politiques et mesures à mettre en œuvre pour atteindre ses objectifs. Les exigences de la rationalité économique, les opportunités du point de vue de l'efficacité, ont conduit les pays signataires à s'accorder sur des instruments de flexibilité, notamment les permis d'émission échangeables. Le but de cette flexibilité est de permettre

aux Etats signataires d'atteindre une cible globale à moindre coût, par le biais de l'égalisation des coûts marginaux de réduction des émissions dans tous les pays. L'usage des permis d'émission permet donc de réduire de façon significative les coûts des politiques de mitigation, facteur de succès capital pour un accords international :

The impact of the protocol's first commitment period relative to global emissions is projected to be limited. Its economic impacts on participating Annex-B countries are projected to be smaller than presented in TAR, that showed 0.2-2% lower GDP in 2012 without emissions trading, and 0.1-1.1% lower GDP with emissions trading among Annex-B countries [*GIEC*(2007)].

L'estimation de ces coûts, l'étude du fonctionnement et de l'efficacité des marchés de permis, ont naturellement été au centre des recherches économiques traitant du changement climatique. Le caractère global du problème, la nécessité de parvenir à un accord international ont influencé et orienté l'analyse économique aussi bien sur le plan théorique que sur le plan pratique. Les réflexions sur les décisions à prendre ont été longtemps focalisées sur deux niveaux d'analyse :

- les niveaux globaux d'émission à atteindre ;
- les moyens d'atteindre et de faire respecter ces objectifs, en les déclinant au niveau des Etats.

1.2 Des outils d'analyse économique adaptés aux problématiques des négociations

Le besoin d'une analyse intégrée

Placés face à ces exigences au début des années 1990, les scientifiques ont pour première tâche de mettre au point les outils à même de fournir une vision globale de la planète, autorisant des analyses de long terme. Il s'agit là de la naissance du concept de modélisation intégrée [*Weyant et al.*(1996)], mis au service de la prospective. Le principe des instruments exploitant ce concept est de pouvoir utiliser des informations provenant de disciplines traditionnellement cloisonnées, comme le climat, l'énergie, l'économie, et les évolutions démographiques.

Des formes de modélisation qui jusque là ne dialoguaient que de façon très indirecte se retrouvent confrontées dans de nouveaux cadres théoriques. Les informations économiques injectées dans ces modélisations doivent représenter tous les secteurs émetteurs de gaz à effet de serre. Aussi, il n'y a pas en théorie d'obstacle à ce que l'analyse scientifique accorde à la ville, et plus généralement aux aspects spatiaux de l'économie, une place importante. S'il n'en a pas été ainsi, c'est sans doute pour des raisons qui tiennent à la nature des outils disponibles dans les années 1990.

Pour bien comprendre quels outils économiques ont été mobilisés dans cette entreprise de modélisation intégrée, il importe de cerner le contexte dans lequel le dossier du changement

climatique a émergé. Le domaine de la prospective énergétique sort en effet, au début des années 1990, de débats particulièrement intenses orientés dans deux directions.

1. D'une part, la question de l'épuisement des ressources fossiles, a été mise en avant par le rapport « Limits to Growth », commandé par le Club de Rome et paru en 1972 [*Meadows et al.*(1972)]. Les chocs pétroliers de 1973 et 1979, mettant l'accent sur la rareté des ressources, ont rappelé aux économies modernes leur dépendance envers les énergies fossiles. Les Etats-Unis notamment s'interrogent alors sur la planification de leurs choix énergétiques [*Ford Foundation*(1974)], choix qui doivent tenir compte de la demande mondiale sur des horizons longs [*Anderer et al.*(1974)]. Ces facteurs ne font bien sûr que renforcer la nécessité d'explorer les besoins et les capacités de la planète sur de longues périodes [*Daures et Frisch*(1975)].
2. D'autre part, le sort de l'énergie nucléaire, et le rôle qu'elle sera éventuellement appelée à jouer dans le futur, ont attiré l'attention des industriels du secteur de l'électricité sur son insertion dans le paysage énergétique de la planète. Les modèles sont donc utilisés pour projeter les résultats de choix politiques en matière de nucléaire [*Lovins*(1977)], et pour évaluer le potentiel des autres sources d'énergie électrique [*Longroth et al.*(1980)].

Pour ces raisons, un certain nombre d'économistes situés dans des centres de recherche comme l'International Institute for Applied System Analysis (IIASA) ont depuis les années 1970 pris l'habitude de réfléchir sur des horizons de 50 ans ou plus, en considérant sur ces périodes l'évolution de l'économie mondiale dans son ensemble [*Hafele*(1981)]. Lorsque le dossier du changement climatique émerge, ces scientifiques sont donc prêts à faire face à ces problématiques nouvelles. Aussi vont-ils à bon droit s'en emparer, et y imprimer la marque de leur esprit.

Des controverses qui ont laissé la ville de côté

Il convient de noter à quel point le développement de ces outils a été guidé par les débats mettant en jeu l'énergie électrique, de source nucléaire notamment [*Lovins et Price*(1975)]. Ce « biais électrique » orientait naturellement l'usage de ces modèles, et ceux qui s'y étaient familiarisés, vers le maniement des marchés de permis d'émission, outil des plus pertinents en ce qui concerne le secteur électrique. La facilité avec laquelle le dossier du changement climatique s'est retrouvé focalisé sur ces instruments de flexibilité s'en est trouvée renforcée.

Le mécanismes des permis d'émissions n'est pourtant pas adapté à tous les secteurs, et ce n'est pas un hasard si, dès 1993, certains acteurs du champs de la prospective attirent l'attention sur la mauvaise représentation des transports dans ces modèles [*Hourcade et al.*(1993)]. L'absence de la ville dans ces types de représentations, et plus généralement le manque de prise en compte des aspects spatiaux de l'économie, constituent alors l'une de leurs grandes faiblesses. De fait, face à la complexité des systèmes à analyser, les exercices de prospective ne pouvaient à leurs débuts être menés à bien qu'au prix de certaines simplifications : du point de vue purement économique, les modèles utilisés, au demeurant d'un niveau technique extrêmement élevé, optent pour une approche par grandes aires géographiques, à l'échelle

des continents ou des groupes de pays. Dans chaque zone, le fonctionnement de l'économie est représenté par des échanges entre secteurs.

En parallèle, d'autres pistes d'amélioration de ces modèles ont été suivies, et seront peu à peu privilégiées par les développeurs : depuis la fin des années 1980, les premiers modèles d'Equilibre Général Calculable (EGC) font leur apparition. Grâce aux progrès de l'informatique, il est désormais possible de tenir compte des contraintes macroéconomiques dans les exercices sur la croissance de long terme [*Manne*(1977)]. Les modèles d'optimisation sectoriels peuvent donc être informés par des rétroactions qui remettent le lien entre croissance économique et consommation énergétique au cœur des débats [*Edmonds et Reilly*(1983)].

Cette montée de la prise en compte des rétroactions économiques débouche alors sur la naissance de deux courants de modélisation [*Hourcade et al.*(2006)], dont la séparation est fondée sur les rôles respectifs accordés aux tendances économiques et à la représentation des technologies :

- La modélisation *top-down* : ces modèles, le plus souvent fondés sur un EGC, représentent l'économie comme un ensemble de marchés parfaitement compétitifs, où les prix conduisent à l'équilibre et déterminent les réponses aux politiques publiques. Un point important est que les exercices de prospective effectués avec ces modèles manquent de flexibilité dans la représentation des technologies. Ainsi les paramètres de substituabilité technique sont calculés à partir de tendances observées dans le passé, et dont le domaine de validité n'est pas connu *a priori*.
- La modélisation *bottom-up* : par contraste, ces modèles [*Goldemberg et al.*(1988)] mettent l'accent sur la description détaillée des technologies disponibles, ainsi que sur les caractéristiques qu'elles pourraient acquérir dans le futur. Ils permettent donc de donner une certaine consistance à des scénarios de rupture technologique, ou à des scénarios très volontaristes en matière de changement technique. En revanche, leur réalisme laisse à désirer pour ce qui est de la représentation des mécanismes de décision micro-économique, ainsi que de la prise en compte des contraintes macro-économiques.

Nous ne nous étendrons pas sur les avantages respectifs de ces formes de modélisation ; nous noterons en revanche qu'il est symptomatique que cette controverse ait pris le pas sur la question de la spatialisation des réflexions. On ne peut pourtant se contenter d'extrapoler des modèles orientés par le secteur de l'électricité pour traiter sans adaptation préalable les autres secteurs. Cette remarque vaut particulièrement pour la prise en compte des mécanismes de formation de la demande de transport, et pour l'analyse des phénomènes urbains que cette thèse prend précisément pour objets.

Un dialogue productif est au demeurant engagé entre les deux formes de modélisation *bottom-up* et *top-down* dès la moitié des années 1990. On aurait pu s'attendre alors à ce que d'autres questionnements, comme la problématique du changement technique, remette l'accent sur la façon dont le transport est représenté, en replaçant au premier plan la structuration de la demande et de l'offre par l'espace géographique par exemple. Une fois encore pourtant, ce thème est éclipsé par une question concurrente, celle du changement technique endogène [*Crassous et al.*(2006)].

Pour l'heure, les villes ne font donc l'objet d'aucun traitement spécifique, même dans les modèles *bottom-up* : les postes de consommation énergétique urbains sont confondus avec les postes de consommation non urbains des mêmes secteurs. Le transport intra-urbain, par exemple, n'est pas nécessairement distingué du transport inter-urbain. L'échelle spatiale adoptée, ainsi que l'approche par grands secteurs économiques, ne laissent guère de place à un traitement spécifique des interactions et des dynamiques urbaines. En conséquence, la littérature de la prospective énergétique appliquée à l'analyse des politiques publiques considère essentiellement une efficacité en un sens étroit : les sources d'amélioration portent sur des technologies spécifiques, laissant de côté des gains qui se situeraient au niveau structurel, et seraient obtenus en remodelant la ville en tant que système. Nous montrons dans les sections suivantes qu'il s'agit là d'une faiblesse essentielle dans l'analyse et la mise au point de politiques climatiques efficaces.

1.3 Les villes concentrent les activités et les hommes

Le constat que nous faisons de l'absence des villes dans les études économiques des politiques climatiques est d'autant plus paradoxal que les villes sont des éléments essentiels des économies modernes, en interaction forte avec leur environnement. Aussi, notre conviction est que la lutte contre le changement climatique doit passer par une prise en compte adaptée des systèmes urbains.

Les villes constituent les nœuds géographiques dans et autour desquels, à bien des égards, les systèmes économiques sont aujourd'hui organisés. En 2007, plus de 50% de la population mondiale est désormais urbaine, et cette proportion pourrait passer à 75% en 2050. Précisément localisées dans l'espace, les villes représentent un concentré des activités humaines les plus consommatrices d'énergie ; elles représentent aussi (par rapport aux modes d'organisation ruraux) la forme majoritaire d'organisation de ces activités.

1.3.1 La question de l'énergie

Le fonctionnement de la ville exige une grande consommation d'énergie

L'extraordinaire diversité des formes d'urbanisation à travers la planète ne saurait faire oublier certains traits communs à toutes les villes, du point de vue de l'énergie notamment. Les cités sont en effet partout des systèmes très consommateurs en énergie. Dans un contexte de raréfaction des ressources, de tension internationale autour de l'accès à ces ressources, la gestion de cette consommation est aujourd'hui au cœur des préoccupations politiques. Ainsi, contenir l'étalement urbain, générateur de déplacements longs en véhicules particuliers, est actuellement l'un des objectifs majeurs des pays européens [*Uhel*(2006)].

Logiquement, les villes se retrouvent au cœur du dossier climat. Les intensités en carbone des activités de transport et de logement, services urbains par excellence, impliquent que ces deux secteurs sont à l'origine d'une grande part des émissions de gaz à effet de serre [*Hourcade et Gilotte*(2000)]. Ainsi en France, en 2004, les transports et le logement sont à l'origine de 45% des émissions de gaz à effet de serre, et ce sont les secteurs dont

les émissions augmentent le plus rapidement. En fait, tous les autres secteurs ont vu leurs émissions baisser depuis 1990 [*CITEPA*(2006)].

La maîtrise de la signature énergétique des villes s'avère donc être l'un des enjeux cruciaux des politiques urbaines. La part des villes dans les émissions de gaz à effet de serre, au niveau de la planète, est estimée à 80% [*Giraud et Lefèvre*(2006)]. Par ailleurs, la croissance des villes laisse présager une hausse de cette part. Ainsi, dans les pays en développement, la part de la population urbaine était de 18% en 1950 ; elle atteignait 40% dès l'an 2000. Tandis que Londres avait mis 100 ans à passer de 1 à 8 millions d'habitants, le même bond a été accompli par Bangkok en 45 ans, par Dhaka en 37 ans, et par Séoul en 25 ans [*UN-HABITAT*(2004)].

Dans ce contexte, il est nécessaire d'assurer la cohérence des politiques énergétiques, des politiques climatiques, des politiques environnementales, et des politiques urbaines. L'action est d'autant plus indispensable qu'il est très probable que dans ces dossiers, nos sociétés n'auront pas les moyens de se priver d'un seul levier d'action.

L'importance des formes urbaines

Partant du constat de l'importance des enjeux, alors même que les transports intra-urbains ne représentent qu'une partie de la demande de transport, il importe de s'interroger sur les possibilités d'influencer cette composante de la mobilité. Les modèles de prospective énergétique, par construction, rendent principalement compte de l'influence des prix sur les consommations. Or les élasticités-prix de la demande de transport, sur le court ou le long terme, sont en apparence très faibles. Cette relative insensibilité de la demande aux prix semblerait donc condamner toute tentative de régulation par les prix.

Il importe pourtant de souligner que les prix des transports ne sont pas les seuls déterminants de la demande de mobilité. Les formes urbaines apparaissent notamment comme l'un des facteurs clefs dans la formation de la demande, et dans les besoins de déplacement des habitants d'une agglomération urbaine [*Giraud et Lefèvre*(2006)]. Loin de ne concerner que le transport, ces considérations prévalent également dans les autres secteurs consommateurs d'énergie : eau, électricité, et logement [*Augustin et al.*(2003)]. La densité, depuis les travaux de Newman et Kenworthy [*Newman et Kenworthy*(1989)], est au centre des analyses de ces coûts. Même si les résultats de cette branche de la recherche ont été longuement discutés [*Breheny*(1991)], ces travaux montrent que la ville peu dense génère des coûts élevés en infrastructure, induit des demandes de déplacement importantes, et favorise l'essor de la voiture particulière comme moyen de locomotion principal. On conçoit ce qu'un tel mode de développement urbain peut avoir de négatif du point de vue de l'atténuation du changement climatique.

A ce stade de la réflexion, il est utile de jeter un bref coup d'œil aux formes d'urbanisation de par le monde. L'importance du modèle urbain américain est sans contestation possible l'un des grands faits urbains de notre temps. Devant ses caractéristiques et son influence, il est tentant de parler d'une véritable « tragédie », en trois actes :

(i) les villes américaines sont construites sur un modèle énergétivore. Elles sont avant tout caractérisées par des densités de peuplement faibles, étalées sur des surfaces très im-

portantes. Le résultat est une dépendance de leurs habitants aux véhicules particuliers pour leurs déplacements, et un coût généralement élevé d'entretien et d'investissement dans les infrastructures énergétiques [*Newman et Kenworthy*(1989)]. Parallèlement, ce type de structure, étendant les surfaces bâties amplifie le phénomène d'îlot de chaleur urbain. Il s'agit là d'un des principaux défis à relever en matière d'adaptation des villes aux changements climatiques.

(ii) Ces villes, ou plutôt leurs habitants, ont des revenus élevés. En conséquence, le processus d'étalement évoqué ci-dessus est fortement prononcé, les agents économiques ayant les moyens de posséder des voitures et d'effectuer de longues distances pour se rendre à leur lieu de travail ou de loisir.

(iii) Enfin, les cités américaines diffusent un mode de développement urbain repris comme style de vie « fantasmé » à travers le monde. Les villes des autres pays industrialisés, tout comme les villes des pays en développement, sont fortement influencées par cet idéal, et tendent à évoluer vers le même modèle. La voiture particulière est un symbole de richesse et d'indépendance particulièrement prisé. Or la question du mode de développement urbain est particulièrement importante pour les villes des pays pauvres, en croissance rapide, dont les formes urbaines ne sont pas encore profondément ancrées par l'histoire dans un modèle local.

Ces éléments concourent à faire de la question urbaine un élément important dans la détermination du futur climat, et dans l'évolution des questions énergétiques. La tentation est forte, face à ces villes américaines énergivores, de vouloir dresser un modèle de ville qui indiquerait une voie de développement alternative. Certaines villes européennes, plus denses, reposant sur des transports publics plus développés, ou des cas plus frappants encore comme celui de Curritiba au Brésil, pourraient être ainsi érigés en exemples.

Sans aller jusqu'à détruire entièrement des villes pour les rebâtir sur un nouveau plan, la question est de savoir si l'on peut orienter le développement des villes en croissance vers des modèles plus sobres en énergie et moins émetteurs de gaz à effet de serre ; et si l'on peut également rediriger les villes existantes les plus énergétivores vers d'autres modes de consommation. Pour atteindre ces objectifs, il sera indispensable d'agir sur les formes urbaines, soit directement dans les plans des villes, soit en les remodelant via les investissements dans les infrastructures énergétiques.

Le fonctionnement des villes est en effet intrinsèquement lié aux décisions en matière d'infrastructures. L'articulation du marché du logement et du marché du travail par le biais des infrastructures de transport est un exemple illustrant l'importance des politiques urbaines. On ne peut donc envisager de politique d'envergure dans le secteur de l'énergie sans analyser les impacts des décisions sur le fonctionnement du système ville. Ces impacts font partie des facteurs qui permettent ou empêchent d'atteindre l'objectif fixé ; ils conditionnent la faisabilité d'une politique, et leur évaluation est nécessaire pour renseigner une analyse socio-économique complète des mesures envisagées.

1.3.2 Les inégalités

Si les formes urbaines influencent les consommations énergétiques, n'oublions pas que ce sont avant tout les hommes qui font les villes, et y vivent. A ce titre, les formes urbaines ne peuvent manquer d'influencer directement leur quotidien. Cette influence est loin d'être anodine, et la planification urbaine est centréeen premier lieu sur l'amélioration des lieux de vie [*Jacobs*(1961)]. Nous rappelons ici que l'organisation de l'espace urbain détermine pour une bonne part le mode de cohabitation de catégories de population fortement hétérogènes.

Organisation de l'espace urbain et différenciation de l'espace

Dès lors qu'il rassemble des hommes, un lieu accueille également les tensions qui traversent cette communauté : les individus présentent toutes sortes de différences, en terme de revenu, d'éducation, de sexe, d'âge, etc.. La répartition des individus dans un espace urbain hétérogène participe souvent à un renforcement de l'hétérogénéité de cet espace, qui se divise peu à peu en quartiers homogènes et très différenciés. On constate dans les villes que les agents économiques tendent à se rassembler en communautés plus ou moins bien séparées suivant un ou plusieurs critères, comme la couleur de peau : ainsi, dans la ville de Détroit, à la fin des années 90, environ 76% de la population du centre était noir, tandis que ce pourcentage tombait à 5% dans la banlieue [*Glaeser et Vigdor*(2001)]. La constitution de ces communautés peut aussi trouver son origine dans les inégalités de revenu par exemple. Ainsi, dans les Zones d'Education Prioritaires, créées en France en 1982, plus de 60% des élèves sont « d'origine défavorisée », contre 39% en-dehors des ZEP.

La localisation géographique qui résulte de ces différences initiales devient alors une nouvelle source d'inégalités. Un lieu urbain est en effet caractérisé, entre autres, par l'éloignement ou la proximité de certains centres cruciaux. La littérature économique insiste ainsi sur la notion d'accessibilité au marché du travail, et sur d'autres formes d'inégalité spatiale : les externalités de voisinages, l'accès à l'éducation, la qualité de l'environnement urbain, sont autant de facteurs dont l'importance a été mise en évidence dans la création ou le renforcement des inégalités [*Borjas*(1995)], [*Zenou et Smith*(1995)], [*Brueckner et al.*(1999)]. On assiste par exemple à la naissance de poches de pauvreté dans les villes, engagées dans des cercles vicieux qu'il est difficile de briser : le faible revenu moyen des habitants d'une agglomération condamnant celles-ci à des équipements collectifs de qualité médiocre, ce qui incite les ménages qui en ont les moyens à fuire ces zones délaissées. Ainsi, en 2004, la commune de Neuilly ne comptait que 0,74% de logements sociaux, cette même variable pouvant dépasser 60% dans d'autres communes, moins riches, de la région Ile-de-France [*Selod*(2004)].

A ce titre, le statut de la ville oscille entre celui de source et celui de symptôme des inégalités socio-économiques. Le transport et le logement jouent un rôle clef dans ce processus : le transport parce que son organisation détermine l'accessibilité ou l'isolement des divers lieux urbains ; le logement parce qu'il constitue un facteur déterminant de la qualité de vie et du paysage urbain, et que son coût est au centre des mécanismes de ségrégation par le revenu. La façon dont s'agence l'espace urbain autour de ses infrastructures participe donc à l'inscription dans l'espace des inégalités qui caractérisent une société.

Les rapports qu'entretiennent des catégories de population très hétérogènes reçoivent donc une traduction spatiale concrète : dans les villes se tissent les réseaux sociaux, et se forment les relations de voisinages. Des communautés différentes trouvent un mode de cohabitation, parfois conflictuel. Ces considérations, classiques au demeurant, appellent l'attention sur un aspect particulier des politiques urbaines : qu'elles aient pour cible le système énergétique, ou qu'elles soient dirigées vers un objectif climatique, les mesures qui toucheront les infrastructures énergétiques perturberont d'une façon ou d'une autre l'équilibre qui s'est établi en milieu urbain.

Un changement dans les réseaux de transport, au niveau de la desserte ou de la vitesse par exemple, modifie les lieux auxquels les agents économiques ont accès depuis leur localisation. D'une façon plus profonde, modifier la physionomie de quartiers entiers, améliorer ou détériorer leur intégration dans l'espace urbain, leur dynamisme économique, et les conditions de vie dans ces lieux, implique des bouleversements de l'attractivité de ces lieux, et à terme entraîne des changements dans la composition des populations qui y résident.

C'est d'ailleurs en analysant les équilibres auxquels de telles dynamiques peuvent aboutir que l'économie urbaine est parvenu à ses plus grands succès : les localisations désirées ou fuies, les coûts du foncier et du logement qui en résultent, sont une des forces déterminantes dans la constitution des formes urbaines. Les politiques urbaines modifient l'accessibilité de certains quartiers, enclenchant potentiellement des dynamiques complexes de migration. Elles participent donc à un renforcement, ou au contraire à une réduction, des inégalités préexistantes. L'identification des catégories de population impactées devient dès lors un élément clef d'une analyse des politiques urbaines.

Ayant rappelé l'importance des formes urbaines dans la détermination des consommations énergétiques, des émissions de gaz à effet de serre, mais aussi dans les modes de cohabitation de différentes catégories de population, nous montrons dans la section suivante en quoi l'évolution de ces formes peut s'avérer problématique. Empreinte d'une société, cristallisation de certains rapports sociaux, la structure d'une ville a une telle importance qu'il convient de se demander s'il est possible de la modifier sans devoir supporter des coûts socio-économiques rédhibitoires.

1.4 Le système urbain en univers incertain : analyse dynamique des villes

La forme des villes, les politiques d'offre d'infrastructures, sont des facteurs déterminants dans la formation de la demande énergétique urbaine. Une politique climatique cohérente nécessitera de changer les villes en profondeur, changements qui impacteront le quotidien d'une majorité de la population. Analyser ces évolutions implique de rendre compte de modifications de l'espace urbain qui ne sauraient être considérées comme homogènes dans le temps. La dynamique de ces changements est donc l'un des éléments essentiels qu'il faut

s'efforcer de comprendre.

1.4.1 Prospective de long terme et prise en compte des déséquilibres économiques

Parmi les modèles intégrés qui ont été à ce jour utilisés pour évaluer les coûts du changement climatique, certains explicitent les liens entre les consommations énergétiques et la croissance économique. Pour représenter cette dernière, les économistes se placent d'emblée dans le paradigme d'une croissance de long terme, conçue comme une succession d'états d'équilibre [*Hallegatte et al.*(2007a)]. L'économie est représentée comme un système de marchés et de prix à l'équilibre, dont les caractéristiques sont fixées pour des périodes s'étendant typiquement sur quelques années [*Edmonds et Reilly*(1983)].

Ces modèles s'inscrivent dans la tradition des travaux de Solow [*Solow*(1956)], travaux qui trouvent leur justification première dans un contexte précis. Lorsqu'elles ont été formulées en effet, ces réflexions permettaient de comprendre comment une croissance de long-terme stable était envisageable. Les mécanismes de rétroaction macro-économique mis en avant, et repris aujourd'hui [*Fankhauser et Tol*(2005)], constituaient une réaction à l'interrogation sur la croissance dite « knife-edge » [*Harrod*(1939)]. Si leurs travaux ont permis de faire progresser cette controverse initiale, les principaux penseurs de ces théories de la croissance ont par ailleurs reconnu ne pas être certains de l'existence d'un état d'équilibre [*Solow*(1988)].

On peut donc s'interroger sur l'opportunité de transposer leurs réflexions telles quelles dans d'autres problématiques économiques. Ces modèles très théoriques ont été intégrés aux réflexions empiriques lorsque les modèles d'Equilibre Général Calculable [*Scarf*(1973)] ont permis de représenter et de calculer les états d'équilibre, grâce aux développements informatiques de l'époque [*Scarf et Shoven*(1984)] [*Shoven et Whalley*(1984)]. Si cette étape représentait alors un passage obligé, permettant de traiter les questions soulevées par le dossier climat sans se contraindre à développer de nouveaux algorithmes, la pertinence de cette tradition est aujourd'hui remise en question. Il est certain que les réflexions sur des équilibres de long terme, à un niveau très agrégé, constituent une étape de simplification nécessaire dans les efforts pour penser un problème neuf et vaste comme celui du changement climatique. Toutefois, ils se peut que certains mécanismes transitoires, dont les manifestations directes se trouvent concentrées dans le temps et dans l'espace, influencent de façon significative les tendances de long terme.

Cette vision se révèle en effet incapable de prendre en compte des événements se déroulant sur de courtes échelles de temps, comme les événements climatiques extrêmes. On ne peut que constater que la littérature scientifique portant sur la question des déséquilibres [*Chiarella et Flaschel*(2000)] et des cycles [*Chiarella et al.*(2006)] s'est avérée difficile à intégrer, et n'a pas jusqu'à présent nourri les modèles de prospective énergétique. Ces éléments attirent pourtant l'attention sur de possibles phénomènes d'hystérèse au niveau macroéconomique, et posent la question de fond suivante : dans quelle mesure certains mécanismes de court terme peuvent-ils influencer le chemin suivi par l'économie sur le long terme ? De fait, le fonctionnement de l'économie repose sur un certain nombre de mécanismes

de court terme, concernant par exemple les évolutions technologiques, les institutions, ou les prix, dont les échelles de temps peuvent s'entrechoquer, donnant naissance à de nouveaux phénomènes qui ne trouveront pas forcément de compensation dans le reste du système.

Certains travaux [*Hallegatte et al.*(2007c)] montrent que les mécanismes de court terme ne sauraient être écartés trop hâtivement de l'analyse, et peuvent influencer les systèmes économiques sur le long terme. De même que des événements extrêmes peuvent perturber le sentier de croissance d'une économie dans son ensemble, on peut s'attendre à ce que des politiques d'infrastructure, ou des chocs exogènes déstabilisant les systèmes urbains, modifient sur le long terme les évolutions de nos économies. Pour comprendre ces phénomènes microéconomiques, caractérisés éventuellement par de petites échelles de temps, on ne peut se contenter d'une représentation des systèmes économiques qui les réduirait à une succession d'équilibres stationnaires du système économique. La ville, avec ses inerties, et ses multiples intervenants, est l'un des objets que ce type d'interaction d'échelles temporelles est le plus susceptible d'influencer.

1.4.2 Un problème d'articulation des échelles temporelles

Ces considérations prennent un relief tout particulier dans le contexte du dossier climatique, où la rencontre de phénomènes caractérisés par des échelles de temps distinctes a été signalée comme l'un des éléments importants [*Haurie*(2005)]. Plusieurs types d'échelles temporelles sont en effet susceptibles d'entrer en collision pour déterminer la prise de décision.

Le rythme du changement climatique

Le changement climatique est caractérisé avant tout par une accélération de la vitesse de certains processus naturels : six cents ans séparent la période que l'on a appelé « l'optimum médiéval » du petit âge glaciaire. Dans cet intervalle de temps, une variation de température moyenne à la surface du globe inférieure à un degré celsius est responsable de différences climatiques majeurs. Au cours du XXième siècle (entre 1906 et 2005), l'augmentation moyenne a été de 0.74 degrés Celsius, mais l'augmentation a été la plus importante durant les dernières années. Le quatrième rapport du GIEC synthétise les recherches sur les changements climatiques à venir, indiquant que :

Eleven of the last twelve years (1995-2006) rank among the 12 warmest years in the instrumental record of global surface temperature (since 1850). (...)

Continued greenhouse gas emissions at or above current rates would cause further warming and induce many changes in the global climate system during the 21st century that would very likely be larger than those observed during the 20th century.

Le tempo des politiques publiques

La contrainte climatique n'est pas la seule à conditionner le tempo des politiques publiques, sur lesquelles pèsent également des contraintes institutionnelles. Bien que lié à l'ar-

rivée des informations sur les changements climatiques à venir, le processus de prise de décision au niveau des négociations internationales est commandé par de nombreux autres facteurs, et évolue à une vitesse *a priori* déconnectée des échelles temporelles caractérisant le dossier climatique.

Alors que les évolutions urbaines se déroulent sur des temps longs, de l'ordre du siècle, il est possible que la rapidité des processus climatiques précipite la prise de certaines décisions. Ainsi, entre le sommet de la terre à Rio en 1992, et les premières contraintes d'émission en 2008, imposées par le protocole de Kyoto, seules 16 années se seront écoulées. Si ce temps peut sembler long à l'échelle de la vie humaine, il est relativement court au regard de la durée de vie des infrastructures urbaines. Au total, les politiques décidées à un niveau local devront respecter un objectif de cohérence avec les contraintes évoquées ci-dessus, mais pourront également anticiper les exigences de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Les inerties des systèmes urbains

Les villes sont des systèmes complexes, dont les évolutions sont lentes et mal connues. En France par exemple, la durée de vie typique d'un immeuble est de l'ordre de 100 à 150 ans. Les temps de vie des infrastructures ne sont pas d'ailleurs seuls responsables, d'autres facteurs concourant à faire d'une ville un système relativement inerte. Ainsi sur le marché du logement, les loyers ne peuvent être revus instantanément, et les projets d'aménagement sont caractérisés par des temps longs, comme le souligne Vincent Renard :

Entre le moment où une opération d'urbanisme est envisagée sur un terrain et le moment où les logements ou bureaux construits sont mis en vente, il peut s'écouler couramment entre deux et cinq ans, parfois dix ans, voire vingt ans ou plus (cas de l'opération de la ZAC Seine Rive Gauche) [*Renard*(2004)].

De même, les agents économiques désirant changer de lieu de résidence doivent engager des recherches et employer du temps dans ce but. On ne sait donc pas exactement comment et à quel rythme les villes dans leur ensemble réagiront aux signaux-prix qui seront envoyés par les pouvoirs publics dans le cadre de la lutte contre le changement climatique.

Cette thèse soulève donc la question de savoir s'il est possible de réconcilier, par des signaux-prix appropriés, les tempos a priori différents des tendances climatiques, ainsi que des politiques urbaines, énergétiques, et climatiques.

Le coût des politiques tardives et aggressives, l'irréversibilité des décisions

La question de l'inertie des infrastructures confrontées à un changement en univers incertain a déjà attiré l'attention des économistes, précisément dans le contexte du changement climatique [*Hourcade et Lecocq*(1998)] : imposer un changement rapide plutôt que lent à un système présentant un certain degré d'inertie entraîne des coûts supplémentaires. La leçon de ces analyses [*Ha-Duong*(1997)] est qu'en l'absence d'informations suffisantes pour déterminer le niveau futur de réduction des émissions de gaz à effet de serre, des efforts anticipés

sont recommandés [*Ambrosi et al.*(2004)]. Ces actions précoces ont le mérite de parer aux mieux aux éventualités envisagées.

Si par exemple on fonde une politique sur un objectif de réduction des émission E_1, et que l'on apprend ultérieurement qu'il est nécessaire d'atteindre un objectif plus ambitieux E_2, un changement de rythme et d'ampleur dans les politiques publiques sera indispensable. Le coût de cette accélération peut être d'autant plus important que le nouvel objectif est plus ambitieux que le précédent. Ce mécanisme est présent également dans le versant adaptation du dossier climat. [*Hallegatte et al.*(2007b)] étudient par exemple l'adaptation des logements dans les villes, et montrent à quel point le tempo des besoins d'investissement peut se révéler épineux, surtout si le changement climatique se révèle finalement plus rapide que prévu. Dans le dossier énergie, des questions similaires se posent, l'incertitude pesant sur l'état des ressources, sur les prix de l'énergie, et sur les technologies qui seront disponibles à moyen terme.

Concernant la ville, répétons-le, le problème de l'inertie, amplifié par des contraintes de localisation et des frictions sur le marché du logement, dépasse la question des infrastructures. Face à l'incertitude caractérisant les informations sur le climat, qui semble jeter le doute sur la nécessité d'agir, le comportement rationnel des gouvernements pourrait être de retarder la prise de décision dans l'attente de l'arrivée d'informations plus précises. Une telle attitude comporte un risque, celui de temporiser jusqu'à ce que les délais rendent difficile à accepter politiquement une action ayant la rapidité et l'ampleur requises. La prudence commande donc d'adopter des solutions dont le premier mérite sera celui de la souplesse.

Dans un tel cadre, il peut s'avérer souhaitable d'anticiper sur les contraintes futures, en mettant par exemple en place une politique de réduction des émissions de façon précoce. Une action précoce permettrait à la ville de s'adapter en bénéficiant de délais importants, et l'intensité de cette action pourrait monter en puissance progressivement. Dans le même temps, les coûts de cette politique commenceraient à se faire sentir tôt, élément qui rend leur mise en place délicate. L'importance des impacts immédiats de ces décisions sur le système économique rend leur adoption d'autant plus difficile politiquement que les bénéfices des sacrifices présents ne se feront pas sentir à court terme. La réflexion sur la vulnérabilité urbaine viendra donc éclairer le questionnement sur l'irréversibilité des prix bas du transport et sur les effets de lock-in que l'on peut craindre de ce côté.

1.4.3 Réaction aux chocs

Dans le contexte que nous venons de présenter, il est à craindre que les villes soient dans le futur le théâtre de mesures de correction brutales, dans le but d'atteindre des cibles de réduction d'émission décidées tardivement. A l'échelle de la durée de vie des infrastructures urbaines, et des temps caractéristiques du renouvellement des formes urbaines, la mise en place d'une politique publique est un phénomène extrêmement rapide, qui s'apparente à un choc.

L'étude des chocs dépasse bien entendu la question des réductions d'émission : du point de vue de l'adaptation tout d'abord, les événements climatiques extrêmes, dont la fréquence et l'intensité varieront en fonction des changements climatiques à venir, sont certainement

des chocs pour le système urbain. Du point de vue des questions énergétiques par ailleurs, les variations des prix de l'énergie ont déjà été qualifiées de choc par le passé : les augmentations de l'année 1973 sont l'exemple le plus frappant de ce qu'un choc sur les prix du pétrole peut signifier pour nos systèmes économiques. De tels chocs ne sauraient être considérés comme éradiqués, ainsi qu'en témoigne l'augmentation des prix du baril depuis le début des années 2000.

Cette thèse part du constat que les villes auront vraisemblablement dans le futur des chocs de plusieurs types à affronter. Considérant qu'il s'agit là d'une menace crédible pesant sur le fonctionnement des systèmes urbains, la thèse s'attachera à analyser la réaction des villes face aux chocs.

Pour mieux comprendre les vulnérabilités des villes, et les caractéristiques temporelles de ces vulnérabilités, le détour de la modélisation est un point de passage nécessaire. Dans la section suivante, nous présentons l'approche économique de la ville qui a servi de support à notre réflexion, et la façon dont nous avons adapté cette approche aux besoins spécifiques à notre étude.

1.5 Appréhender le système ville et ses vulnérabilités

Nous avons jusqu'à présent parlé de « la ville », et du « système urbain », en nous reposant sur la compréhension que peut en avoir le lecteur. Il nous faut préciser, autant que faire se peut, le sens que nous donnons à ces expressions.

1.5.1 Le système ville

Toujours délicate, la tâche qui consiste à définir l'objet d'étude se révèle plus compliquée encore lorsque, comme c'est le cas pour la ville, chacun a une idée préconçue de ce que désigne le vocable employé.

La richesse du concept de ville, l'extraordinaire multiplicité des modes de vie urbains dans l'espace et dans le temps [*Benevolo*(1995)] [*Mumford*(1961)], favorisent la coexistence d'une multiplicité d'approches. Des recherches récentes ont montré le rôle toujours grandissant des interactions entre villes [*Veltz*(1996)], et ont souligné de même l'importance des interactions entre la ville et son territoire, depuis la naissance des villes [*Bairoch*(1985)] jusqu'à aujourd'hui [*Veltz*(2004)]. Parallèlement, de nombreux travaux restent centrés sur la ville en tant qu'objet singulier, travaux dans lesquels on peut noter certaines grandes convergences. Ainsi le point de vue des urbanistes, retraçant l'histoire des villes [*Ragon*(1991)] et des utopies urbaines notamment [*Choay*(1979)], est une source de connaissance précieuse pour notre sujet.

L'idée que l'interaction logement - transport est fondamentale dans la ville est très présente dans les travaux des architectes et des urbanistes : au milieu du XIXème siècle, l'organisation de l'espace dans le plan de Barcelone proposé par Cerda, repose sur une certaine façon d'articuler déplacements et habitat [*Cerda*(1867)]. Le Corbusier [*Le Corbusier*(1924)]

élabore ses théories urbaines dans la première moitié du XXième siècle, et considère la ville comme une façon d'organiser trois fonctions : habiter, se déplacer, et travailler.

Plus près de nous, en plaçant au cœur de leur pensée les interactions entre transport et habitat, les urbanistes ont cherché à comprendre comment ces deux fonctions dictaient une certaine forme à la ville, et conditionnaient sa densité. Ainsi Rem Koolhas [*Koolhaas*(2002)], dans son livre sur New York, présente Manhattan comme une *« métaphore de la congestion »*, congestion qui serait *« le futur des villes »*. Dans le même temps, David Mangin [*Mangin*(2004)] s'intéresse aux déterminants et aux formes de l'étalement urbain, ajoutant aux fonctions listées ci-dessus celle du commerce.

L'approche par les infrastructures, que nous avons esquissée en introduction, repose sur cette idée fondamentale : au regard des enjeux que nous voulons analyser, les secteurs du transport et du logement constituent le cœur du système - ville. Elle détermine, par la formation physique du tissu urbain, tout à la fois les conditions de vie et l'efficacité de l'économie urbaine [*Panerai et al.*(1997)]. Constatant le rôle majeur que jouent les infrastructures de transport et de logement dans le système urbain, et leurs interactions, il est en effet raisonnable de penser que :

1. Toute perturbation de l'un de ces secteurs entraînera immanquablement des modifications dans l'autre secteur,
2. Ces effets combinés auront des répercussions importantes sur la ville.

Ainsi, un choc énergétique, bouleversant les conditions de transport, agira nécessairement sur la localisation de l'offre et de la demande de logement.

Délaissant dans une première approche les aspects institutionnels, ou les découpages administratifs, nous reprenons ici les mots de François Maurel et Jean-Pierre Puig, et définissons en premier lieu notre objet d'étude, d'une façon délibérément simpliste, comme *une concentration spatiale d'activités et d'individus* [*Maurel et Puig*(2004)]. La ville, avant tout, est le lieu où logent et travaillent des agents économiques, la densité étant un critère déterminant dans la séparation ville / campagne[1]. La présence d'un réseau de transport assurant le déplacement des agents entre domicile et lieu de travail est le deuxième ingrédient essentiel du système urbain.

Il est par ailleurs nécessaire de préciser la taille de l'objet que nous étudions. Pour capter les effets des interactions entre les deux secteurs que nous avons sélectionnés, il est nécessaire de comprendre la dynamique des déménagements des agents économiques à l'intérieur de ce système. Nous considérerons donc que la mobilité résidentielle des travailleurs reste concentrée dans des bassins d'emploi déterminés, notre réflexion prenant donc son sens au niveau de l'agglomération, voire de la région entière. Notre volonté de mettre en évidence des mécanismes stylisés, reposant sur les interactions transport - logement, oriente notre travail vers des modèles théoriques. Ces modèles reposent sur une idée relativement générale de ce qu'est la ville, et nous verrons qu'ils parviennent, en partant de prémisses relativement simples, à expliquer certaines grandes caractéristiques des villes.

[1]Il est du reste délicat de tracer une frontière bien nette, en donnant une densité limite par exemple, et nous verrons que le caractère stylisé de notre approche nous dispensera de cet exercice périlleux.

1.5.2 La ville en économie

L'approche de l'espace

La littérature économique a abondamment développé l'examen des raisons expliquant la formation des villes. Les phénomènes de congestion, les divers inconvénients résultant de la concentration en un lieu donné des activités et des hommes, doivent en effet trouver une contrepartie positive : rendements d'échelle, possibilité d'investir dans des infrastructures lourdes, gains d'informations, goût pour la diversité, font partie des catégories de facteurs les plus couramment citées. Le point commun de ces considérations est qu'elles reposent sur la proximité des agents dans l'espace. Cette proximité est nécessaire pour rendre les interactions entre agents physiquement possibles, ou pour leur permettre de profiter d'aménités, et d'investissements précisément localisés.

L'espace est par ailleurs une donnée relativement peu présente dans la science économique en général [*Krugman*(1992)]. Sa prise en compte a connu durant les deux dernières décennies un regain d'intérêt [*Krugman*(1998)], avec les développements opérés par ce que l'on a appelé la « nouvelle économie géographique » [*Fujita et al.*(1999)]. Les théories entrant dans ce champs expliquent la localisation et l'agglomération des activités, en détaillant les raisons pour lesquelles certaines villes se développent et deviennent florissantes [*Ottaviano et al.*(2002)], tandis que d'autres périclitent. Ces travaux s'appuient sur des modèles mettant en concurrence deux villes, ou deux régions ; le capital, ou les travailleurs, peuvent se déplacer d'une région à l'autre.

Parallèlement, l'espace est également présent dans l'analyse économique du fonctionnement du système urbain. A l'instar des urbanistes, la littérature économique met habitat et transport au centre de son approche de la ville. Même si les informations sur l'habitat sont souvent réduites à la simple indication de la localisation du lieu de résidence des agents, c'est bien le lieu géographique de la production du service logement, et son accessibilité via les réseaux de transport, qui structurent l'espace urbain. Notre travail part de la conviction que la compréhension des inerties spécifiques au système urbain passe par une représentation des éléments de ce système : la façon dont ils évoluent dans le temps et dans l'espace est déterminante pour comprendre ce que nous appelons le système ville.

Le niveau que nous privilégions dans l'étude du rôle de l'espace, et de l'attractivité des localisations, n'est pas celui de la compétition entre régions ou entre grandes métropoles. Nous nous intéressons aux flux intra-régionaux, aux flux internes à une agglomération, qui aboutissent notamment à certains types de structuration de l'espace urbain. Quels sont alors les outils à notre disposition ? Du point de vue du rapport logement / habitat à l'échelle spatiale que nous considérons, la modélisation urbaine peut se classer en trois grandes déclinaisons :

(i) en premier lieu viennent les modèles dits « à quatre étapes », fondés sur : une représentation des flux de transport entre des aires spatiales appartenant à un territoire donné ; la détermination des trajets contribuant à ces flux ; la répartition des trajets entre les modes de transport ; et enfin l'affectation de chaque déplacement sur le réseau de transport existant. Ces modèles servent principalement à prévoir la demande de

transport, ainsi que le trafic intra-urbain. Leurs prévisions sont fondées sur le principe de la prise en compte de la répartition des activités et des logements sur un territoire, ainsi que des infrastructures de transport existantes. Dans ces modèles, les localisations sont généralement fixées de façon exogène, malgré quelques tentatives pour améliorer ce point [*Masson*(1998)].

(ii) Les modèles dits monocentriques, inspirés des travaux sur les terres agricoles de Von Thuenen [*Von Thuenen*(1826)], et adaptés pendant la décennie 1960 - 1970 à l'étude de la ville par Alonso [*Alonso*(1964)], Mills [*Mills*(1967)] et Muth [*Muth*(1969)]. Ces modèles présentent la ville comme le lieu où firmes et travailleurs sont mis en présence. Les firmes sont localisées en un point de façon exogène, et les travailleurs se répartissent autour, le choix de leur lieu de résidence étant guidé par deux forces antagonistes : d'une part la volonté de minimiser leurs coûts de transport, qui rapproche les travailleurs des firmes ; d'autre part, la recherche de logements peu chers, qui les éloigne des firmes.

(iii) Les modèles appliqués d'interaction transport - usage des sols. Il s'agit de modèles opérationnels, développés depuis les années 60 [*Lowry*(1964)], et parvenus aujourd'hui à un grand degré de maturité (voir par exemple le modèle TRANUS). Plus réalistes que les modèles monocentriques, calibrés sur des villes précises, ces modèles représentent l'organisation spatiale des activités humaines et les évolutions prévisibles en fonction des politiques de transport, et de la croissance démographique par exemple. Ils sont utilisés principalement par des bureaux d'étude, dans le but de prévoir les impacts de décisions publiques précises dans des métropoles existantes.

Le choix du modèle monocentrique

Les orientations prises par les efforts de modélisation urbaine d'une part, et par les modèles de prospectives énergétiques d'autre part, n'autorisent pas à ce jour de dialogue intensif. Nombreuses sont pourtant les potentialités d'enrichissement mutuel entre ces deux domaines de recherche, liés de façon profonde par leur objet d'étude. Notre ambition est donc de commencer à réconcilier ces deux traditions séparées, en partant de l'existence des inerties urbaines pour proposer un modèle d'évolution de la ville sur le long terme. Face à l'ampleur de la tâche, dont nous nous efforcerons d'esquisser les premiers pas, il va de soi qu'il est plus prudent et plus pertinent de débuter par une représentation stylisée des mécanismes dynamique que nous mettons en avant.

Compte tenu de sa portée générale, nous privilégions dans nos travaux l'approche qui est celle du modèle monocentrique. Son degré d'abstraction s'avère être un avantage dans l'étude des phénomènes stylisés mettant en jeu l'organisation du transport et du logement. Il permet de comprendre les dynamiques urbaines en partant de la relation entre distance au travail et coût du logement, qui est selon la littérature économique l'une des variables structurant les migrations dans l'espace urbain, et l'organisation de cet espace [*Jayet*(1990a)] [*Jayet*(1990b)].

N'étant pas centré sur une ville particulière, mais captant certains mécanismes communs à toutes, ce modèle permet de donner à nos résultats une portée relativement générale. Il répond également à l'exigence de parcimonie chère à Guillaume d'Occam, car sa simplicité

nous permet de n'y introduire que les hypothèses et principes strictement nécessaires à notre démarche. Enfin, notre réflexion s'inscrivant dans une vision de long terme, il est particulièrement important que nous puissions nous appuyer sur des hypothèses assez simples, et en nombre assz réduit, pour supposer qu'elles resteront valables dans le futur. Par exemple, on peut raisonnablement penser que les consommateurs préféreront encore, dans 100 ans, un logement spacieux à un logement exigu : même si certains paramètres peuvent varier, la forme de la fonction d'utilité représentant ce comportement restera essentiellement la même.

Notre objectif est d'utiliser et d'adapter le modèle monocentrique en vue de comprendre les interaction entre les secteurs du transport et du logement, en les replaçant dans le cadre des échelles temporelles que nous avons signalées dans la Section 1.4.

1.5.3 Interaction logement - transport, et vulnérabilité face aux changements

L'utilisation du modèle monocentrique a permis par le passé d'importants développements, et il reste au cœur de travaux contemporains novateurs, interagissant avec les modèles de la Nouvelle Economie Géographique pourtant utilisés à un autre niveau spatial ; les échelles de ces deux cadres méthodologiques sont en fait limitrophes, et l'on en est à intégrer l'un dans l'autre [*Murata et Thisse*(2005)].

Les progrès effectués sur le plan de l'intégration spatiale n'ont été accompagnés que de changements limités dans les échelles temporelles considérées. Les modèles monocentriques ont essentiellement été utilisés dans le cadre d'équilibres temporels de très long terme. Dans ce cadre, les infrastructures de logement sont toujours parfaitement déterminées par les conditions économiques prévalant à un moment donné. Quelques réflexions ont pourtant montré que les immeubles d'habitations présents à un moment donné, compte tenu de leur durée de vie, étaient aussi et surtout le produit d'une histoire de l'agglomération [*McMillen*(1994)] : comment croire en effet qu'un immeuble bâti au début du XXième siècle, ou même en 1950, répondrait parfaitement aux exigences présentes ?

Lorsque les conditions économiques changent rapidement, il convient de prendre en compte ces phénomènes de décalage temporel qui font de la ville bien plus l'empilement de strates historiques successives que le produit d'une seule époque. Dans cette perspective, il est nécessaire de proposer un modèle permettant de rendre compte des évolutions urbaines, ainsi que de leurs inerties.

Dans le chapitre suivant [*Gusdorf et Hallegatte*(2007)], nous analysons les effets sur le logement d'un choc dans les coûts du transport, en tenant compte de l'effet de mémoire des infrastructures urbaines. Nous montrons que la ville présente vis-à-vis de ces phénomènes une vulnérabilité importante, et estimons les ordres de grandeur des mécanismes en cause. Outre les effets négatifs impactant l'économie dans son ensemble, nous mettons en évidence les effets redistributifs entraînés par un tel événement, entre propriétaires et locataires.

Bibliographie

[*Alonso*(1964)] Alonso, W., *Location and Land Use*, Harvard University Press, 1964.

[*Ambrosi et al.*(2004)] Ambrosi, P., J.-C. Hourcade, S. Hallegatte, F. Lecocq, P. Dumas, et M. Ha Duong, Optimal control models and elicitation of attitudes towards climate damages, *Environmental Modeling and Assessment*, *8*(3), 133–147, special issue on "Modeling the economic response to global climate change, 2004.

[*Anderer et al.*(1974)] Anderer, J., A. Mac Donald, et N. Nakicenovic, Energy in a finite world - paths to a sustainable future, *Document de travail*, International Institute for Applied System Analysis, 1974.

[*Augustin et al.*(2003)] Augustin, M., J. Ruet, M.-H. Zérah, et P.-N. Giraud, Infrastructures urbaines de l'eau en inde : quels enjeux ?, *Document de travail*, IDDRI, 2003.

[*Bairoch*(1985)] Bairoch, P., *De Jéricho à Mexico - Villes et économies dans l'histoire*, 1985.

[*Benevolo*(1995)] Benevolo, L., *Histoire de la ville*, Paris, 1995.

[*Borjas*(1995)] Borjas, G. J., Ethnicity, neighborhoods, and human-capital externalities, *American Economic Review*, *85*, 365–390, 1995.

[*Breheny*(1991)] Breheny, M., Contradictions of the compact city, *Town and Country Planning*, *60*, 1991.

[*Brueckner et al.*(1999)] Brueckner, J. K., J.-F. Thisse, et Y. Zenou, Why is central paris rich, and downtown detroit poor ? an amenity-based theory, *European Economic Review*, *43*, 91–107, 1999.

[*Cerda*(1867)] Cerda, I., *La théorie générale de l'urbanisation*, Paris, 1867.

[*Chiarella et Flaschel*(2000)] Chiarella, C., et P. Flaschel, High order disequilibrium growth dynamics : Theoretical aspects and numerical features, *Journal of Economic Dynamic and Control*, *24*, 935–963, 2000.

[*Chiarella et al.*(2006)] Chiarella, C., P. Flaschel, et H. Hung, Interacting business cycle fluctuations : A two-country model, *The Singapore Economic Review*, *51*, 365–394, 2006.

[*Choay*(1979)] Choay, F., *L'urbanisme, utopie et réalités - une anthologie*, Paris, 1979.

[*CITEPA*(2006)] CITEPA, Inventaire des émissions de gaz à effet de serre en france au titre de la convention cadre des nations unies sur les changements climatiques, *Document de travail*, CITEPA, 2006.

[*Crassous et al.*(2006)] Crassous, R., J.-C. Hourcade, et O. Sassi, Endogenous structural change and climate targets - modeling experiments with Imaclim-R, *Energy Journal*, *27*, 259–276, 2006.

[*Daures et Frisch*(1975)] Daures, P., et J.-R. Frisch, Prospectives énergétiques pour le tiers-monde (2000-2025), *Document de travail*, Groupe de Prospective de l'Energie de la Maison des Sciences de l'Homme, 1975.

[*Edmonds et Reilly*(1983)] Edmonds, J., et J. Reilly, A global energy - economic model of carbon dioxide release, *Energy Economics*, *5*, 1983.

[*Fankhauser et Tol*(2005)] Fankhauser, S., et R. S. Tol, On climate change and economic growth, *Resource and Energy Economics*, *1*, 1–17, 2005.

[*Ford Foundation*(1974)] Ford Foundation, A time to choose : America's energy future, *Document de travail*, Ford Foundation, 1974.

[*Fujita et al.*(1999)] Fujita, M., P. Krugman, et A. J. Venables, *The Spatial Economy : Cities, Regions, and International Trade*, MIT Press, Cambridge, 1999.

[*GIEC*(2007)] GIEC, The ar4 synthesis report, 2007.

[*Giraud et Lefèvre*(2006)] Giraud, P.-N., et B. Lefèvre, *Rapport Annuel - Regards sur la Terre*, chap. Les défis énergétiques de la croissance urbaine au Sud - Le couple "transport-urbanisme" au coeur des dynamiques urbaines, Presses de la Fondation Nationale des Sciences Politiques, 2006.

[*Glaeser et Vigdor*(2001)] Glaeser, E. L., et J. L. Vigdor, Racial segregation in the 2000 census : Promising news, *Document de travail*, Brookings Center on Urban and Metropolitan Policy, 2001.

[*Goldemberg et al.*(1988)] Goldemberg, J., T. Johansson, A. Reddy, et R. Williams, *Energy for a sustainable world*, Wiley Eastern Limited, New Dehli, 1988.

[*Gusdorf et Hallegatte*(2007)] Gusdorf, F., et S. Hallegatte, Behaviors and housing inertia are key factor in determining the consequences of a shock in transportation costs, *Energy Policy*, *35*, 3483–3495, 2007.

[*Ha-Duong*(1997)] Ha-Duong, G. M. e. H. J.-C., M., Influence of socioeconomic inertia and uncertainty on optimal co2-emission abatement, *Nature*, (390), 270–274, 1997.

[*Hafele*(1981)] Hafele, W., Energy in a finite world : a global system analysis, *Document de travail*, International Institute for Applied System Analysis, 1981.

[*Hallegatte et al.*(2007a)] Hallegatte, S., M. Ghil, P. Dumas, et J.-C. Hourcade, Business cycles, bifurcations and chaos in a neo-classical model with investment dynamics, *Journal of Economic Behavior and Organization*, in Press,, 2007a.

[*Hallegatte et al.*(2007b)] Hallegatte, S., J.-C. Hourcade, et P. Ambrosi, Using climate analogues for assessing climate change economic impacts in urban areas, *Climatic Change*, *82*(1-2), 47–60, 2007b.

[*Hallegatte et al.*(2007c)] Hallegatte, S., J.-C. Hourcade, et P. Dumas, Why economic dynamics matter in assessing climate change damages : illustration on extreme events, *Ecological Economics*, *62*(2), 330–340, 2007c.

[*Harrod*(1939)] Harrod, R., An essay in dynamic theory, *The Economic Journal*, *49*(193), 14–33, 1939.

[*Haurie*(2005)] Haurie, A., *Dynamic Games : Theory and Applications*, chap. A Two-Timescale Stochastic Game Framework for Climate Change Policy Assessment, pp. 193–211, Springer US, 2005.

[*Hourcade et Gilotte*(2000)] Hourcade, J.-C., et L. Gilotte, *Differentiated or Uniform International Carbon Taxes : Theoretical Evidences and Procedural Constraints*, chap. 8, pp. 135–155, New York : Columbia University Press, 2000.

[*Hourcade et Lecocq*(1998)] Hourcade, J.-C., et F. Lecocq, Decision making under uncertainty and inertia constraints : sectoral implications of the when flexibility, *Energy Economics*, *20*(5/6), 539–555, 1998.

[*Hourcade et al.*(1993)] Hourcade, J.-C., R. Baron, et O. Godard, *International Economic Instruments and Climate Change*, Ed. de l'OCDE, 1993.

[*Hourcade et al.*(2006)] Hourcade, J.-C., M. Jaccard, C. Bataille, et F. Ghersi, Hybrid modeling : New answers to old challenges, *The Energy Journal*, pp. 1–11, introduction to the Special Issue - Hybrid Modeling of Energy-Environment Policies : Reconciling Bottom-up and Top-Down, 2006.

[*Jacobs*(1961)] Jacobs, J., *The Death and Life of Great American Cities*, Random House, New York, 1961.

[*Jayet*(1990a)] Jayet, H., Spatial search processes and spatial interaction : 1. sequential search, intervening opportunities, and spatial search equilibrium, *Environment and Planning A*, *22*, 583–599, 1990a.

[*Jayet*(1990b)] Jayet, H., Spatial search processes and spatial interaction : 1. polarization, concentration, and spatial search equilibrium, *Environment and Planning A*, *22*, 719–732, 1990b.

[*Koolhaas*(2002)] Koolhaas, R., *New York délire : un manifeste rétrospectif pour Manhattan*, Marseille, 2002.

[*Krugman*(1992)] Krugman, P., *Geography and trade*, MIT Press, Cambridge, 1992.

[*Krugman*(1998)] Krugman, P., What's new about the new economic geography ?, *Oxford Review of Economic Policy*, *14*, 7–17, 1998.

[*Le Corbusier*(1924)] Le Corbusier, *Urbanisme*, Paris, 1924.

[*Longroth et al.*(1980)] Longroth, H., P. Steen, et T. B. Johansson, *Solar versus Nuclear : choosing energy futures*, Pergamon Press, 1980.

[*Lovins*(1977)] Lovins, A., *Soft energy paths : toward a durable peace*, Penguin Books, 1977.

[*Lovins et Price*(1975)] Lovins, A., et J. Price, Non nuclear future : the base for a ethical energy strategy, *Document de travail*, Friends of Earth, 1975.

[*Lowry*(1964)] Lowry, I. S., *A Model of Metropolis*, RAND Corporation, Santa Monica, 1964.

[*Mangin*(2004)] Mangin, D., *La ville franchisée : formes et structures de la ville contemporaine*, 2004.

[*Manne*(1977)] Manne, A., Energy - economy interactions : the fable of the elephant and the rabitt, *Document de travail*, Resources for the Future, 1977.

[*Masson*(1998)] Masson, S., Interactions entre système de transport et syst'eme de localisation : de l'héritage des modèles traditionnels à l'apport des modèles intereactifs de transport et d'occupation des sols, *Cahiers Scientifiques du Transport*, *33*, 79–108, 1998.

[*Maurel et Puig*(2004)] Maurel, F., et J.-P. Puig, *Villes et économie*, chap. Les causes économiques de la croissance urbaine, pp. 85–108, La documentation Française, Paris, 2004.

[*McMillen*(1994)] McMillen, D. P., Vintage growth and population density : an empirical investigation, *Journal of Urban Economics*, *36*, 333–352, 1994.

[*Meadows et al.*(1972)] Meadows, D. H., D. Meadows, J. Randers, et W. Behrens III, *Limits to Growth*, Universe Books, New York, 1972.

[*Mills*(1967)] Mills, S. E., An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area, *The American Economic Review*, *57*(2), 197–210, papers and Proceedings of the Seventy-ninth Annual Meeting of the American Economic Association, 1967.

[*Mumford*(1961)] Mumford, L., *The City in History*, 1961.

[*Murata et Thisse*(2005)] Murata, Y., et J.-F. Thisse, A simple model of economic geography à la helpman-tabuchi, *Journal of Urban Economics*, *1*, 137–155, 2005.

[*Muth*(1969)] Muth, R. F., *Cities and Housing — The Spatial Pattern of Urban Residential Land Use*, The University of Chicago Press, 1969.

[*Newman et Kenworthy*(1989)] Newman, P. W., et J. R. Kenworthy, *Cities and Automobile Dependence : A Sourcebook*, Gower, Aldershot, UK, 1989.

[*Ottaviano et al.*(2002)] Ottaviano, G., T. Tabuchi, et J.-F. Thisse, Agglomeration and trade revisited, *International Economic Review*, *43*(2), 409–435, 2002.

[*Panerai et al.*(1997)] Panerai, P., J. Castex, et J.-C. Depaule, *Formes urbaines - de l'îlot à la barre*, 1997.

[*Ragon*(1991)] Ragon, M., *Histoire de l'architecture et de l'urbanisme modernes*, Paris, 1991.

[*Renard*(2004)] Renard, V., *Villes et économie*, chap. Les enjeux urbains des prix fonciers et immobiliers, pp. 85–108, La documentation Française, Paris, 2004.

[*Rio*(1992)] Rio, Rio declaration on environment and development, 1992.

[*Scarf*(1973)] Scarf, H., *The Computation of Economic Equilibria*, New Haven : Yale University Press, New York, with the collaboration of T. Hansen., 1973.

[*Scarf et Shoven*(1984)] Scarf, H., et J. Shoven, *Applied General Equilibrium Analysis*, Cambridge University Press, Cambridge, 1984.

[*Selod*(2004)] Selod, H., *Villes et économie*, chap. La mixité sociale et économique, pp. 129–155, La documentation Française, Paris, 2004.

[*Shoven et Whalley*(1984)] Shoven, J., et J. Whalley, Applied general-equilibrium models of taxation in international trade, *Journal of Economic Literature*, *22*, 1007–51, 1984.

[*Solow*(1956)] Solow, R., A contribution to the theory of economic growth, *The Quarterly Journal of Economics*, *70*(1), 65–94, 1956.

[*Solow*(1988)] Solow, R., Growth theory and after, *The American Economic Review*, (3), 307–318, 1988.

[*Tulkens et Tulkens*(2006)] Tulkens, P., et H. Tulkens, The White House and the Kyoto Protocol : Double Standards on Uncertainties and their Consequences, FEEM Working Paper, available on line at http ://www.feem.it, 2006.

[*Uhel*(2006)] Uhel, R., Urban sprawl in europe - the ignored challenge, *Report*, European Environment Agency, 2006.

[*UN-HABITAT*(2004)] UN-HABITAT, State of the world's cities 2004/2005 - globalization and urban culture, *Document de travail*, United Nations Human Settlements Programme, 2004.

[*UNFCCC*(1994)] UNFCCC, United nations framework convention on climate change, 1994.

[*Veltz*(1996)] Veltz, P., *Mondialisation, villes et territoires : une économie d'archipel*, 1996.

[*Veltz*(2004)] Veltz, P., *Des lieux et des liens : Politiques du territoire à l'heure de la mondialisation*, 2004.

[*Von Thuenen*(1826)] Von Thuenen, J. H., *Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationaloekonomie*, Perthes, 1826.

[*Weyant et al.*(1996)] Weyant, J. P., O. Davidson, H. Dowlatabadi, et J. Edmonds, *Climate Change 1995 : Economic and Social Dimensions of Climate Change*, chap. Integrated assessment of climate change : an overview and comparison of approaches and results, Cambridge University Press, Cambridge, U.K., 1996.

[*Zenou et Smith*(1995)] Zenou, Y., et T. Smith, Efficiency wages, involuntary unemployment and urban spatial structure, *Regional Science and Urban Economics*, *25*, 547–573, 1995.

Chapitre 2

Behaviors and housing inertia are key factors in determining the consequences of a shock in transportation costs

(Article I)[1]

Abstract

This paper investigates the consequences of a sudden increase in transportation costs when households behaviors and buildings inertia are accounted for. A theoretical framework is proposed, capturing the interactions between behaviors, transportation costs and urban structure. Numerical simulations show that changes in households and landowners' choices reduce significantly the long-term adverse effects of a shock in transportation costs. Indeed, the shock translates, over the long-run, into a more concentrated housing that limits households utility losses and maintains landowners' income. But, because of buildings inertia, the shock leads first to a long transition, during which the adjustment is constrained by a suboptimal housing-supply structure. Then, households support larger losses than in the final stage, though lower than with no behavior adjustment, and landowners experience a large decrease in their aggregate income and an important redistribution of wealth. Thus, behaviors and buildings inertia are key factors in determining the vulnerability to transportation price variability and to the introduction of climate policies. Our policy conclusions are that : (i) if a long-term increase in transportation costs is unavoidable because of climate change or resource scarcity, a smooth change prevents to some extent the negative transition effects; and (ii) fast-growing cities of the developing world can reduce their future vulnerability to shocks in transportation costs through the implementation of policies that limit urban sprawl.

[1] This chapter is drawn from an article written by Gusdorf and Hallegatte, published by Energy Policy in 2007.

2.1 Introduction

In four years, between 2002 and 2006, energy prices have soared in the U.S., following the rapid increase in the price of crude-oil. U.S. gasoline prices have doubled over a couple of years, from their average values of approximately $1.50 a gallon to their mid-2006 values, reaching $3 a gallon in some U.S. states. Compared with the lifetime of the equipments that drive energy consumption, like transportation infrastructure and buildings, this increase has been extremely rapid, justifying the term of energy shock. Also, with 87.9 percent of the Americans driving to commute everyday [Reschovsky, 2004], gasoline prices have a direct and strong influence on households budgets. Transportation expenditures constitute the second-largest expense category of American households, with 19.3 percent of their budget [O'Toole, 2003]. Thus, even though current prices have already been reached in constant dollars in the late seventies, consequences on welfare of such a shock in transportation costs are far from negligible, explaining the public concern about this issue, in the U.S. or in Europe [Lyons and Chaterjee, 2002].

Reducing this social vulnerability to oil-price variability, and mitigating climate change, can be done through reductions in oil consumption. Today, therefore, heated debates are going on about the necessity of much higher gasoline prices to promote energy conservation and innovation in renewable and clean energies. But while the long-run benefits associated with such a policy are generally accepted, some argue that its short-term costs would be unbearable. The main underlying question behind this debate is about the timing of actions : policies aiming at reducing oil consumption can be either immediate or delayed, in the wait for new technologies to appear ; they can also be either progressive or aggressive. Obviously, reaching a given long-term target can be done through delayed and aggressive policies, or, starting sooner, through smoother implementation paths. This trade-off between the timing and the aggressiveness of measures is key in the design of energy policies [Weyant, 1993, Hourcade and Robinson, 1996, Ambrosi et al., 2003].

More precisely, as already stressed by [Weyant, 1993], the timescale of an energy-price change has to be compared with the inertia of the technico-economic system. Indeed, a slow increase in energy prices would let time for productive capital and infrastructures to adjust to new prices, leading to limited losses. Meanwhile, an instantaneous (or quasi-instantaneous) shock in energy prices would make all equipments and infrastructures ill-adapted. Since those infrastructures drive energy consumption, their ill-adaptation would make behavior changes less efficient to limit welfare losses. A shock, therefore, would cause much larger damages than a smooth transition. [Akerman and Hojer, 2006] mention this ill-adaptation as an important problem, but they do not attempt to evaluate its negative effects.

To provide new insights into this issue, this paper investigates the determinants of energy-shock consequences. It makes a unique contribution by focusing on the inertia of the largest pieces of infrastructure in developed countries, namely the buildings in urban environments, whose value constitutes more than 50 percent of the installed capital's value [Greenwood and Hercowitz, 1991], and whose annual depreciation rate is very low[2]. Our in-

[2]For the US buildings for instance, [Jin and Zeng, 2004] find an annual depreciation rate of 1.54%.

tuition is that largely spread-out cities like Los Angeles, which have been developed recently and in response to low transportation costs, would suffer from a rapid increase in these costs more than concentrated cities, which have been developed with higher transportation costs. Our paper is, therefore, based on the ideas that (1) housing and localization choices will play a key role in determining the consequences of a price change, and that (2) the urban structure and the timescale of the change are among the main drivers of the welfare losses due to an increase in transportation costs. Thus, to separate the impact of housing inertia from other effects, we set a partial equilibrium framework and carry out modeling experiments to see how the assessment of welfare losses due to an increase in transportation costs changes when this buildings inertia is taken into account.

The paper is organized as follows : Section 2.2 presents a standard urban economic modeling *à la* [Von Thuenen, 1826]. This modeling framework was adapted to urban economics by pioneering works of [Alonso, 1964], [Mills, 1967], and [Muth, 1969]. We also introduce the representation of housing infrastructure as first introduced by [Muth, 1969]. These models, widely used in standard microeconomic urban theory, provide us with a common framework allowing to understand the involved mechanisms and their consequences on welfare. Section 2.3 introduces the transportation cost shocks and makes the model able to take into account the existence of different timescales in the dynamics of cities, from the adjustment of housing choices by households to the slow adaptation of urban structures. More precisely, we focus on the timescale of a few decades : it is short enough to neglect building turnover; it is long enough to allow for an adjustment of households housing choices, albeit constrained by the existing housing supply[3]. This section presents model estimates of the additional welfare losses due to buildings inertia. Finally, Section 2.4 concludes by providing some insight into policy issues and by suggesting future researches.

2.2 Model

According to standard urban economic theory, transportation prices influence households behavior and, thereby, the size of a city, as well as its structure, e.g. its density gradient. Few empirical studies, however, investigate this influence. Among them, [Brueckner and Fansler, 1983] found no evidence of such an influence but [McGrath, 2005] questioned the transportation prices estimates they used. Using improved data, he found a significant negative link between transportation prices and urban sprawl, concluding that "*The negative significance of the transportation cost variable (...) indicates that the adoption of policies that directly impact private transportation costs, such as congestion tolls and fuel taxes, can have a direct impact on urban scale*". [Yacovissi and Kern, 1995] studied density and buildings heights, and found empirical evidence consistent with standard urban economics modeling.

Based on this theory, our model aims at representing the interaction between transportation prices, households and landowners' behaviors, and housing infrastructures. Most of the literature in standard urban macroeconomics assumes that the city situations correspond to

[3]We are not, therefore, investigating the very short term like [Noland et al., 2006], who studied the effects of a temporary energy-supply emergency.

a long term equilibrium, where housing capital is fixed. Some papers have dealt with housing capital malleability. [Brueckner, 2000] provided a survey of this literature, originating with [Evans, 1975] and [Fisch, 1977]. Published articles focused on the discrete process of destruction and construction of buildings and on the influence of historical factors on this process [Capozza and Li, 1994]. But, to the best of our knowledge, no paper investigated the influence of a shock in transportation prices. Also, previous works did not take into account households moves within existing buildings. Thus, they did not analyze the medium-term effects of a transportation shock, which is, however, very important in policy design. Our model is built to capture also this intermediary period and improve our understanding of energy-shock consequence on this timescale.

2.2.1 The Monocentric Closed City Model

In our framework, the city has a single center, the central business district (CBD), and has a circular symmetry around this center, so that any position in the city can be defined by the distance from the CBD, which we will denote r. Housing infrastructures throughout the city can be either exogenous or endogenous. In the latter case, we use a construction function a la [Muth, 1969], to represent the characteristics of housing structures. The city is assumed to be closed, *i.e.* the number of households is exogenously fixed.

There are two categories of agents in the model : households and absentee landowners. Households rent apartments from landowners, who own the land and the buildings. This distinction is useful for the analytical process. Four goods are available in the economy : land (s), capital (k), composite good (z), and housing service (q). Housing service consists in the number of square meters of housing, and related goods and services whose consumption changes with this surface (heating, electricity, etc).

2.2.2 The households

Households choose their housing location and consumption bundle to maximize their utility. We will suppose here that housing service supply is exogenously given by a supply function $H(r)$, which is null for $r > r_f$, where r_f is the size of the city.

Each household is composed of one worker commuting every day to the CBD. All workers earn the same income Y, and enjoy utility from a composite good z and a housing service q. All workers share the same utility function $U(z, q)$.

Each worker chooses his/her housing location r in the city, where the unit price of housing service at location r is $R_H(r)$. He/she maximizes his/her utility level under a budget constraint. The behavior of a worker living in the city is given by :

$$\mathsf{max}_{r,z,q}\, U(z, q) \tag{2.1}$$

s.t.

$$z + R_H(r)q \leq Y - T(r) \tag{2.2}$$

where Eq. (2.2) is the budget constraint of the representative household if it chooses to live at distance r, while z is chosen as the numeraire, and $T(r)$ represents the transportation costs of commuting. Those transportation costs are indeed generalized transportation costs, *i.e.* they take into account the cost of transportation itself as well as the loss of time spent in commuting, that could have been devoted to work or leisure. No congestion is taken into account.

We define the housing bid-rent functions $\psi_H(r,u)$, which depends on the distance r and the utility level u :

$$\psi_H(r,u) = \mathsf{max}_{q\geq 0} \frac{Y - T(r) - Z(q,u)}{q} \tag{2.3}$$

where $Z(q,u)$ is such that $U(Z(q,u),q) = u$; we assume that this number exists and is unique. Intuitively, $\psi_H(r,u)$ is the maximum rent per unit of housing service that a consumer can afford if he wants to achieve an utility level u at a distance r.

Classically, competitive equilibrium leads in each period to a situation where :
– there is no utility difference between consumers earning the same income :

$$\text{all consumers throughout the city have the same utility level } u \tag{2.4}$$

– the housing rent curve throughout the city stems from this utility level u as follows :

$$\text{at all } r,\ R_H(r) = \psi_H(r,u) \tag{2.5}$$

Setting r_f as the limit of the city, beyond which no consumer lives, and $n(r)$ as the density of consumers per square meter of land at distance r, equilibrium conditions are then :

$$R_H(r) = \begin{cases} \psi_H(r,u) = \mathsf{max}_{q\geq 0} \frac{Y-T(r)-Z(q,u)}{q} & \text{for } r \leq r_f \\ 0 & \text{for } r > r_f \end{cases} \tag{2.6}$$

$$n(r) = \begin{cases} H(r)/q(r,u) & \text{for } r \leq r_f \\ 0 & \text{for } r > r_f \end{cases} \tag{2.7}$$

$$N = \int_0^{r_f} n(r)dr \tag{2.8}$$

$$\psi_H(r_f,u) \geq 0 \tag{2.9}$$

Definition 1 (CSEx) *: for a given set of parameters, N, Y,and for given functions $H(r)$ and $T(r)$, a competitive static equilibrium with exogenous housing density (CSEx) is characterized by the existence of variables and functions u, r_f, $n(r)$, $R_H(r)$, $q(r)$, and $z(r)$ verifying Eqs. (2.6) to (2.9).*

2.2.3 The landowners

In the section above, we did not specify the profile of the housing supply $H(r)$, which was supposed exogenously given. However, we want this housing supply to be endogenous in our long-term model. To do so, we define a competitive equilibrium with endogenous housing structure, which arises from the behavior of landowners.

At each location, each absentee landowner allocates his/her amount of land L to agricultural use or to residential use. In the first case, the rent drawn from the land will be $R_a L$, where R_a is the fixed agricultural rent. In the second case, the landowners invests in housing capital K to produce a housing service H, measured in terms of inhabitable surface (in square-meters). The production function $H = F(L, K)$ gives the amount of housing services produced from an amount L of land and an amount K of capital. Function F is assumed to have constant returns to scale. Considering the rent level as exogenously given, each landowner chooses the amount of capital he/she invests, in order to maximize his/her profits. Thus, the behavior of an absentee landowner, owning land surface L at location r, is given by :

$$\mathsf{max}_K \ \frac{1}{1-\sigma}[R_H(r)F(L,K) - \rho K] \tag{2.10}$$

where $R_H(r)$ is the unit price of housing service at location r ; rent revenues are discounted on an infinite time by the factor σ ; and the capital is borrowed at an interest rate ρ. Landowners build very long term housing infrastructures, and they expect to be paid the same rent every year, *i.e.* until discounting makes revenues be negligible.

The landowner chooses in fact the capital to land ratio $x = K/L$. Since F has constant returns to scale, this ratio does not change with the surface of land that is owned by an individual landowner ; it depends only on distance r. We can use $f(x) = F(L, K)/L$ as a proxy for housing density, or building's height, and define :

$$x^*(r) = \arg\max_x \ [R_H(r)f(x) - \rho x] \tag{2.11}$$

As a consequence, the limit of the city is endogenously defined as follows :

$$r_f = \max[r, R_H(r)f(x^*(r)) - \rho x^*(r) \geq R_a] \tag{2.12}$$

As the production function has constant returns, this individual behavior can be aggregated at each location in the city. The optimal housing investment $K^*(r)$ corresponds to a capital to land ratio $x^*(r)$, and leads to a total production of housing services at the distance r :

$$H(r) = \begin{cases} \mathsf{Land}(r) \cdot f(x^*(r)) & \text{for } r \leq r_f \\ 0 & \text{for } r > r_f \end{cases} \tag{2.13}$$

where $\mathsf{Land}(r)$ is the surface of available land at location r.

Furthermore, at the city limit :

$$R_H(r_f)H(r_f) - \rho K^*(r) = R_a \mathsf{Land}(r_f) \tag{2.14}$$

We define the housing service density $h(r)$, as the ratio of the inhabitable surface at a location r to the total amount of available land : $h(r) = H(r)/\mathsf{Land}(r) = f(x^*(r))$. If q is the quantity of housing service per household at location r, and s and k are respectively the quantity of land input and capital input per household, then :

$$n(r) = \frac{H(r)}{q(r)} = \frac{F(L(r), K(r))}{q(r)} = \frac{L(r)}{s(r)} = \frac{K(r)}{k(r)} \ . \tag{2.15}$$

Thus, we immediately get $s = qL/F(L,K)$ and $k = qK/F(L,K)$. Since F has constant returns to scale, $q = F(s,k)$.

Definition 2 (CSEn) *: for a given set of parameters N, Y, R_A, and for given functions $\mathsf{Land}(r)$, $T(r)$ and $F(L,K)$, the competitive static equilibrium with endogenous housing density (CSEn) is reached in the city when one can find parameters and functions u, r_f, $n(r)$, $R_H(r)$, $z(r)$ and $H(r)$ verifying Eqs. (2.6) to (2.14).*

To investigate the distributive effects of policies, we introduce the *Local Land Income* (LLI), which is the income generated by a square meter of land when the investments described by Eq. (2.10) have been done. Formally :

$$LLI(r) = R_H(r) f(x^*(r)) - \rho x^*(r) \tag{2.16}$$

The variable $LLI(r)$ is, indeed, an index of the value of one square meter of land, since it measures the income generated by this area.

We also define the *Aggregate Landowners' Income* (ALI), which derives intuitively from its local version $LLI(r)$:

$$ALI = \int_0^{r_f} \mathsf{Land}(r) LLI(r) dr \tag{2.17}$$

We finally define the *Aggregate Invested Capital* (AIC), which measures the total amount of housing capital invested by landowners, and the *Aggregate Housing Rent* (AHR), which is the sum of all rents paid by households to landowners :

$$AIC = \int_0^{r_f} \mathsf{Land}(r) \frac{K}{L}(r) dr$$

$$AHR = \int_0^{r_f} R_H(r) H(r) dr$$

Thus : $ALI = AHR - \rho AIC$

While $LLI(r)$ allows to track distributive effects between landowners owning land at different distances from the CBD, the variable ALI shows how policies affect landowners as a group.

2.2.4 Static Equilibrium

Specific Functional Forms and Calibration

Having defined a theoretical analysis framework in the preceding section, we now intend to analyze the specific features which are of interest for this paper. Thus, we turn to specific functional forms so as to explore the properties of our model. We assume that the utility function and the housing service production function are given by :

$$\begin{array}{l} U(z,q) = z^{\alpha} q^{\beta} \text{ where } \alpha,\ \beta\ > 0 \text{ and } \alpha + \beta = 1 \\ F(s,k) = A s^{a} k^{b} \text{ where } a,\ b,\ A\ > 0 \text{ and } a + b = 1 \end{array} \tag{2.18}$$

These Cobb-Douglas functions are widely used for exploratory studies, as in Mills (1972), Brueckner (1980) or Fujita (1989). For simplicity's sake, we also assume that transportation costs increase linearly with distance, $T(r) = pr$, that the amount of available land is proportional to the distance from the CBD, $L(r) = lr$, and that the agricultural rent is null, *i.e.* $R_a = 0$.

We calibrated the main parameters so that the city on which we carried numerical analysis should approximate Los Angeles county. Therefore, 4.3 millions workers live in this city, earning a \$20 700 yearly income (data U.S. Census Bureau 1999). The transportation price is calibrated using 1999 gasoline prices (*i.e.* 32 cents per km on average, data American Automobile Association 1999). For this calibration, we do not take into account the value of time in transportation costs. Neither did we consider congestion costs, and the existence of amenities specific to certain locations. As a results, the city we represent is very simplified. Maximum commuting distance is 88 km, and 90% of the inhabitants of the city are at a distance from CBD that is inferior to 45 km. Besides, in a Cobb-Douglas utility function as described in Eq. (2.18), coefficient β represents the share of households budget devoted to housing (and related expenses, as housing equipment, heating, ...) at the equilibrium. Empirically, this share proves to be very stable, close to 25 %. Concerning the construction function, we lack robust empirical evaluation ; thus, we tested a very wide range of parameter values. The numerical analyses we present here assume $a = 0.5$.

Systematic sensitivity analyses have been carried out, and all qualitative results of the model are not changed in a reasonable range of parameter values. It is noteworthy that the results of this paper are very transferable to other cities than L.A. : we calibrated the model on cities with completely different income levels, transportation costs, and number of inhabitants, and found very close results. Thus, european cities also enter the scope of this paper.

In the following, we focus on the influence of the transportation price p on model equilibrium. We describe this influence first on the city structure, then on households and finally on landowners.

Structure

We present in this section the characteristics of a CSEn in our modeling framework, calibrated on the city of Los Angeles, CA. Classically, it provides a static equilibrium, whose fea-

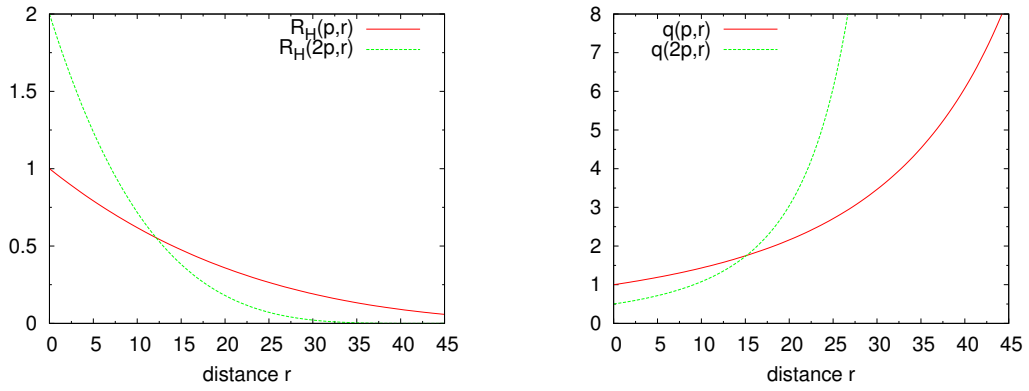


FIG. 2.1 – Rent curve $R_H(r)$ (index $R_H(p,0) = 1$) and per capita housing service consumption $q(r)$ (index $q(p,0) = 1$), with respect to the distance from the city center, at equilibrium. The different curves correspond to transportation prices p and $2p$.

tures reproduce commonly observed urban characteristics; see for instance [McGrath, 2005].

Figure 2.1 shows the rents $R_H(r)$ and the housing service per capita $q(r)$, with respect to the distance from the CBD and for two values of the transportation price : the value of p calibrated in Section 2.2.4; and twice this price, $2p$, to assess the sensitivity of the model to changes in the transportation price. In fact, such a shock on prices can be induced either by an increase in energy cost, by the introduction of a carbon tax, or by a decrease in transportation speed due to changes in urban planning or to climate policies aiming at reducing aggregate transportation use (as proposed, for example, by [Fergusson, 2003])[4].

For each price, Fig.2.1 shows how the rents decline with distance, while consumption of housing service per capita increases. Households living far from the center live in bigger flats or houses, where rent levels are cheaper. They can afford high commuting costs, and achieve the same utility level as those located close to the center. The larger the transportation price p, the greater is the gradient of rents and housing service per capita.

The left panel of Fig. 2.2 shows $h(r)$, the housing density throughout the city, which decreases with respect to the distance from the city center : landowners react to higher rent levels and invest in higher buildings close to the CBD. Housing supply $H(r)$, however, decreases to zero when the distance approaches zero, although buildings height at the CBD is at its maximum. This is due to the fact that, in a circular city, land becomes scarcer as the distance from the CBD tends to zero.

When the transportation price p increases, the repartition of investment throughout the city is driven by the fact that households living close to the CBD have much less commuting to pay for than other households; this effect concentrates households towards the city center,

[4] A doubling of generalized transportation costs corresponds to a quadrupling of monetary transportation costs, or to a doubling of those costs and a division of the average speed by two.

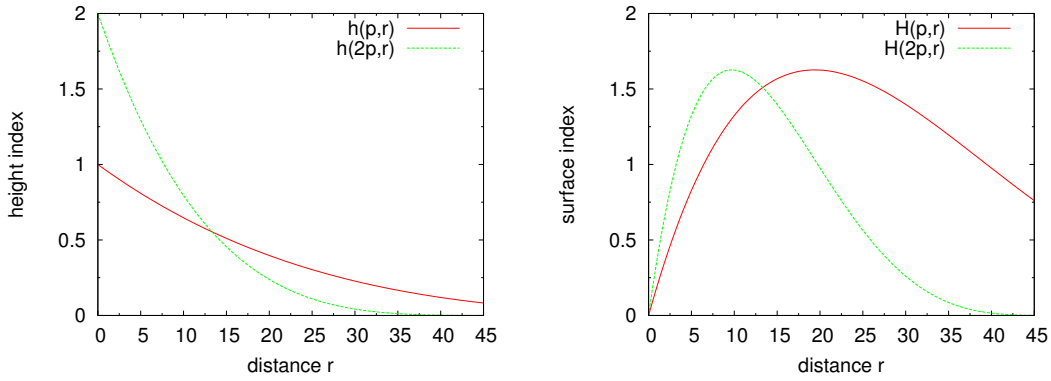


FIG. 2.2 – Housing structures corresponding to two different transportation prices, with respect to the distance from the CBD (left : index $h(p,0) = 1$; right : index $H(p,5) = 1$).

and competition for housing gets fiercer close to the CBD, while it decreases far from the CBD. When p increases, it makes buildings close to the CBD higher, and those far from the CBD lower. Meanwhile, housing service consumption per capita is reduced in the city centre, and increased far from the centre.

Households

It can be shown (see Appendix) that any transportation price p is associated with one unique utility level u, satisfying :

$$u^{\gamma+1} = \frac{lB}{N(\gamma+2)} \frac{Y^{\gamma+2}}{p^2} \tag{2.19}$$

In this equation, the land availability, described by the parameter l, influences utility directly : with more land to build on, consumers have more housing service available in locations where transportation costs are low, and their utility is higher. A larger number of inhabitants N lowers utility, because more people would then compete for a limited amount of land. On the other hand, utility increases strongly with income Y. This is because transportation costs at a given location are fixed and, as income increases, they represent a smaller share of consumers' budget.

Most importantly, transportation price p has a large, and negative, influence on equilibrium utility. Figure 2.3 shows the rapid decrease of utility as transportation price increases.

Landowners

As shown by Figs. 2.1 and 2.2, both the rent curve and the housing density decrease with distance r. One can show analytically, however, that $LLI(r)$ unambiguously decreases with

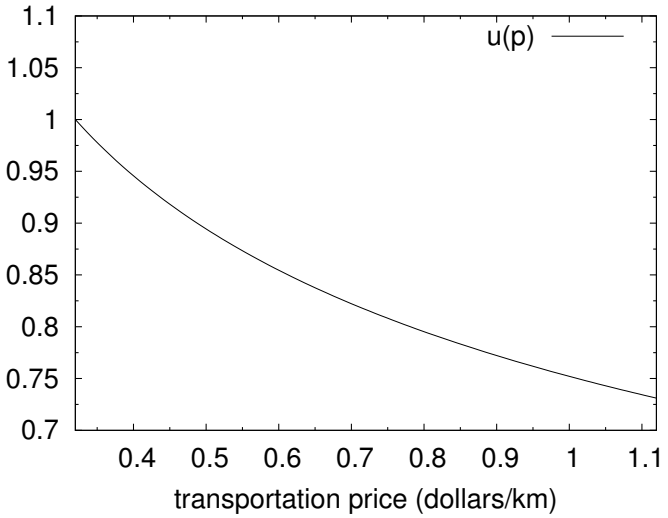


FIG. 2.3 – Equilibrium level of households utility u (index $u = 1$ for $p = 0.32$ dollars per kilometer), as a function of the transportation price p.

distance r. Furthermore, as illustrated by Fig. 2.4, an increase in the transportation price concentrates landowners' income towards the CBD, *i.e.* the income of landowners close to the center increases, while the income of those located far from the center decreases.

At the aggregate level, since any household in the city will devote a fraction β of its budget $Y - pr$ to housing, we have the Aggregate Housing Rents :

$$AHR = \int_0^{r_f} \beta(Y - pr)n(r)dr = \frac{N}{a}\frac{Y}{\gamma + 3} \tag{2.20}$$

Using Eq. (2.20), and Eqs. (A-22), and (A-23) from the Appendix, the value of Aggregate Invested Capital, is given by :

$$AIC = \int_0^{r_f} \mathsf{Land}(r) \cdot \frac{k}{s}(r)dr = \frac{b}{a}\frac{NY}{\gamma + 3}\frac{1}{\rho} \tag{2.21}$$

The Aggregate Housing Rent AHR and the Aggregate Invested capital AIC are proportional to N and Y. Indeed, the higher the income, and the more people live in the city, the higher is the rent at the aggregate level. More precisely, as N increases, the city limit does not significantly change but buildings are higher[5] ; as Y increases, buildings get bigger and the city expands outwards.

More important is the fact that the Aggregate Housing Rent AHR and the Aggregate Invested Capital AIC are independent of the transportation price p. If it increases, consumers'

[5]This is formally true only in the special case where $R_a = 0$. However, in our modeling exercises, changes occurring when $R_a > 0$ are negligible compared with the influence of other parameters and taking them into account does not change the results in a qualitative manner, while it makes the demonstration much more complex. These change are, therefore, disregarded in this paper.

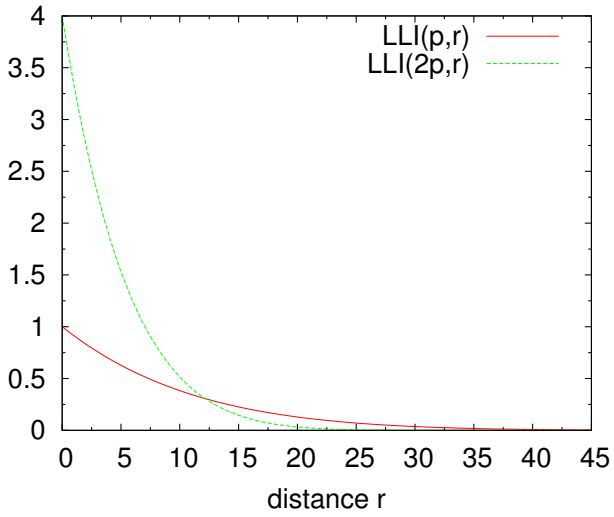


FIG. 2.4 – The variable $LLI(r)$ is the income generated by a square meter of land at location r. The two curves correspond to transportation prices p and $2p$ (index $LLI(0,p) = 1$).

housing budgets become smaller at each distance r. But more people live close to the CBD, where housing expenses are the largest. The combination of these effects lets the AHR unchanged (see Eq. (2.20)). Because buildings are higher close to the CBD, and smaller far from it, exactly the same amount of capital is invested at the aggregate level, and AIC is also independent of p (see Eq. (2.21)). As a consequence, the Aggregate Land Income ALI is also insensitive to changes in transportation costs.

Therefore, an increase in transportation price does not change the income of landowners as a group, but leads to a large redistribution of income among landowners, since the land close to (resp. far from) the CBD can generate more (resp. less) rent when transportation prices are higher (see Fig. 2.4). In other terms, the value of land at different locations changes in response to transportation price variation, even though the return on equity of building investments is kept unchanged through the adjustment of the amount of invested housing capital. Also, p influences strongly the city limit $r_f = Y/p$ and, as p increases, the surface inside the city decreases : some landowners choose to use their land for agricultural activity instead of housing[6].

Summary

These results show that, over the long-term, the city structure, the households utility, and the distribution of wealth among landowners depend on transportation costs. The city structure is adapted over the long-term to a specific price. However, the adaptation of the

[6]This mechanism is formally true only if $R_a = 0$. If this is not the case, *i.e.* if $R_a > 0$, then AHR and AIC change with transportation price p. Here also, the influence of R_a is of second-order and is, therefore, neglected.

housing supply cannot be instantaneous. As a consequence, if a shock occurs on transportation price, the subsequent ill-adaptation of the city structure will generate a new situation, that needs to be taken into account in the design of transportation policies. To investigate this issue, the following section will consider an exogenous shock on transportation price and look at the influence of the city structure ill-adaptation on medium-term welfare losses.

2.3 Transportation price shocks

In this section, we consider a shock in transportation costs, with the transportation price that *abruptly* jumps from an initial value p_i to a final value p_f. When the transportation price increases suddenly, the instantaneous consequence is an increase in aggregate transportation expenditures for households, at the expense of the consumption of composite goods. For instance, a doubling in the price of transportation per km decreases the aggregate consumption of composite by 29 percent if households do not change their housing choices. However, households and landowners rapidly adjust their behavior to the new price, to avoid as much as possible utility losses. As we shall see, assessing the efficiency of this adjustment requires the taking into account of buildings inertia.

In the following, households and landowners adopt a myopic behavior. In the initial period, they do not anticipate the shock, and make their decisions as if p_i should not change.

2.3.1 No Inertia

The effect of a shock when no inertia is taken into account can be very simply derived from Section 2.2.4. We explore here only two stages : the initial and final periods, disregarding the transition between them. With the functional forms we specified, we can characterize the long-term equilibriums of the city, with endogenous housing structures, since no inertia prevents the housing structure from been instantaneously adapted to the new transportation price.

Hence, the initial period is characterized by a CSEn where transportation price is p_i ; the final period is characterized by a CSEn where transportation price is p_f. As a result, the housing structure in the final period is more concentrated than in the initial period towards the center. This is exactly the situation depicted in Fig. 2.2.

If the agricultural rent is neglected, *i.e.* $R_a = 0$, landowners as a group are not affected by this change in transportation price. Given Eqs. (2.20) and (2.21), the aggregate rents they receive and the aggregate investments they make do not depend on p and, therefore, the aggregate land income ALI is also unchanged. However, individual landowners are sensitive to this to evolution, through the contraction of the city and the change in rents at different locations, in response to the increase in p (see Fig. 2.1, left panel). Figure 2.4 shows that landowners who own land close to the CBD gain from the price increase, while those who own land far from the CBD loose from it.

Figure 2.3 shows that the utility level of the consumers unambiguously decreases. Therefore, even if housing structure is perfectly flexible, consumers as a group are affected in the

long run by a change in transportation prices.

Compared with a no-adjustment case, in which transportation consumption is unchanged, long-run losses are largely reduced thanks to (i) the adjustment, by households, of their housing and localization choices and (ii) the adaptation, by landowners, of the housing-supply structure. This result justifies our investigation of the households and landowners' response to higher prices and shows that behaviors are key in the assessment of transportation policies.

Due to the length of building life-times, however, it is quite unrealistic to assume, as we just did, that the city structure is always optimal. In the few decades following the price shock, housing structure is not adapted to the new price and this ill-adaptation can influence significantly the consequences of the shock.

2.3.2 Taking Inertia into Account

We focus here on the medium-term timescale, over which households consumption bundles and localizations have enough time to adjust to transportation cost changes. Because of the long lifetime of buildings, however, housing-supply structure can be considered unchanged. Households, therefore, adjust their behavior and they are free to move within the existing buildings only. Also, rent levels can change in the city, and a certain housing flexibility exists inside the buildings : consumption of housing service per capita q at location r can change. The mechanism behind this change in q is that the aggregated housing surface does not change, but (i) flats inside the buildings can be adapted to make their individual surface change, through apartment merging or splitting ; and (ii) consumers can modify their lifestyle by increasing or decreasing the number of inhabitants per flat (e.g., through the use of apartment sharing or changes in the age at which children leave their parents' homes).

Those two mechanisms are characterized by timescales that are way inferior to those of buildings turnover. For instance, [Graham and Glaister, 2002] and [Goodwin et al., 2004] review the literature on the response to transportation cost changes : over a timeframe of ten years, this response exhibits a short-term component, occurring in a few months, and a medium-term component, which takes place within approximately five years. This latter timescale corresponds approximately to the beginning of our medium-term period equilibrium, when households have adjusted their behaviors and moved within the existing stock of housing. It is more difficult to define an end for this period, since the transition toward the final long-term equilibrium is gradual, following the progressive replacement of old buildings. Based on the depreciation rate given by [Jin and Zeng, 2004], we estimate that the replacement of buildings in an American city is complete between 60 and 70 years after the shock[7].

As a consequence, we consider three periods, defined as follows :

1. the initial period is characterized by a CSEn and a transportation price p_i ;

[7] This life-time can be much longer in European countries. For instance, in France, the turnover of building is close to 1 % per year [Jacquot, 2006].

2. the medium-term period takes place approximately between one decade after the shock and a few decades after the shock. During this period, we consider that the amount $H(r)$ of housing square-meters at each location remains the same than in the initial period : $H_m(r) = H_i(r)$ for all r. This period, therefore, is characterized by a CSEx with exogenous housing structure and a transportation price p_f ; in this situation, Fig. 2.2 shows how the inherited city structure $H_m = H_i$ is different from the equilibrium structure H_f corresponding to the new price p_f. The city is not, therefore, at full equilibrium with endogenous housing structure.
3. the final period, characterized by a CSEn, and transportation price p_f. This period takes place a long time after the shock, at least several decades. At this time, the city is at its new long-run equilibrium, fully consistent with the new transportation price.

Even though this representation is far from perfect, it allows us to take into account the effect of behavior adjustment, constrained by a buildings inertia that is complete during some decades and disappears suddenly when the medium-term equilibrium is replaced with the *final* long-term equilibrium. Also, considering this timescale allows us to represent increases in transportation costs, like the recent increase in gasoline price over four years in the U.S., as instantaneous shocks. A modeling of the details of the short-term transition between these stages will be proposed in a follow-up paper.

Impacts on landowners

Aggregate effects

Between the initial and the medium period, the aggregate housing surface of the city does not change. Neither does the location of invested capital. Compared to this, the long run equilibrium, corresponding to the new transportation price, will be a situation in which more housing is concentrated close to the CBD and less far from it. This transitory ill-adaptation of housing supply makes aggregated housing rents lower during the medium run than over the long run : $AHR_m < AHR_f$. Thus, landowners, as a group, see their situation deteriorate during the adaptation process, while they are insensitive to transportation price over the long run.

Therefore, the aggregate land income ALI, which is insensitive to transportation costs in a CSEn, depends on this price in a CSEx : Figure 2.5 shows that the aggregate income of landowners during the transition is always lower than the land income in a CSEn (initial and final periods). For example, a doubling of transportation price decreases ALI by approximately 17 percent in the medium run.

Individual effects

Inside the landowners' group, situations are very diverse. Indeed, because buildings are not adjusted to rents any more, the local return on equity of their investments in buildings depends on the distance r from the CBD, which is not the case in a CSEn. Thus, some investments will reveal more profitable than initially planned, while others will reveal less profitable.

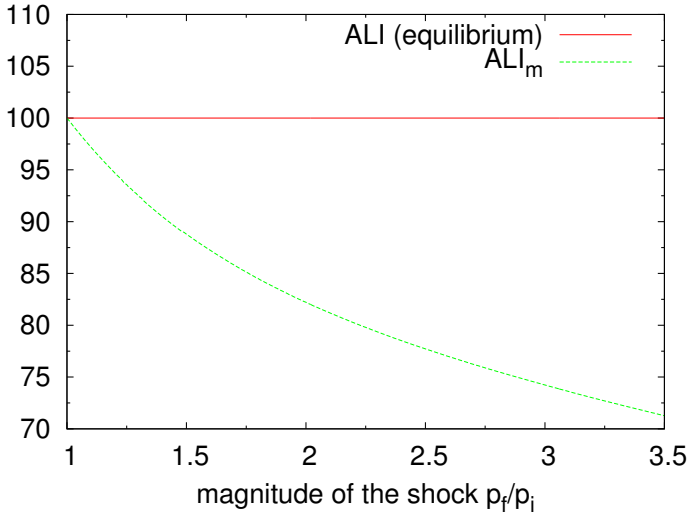


FIG. 2.5 – The Aggregate Landowners' Income with respect to the magnitude of changes in transportation prices (index $ALI_i = ALI_f = 100$), before and after the shock.

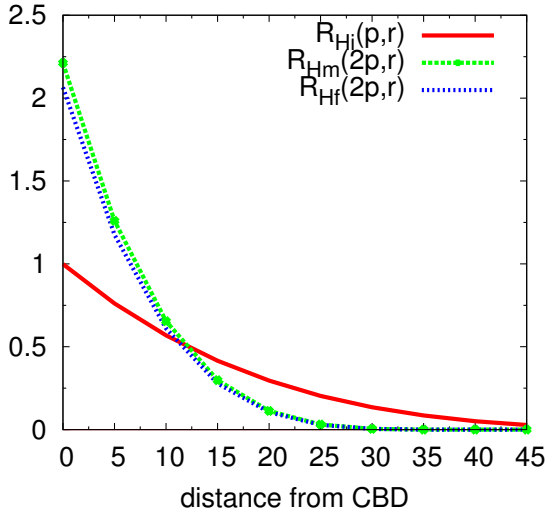


FIG. 2.6 – The housing rent during the three periods, for a shock corresponding to a doubling of the transportation price (index $R_H(p, 0) = 1$).

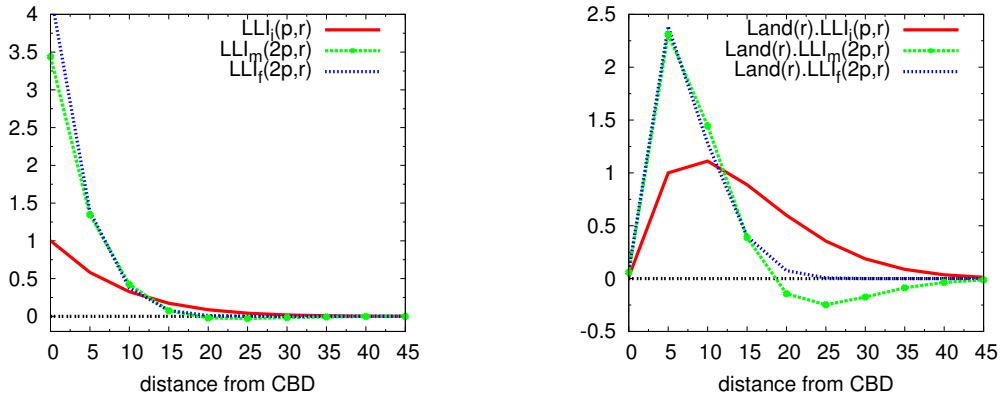


FIG. 2.7 – Left : for a doubling of the transportation price, the income generated by land with respect to the location r, in the three periods (index $LLI(p,0) = 1$). Right : for the same shock, the landowners' income generated by the entire surface at distance r from CBD (index $\mathsf{Land}(5) \cdot LLI_i(5) = 1$).

Figure 2.6 shows the rent with respect to the distance from CBD, during the initial ($R_{H_i}(p,r)$), medium ($R_{H_m}(2p,r)$) and final ($R_{H_f}(2p,r)$) periods. Because of inertia, the housing rent earned by landowners is slightly higher during the medium-run than in the final stage close to the CBD, but is lower in most of the city's locations.

The effects on the income generated by land $LLI(r)$ is significant, as illustrated by Fig. 2.7, which shows the income per unit of land (LLI) and the total land income as a function of the distance from the CBD[8]. Indeed, two processes make the medium-period $LLI_m(r)$ differ from its final-period value $LLI_f(r)$ (see Eq. (2.16)) : (i) the amount of installed capital K (or, equivalently, x^*) is different since, only in the final stage, landowners have adjusted their investments. Capital costs ρK are, therefore, also different. (ii) The rents R_H are different, as a direct consequence of the change in available housing supply. The consequences of these complex interactions are the following. First, close to the CBD, between a distance zero and 15 km, these processes compensate for each others, and the land income during the medium period is only slightly superior than or equal to its long-run value, and much larger than its initial-period value. But, at the outskirts of the city, rents have fallen, while investments remain at a relatively high level, incurring large capital costs. Thus, $LLI_m(r)$ gets there lower than its values at the initial and final period, and is even negative for distance larger than 20 km. And because land is more and more abundant as distance r increases, those losses in land incomes have a strong impact on aggregate figures.

The right side of Fig. 2.7 shows the total income generated at a given distance from the CBD, *i.e.* the amount of available land at a given distance multiplied by the income per unit of land at this location. This figure shows more clearly the large increase in income close to the CBD and the large loss of income far from the CBD. At the aggregate level, losses are

[8]This total land income accounts for the fact that much more land is available far from the CBD than close to it.

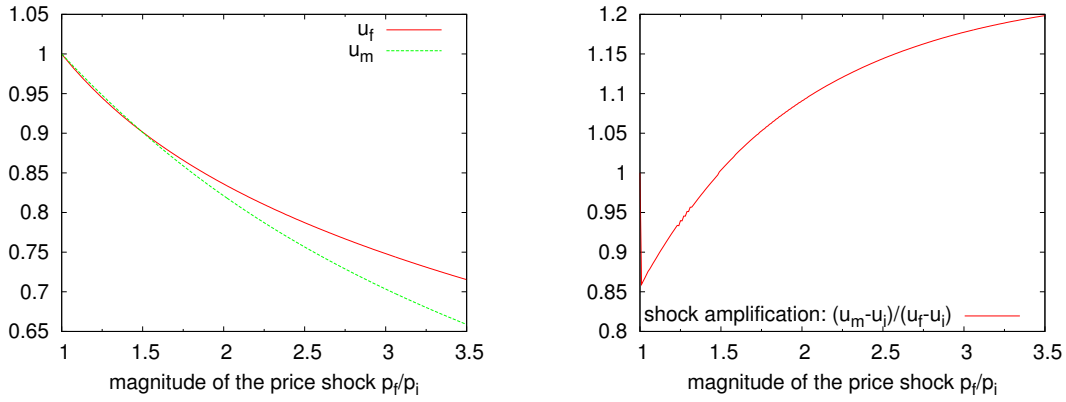


FIG. 2.8 – Left : utility levels u_f and u_m (index $u_i = 1$) ; Right - Amplification effect of buildings inertia on the medium-period utility. For shock amplitude lower than 1.6, housing inertia smoothes the shock ; for shock amplitude larger than 1.6, housing inertia amplifies the shock

greater than gains and ALI_m is lower than ALI_f, as illustrated by Fig. 2.5.

Impacts on households

We saw in Section 2.3.1 that an increase in transportation prices unambiguously decreases utility in the long run : $u_f < u_i$. Nevertheless, buildings inertia can, over the medium run, either smooth or amplify the negative impact of a shock on transportation prices.

Indeed, this medium-term utility level u_m depends on the new, increased transportation price and on the inherited housing structure. Compared to this, u_f depends on the same, new, transportation price, and on a new, endogenous housing structure, adapted to this price. For households, the effect of this inherited housing structure are ambiguous compared with the final situation. On the one hand, the amount of housing close to the CBD is lower during the medium period than at equilibrium, driving u_m downward compared with u_f ; but on the other hand, the amount of housing far from the CBD is larger than at equilibrium, driving u_m upward.

It is hard to predict how these two effects will be balanced. Figure 2.8 shows that the utility shock is smoothened on the medium-term timescale when the magnitude of the transportation price shock is small ($\mu \leq 1.6$), and amplified otherwise : the greater $\mu = p_f/p_i$, the higher is $(u_m - u_i)/(u_f - u_i)$.

This property is explained by the fact that, during the medium period, demand by households is flexible, while supply by landowners is rigid. This asymmetry (i) allows households to capture a transfer of wealth from the landowners who own land far from the CBD ; and (ii) leads to a lack of housing supply close to the CBD, which creates a scarcity rent for landowners who own land there. The stronger is the shock, however, the larger is the former effect and the weaker is the latter (since households devote more money to transportation).

Combined, these effects cause a positive transfer of wealth from landowners to households, which strengthens as the shock gets stronger, as can be seen from the response of ALI (see Fig. 2.5).

For moderate shocks, the transfer of wealth dominates the utility losses due to the suboptimality of housing supply, and buildings inertia reduces households utility losses by up to 14 percent. For large shocks ($\mu > 1.6$), on the other hand, inertia amplifies utility losses. For instance, for $\mu = 2$, u_f is 15% lower than u_i, and inertia adds another 1.4% to this loss, *i.e.* utility losses are amplified by 9% in the medium run. In this case, the wealth transfer from landowners to households cannot compensate for the medium-term lack of housing supply close to the CBD[9].

Thus, the model shows that the larger the *relative* amplitude of the price shock, the stronger is the negative impact of inertia on households. Meanwhile, for a given *absolute* transportation price increase, cities adapted to low transportation prices are more vulnerable than those already adapted to high transportation prices.

2.4 Conclusion

2.4.1 Summary

This paper uses a theoretical framework suited for the analysis of a change in urban transport characteristics to demonstrate that changes in households behavior can reduce the adverse consequences of a sudden increase in transportation costs, but that inertia in buildings and city structures significantly increases the vulnerability to such an event.

Indeed, buildings inertia is responsible, during a long transitory period, for a suboptimality in housing supply and a transfer of wealth from landowners to households. The combination of these effects is found to have significant adverse consequences. After a doubling of transportation costs, for instance, we observe in our hypothetical city (i) a 17-percent decrease in land income for the landowners as a group, while this income is insensitive to transportation costs at equilibrium, when landowners have adjusted their investments and, therefore, the supply in housing services; (ii) a large redistribution of wealth among landowners, with large losses for those who own land far from the center; and (iii) a 9-percent amplification of household's utility losses, compared with the same shock without buildings inertia. We also found that the greater the shock — in relative terms —, the more important is the negative influence of inertia on medium-term utility and landowners' income.

[9]Our modeling framework assumes absentee-landowners. If, on the opposite, landowners and consumers are a unique household, for instance if ALI is lump-sum redistributed to consumers, then landowners losses translate into a decreased income for consumers, which worsens their utility losses. Since ALI represents 10% of Y with our calibration, a rough estimate is that the 17% decrease in ALI would translate into an additional 1.7% decrease in utility levels.

2.4.2 Discussion

Our results have implications for policy makers. First, the heterogeneity of the the price change consequences — between landowners and households and among landowners — shows that aggregate estimates of energy-policy outcomes must be used with caution, since limited aggregate effects can hide significant consequences for some categories.

Second, the high variability in energy or transportation costs over a time-span of several months makes it impossible for the urban structure, which reacts on a much slower pace, to be optimal at each point in time. This should be taken into account in the design of energy and urban policies.

Third, the mechanisms highlighted in this paper influence the efficiency cost of a carbon tax, but are not taken into account yet in the published assessments of mitigation economic costs [Jorgenson et al., 1992, Edenhofer, 2006], even those that model explicitly households transportation choices [Crassous et al., 2006]. Obviously, assuming that a long-term increase in energy and transportation prices is unavoidable, because of resource scarcity or climate change, the inertia of the built environment calls for specific implementations of energy policies. Smooth implementation paths, starting as soon as possible, would prevent negative transition effects. More precisely, they could induce an immediate taking into account of future energy prices in buildings design and urban structures without causing large utility losses over the medium-term.

Fourth, we have shown that the impacts of a transportation shock on urban systems depend on the *relative* magnitude of the shock. Thus, cities with high transportation costs, which are more compact, are also more robust to a shock in energy price (measured in absolute terms). These considerations are particularly important for the numerous fast-growing cities of the developing world. There, the urban structure and transportation infrastructure will be, to a large extent, designed and built in the coming decades. It is easier to act on those infrastructures that do not exist yet, than to modify already existing urban structures. Thus, our results call for the immediate implementation of ambitious transportation and urban policies that limit urban sprawl, to reduce the vulnerability of these cities to the likely future increase in transportation costs.

However, the current version of our model presents several limitations :

First, there are numerous general equilibrium feedbacks that can impact the economy after a shock in transportation costs : cross-sectoral interactions [Oosterhaven and Elhorst, 2003], investments crowding-out, Keynesian negative effects due to the decrease in landowners' income and the decrease in housing-stock value. Redistribution of income may also impact savings rates. Moreover, the labor market can be adversely impacted by an increase in commuting costs : reservation wage would increase, worker productivity would change and the trade-offs between working and commuting times would be modified. Competition between cities, finally, can influence the distribution of workers and firms.

Second, we neglected congestion, which is a major externality of the transportation sector, and whose management creates important distribution issues, see [Mayeres and Proost, 2001]. A concentration of urban structure is likely to increase congestion, and to induce modal

switches from private vehicle to public transportation. As a consequence, increase public expenditure in transportation could increase commuting costs (if public transport is subsidied), or decrease them.

Third, investigations at the local level are needed to understand the implication of a transportation shock for households living at various distances from the CBD. Of particular interest are those who live or own land far from the CBD, and thus experience an important increase in their commuting costs or an important decrease in the value of their home.

Fourth, we assumed that economic agents, including government, did not anticipate the evolutions they would be confronted to, reacting only to current economic signals. Thus, we did not model the implementation of any precautionary measures that could allow for a smoothing of the shock.

The taking into account of those mechanisms would improve the quality of our assessments, and should be considered as priorities for future research. Given the nature of these phenomena, however, the insights derived from our partial equilibrium framework should be considered as lower bounds of the overall consequences of a shock in transportation costs.

Bibliographie

[Akerman and Hojer, 2006] Akerman, Jonas and Hojer, Matthias, 2006. How much transport can the climate stand ? — Sweden on a sustainable path in 2050, Energy Policy 34, 1944-1957.

[Alonso, 1964] Alonso, William, 1964. Location and Land Use, Cambridge, Harvard University Press.

[Ambrosi et al., 2003] Ambrosi, Philippe and Hourcade, Jean-Charles and Hallegatte, Stéphane and Lecocq, Franck and Dumas, Patrice and Ha Duong, Minh, 2003. Optimal control models and elicitation of attitudes towards climate damages, Environmental Modeling and Assessment, 8 (3), 133-147. Special issue on "Modeling the economic response to global climate change.

[Ballard et al., 1985] Ballard, Charles L. and Shoven, John B. and Whalley, John, 1985. General Equilibrium Computations of the Marginal Welfare Costs of Taxes in the United States, The American Economic Review, 75 (1), 128-138.

[Brueckner, 1980] Brueckner, Jan K., 1980. A vintage model of urban growth, Journal of Urban Economics, 8, 389-402.

[Brueckner and Fansler, 1983] Brueckner, Jan K. and Fansler, David A., 1983. The Economics of Urban Sprawl : Theory and Evidence on the Spatial Sizes of Cities, Review of Economics and Statistics, 65, 479-482.

[Brueckner, 2000] Brueckner, Jan K., 2000. Economics of Cities — theoretical perspectives, chapter 7, 263-289, Cambridge, Cambridge University Press.

[Capozza and Li, 1994] Capozza, Dennis R. and Li, Yuming, 1994. The Intensity and Timing of Investment : The Case of Land, The American Economic Review, 84.

[Crassous et al., 2006] Crassous, Renaud and Hourcade, Jean-Charles and Sassi, Olivier, 2006. Endogenous Structural Change and Climate Targets Modeling Experiments with Imaclim-R, Energy Journal, 27, 259-276.

[Edenhofer, 2006] Edenhofer, Ottmar and Lessmann, Kai and Kemfert, Claudia and Grubb, Michael and Kohler, Jonathan, 2006. Induced Technological Change : Exploring its Implications for the Economics of Atmospheric Stabilization : Synthesis Report from the Innovation Modeling Comparison Project, Energy Journal, 27, 57-108.

[Espey, 1998] Espey, Molly, 1998. Gasoline demand revisited : an international meta-analysis of elasticities, Energy Economics, 20, 273-295.

[Evans, 1975] Evans, Alan W., 1975. Rent and housing in the theory of urban growth, Journal of Regional Science, 15, 113-25.

[Fergusson, 2003] Fergusson, Malcolm, 2003. The effect of vehicle speeds on emissions, Energy Policy, 22 (2), 103-106.

[Fisch, 1977] Fisch, Oscar, 1977. Dynamics of the housing market, Journal of Urban Economics, 4, 428-77.

[Fujita, 1989] Fujita, Masahita, 1989. Urban Economic Theory — Land Use and City Size, Cambridge, Cambridge University Press.

[Goodwin et al., 2004] Goodwin, Phil and Dargay, Joyce and Hanly, Mark, 2004. Elasticities of Road Traffic and Fuel Consumption with Respect to Price and Income : A Review, Transport Review, 24 (3), 275-292.

[Graham and Glaister, 2002] Graham, Daniel and Glaister, Stephen, 2002. Review of income and price elasticities of demand for road traffic, Center for Transport Studies - Imperial College of Science, Technology, and Medicine - Report for the Department of Transport, DfT, London. Available online : http ://www.cts.cv.imperial.ac.uk/.

[Greenwood and Hercowitz, 1991] Greenwood, Jeremy and Hercowitz, Zvi, 1991. The allocation of capital and time over the business cycle, Journal of Political Economy, 99, 1188-1214.

[Hourcade and Robinson, 1996] Hourcade, Jean-Charles and Robinson, John, 1996. Mitigating factors : assessing the costs of reducing GHG emissions, Energy Policy, 24, 863-873.

[Jacquot, 2006] Jacquot, Alain and Minodier, Christelle, 2006. Enquêtes annuelles de recensement 2004 et 2005, INSEE, INSEE PREMIERE, 1050. Available online : http ://www.insee.fr.

[Jin and Zeng, 2004] Jin, Yi and Zeng, Zhixiong, 2004. Residential investment and house prices in a multi-sector monetary business cycle model, Journal of Housing Economics, 13, 268-286.

[Jorgenson et al., 1992] Jorgenson, Dale W. and Slesnick, Daniel T. and Wilcoxen, Peter J. and Joskow, Paul I. and Kopp, Raymond, 1992. Carbon Taxes and Economic Welfare, Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics, 1992, 393-454.

[Litman, 2005] Litman, Todd, 2005. Transportation Elasticities - How Prices and Other Factors Affect Travel Behavior, Victoria Transport Policy Institute Report. Available online : http ://www.vtpi.org/.

[Lyons and Chaterjee, 2002] Lyons, Glenn and Chaterjee, Kiron (eds), 2002. Transport Lessons from the Fuel Tax Protests of 2000, Aldershot : Ashgate.

[Mayeres and Proost, 2001] Mayeres, Inge and Proost, Stef, 2001. Marginal tax reform, externalities and income distribution, Journal of Public Economics, 79, 343-363.

[McGrath, 2005] McGrath, Daniel T., 2005. More evidence on the spatial scale of cities, Journal of Urban Economics, 58, 1-10.

[Mills, 1967] Mills, Steven E., 1967. An Aggregative Model of Resource Allocation in a Metropolitan Area, The American Economic Review, Papers and Proceedings of the Seventy-ninth Annual Meeting of the American Economic Association, 57 (2), 197-210.

[Mills, 1972] Mills, Steven E., 1972. Studies in the Structure of the Urban Economy, Cambridge, Harvard University Press.

[Muth, 1969] Muth, Richard F., 1969. Cities and Housing — The Spatial Pattern of Urban Residential Land Use, Chicago, The University of Chicago Press.

[Noland et al., 2006] Noland, Robert B. and Cowart, William A. and Fulton, Lewis M., 2006. Travel demand policies for saving oil during a supply emergency, Energy Policy, in press.

[O'Toole, 2003] O'Toole, Randal, 2003. Transportation Costs and the American Dream, Surface Transportation Policy Project, Special Report. Available online : http ://www.transact.org/.

[Oosterhaven and Elhorst, 2003] Oosterhaven, Jan and Elhorst, J. Paul, 2003. Indirect Economic Benefits of Transport Infrastructure Investments, in Across the border : Building upon a quarter century of transport research in the Benelux. Dullaert, Wout and Jourquin, Bart A.M and Polak, Jacob B. (eds). Antwerpen : De Boeck.

[Reschovsky, 2004] Reschovsky, Clara, 2004. Journey-to-work : 2000, U.S. Census Bureau, Census 2000 Brief. Available online : http ://www.census.gov/.

[Von Thuenen, 1826] Von Thuenen, Johann Heinrich, 1826. Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationaloekonomie, Hamburg, Perthes.

[Weyant, 1993] Weyant, John P., 1993. Costs of Reducing Global Carbon Emissions, The Journal of Economic Perspectives, 7 (4), 27-46.

[Wheaton, 1974] Wheaton, William C., 1974. A Comparative Static Analysis of Urban Spatial Structure, Journal of Economic Theory, 9, 223-237.

[Yacovissi and Kern, 1995] Yacovissi, William and Kern, Clifford R., 1995. Location and History as Determinants of Urban Residential Density, Journal of Urban Economics, 38, 207-220.

[Zenou and Song, 2006] Zenou, Yves and Song, Yan, 2006. Property tax and urban sprawl theory and implications for US cities, preprint of the Journal of Urban Economics.

2.A Appendix : analytical calculations

2.A.1 Characteristics of the urban system

Setting $\gamma = \frac{1}{a\beta} - 1$ and $B = \big(Ab\big)^{1/a}(\alpha^\alpha\beta^\beta)^{1/a\beta}\frac{a}{b\rho^{b/a}}$, the solutions of the equilibrium problem satisfy :

$$\begin{aligned} R_H(r,u) &= \Big(\alpha^\alpha\beta^\beta\tfrac{Y-pr}{u}\Big)^{1/\beta} \\ s(r,u) &= \tfrac{u^{\gamma+1}}{B(\gamma+1)}[Y-pr]^{-\gamma} \\ r_f(u) &= Y/p \end{aligned} \tag{A-22}$$

Concerning the endogenous housing structure, it comes :

$$\begin{aligned} k(r,u) &= b\beta\rho^{b/a}(Y-pr) \\ \tfrac{k}{s}(r,u) &= \tfrac{b}{a}\rho^{b/a}B[Y-pr]^{\gamma+1}u^{-(\gamma+1)} \\ H(r,u) &= lrA\Big(\tfrac{b}{a}\rho^{b/a}B[Y-pr]^{\gamma+1}u^{-(\gamma+1)}\Big)^b \end{aligned} \tag{A-23}$$

2.A.2 Utility level

Equation (2.8) on the city population implies :
$N = \displaystyle\int_0^{r_f}\frac{L(r)}{s(r,u)}dr = \int_0^{r_f} lrB(\gamma+1)[Y-pr]^\gamma u^{-(\gamma+1)}dr$
This equation gives us the relation :

$$\frac{p^2N}{lB} = -Y\frac{R_A}{B} + u\Big(\frac{R_A}{B}\Big)^{\frac{\gamma+1}{\gamma+2}}\frac{\gamma+1}{\gamma+2} + u^{-(\gamma+1)}\frac{Y^{\gamma+2}}{\gamma+2} \tag{A-24}$$

Right Hand Side of Eq. (A-24) is strictly decreasing with u as soon as u is such that r_f can be positive. The interpretation of the decrease of RHS of Eq. (A-24) with u is that, *ceteris paribus*, an increase in u implies that N shall decrease, i.e. some people shall leave the city.

2.A.3 Housing structure

The construction throughout the city is given by the function :
$H(r) = n(r)q(r) = lrF(1, k(r)/s(r))$.
Using Eq. (A-22), we have then :

$$H(r) = A'lr\Big(b\beta(\gamma+1)(\gamma+2)\frac{N}{l}(p)\big(\frac{Y}{p}\big)^{-(\gamma+2)}\big(\frac{Y}{p}-r\big)^{\gamma+1}\Big)^b \tag{A-25}$$

where $A' = \frac{Ab}{(1-\rho)}$
Furthermore, we can compute landowners' profits per square meter of land, depending on the location of the land :

$LLI(r) = H(r) \cdot R_H(r) - \rho\mathsf{Land}(r) \cdot \frac{k}{s}(r)$ will give us :

$$LLI(r) = \frac{N(\gamma+2)}{l}(p)\Big(\frac{Y}{p}\Big)^{-(\gamma+2)}\Big(\frac{Y}{p} - r\Big)^{\gamma+1} \tag{A-26}$$

2.A.4 Nomenclature

r	distance from CBD	α	utility function
q	housing service per household	β	utility function
s	land area per household	R_a	agricultural land rent
k	capital per household	R_H	unit housing service rent
z	composite good	a	construction function
L	land surface	b	construction function
K	capital	i	initial period
T	transportation costs	f	final period
p	transportation price per km	m	medium-term equilibrium
Y	income per capita	r_f	city frontier
H	housing service density per unit of land surface	l	density of land
ψ	bid-rent function	n	density of households
θ	discount factor		
u	utility level		
U	utility function		

Chapitre 3

Point d'étape - Evaluation empirique du lien entre les secteurs du logement et du transport

L'article I analyse les évolutions urbaines entraînées par une modification des conditions de transport. Il montre que la transition suivant un choc énergétique peut être significativement plus désavantageuse que l'équilibre final. Afin de souligner la confiance que l'on peut accorder à ces estimations, nous présentons ici brièvement les travaux empiriques qui apportent les preuves de la validité du modèle monocentrique, sur lequel nous fondons notre travail.

Le modèle monocentrique a connu historiquement ses plus grands succès en expliquant les liens entre conditions de la mobilité et répartition de la population dans une agglomération. Nous rappelons ici la relation entre coûts du transport et densité urbaine, en insistant sur ses manifestations les plus marquantes. Nous présentons également brièvement quelques études empiriques de cette relation, fondées sur le modèle monocentrique.

Il est important de faire le lien entre ces travaux et nos considérations sur les inerties urbaines. Le chapitre 4, présente une étude empirique, fondée sur les résultats du chapitre 2, concernant le lien entre coûts du transport et demande de service logement.

3.1 Transport et logement : une interaction au centre des évolutions urbaines

3.1.1 Développement des villes et moyens de transport disponibles

La forme des immeubles et maisons d'habitation dans une ville donnée dépend dans une grande mesure des matériaux disponibles, des contraintes climatiques, et des particularités culturelles qui caractérisent cet endroit du globe [*Roaf et al.*(2005)]. Les systèmes de transport, alors que le nombre de technologies disponibles sur la planète est relativement limité, sont également adaptés de façon fine à leur contexte urbain [*Amar*(2004)]. L'extraordinaire

diversité des villes à travers la terre se cristallise dans chaque système urbain sous la forme d'une symbiose différente entre le système de transport et l'organisation de l'habitat local.

En dépit de ces différences, ce qui rapproche les villes dans leurs structures, c'est le fait qu'un système de transport rapide et peu coûteux permet à ceux qui l'empruntent de résider loin de leur lieu de travail. Alors que les vitesses de transport étaient restées comparables pendant des siècles, les progrès techniques réalisés dans les systèmes de transport ont permis aux hommes de se déplacer de plus en plus rapidement. La révolution industrielle a ôté au cheval son statut de moyen de transport le plus rapide, ouvrant la voie à toute une suite d'invention, dans les transports particuliers ou en commun. Ces gains de vitesse ont été transformés, pour une bonne partie, non en temps de loisir supplémentaire, mais en espace.

Les citadins ont en effet choisi de vivre plus loin de leur lieu de travail, à la recherche de lieux habitables où la pression foncière serait moins élevée que dans les centres-villes. Cette stratégie leur a permis de disposer d'habitations plus vastes, moins chères, et localisées dans des lieux moins touchés par les externalités urbaines négatives : bruit, pollution, congestion. Ce phénomène d'éloignement des centres est si frappant que certains préférent partir du postulat que les hommes consacrent à leurs déplacements un « budget temps » constant. Il s'agit de la conjecture que Zahavi [*Zahavi et Talvitie*(1980)] énonça dans les années 1970, et qui est encore débattue aujourd'hui [*Schafer*(2000)].

3.1.2 L'étalement urbain

L'importance des possibilités techniques offertes par les transports au moment de l'essor d'une ville a été soulignée à plusieurs reprises [*Hall*(2002)] : la croissance des villes américaines, plus tardive que celles des villes européennes, a été réalisée pour une bonne partie alors que des moyens de transport rapides existaient déjà. Le développement des villes américaines a ainsi été fortement conditionné par l'existence des voitures, et leur rapidité. Ainsi en 1990, Barcelone regroupait 2.8 millions d'habitants sur une aire de 162 km^2, tandis que les 2.5 millions d'habitants d'Atlanta s'étalaient sur 4 280 km^2 [*Bertaud et Malpezzi*(2003)]. Le phénomène d'étalement des villes nord-américaines est si prononcé que le tissu urbain de certaines d'entre elles est aujourd'hui inséparable d'un réseau autoroutier intra-urbain. L'existence de ces infrastructures est capitale pour vivre dans ces formes d'organisation spatiales caractérisées par des densités relativement faibles.

Plus récemment, durant la deuxième moitié du XXième siècle, le phénomène urbain majeur a sans conteste été l'étalement urbain. Ainsi, en France, entre 1981 et 2000, la surface du territoire dédiée au bâti s'est accrue de 60% [*Cavailhes et al.*(2004)]. L'étalement urbain est accompagné par une modification de l'allure des villes. Les densités centrales baissent, la population gagnant la périphérie, ce qui donne naissance à des courbes de densité dont la pente est moins prononcée. Ainsi, les villes américaines ont vu leurs densités centrales réduites de 40 à 50% entre 1941 et 1976 [*Edmonston et al.*(1985)]. Ce mouvement apporte une confirmation du lien entre conditions de transport et localisation des habitations [*Jordan et al.*(1998)]. L'augmentation de la population, ou du nombre de foyers, dans les villes, ne saurait à lui seul expliquer cette invasion des alentours des villes par les villes elles-mêmes.

Dans les pays industrialisés, les principaux responsables de ce phénomène sont l'augmentation du revenu d'une part, et la baisse relative des coûts généralisés du transport d'autre part. Ce dernier facteur est en grande partie dû à l'accélération des vitesses de déplacement, entraînée par la diffusion de la voiture particulière [*Brueckner et Fansler*(1983)]. Le goût des consommateurs pour un habitat vaste, éventuellement avec jardin, s'est grâce aux progrès techniques trouvé confronté à de nouveaux horizons.

3.2 Le lien transport - logement dans la littérature empirique

3.2.1 Les faits stylisés

Le développement du modèle monocentrique a donné naissance à un corpus de littérature théorique destiné à expliquer un grand nombre de régularités dans l'organisation de l'espace urbain. Parmi ses principales réussites, on peut citer [*Fujita*(1989)] l'allure générale des prix du logement, élevés près des centres et bas à la périphérie des villes. Des explications ont aussi été fournies concernant les schémas de séparation entre riches et pauvres : dans les villes américaines, les centres des villes sont habités par des populations à bas revenus, et les périphéries par des populations à hauts revenus. Les prix du foncier sont pourtant plus élevés au centre qu'en périphérie, et les bas revenus doivent en fait se contenter de logements exigus, afin de réduire leurs frais de transport. L'équilibre est inversé dans la plupart des villes européennes, du fait de l'existence d'aménités historiques [*Brueckner et al.*(1999)] qui augmentent l'attractivité des centres. Concernant les phénomènes de périurbanisation, l'importance des aménités environnementales sur les choix de localisation des consommateurs a également été analysée [*Cavailhes et al.*(2004)].

Entre autres succès scientifiques, l'une des principales vertus du modèle monocentrique reste qu'il permet de rendre compte de la relation entre densité de population et coûts généralisés du transport. A partir d'hypothèses simples sur les préférences des agents pour un grand logement, et en tenant compte de leurs contraintes budgétaires, ce modèle reproduit des densités de peuplement plus fortes en centre ville qu'en périphérie des centres urbains. Le gradient de densité est lié aux coûts de transport selon un schéma intuitivement simple : plus les coûts de transport sont élevés, plus la ville est concentrée et plus le gradient de densité est fort.

3.2.2 Les études empiriques

Les tests empiriques destinés à valider les hypothèses de base de cette modélisation principalement focalisés sur le lien entre les densités de peuplement et les coûts de transport, et sont moins nombreux que l'on ne pourrait le croire. Le lecteur intéressé par une revue de cette littérature pourra se référer à [*Baumont et al.*(2000)], qui présente l'augmentation du revenu moyen et la diminution des coûts de transport comme les deux principaux facteurs à l'origine de l'étalement urbain. Il reste pourtant très difficile d'obtenir pour ces tests un

ensemble de données pertinentes. L'idéal serait en effet de disposer de données temporelles et spatialisées au niveau d'une agglomération, tant sur les densités que sur les valeurs foncières. Pour des raisons institutionnelles notamment, ces conditions sont extrêmement difficiles à réunir. La plupart des études s'intéressent donc à une ville, ou plusieurs, à une date précise dans le temps.

Parmi les travaux les plus intéressants, on peut citer [*Yacovissi et Kern*(1995)], une étude précise sur les évolutions des densités urbaines dans la ville de Baltimore. Ces travaux confirment que non seulement la localisation, mais aussi l'histoire de la ville et les variations des conditions économiques dans le temps, expliquent les caractéristiques des habitations urbaines, distinction qui est en cohérence avec les prédictions du modèle monocentrique. Capozza et Li [*Capozza et Li*(1994)] s'intéressent au rythme des investissements dans ce cadre, et confirment la valeur de ces prédictions. Plus près de nous, Song et Zenou [*Song et Zenou*(2006)], également sur des données américaines, partent du financement des infrastructures, pour confirmer le lien entre coûts du transport et étalement urbain.

3.3 L'inertie urbaine à l'épreuve des faits

3.3.1 La dynamique liée à un choc

Nos résultats reposent sur une extension du modèle monocentrique, développée à partir de la distinction entre le moyen et le long terme dans les évolutions d'une ville. Des travaux sur la dynamique urbaine existent [*McMillen*(1994)], mais ne prennent pas en compte la survenue d'un choc dans les conditions économiques. Cela n'aurait peut-être pas beaucoup d'importance si l'on pouvait considérer que le système ville est à même d'anticiper et d'amortir sans difficulté majeure les chocs auxquels il se trouve confronté. De fait, sur bien des marchés, les économistes font l'hypothèse que les acteurs sont bien informés des conditions économiques et de leurs changements probables, et sont capables d'adopter un comportement guidé par des anticipations rationnelles, ou parfaites.

Le réalisme de cette supposition peut être sérieusement remis en question sur des marchés plus compliqués, notamment dans le cas des acteurs urbains intervenant dans le secteur du logement. Sur ce marché se rencontrent en effet des acteurs fortement hétérogènes, aux motivations très différentes : les élus et décideurs politiques, dont l'horizon et les incitations sont le plus souvent déterminées par le rythme des élections ; les investisseurs immobiliers, dont la logique d'entrepreneur se trouve parfois compliquée par le spectre de la spéculation ; des locataires ou des propriétaires, ayant une vision très locale de leur situation. Pour compliquer le tout, les prix des transports, et donc les prix du pétrole, font également partie des variables agissant sur la demande de logement dans un endroit donné. On peut donc partir de l'idée que personne n'a sur ces marchés une information parfaite, mais forme plutôt des anticipations fondées sur une vision partielle de la situation. Considérant de plus que la situation qui nous intéresse est celle d'un changement brusque, nous ferons l'hypothèse que les agents économiques : locataires, propriétaires, ou investisseurs immobiliers, ont un comportement myope, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas en mesure d'anticiper le choc.

au choc n'est pas adaptée aux nouvelles conditions économiques, prévalant après le choc Dans un contexte de changement brusque, l'hypothèse de comportement myope des agents économiques, en particulier, prend un relief important. Les consommateurs et les investisseurs immobiliers n'anticipant pas les événements à venir, la ville qui se retrouve confrontée au choc n'est pas adaptée aux nouvelles conditions économiques, prévalant après le choc.

Les résultats que nous obtenons dans ces conditions signalent la nécessité de prendre en compte ces effets dans la mise au point des politiques publiques. Pour mener à bien nos analyses, nous avons utilisé des formes fonctionnelles spécifiques, fréquemment mobilisées pour des travaux exploratoires en économie urbaine. Ces fonctions classiques reproduisent en effet certaines caractéristiques importantes du comportement des ménages. Si leur usage nous permet d'estimer des ordres de grandeur, nous ne pouvons toutefois prétendre que nos résultats ont une portée aussi générale que si nous avions utilisé des formes abstraites. Il convient donc de vérifier la validité de nos résultats, en s'assurant que les prédictions du modèle sont cohérentes avec les données empiriques dont nous disposons.

3.3.2 Un test sur des données agrégées

Dans la perspective d'un test empirique de nos résultats, la principale difficulté réside dans le caractère spatialisé du modèle que nous utilisons dans l'article I. L'absence de données temporelles en séries longues, qui retraceraient l'histoire d'une agglomération en distinguant ne serait-ce que les quartiers d'une ville, nous prive des tests les plus directs que nous pourrions faire. L'article II propose un moyen pour tourner cette difficulté : il teste sur des données françaises les effets agrégés spécifiquement liés à l'existence d'une période transitoire, mis en évidence dans l'article I, et estime leurs ordres de grandeur.

Les évaluations que nous menons à bien confirment la force de l'interaction transport - logement, et donnent des ordres de grandeurs signifiants et significatifs. La principale variable que nous évaluons est l'élasticité de la demande de service logement à des variations de prix du transport. La méthodologie que nous employons nous permet par ailleurs de retrouver pour d'autres élasticités des ordres de grandeur proches des valeurs classiquement citées sur le sujet : nos élasticité-prix et élasticité-revenu du transport ont des valeurs compatibles à celles que l'on trouve dans la littérature économique sur le sujet [*Goodwin et al.*(2004)].

Bibliographie

[*Amar*(2004)] Amar, G., *Mobilités urbaines - Eloge de la diversité et devoir d'invention*, La Tour d'Aigues, 2004.

[*Baumont et al.*(2000)] Baumont, C., P.-P. Combes, P.-H. Derycke, et H. Jayet, *Economie Géographique - les théories à l'épreuve des faits*, chap. 9, Paris, 2000.

[*Bertaud et Malpezzi*(2003)] Bertaud, A., et S. Malpezzi, The spatial distribution of population in 48 world cities : Implications for economies in transition, working Paper, 2003.

[*Brueckner et Fansler*(1983)] Brueckner, J. K., et D. A. Fansler, The economics of urban sprawl : Theory and evidence on the spatial sizes of cities, *Review of Economics and Statistics*, *65*, 479–482, 1983.

[*Brueckner et al.*(1999)] Brueckner, J. K., J.-F. Thisse, et Y. Zenou, Why is central paris rich, and downtown detroit poor ? an amenity-based theory, *European Economic Review*, *43*, 91–107, 1999.

[*Capozza et Li*(1994)] Capozza, D. R., et Y. Li, The intensity and timing of investment : The case of land, *The American Economic Review*, *84*, 1994.

[*Cavailhes et al.*(2004)] Cavailhes, J., D. Peeters, E. Sékeris, et J.-F. Thisse, The periurban city : why to live between the suburbs and the countryside, *Regional Science and Urban Economics*, *34*, 681–703, 2004.

[*Edmonston et al.*(1985)] Edmonston, B., M. A. Goldberg, et J. Mercer, Urban form in canada and the united states : An examination of urban density gradients, *Urban Studies*, 1985.

[*Fujita*(1989)] Fujita, M., *Urban Economic Theory — Land Use and City Size*, Cambridge University Press, 1989.

[*Goodwin et al.*(2004)] Goodwin, P., J. Dargay, et M. Hanly, Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income : A review, *Transport Review*, *24* (3), 275–292, 2004.

[*Hall*(2002)] Hall, P. G., *Cities of Tomorrow - An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century*, Blackwell publishing, 2002.

[*Jordan et al.*(1998)] Jordan, S., J. P. Ross, et K. G. Usowski, U.s. suburbanization in the 1980s, *Regional Science and Urban Economics*, *28* (5), 611–627, 1998.

[*McMillen*(1994)] McMillen, D. P., Vintage growth and population density : an empirical investigation, *Journal of Urban Economics*, *36*, 333–352, 1994.

[*Roaf et al.*(2005)] Roaf, S., D. Crichton, et F. Nicol, *Adapting Buildings and Cities for Clmiate Change - A 21st century survival guide*, Architectural Press, Oxford, United Kingdom, 2005.

[*Schafer*(2000)] Schafer, A., Regularities in travel demand : an international perspective, *Journal of transportation and statistics*, *3*(3), 1–31, 2000.

[*Song et Zenou*(2006)] Song, Y., et Y. Zenou, Property tax and urban sprawl : Theory and implications for us cities, *Journal of Urban Economics*, *60*(3), 519–534, 2006.

[*Yacovissi et Kern*(1995)] Yacovissi, W., et C. R. Kern, Location and history as determinants of urban residential density, *Journal of Urban Economics*, *38*, 207–220, 1995.

[*Zahavi et Talvitie*(1980)] Zahavi, Y., et A. Talvitie, Regularities in travel time and money expenditures, *Transportation Research Record*, *750*, 13–19, 1980.

Chapitre 4

An empirical analysis of the interactions between transportation prices and housing markets

Article II

Abstract

Urban transportation costs influence households decisions in the housing market : rent levels and consumers' location choices are at least partly determined by accessibility. Local effects are differentiated throughout urban systems, and translate into aggregate evolutions in housing services consumption that are *a priori* ambiguous. This paper presents an econometric study that relies on aggregate French data, ranging from year 1960 until year 2005. The empirical estimates show that the elasticity of housing services consumption to transportation price is negative : if transportation costs increase by 10%, the demand for housing services decreases between 8.4% and 9.5%. This effect is significant, and consistent with theoretical findings [Gusdorf and Hallegatte(2007a)]. It should be taken into account in the design of sustainable urban policies.

4.1 Introduction

Transportation policies, and changes in transportation prices, are known to induce complex responses from economic agents. Following an increase in gasoline prices for instance, agents increase on the short run the modal share of public transportation if it is available, use their cars less often, and look for shopping centers that are closer to where they live. On the long run, agents will buy smaller cars, retail stores will relocate, and public transportation infrastructures will be improved.

Transportation systems also influence housing consumption behaviors. Housing-relocations, even though they are not frequent decisions in a worker's life, are influenced by accessibility conditions. As a consequence, housing prices sooner or later reflect local changes in accessibility. If, for instance, commuting prices go up, then agents will be willing to relocate closer to their jobs. As a consequence, housing prices will go up in employment centers, and down far from them. The consequence of these two effects on aggregate housing price is *a priori* ambiguous. When housing infrastructure is fixed, [Gusdorf and Hallegatte(2007a)], using specific functional forms, derive from local decisions of agents an aggregate decrease in housing prices. They do not provide, however, an empirical test that would confirm the sign of this relationship.

Moreover, housing infrastructures represent a huge value, close to GDP in most industrialized countries. Any change in housing prices is, therefore, susceptible to have major impacts on financial flows at the aggregate level [Leung(2004), Ortolo-Magné and Rady(2004)]. Nowadays, in industrialized countries, housing expenditures represent typically the largest share in households' budgets, with a share close to 30% [European Central Bank(2003)]. Thus, if transportation and housing are closely interdependant, it is important to understand what are the consequences of energy shocks or transportation policies on economic agents, so as to take these effects into account in the design of public policies, as suggested by [Gusdorf and Hallegatte(2007b)].

These reactions of the housing market to changes in the transportation system have rarely been empirically tested. In urban microeconomics, based on the classical Von Thuenen model, adapted by [Alonso(1964)], [Mills(1967)] and [Muth(1969)], several cross-sectional studies found a link between transportation prices and housing, as for instance [Yacovissi and Kern(1995)], or [Song and Zenou(2006)]. The lack of reliable spatio-temporal data, however, makes it difficult to test for such a relationship. This paper is based on the conviction that local changes in housing prices have an influence on aggregate data, which opens the possibility to test for a relationship without relying on spatial data that are not available.

This article investigates the link between housing decisions and transportation costs, using aggregate data at the national level. Analyzing French data, we first show that housing services appear as a luxury good; their share in consumers expenditures increases from 14.7% to 30.8% in 46 years. Meanwhile, the increase in transportation expenditures is far smaller, from 8.2% to 11.7%. Using the *almost ideal model* [Ghalwash(2007)] to estimate an aggregate relationship between housing consumption and transportation prices, we also show that there is a significant, negative link between transportation costs and the demand for housing services. We use two methods to derive elasticities from our estimations. We find

that at the aggregate level, the elasticity of housing consumption to transportation prices is negative, which confirms [Gusdorf and Hallegatte(2007a)] theoretical results. Furthermore, both methods give the same significant order of magnitude, the elasticities being respectively -0.95 and -0.96. As a by-product, we also get estimates of transportation price- and income-elasticities, that we can compare to other values from the literature.

The remaining of this paper is structured as follows : Section 4.2 describes our model ; Section 4.3 presents the data, Section 4.4 discusses our results, and Section 4.5 delivers our conclusions.

4.2 The model

The empirical test presented here is based on the linear approximation of the Almost Ideal Demand System (LA-AIDS) introduced in the seminal paper of [Deaton and Muellbauer(1980)]. The AIDS model is since a widely used econometric specification that spurred a wide literature on matters related to estimation, testing, advantages and shortcomings of the AIDS model relatively to other functional forms. We recall first the theoretical premises of the model, and explain our choice of the linear approximation. Second, we describe how elasticities are computed.

4.2.1 The AIDS model

The AIDS model is a flexible functional form demand equation coherent with utility maximization in a two or three stage consumer decision framework. The consumer decisions are assumed to be separable in the following sense : first, consumers allocate their time between work and leisure, after which income is determined ; second, they invest in durable goods ; and third, they consume non durable goods and services. This framework allows estimation of the consumption of goods under rationality assumptions [Deaton and Muellbauer(1980)]. AIDS is based on consumer expenditures ; it is a local first order approximation to any demand system expressed in budget shares. The approximation is given by Eq. (A-1) for each time period t = 1,..., T :

$$w_i = \alpha_i + \sum_j \gamma_{ij} \ln p_j + \beta_i \ln\left(\frac{X}{P^*}\right) + e_i \qquad \text{(A-1)}$$

where the period index is dropped for clarity and the goods are indexed by $i = 1, ..., n$; p_j are the prices of all goods, X is nominal non durables consumption expenditures or nominal income and P* is a deflator that can take two forms. The first is the proper AIDS deflator defined by Eq. (A-2) :

$$\ln P^* = \alpha_0 + \sum_j \alpha_j \ln p_j + \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \gamma_{ij} \ln p_i \ln p_j \qquad \text{(A-2)}$$

Using this deflator requires an estimation by the Nonlinear Least Squares (NLS) methodology, because some estimated coefficients enter the model in a non-linear way. To circumvent

this difficulty, empirical researchers often prefer to use linear approximations of the AIDS deflator as they allow the use of standard linear estimation techniques. The AIDS authors proposed to use a Stone price index, defined as [Labandeira et al.(2005)] :

$$\ln P^* = \sum_j w_j \ln p_j \tag{A-3}$$

Given the demands and the deflator, the AIDS model of Eq. (A-1) represents demands in shares that add up to one if the following restrictions are fulfilled :

$$\sum_i \alpha_i = 1 \; ; \; \sum_i \gamma_{ij} = 0 \; ; \; \sum_i \beta_i = 1 \tag{A-4}$$

$$\sum_j \gamma_{ij} = 0 \tag{A-5}$$

$$\gamma_{ij} = \gamma_{ji} \tag{A-6}$$

where restrictions specified by Eq. (A-4) constitute the cross equations adding-up restrictions ; Equation (A-5) translates the homogeneity of degree zero in prices and Eq. (A-6) relates to symmetry of the price coefficients.

There is a debate about this approximation of the deflator ; a recent contribution to this debate can be found in [Barnett and Seck(2006)]. Some authors consider that the question of the deflator is rather secondary in the sense that the data rarely conform to the underlying theory, especially at an aggregate level. The generality of the model is discussed by [Deaton and Muellbauer(1980)] (p.315). They state that the model is still a good approximation even if optimizing behavior is relaxed, that is, if demands are assumed to be continuous functions of prices and real income, which is equivalent to relaxing the homogeneity and symmetry conditions (Eqs. (A-5) and (A-6)). Following their suggestions, we use here national aggregate data for which optimizing behavior is less stringent, since these figures aggregate the behaviors of millions of households.

The coefficients are readily interpreted given the restrictions. For a given good, each price coefficient represents the effect on the budget share of a one percent change in the price of good j with (X/P*) held constant. In the same way, β_i represents the effect on budget share i of a one percent increase in real income, holding prices constant. The income coefficients sum to zero and are positive for luxury and negative for necessary goods. In absence of changes in relative prices and real expenditures / income (X/P*), the budget shares are constant. As a consequence, when applied to time-series data, the framework is a sequence of static equilibria.

Elasticities can be easily derived from the AIDS model coefficients and are presented in the following subsection.

4.2.2 Estimation methods, and choices

Two methods can be used to estimate the coefficients of the AIDS model. The most straightforward and commonly used is based on the Static Ordinary Least Squares (SOLS) methodology. However, for theoretical reasons mentioned by [Ng(1995)], this method is not suited to the AIDS framework. Following [Stock and Watson(1993)], therefore, we use the Dynamic Ordinary Least Squares methodology (DOLS). The covariance matrix of the DOLS estimates was computed using Heteroskedastic and Autocorrelation Consistant standard errors, with two Newey-West lags [Newey and West(1987)]. The standard errors of the elasticities derived from the DOLS coefficient estimates were computed by the delta method [Greene(1993)].

To estimate consumption decisions, we can use either consumersâĂŹ expenditures, or disposable income as a basis. We performed our tests with both measures, and find, as it is suggested by [Keen(1986)] or [Hausmann et al.(1995)], that the use of expenditures gives the more significant results.

4.2.3 Computing elasticities from the LA-AIDS model

Using the coefficients and their standards errors allows to compute elasticities and to assess their significance. There are different analytical derivations that depend on hypotheses concerning the AIDS demand functions and the form of the deflator used. The exact definitions of the elasticities were proposed by [Green and Alston(1990)]. The easiest to compute have been proposed by [Chalfant(1987)]. We present, and estimate in the following sections, both of them. An extensive discussion on the subject can be found in [Barnett and Seck(2006)].

The marshallian elasticity is defined as the logarithmic derivative of demand relatively to prices and expenditures. Considering the Stone deflator of Eq. (A-2), the price and income elasticities are respectively defined by :

$$e_{ij} = \frac{d\ln q_i}{d\ln p_j} = -\delta_{ij} + \frac{d\ln w_i}{d\ln p_j} = -\delta_{ij} + \frac{\gamma_{ij}}{w_i} - \frac{\beta_i}{w_i}\frac{d\ln P^*}{d\ln p_j} \tag{A-7}$$

$$\eta_i = \frac{d\ln q_i}{d\ln(X/P^*)} = 1 + \frac{1}{w_i}\frac{dw_i}{d\ln(X/P^*)} \tag{A-8}$$

Where δ_{ij} is the Kronecker delta (*i.e.* : $\delta_{ij} = 1$ if $i = j$, and 0 otherwise).

The Chalfant approach, exposed in [Ghalwash(2007)], [Alston et al.(1994)], and [Chalfant(1987)], uses the following simple definitions for the derivatives of the price index and the shares :

$$\frac{d\ln P^*}{d\ln p_j} = w_j \text{ and } \frac{dw_i}{d\ln(X/P^*)} = \beta_i \tag{A-9}$$

Plugging these derivatives in Eqs. (A-7) and (A-8) gives the following relationships :

$$e_{ij} = -\delta_{ij} + \frac{\gamma_{ij}}{w_i} - \beta_i\frac{w_j}{w_i} \tag{A-10}$$

$$\eta_i = 1 + \frac{\beta_i}{w_i} \tag{A-11}$$

Equations (A-10) and (A-11) are easy to compute from estimations results. The set of elasticities can be computed using matrix algebra based on the results from all equations of the demand system.

The complete derivation of [Green and Alston(1990)] replaces Eq. (A-9) with more complex derivatives of the price deflator.

For the price elasticity, one has :

$$\frac{d\ln P^*}{d\ln p_j} = w_j + \sum_k w_{kj} \ln p_k \frac{d\ln w_k}{d\ln p_j} \tag{A-12}$$

Substitution of Eq. (A-12) for w_j in Eq. (A-7) leads to the expression :

$$e_{ij} = -\delta_{ij} + \frac{\gamma_{ij}}{w_i} - \frac{\beta_i}{w_i}\Big[w_j + \sum_k w_k \ln p_k(\epsilon_{kj} + \delta_{kj})\Big] \tag{A-13}$$

For income one has to derive from Eq. (A-8) the partial derivative of the share relative to real income which contains the deflator, so :

$$\frac{dw_i}{d\ln(X/P^*)} = \beta_i - \beta_i \frac{d\ln P^*}{d\ln X} \tag{A-14}$$

The second term contains the derivative of the Stone deflator relative to income, and is given by :

$$\frac{d\ln P^*}{d\ln X} = \sum_j \ln p_j \frac{dw_j}{d\ln X} = \sum_j w_j \ln p_j(\eta_j - 1) \tag{A-15}$$

The final expression for income elasticity is found by inserting this expression in Eq. (A-14) and introducing it into Eq. (A-11) to find :

$$\eta_i = 1 + \frac{\beta_i}{w_i}\Big[1 - \sum_j w_j \ln p_j(\eta_j - 1)\Big] \tag{A-16}$$

Equations (A-13) and (A-16) are the correct expressions for the elasticities. Interestingly, it can be seen that, for both price and income, each elasticity depends on all the other elasticities. It is also very clear that these expressions are more complex than in the Chalfant case.

We compute both expressions and compare them in Section 4.4. [Alston et al.(1994)] do a more systematic work on this subject : they compare in a Monte Carlo simulation four different expressions for the elasticities of the LA-AIDS. They find that the results obtained using the simplest expression are as good as those obtained through the general expression. According to them, therefore, the computation of the general expression is not required to find a correct result. As shall be seen in Section 4.4, our results are fully consistent with this diagnosis.

4.3 Description of the data

4.3.1 Source and aggregation level

The model is estimated on annual data recently distributed online by INSEE, the French national statistics institute. This dataset gives detailed consumption data by product, function and durability for several hundred products. The period covered spans the years 1960 to 2005. The series are designed from the standard european SEC 95 national accounts system. The base year is 2000, updating the older 1995 base. In the French national accounts, indexes are of the chained Laspeyres type. Thus, our price series, as in many demand system estimated on aggregate data, are the price indexes associated to the detailed consumption data.

As we are mainly interested in analyzing the interaction of housing and transportation expenditures, we choose to estimate the simplest corresponding demand system : this system comprises the three goods that are at the center of the theoretical model developped in [Gusdorf and Hallegatte(2007a)], namely housing services, transport services and composite goods. Moreover, given our annual data, and the limited number of available observations, it is appropriate to restrain the number of goods we analyze to avoid identification problems.

We perform a few transformations on the data for our estimation purposes. First, we consider the consumption by function database, which is more suited to demand system estimation and elasticities computations, and allows us to isolate the two components of interest : transports and housing services. Second, durable goods expenses are substracted from the data as they are considered as investments in consumer theory. Third, a composite good series and its price index are built from the other functions expenditures. The three series are commented in Sections 4.3.2 and 4.3.3.

Energy consumption for heating and housing equipment deserves a special attention : these energy expenditures are related to other characteristics of housing services, namely the floor area. As such, they can be considered as a part of housing services costs, to which households respond when they choose their consumption of housing services. Those energy expenses should, therefore, be included in the share of housing services expenditures, and represent on average 21% of total housing expenditures. As a consequence, the price of energy influences the share of the households' budget that is devoted to housing expenditures.

Meanwhile, energy and transportation prices are of course not independent. In this context, therefore, energy costs influence housing budget directly, through the energy expenses that are related to housing services, and indirectly, through transportation prices. Estimating the influence of transportation prices on housing budget might prove difficult. In order to be sure that changes in housing consumption are not merely related to an increase in energy prices, we constructed two series of data and price indexes : in the first one, that we present in Sections 4.3.2 and 4.3.3, energy consumption for heating and housing equipment is included in the housing budget. In the second one, it is included in the composite good expenses. We do not present these second dataset in detail here, but provide in Section 4.4 the estimates of the elasticities we obtained for both series. It turns out that excluding these energy expenses from the housing budget changes the results only marginally.

This method provides another information : if transportation costs change, we can estimate the part of households' response that consists in a reduction of energy expenses related to housing energy consumption, and the part of households' response that consists in a change of square feet occupied. This point proves particularly important, if only because the latter consumption is specifically related to a transfer between two categories of population, namely owners and renters.

4.3.2 Evolution of budget shares

The AIDS demand functions are expressed in expenditure shares, defined by the ratio of expenditures for each good to total non durables consumption expenditures. Table 1 presents basic statistics for each of the shares.

Statistics	Housing services	Transport services	Composite good
Maximum	0.308	0.112	0.764
Minimum	0.147	0.087	0.588
Median	0.258	0.102	0.637
Average	0.250	0.101	0.649
Standard error	0.043	0.007	0.049
Variation coefficient	0.173	0.070	0.075

TAB. 4.1 – Elementary statistics of budget shares

As a percentage of total non durables consumption expenditures, housing is on average more than twice the share of transport ; it reaches a maximum of 31% versus 11% for transportation. Meanwhile, the composite good represents the biggest part of total expenditures as it comprises all the other goods. Housing expenditures are mainly constituted by real and imputed rents (see Fig. 4.1), while about half of transports expenditures are fuel and lubricant (see Fig. 4.2). Thus, evolutions in housing consumptions can almost immediately be interpreted in terms of rents, while transportation costs are mainly impacted by oil prices.

Considering the difference between the maximum and minimum values (16.1 points of percentage for housing, 2.5 points of percentage for transports), it appears that the evolution of the housing share is much larger than the changes in the transportation share. The average shares over the 46 years is 25.0% for housing services, 10.1% for transport services and 64.9% for the composite good. All series have low variability around their trend. The three series of expenditures shares are plotted against time in Fig. 4.3.

The share of composite good expenses declines regularly since 1960, but at a slower rate since the 1980s. The decrease of the composite good share appears as the mirror image of the growth of the share of housing services. Plotting the Engel curves (see Fig. 4.4) allows to interpret economically these evolutions, by accounting for the change in the level of total expenditures.

The Engel curve for the composite good declines with total non durables expenditures, showing that it is a necessity good. On the contrary, housing services consumption rises

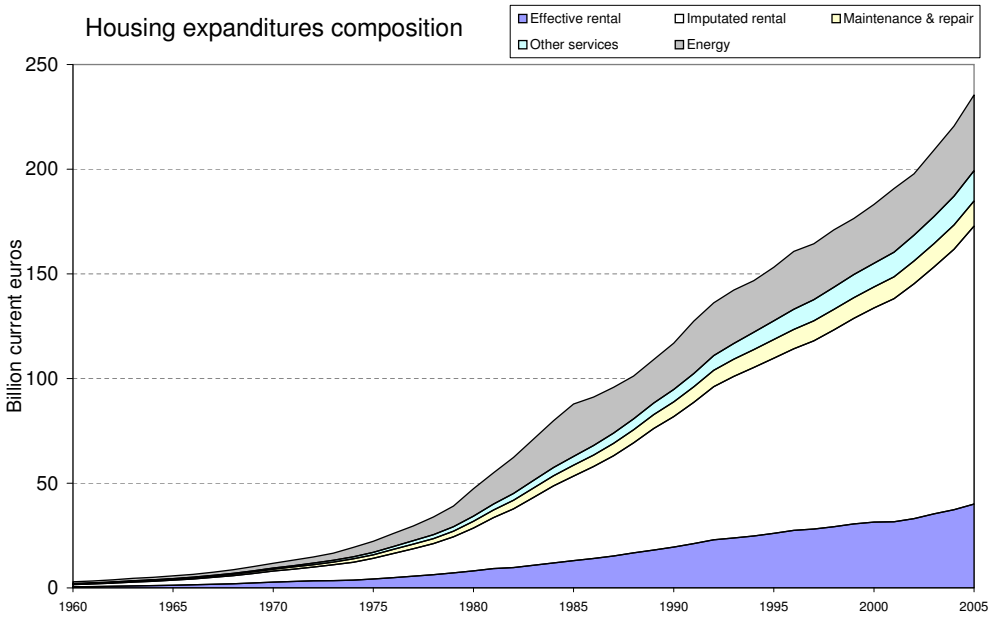


FIG. 4.1 – Composition of housing expenditures through time.

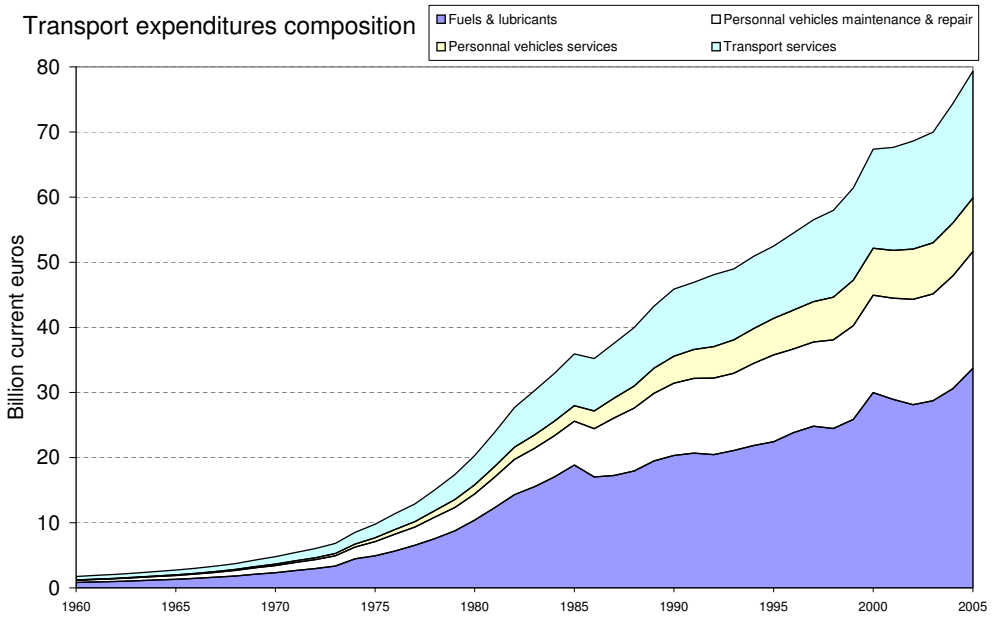


FIG. 4.2 – Composition of transport expenditures through time.

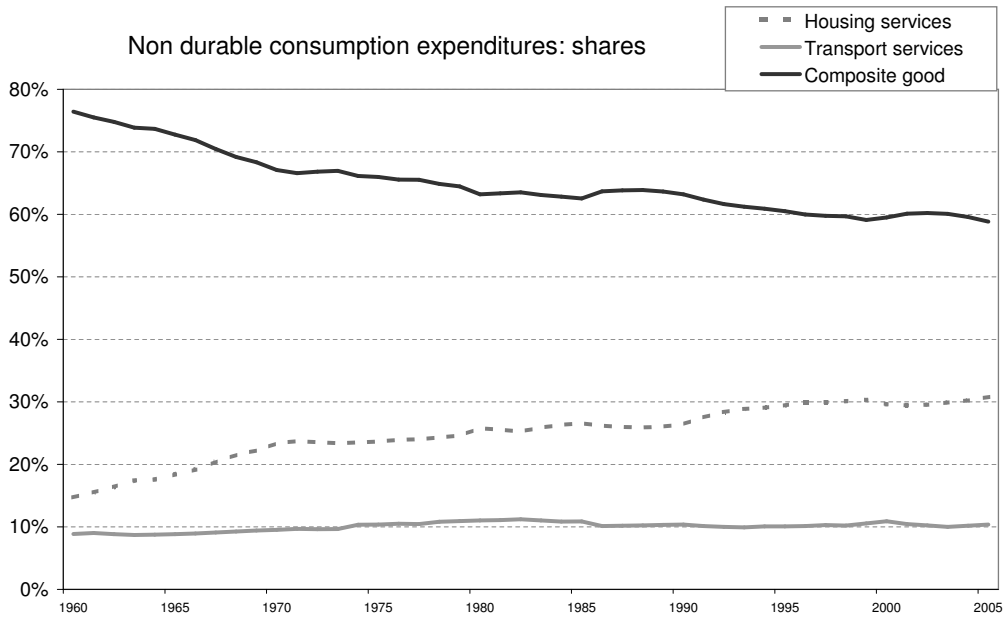


FIG. 4.3 – Shares of households' expenditures devoted to the composite good, the housing services, and the transportation services.

continually with income, so that it appears as a luxury. These Engel curves put even more emphasis than Fig. 4.3 on the very fast changes that happened during the 1960s : the part of the Engel curves corresponding to these income levels (the lowest in Fig. 4.4) are far steeper than other parts of those same curves. The growth in the share of housing expenses is clearly an important fact, compared to the evolutions of the share of transport services, which seem to oscillate around about 10% of non durables expenditures. Indeed, the Engel curve corresponding to transport services shows a far less marked profile, and the figure does not allow to determine if transports services are a luxury or a necessity, since the direction of variation of this time series varies along time.

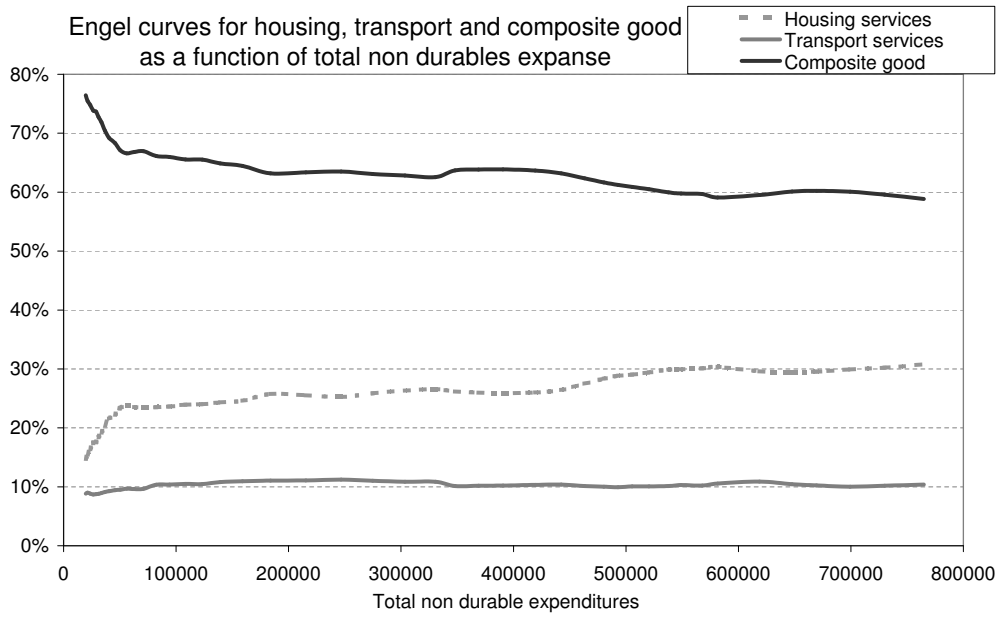


FIG. 4.4 – Engel curves based on data from year 1960 to year 2005, for the composite good, the housing services and the transportation services.

4.3.3 Price indexes

The price indexes are plotted in Fig. 4.5. These price index data have some characteristics that need to be taken into account for theoretical reasons : both the time series and their first order derivatives are non stationary. The non-stationarity of time series reflects the tendency of prices in industrialized economies to increase along time with growth [Ng(1995)]. The non-stationarity of growth rates is less frequent, and we had to take it specifically into account so as to perform our estimations correctly (see Appendix 4.A).

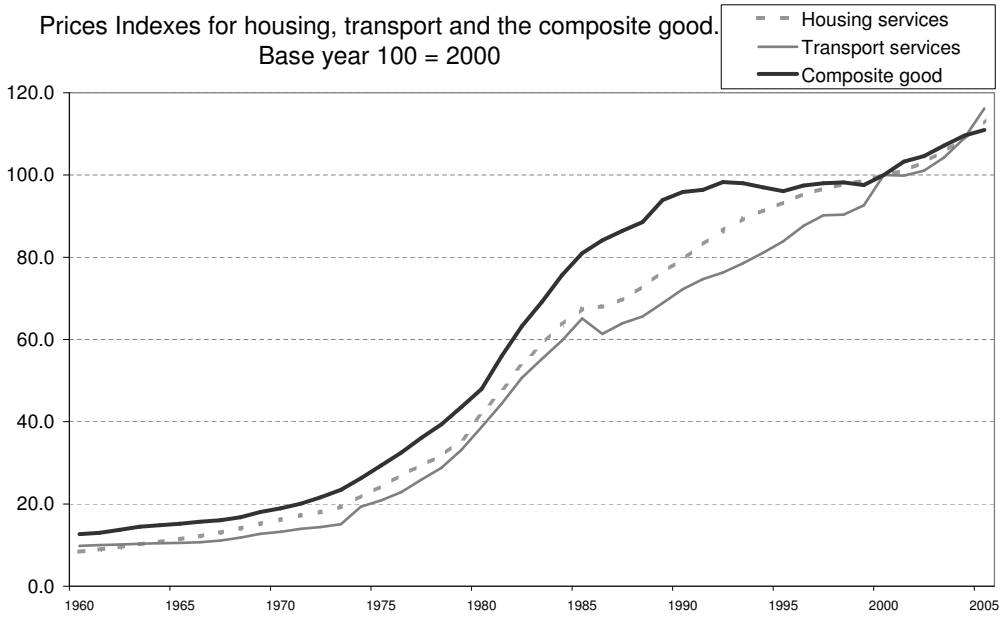


FIG. 4.5 – The evolution of price indexes of the composite good, the transportation services, and housing services, between year 1960 and year 2005.

Most importantly, it appears that the increase in the composite good price index has been slower on the whole period than the increases in the two other indexes. This difference is particularly obvious since 1990. The recent evolutions of price indexes can also be related to specific economic features of the beginning of the twenty-first century : housing prices in France have soared since 2001, following a broader movement that has taken place in most industrialized countries ; energy prices have also soared recently, reflecting the uncertainty and the tensions that characterize the state of oil stocks as well as the international situation. A discussion of these recent evolutions is clearly beyond the scope of this paper. Some general features are more relevant to our study :

- The share of households budget devoted to housing services increased *despite* a strong increase in the housing price index. On the whole, the increase in housing and transportation prices have accompanied an increase in the share of housing expenditures, while the share of transportation expenditures remained constant. This difference confirms the fact that housing and transportation services do not have the same status (see Section 4.3.2).
- These curves illustrate the existence of medium and short term variations of housing and transportation prices : the price of transport services, for instance, clearly shows hikes arising from the large swings of energy prices, especially the increase in year 1974, and the decrease in year 1985. These evolutions widened the gap between housing and transport services prices, and impacted the behavior of consumers and their budget shares. Contributing to the understanding of these effects on consumption decisions is, therefore, an important aspect of this paper.

4.4 Results

As we mentioned in Section 4.3, two alternative assumptions can be made concerning the inclusion of energy expenses related to housing (mainly heating) :

1. these energy expenses are included in the housing budget.
2. these energy expenses are excluded from the housing budget, and included in the composite good budget.

From a microeconomic point of view, assumption (1) is the most relevant to the analysis of consumers decisions : when rational economic agents choose their consumption of housing services, they take into account all related expenses. Assumption (2), however, allows to differentiate precisely the effects on rent levels from other related expenses. It allows to make sure that changes in housing services expenses do not merely consist in an adjustment of housing-related energy consumption.

For clarity's sake, we test the two assumptions on the whole set of data, and present the results respectively in Tabs. 4.2 and 4.3. These tables provide the elasticity levels based on the entire $1960 - 2005$ period.

4.4.1 Housing-related energy expenses included in the housing budget

Table 4.2 shows the results of both Chalfant and Alston method under assumption (1). The Chalfant method is easier to use for the computation of elasticities, but there are no great differences in the results given by the two methods. All elasticities are significant but the elasticity of composite good consumption to the price of transportation services, and the elasticity of transportation services consumption to the price of composite good. These elasticities are not in the scope of this article. Meanwhile, the other 10 price- and income-elasticities are significant, and both methods give very similar results, so that we can focus on the Chalfant estimates. It is noteworthy that, regarding transportation services demand, these tests provide estimates of price elasticities that are close to classical values found in the litterature for long-run elasticities [Goodwin et al.(2004)].

The elasticity of housing consumption to transportation services price is significant. Its value is estimated at -0.95. This elasticity is lower than, but close to 1, and can be considered as a high value : if transportation costs increase by 10%, the demand for housing services decreases by 9.5%. This result means that, over the long run, the behavior of French consumers on housing market is very sensitive to the evolution of transportation costs.

4.4.2 Housing-related energy expenses excluded from the housing budget

Under assumption (2), again, Chalfant and Alston methods give very similar results. For some elasticities, however, the two assumptions give estimations that are significantly different. Under assumption (1), for instance, all price- elasticities are between 0 and -1, which indicates that an increase in the price of a good induces an increase in its budget share. This is not true under assumption (2) for the transportation service, whose own price-elasticity is equal to -1.11, with Chalfant method, and -1.16 with Alston method.

The mechanism we analyze, however, has the same order of magnitude with assumption (2) than with assumption (1) : if transportation costs increase by 10%, then demand for housing services decreases by 8.4%. The difference between results according to each assumption is, therefore, very small : a tenth of the total effect.

4.5 Conclusion

The housing sector plays a crucial role in the functioning of modern economies : a large share of households budget is devoted to it ; it represents an important part of households' assets ; and housing infrastructures are a key component of urban systems. From a microeconomic perspective, the levels of housing rents and prices can have significant socio-economic impacts on urban systems, for instance by enhancing or reducing social mixity [Hardman and Ioannides(2004)].

	Energy included in housing expenditures (assumption 1)		
Explained variables	Housing	Transport	Composite
Chalfant income-elasticities	1.31	1.57	0.71
T-STAT	18.67	11.03	26.2
Chalfant price-elasticities	Housing	Transport	Composite
Housing	-0.20	-0.20	-0.83
Transport	-0.95	-0.97	0.18
Composite	-0.22	-0.02	-0.51
T-STAT	-2.11	-3.36	-9.77
T-STAT	-4.51	-8.22	1.50
T-STAT	-6.82	-0.78	-16.48
	Housing	Transport	Composite
Alston income-elasticities	1.30	1.56	0.71
T-STAT	10.22	4.90	14.45
Alston price-elasticities	Housing	Transport	Composite
Housing	-0.21	-0.21	-0.81
Transport	-0.96	-1.00	0.22
Composite	-0.21	0.00	-0.53
T-STAT	-2.40	-3.74	-8.77
T-STAT	-3.16	-6.45	0.77
T-STAT	-6.08	-0.06	-18.11

TAB. 4.2 – Estimation results, assumption (1). Non significant elasticities are in shaded areas.

	Energy included in composite good expenditures (assumption 2)		
Explained variables	Housing	Transport	Composite
Chalfant income-elasticities	1.00	1.84	0.84
T-STAT	20.34	20.65	46.93
Chalfant price-elasticities	Housing	Transport	Composite
Housing	-0.16	-0.16	-0.60
Transport	-0.84	-1.11	-0.12
Composite	-0.17	-0.03	-0.67
T-STAT	-2.48	-2.83	-7.50
T-STAT	-8.74	-14.42	-1.28
T-STAT	-11.36	-1.57	-24.23
	Housing	Transport	Composite
Alston income-elasticities	1.00	1.84	0.84
T-STAT	11.20	10.44	33.06
Alston price-elasticities	Housing	Transport	Composite
Housing	-0.16	-0.16	-0.60
Transport	-0.85	-1.16	-0.08
Composite	-0.16	-0.02	-0.68
T-STAT	-2.70	-2.83	-7.58
T-STAT	-4.50	-10.22	-0.39
T-STAT	-9.51	-1.22	-28.93

TAB. 4.3 – Estimation results, assumption (2). Non significant elasticities are in shaded areas.

This paper shows that transportation costs influence the housing sector : we have set an *Almost Ideal Demand System* based on transportation services, housing services, and composite good. We then have estimated this demand system, and computed cross-price elasticities. From a methodological point of view, our estimations confirm that Chalfant and Alston methods for deriving elasticities give very similar results. Moreover, our estimates are robust to a change in income deflator. Regarding the orders of magnitude of the phenomenon under study, the elasticity of the demand for housing services to transportation costs is significant, and close to 1 : an increase of transportation costs by 10% induces a decrease of the demand for housing services between 8.4% and 9.5%. The sign of this relationship confirms theoretical analysis by [Gusdorf and Hallegatte(2007a)].

Transportation costs change significantly with time, because of transportation policies, or of exogenous evolutions. According to our results, transportation infrastructure projects, for instance, induce in the long run changes in the housing market. The interrelation between transportation and housing services, therefore, should be taken into account in the design of public policies.

Technological progress, and infrastructure equipments also induce major changes in transportation costs. Following improvements in private vehicle characteristics, the multiplication of roads and highways, and the increase in average income, cities in industrialized countries are spreading out. Urban sprawl is considered as one of the major evolution of cities in industrialized countries since year 1950 [Uhel(2006)]. This paper shows that this expansion is not only a spatial phenomenon, but is also related to a major increase in the share of housing expenses.

The mechanisms at stake call for deeper analysis, and several directions may be followed in the futur. An exploration of the dynamic aspects of these phenomenons would prove useful : our tests provide estimates for the long-run relationship between the transportation and housing sectors. It is very likely, however, that this interrelation involves various mechanisms and takes several forms through time. In the short run, economic agents' locations can be considered as fixed, and agents adapt to changes in economic conditions by implementing other strategies (modal switch for instance). An interesting direction for future research would be to test for dynamic responses as in [Attfield(1991)] or [Attfield(1997)].

The spatial aspect of our empirical analysis also calls for further study : we used very aggregated data, collected at the national level. The analysis could be performed by using data collected at a more local level, for instance by following the history of an agglomeration through time. The availability of relevant data is of course crucial for this question.

Estimating the same elasticities in other countries would also be very interesting : housing markets, transportation systems, and urban policies are specific to each country. Performing the same tests on US data, for instance, would provide insights on the robustness of our results confronted with a different regulation system of the housing market, and with a transportation system more dependent on the use of private vehicles. These aspects will be the subject of future research.

Bibliographie

[Alonso(1964)] Alonso, W., 1964. Location and Land Use. Harvard University Press.

[Alston et al.(1994)] Alston, J. M., Foster, K. A., Gree, R. D., may 1994. Estimating elasticities with the linear approximate almost ideal demand system : Some monte carlo results. The Review of Economics and Statistics 76 (2), 351–356.

[Attfield(1991)] Attfield, C., 1991. Estimation and testing when explanatory variables are endogenous : An application to a demand system. Journal of Econometrics 48, 395–408.

[Attfield(1997)] Attfield, C., 1997. Estimating a cointegrating demand system. The European Economic Review 41, 61–73.

[Barnett and Seck(2006)] Barnett, W. A., Seck, O., 2006. Rotterdam vs. almost ideal systems : Will the best demand specification please stand up ?, working Paper.

[Campbell and Perron(1991)] Campbell, J. Y., Perron, P., apr 1991. Pittfalls and opportunities : what macroeconomists should know about unit roots, technical Working Paper NÂř100.

[Chalfant(1987)] Chalfant, J., 1987. A globally flexible, almost ideal demand system. Journal of Business and Economic Statistics 5, 271–287.

[Deaton and Muellbauer(1980)] Deaton, A., Muellbauer, J., jun 1980. An almost ideal demand system. American Economic Review 70 (3), 312–326.

[Dickey and Fuller(1979)] Dickey, D. A., Fuller, W. A., 1979. Distribution of the estimators for auto-regressive time series with a unit root. Journal of the American Statistical Association 74, 427–431.

[European Central Bank(2003)] European Central Bank, 2003. Structural factors in the EU housing markets. Special report, European Central Bank.

[Ghalwash(2007)] Ghalwash, T., jan 2007. Energy taxes as a signaling device : An empirical analysis of consumer preferences. Energy Policy 35 (1), 29–38.

[Goodwin et al.(2004)] Goodwin, P., Dargay, J., Hanly, M., may 2004. Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income : A review. Transport Review 24 (3), 275–292.

[Green and Alston(1990)] Green, R., Alston, J. M., 1990. Elasticities in AIDS models. American Journal of Agricultural Economy 73, 874–875.

[Greene(1993)] Greene, W. H., 1993. Econometric Analysis. Prentice Hall.

[Gusdorf and Hallegatte(2007a)] Gusdorf, F., Hallegatte, S., 2007a. Behaviors and housing inertia are key factor in determining the consequences of a shock in transportation costs. Energy Policy 35, 3483–3495.

[Gusdorf and Hallegatte(2007b)] Gusdorf, F., Hallegatte, S., 2007b. Compact or spread-out cities : Urban planning, taxation, and the vulnerability to transportation shocks. Energy Policy, 35, 4826–4838.

[Hardman and Ioannides(2004)] Hardman, A., Ioannides, Y. M., 2004. Neighbors' income distribution : economic segregation and mixing in us urban neighborhoods. Journal of Housing Economics 13, 368–382.

[Hausmann et al.(1995)] Hausmann, J. A., Newey, W. K., Powell, J. L., 1995. Nonlinear errors in variables. estimations of some engel curves. Journal of Econometrics 65 (1), 205–233.

[Keen(1986)] Keen, M., 1986. Zero expenditures and the estimation of engel curves. Journal of Applied Econometrics 1, 277–286.

[Labandeira et al.(2005)] Labandeira, X., Labeaga, J. M., Rodriguez, M., feb 2005. A residential energy demand system for spain, working paper.

[Leung(2004)] Leung, C., 2004. Macroeconomics and housing : a review of the literature. Journal of Housing Economics 13, 249–267.

[Mills(1967)] Mills, S. E., 1967. An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area. The American Economic Review 57 (2), 197–210, papers and Proceedings of the Seventy-ninth Annual Meeting of the American Economic Association.

[Muth(1969)] Muth, R. F., 1969. Cities and Housing — The Spatial Pattern of Urban Residential Land Use. The University of Chicago Press.

[Newey and West(1987)] Newey, W., West, K., 1987. A simple, positive semi-definite, heteroskedasticity and autocorrelation consistent covariance matrix. Econometrica 55, 703–708.

[Ng(1995)] Ng, S., 1995. Testing for homogeneity in demand systems when the regressors are nonstationary. Journal of Applied Econometrics 10 (2), 147–163.

[Ortolo-Magné and Rady(2004)] Ortolo-Magné, F., Rady, S., 2004. Housing transactions and macroeconomic fluctuations : a case study of england and wales. Journal of Housing Economics 13, 287–303.

[Song and Zenou(2006)] Song, Y., Zenou, Y., 2006. Property tax and urban sprawl : Theory and implications for us cities. Journal of Urban Economics 60 (3), 519–534.

[Stock and Watson(1993)] Stock, J. H., Watson, M. W., jul 1993. A simple estimator of cointegrating vectors in higher order integrated systems. Econometrica 61 (4), 783–820.

[Uhel(2006)] Uhel, R., 2006. Urban sprawl in europe - the ignored challenge. Report, European Environment Agency.

[Yacovissi and Kern(1995)] Yacovissi, W., Kern, C. R., 1995. Location and history as determinants of urban residential density. Journal of Urban Economics 38, 207–220.

4.A Appendix : stationarity tests of the time series for AIDS estimation by DOLS

The non stationarity of the time series must be investigated in order to use the DOLS estimator. In this appendix, we present the results of those tests on each variable. The test implemented on our variables is the Augmented Dickey Fuller (ADF) test [Dickey and Fuller(1979)]. The tests were performed with deterministic terms chosen on inspection of the times series and their first (or even second) differences. The lag order was chosen with the test-down procedure in [Campbell and Perron(1991)] starting from 5 lags in levels (and 4 lags in first differences). The ADF tests results are given in Tab. 4.4. The test is pertaining to the series in the case where home energy is included in the composite ; the results are the same with the other dataset.

	Levels				First differences				Second differences			
Variable	ADF stat	DT	lag	P-value	ADF stat	DT	lag	P-value	ADF stat	DT	lag	P-value
Housing share	-3.21	ct	1	0,08	-3.23	c	0	0,02	*	*	*	*
Transport share	-1.74	ct	0	0,4	-6.02	c	0	<0.01	*	*	*	*
Composite share	-2.59	ct	1	0,28	-3.60	c	0	0,01	*	*	*	*
ln real expenses	-2.63	ct	1	0,26	-3.99	ct	0	0,02	*	*	*	*
ln real income	-2.66	ct	1	0,25	-1.93	nc	2	0,05	*	*	*	*
ln housing price	-0.92	ct	1	0,95	-1.46	c	0	0,54	-3.41	nc	4	<0.01
ln transport price	-2.27	ct	5	0,44	-2.57	c	1	0,09	-7.51	nc	1	<0.01
lnomposite price	-1.55	ct	1	0,81	-1.59	c	0	0,57	-6.63	nc	0	<0.01

TAB. 4.4 – ADF stat stands for the t-stat of the lagged variable whose coefficient is (a-1) ; DT means “Deterministic Terms" with the Mac Kinnon notation : nc = no constant ; c = constant only ; ct = constant and trend. Lag is the number of lags of the dependant variable included in the ADF regression using the Campbell-Perron (1991) test-down procedure. P-value is the probability that the ADF distribution with deterministic term DT is smaller that the sample ADF statistic. The unit root (non stationarity) hypothesis is rejected if it is inferior to the chosen size (here 5%). The critical values are chosen for a sample size of 50 at size 5% are -1.93 for nc, -2.93 for c and -3.50 for ct.

The time series are clearly non stationary, as suggested by plots of the shares and price indexes. All the shares are integrated of order 1, (noted I(1) in the traditional notation). The housing share is nearly trend stationary with a p-value of 0.08 for the test in level. We assume it I(1) as the test in differences clearly rejects the unit root. The income variables are also I(1) but maybe just so for the natural log of real income (deflated by the Stone Index). Here we also assume this variable to be I(1). The prices show the rather uncommon property of being I(2) as is sometimes encountered in monetary aggregates and price variables. The tests show it quite vividly in the part relative to tests on the second differences of prices. As a consequence, we shall use second differences of the prices and their leads and lags in the DOLS regressions.

Chapitre 5

Point d'étape - Rendre les villes moins vulnérables

Une modification du système de transport urbain entraîne nécessairement une mutation de la structure urbaine. Cette mutation n'est pas instantanée : une ville est au cours de son histoire constituée par un empilement de strates successives, chacune étant formée en réponse aux conditions économiques d'une époque précise. Le chapitre 2 [*Gusdorf et Hallegatte*(2007)], schématise ce processus en examinant une période de transition durant laquelle une ville, où les conditions de transport ont changé, est encore composée des structures héritées. Ayant montré que la transition est caractérisée par des effets négatifs dont l'ordre de grandeur est significatif, la question que nous nous posons ici est de savoir si l'on peut adoucir ces effets, en anticipant sur les chocs futurs auxquels la ville pourrait être confrontée.

Dans ce point d'étape, nous rappelons tout d'abord à quel point la question des formes urbaines optimales a pu mobiliser les esprits depuis le XIXième siècle, en mettant au centre l'examen des densités de population. Nous montrons ensuite comment cette question peut interagir avec la vulnérabilité des villes face aux chocs. Afin d'estimer cet effet, nous proposons dans le chapitre 6 un cadre d'évaluation permettant de comparer la robustesse des villes compactes et des villes étalées face aux chocs [*Gusdorf et Hallegatte*(2007)].

5.1 L'insertion dans les politiques urbaines

5.1.1 Un débat de longue date

Elément constitutif essentiel de la ville, l'articulation du bâti urbain et des réseaux de transport est particulièrement au cœur des réflexions urbaines depuis la seconde moitié du XIXième siècle. Ainsi que le rappelle Serge Wachter :

(...) c'est chez Hausmann et Cerda, avec comme terrains d'expérimentation Paris et Barcelone dans la seconde moitié du XIXème siècle, que sont vraiment formalisées et aussi expérimentées des relations nouvelles entre la mobilité ou les circulations, la ville et l'archi-

tecture. Cette période marque l'entrée des rapports entre le flux et la forme dans une nouvelle modernité [*Wachter*(2003)].

De fait, pour le théoricien de l'urbanisation qu'est Cerda, les activités principales des hommes dans les villes sont fondamentalement *habiter* et *se déplacer*. Aussi Cerda organise l'extension de Barcelone autour de ces deux principes. L'habitat trouve sa forme principale dans des « îlots » d'habitation, tandis que les voies ont pour but de permettre une circulation fluide. Les travaux de Haussmann, ciblés sur le territoire déjà fortement urbanisé de Paris, donnent un sens plus particulier à cette liaison : le nouveau réseau de voies qui apparaît à Paris à cette époque donne la trame qui fixe les nouveaux principes d'organisation de l'espace dans la capitale.

Dans l'histoire des utopies comme des expérimentations urbaines, la densité a été tour à tour considérée comme l'ennemie ou l'amie de la ville. Décriée ou souhaitée, elle est au cœur des préoccupations des urbanistes, qui proposent des réseaux de transport au service de leur conception de la densité. Les figures emblématiques de ces questionnements sont bien sûr les visions respectives de Le Corbusier et de F.L. Wright. Ce dernier propose une ville étalée à l'extrême, qui implique une véritable dissolution de la structure urbaine dans la campagne [*Jenks et al.*(1996)]. Son plan utopique de *Broadacre City* avait vocation à s'installer sur les vastes plaines de l'Ouest américain.

Dans le souci de décongestionner la ville, d'assurer des déplacements fluides, Le Corbusier [*Le Corbusier*(1924)] propose au contraire une trame faite de tours hyper-denses, cette densité réglant le problème des transports intra-urbains. D'après son analyse, la fonction *circulatoire* peut alors assumer à la perfection son rôle de liaison entre les trois autres fonctions essentielles : *habitat, travail, loisir*. Ainsi, avec le plan Voisin, Le Corbusier propose de changer Paris radicalement : il s'agit de quadrupler la densité en habitants à l'hectare, en concentrant l'habitat sur des surfaces de terrain au sol très réduites. Ces surfaces bâties seraient séparées par des voies de 50, 80 ou 120 mètres de large, entièrement dédiées à la circulation motorisée. A titre de comparaison, l'avenue des Champs-Elysées est en 2007 large de 70 m, dont la majeure partie est réservée aux pitéons.

5.1.2 Les tendances actuelles

En Europe, les politiques d'aménagement ont aujourd'hui pour règle de base d'articuler les politiques urbaines et celles de transport. Les fortes densités y sont à l'honneur, puisque des centres denses représentent l'alternative à ce que les décideurs considèrent aujourd'hui comme le fléau à combattre : l'étalement urbain, épinglé récemment encore par un rapport de l'Agence Européenne pour l'Environnement [*Uhel*(2006)]. Cette attitude est dictée par la conviction que le phénomène d'étalement est à l'origine de consommations énergétiques insoutenables à terme, et qu'il induit des niveaux de pollutions locales ou d'émissions de gaz à effet de serre désastreuses.

Parallèlement, toute une branche de la littérature économique dénonce les effets négatifs de l'intervention sur les marchés fonciers [*Glaeser et Gyourko*(2003)], mettant ainsi en garde

contre la tentative de juguler la croissance des villes. D'autres économistes, observant les pratiques en vigueur, indiquent les problèmes que soulève la trop grande complexité des lois déjà en vigueur, et la multitude de signaux parfois contradictoires qui sont envoyés aux acteurs de la ville [*Renard*(2004)]. Face à ces divergences, il est légitime de se demander si la densification des villes est un objectif pertinent, et de pousser l'analyse des enjeux des politiques de lutte contre l'étalement urbain. Selon les mots de Michael Breheny :

The political urgency of this debate is demonstrated by the fact that we have a rare case of politicians racing ahead of academics, pressing for specific policies before the research community is able to say with any confidence which policies will have what effects [*Breheny*(1991)].

Notre approche des vulnérabilités urbaines, et de l'importance des échelles temporelles dans les dynamiques urbaines ne saurait être étrangère à ce débat. Une des originalités de l'article III est précisément de contribuer à replacer la question de la densité dans la perspective de la robustesse des villes face aux chocs exogènes.

5.2 La forme des villes face aux chocs

Il est évidemment capital de prendre en compte la diversité des villes existant dans le monde, et de comprendre que leur réaction à un choc dans les coûts de transport ne saurait obéir à une seule loi uniforme : les spécificités locales des villes entraînent vraisemblablement des réactions différenciées.

En réexaminant par exemple le cas de Barcelone et d'Atlanta, évoqué dans le chapitre 3 : il est difficile de penser qu'un choc donné, se produisant sur des structures aussi différentes, aura les mêmes répercussions. L'intuition nous dicte que les habitants d'Atlanta, confrontés à des distances bien plus grandes que les Barcelonais, seront plus durement affectés par une hausse des prix du baril de pétrole.

De fait, le cadre proposé par l'article I permet d'appréhender cette idée simple : les effets négatifs de la transition augmentent en fonction de l'amplitude du choc relatif sur les prix, et non en fonction de l'amplitude du changement en valeur absolue. Ainsi, un choc international induit une hausse des prix de l'énergie qui est la même partout en valeur absolue ; pourtant, les effets seront bien différents suivant l'écart relatif que cette hausse entraînera dans chaque pays. Cet écart dépend non seulement de l'amplitude du choc international, mais aussi des taxes et vitesses de circulation locales.

La question est d'autant plus importante qu'elle procure un éclairage supplémentaire sur ce que nous appelions en introduction la « tragédie » du modèle américain : partant de prix de l'énergie bas, les USA subiraient un choc relatif plus fort, et donc un coût potentiellement plus élevé que les pays européens, par exemple, s'ils devaient mettre en œuvre la même fiscalité carbone. Pourtant, c'est dans ces villes nord-américaines très étalées que se situent de gigantesques gisements d'économies d'énergie et de réductions d'émission.

Toutefois, établir que le modèle Européen est plus robuste que le modèle Nord-Américain ne suffit pas à orienter l'action. Il convient également de se demander à quel prix cette solidité est acquise, afin de savoir s'il y a un arbitrage entre robustesse et bien-être. Le questionnement est donc multiple :

1. Certains types de ville sont-ils plus résistants que d'autres à des chocs dans les systèmes de transport (comme semble le suggérer l'article I) ?
2. Quel coût représente cette robustesse pour le système ville ?
3. Est-il possible de changer les villes vulnérables, en orientant leur développement vers la reproduction de formes plus robustes ?

En d'autres termes, est-il envisageable, et rationnel, de rendre Atlanta plus robuste, en l'orientant vers le modèle Barcelonais ?

La réponse que l'économie peut apporter aux questions ci-dessus nous ramène à la prise en compte des diverses inerties des systèmes urbains. En premier lieu, ce sont ces mécanismes qui, réduisant la vitesse d'adaptation des villes, font craindre le passage par des périodes de transition douloureuses pour les systèmes urbains. En second lieu, ce sont ces mêmes mécanismes qui, en freinant les changements nécessaires, pourraient faire obstacle à la mise en œuvre de politiques destinées à améliorer la robustesse des villes. La question de la faisabilité des politiques envisagées, de la possibilité de changer les formes urbaines, et d'agir de façon notable sur les densités, se heurte donc à la longue durée de vie des infrastructures urbaines.

De fait, la question de l'inertie des infrastructures est déjà présente dans la littérature économique sur le contrôle optimal en univers incertain. Lorsque doivent survenir des changements dont l'ampleur n'est pas connue avec certitude, les secteurs peu intensifs en infrastructure peuvent s'adapter rapidement, tandis que les secteurs présentant une inertie forte doivent avoir déjà été préparés. Ainsi dans le cas de la décarbonisation de l'économie, une action précoce et forte est nécessaire sur les secteurs les plus rigides, afin de conserver une marge de manœuvre exploitable lorsque plus d'informations seront disponibles sur l'état du climat [*Hourcade et Lecocq*(1998)].

Dans le cas de la ville, les inerties ne sont pas seulement le fait des infrastructures (de logement et de transport), mais caractérisent également d'autres déterminants des comportements de consommation (localisation des ménages, tailles des appartements, niveaux des loyers). La structure du système est en cause, et il n'est pas pensable de remplacer ses composants séparément sans tenir compte d'un plan d'ensemble [*Hourcade et Gilotte*(2000)] : pour diminuer la dépendance à la voiture particulière, sont nécessaires non seulement des politiques d'offre de transport en commun, mais encore une densification de la ville qui rendrait ces réseaux rentables.

5.3 Taxe carbone : quelles vertus pour la ville ?

Prenant acte du rôle structurant des infrastructures de transport, et de l'importance des coûts du transport dans le développement et le renouvellement des formes urbaines, nous considérons dans l'article III ci-dessous qu'une taxe sur les transports est un instrument qui conduit à densifier la ville. L'examen des effets d'une fiscalité spécifique sur les transports permet aussi d'éclairer la question suivante : peut-on transposer directement la taxe carbone (ou le principe des permis d'émission) au cas de la ville ?

La taxe carbone est par définition un instrument économique destiné à internaliser les coûts associés aux émissions de gaz à effet de serre [*Jorgenson et al.*(1992)]. De nombreuses raisons peuvent être évoquées pour justifier l'existence de taxes sur l'énergie ou sur les carburants [*Parry*(2006)] [*Barker et al.*(1993)], notamment les externalités liées aux pollutions locales, au bruit, ou à la congestion. Dans le contexte de l'analyse d'une fiscalité spécifiquement dédiée au carbone, le mécanisme du double dividende a été mis au centre du débat par les économistes [*Pearce*(1991)] : une taxe carbone a d'une part des vertus environnementales, d'autre part des vertus purement économiques si elle est recyclée sous forme d'allègement de la fiscalité pesant sur le travail [*Bovenberg et al.*(1994)] [*Goulder*(1995)].

Notre approche met en lumière un autre aspect de la fiscalité carbone : appliquée au transport urbain, une taxe de ce type a pour conséquence de long terme de re-densifier la ville, et de rendre celle-ci plus robuste face aux chocs, ou aux politiques publiques pouvant affecter le système de transport. Il convient toutefois de garder à l'esprit que d'autres modes de régulation sont bien entendu envisageables, et présentent potentiellement des avantages comparables : réduction des vitesses autorisées, politique d'offre de transports en commun, et d'infrastructures dédiées aux véhicules particuliers par exemple.

Bibliographie

[*Barker et al.*(1993)] Barker, T., N. Johnstone, et T. O'Shea, *The CEC Carbon/energy Tax and Secondary Transport-related Benefits*, University of Cambridge, 1993.

[*Bovenberg et al.*(1994)] Bovenberg, A. L., et R. A. de Mooij, Environmental Levies and Distortionary Taxation, *American Economic Review*, *84*, 1085–1089, 1994.

[*Breheny*(1991)] Breheny, M., Contradictions of the compact city, *Town and Country Planning*, *60*, 1991.

[*Glaeser et Gyourko*(2003)] Glaeser, E. L., et J. Gyourko, The impact of building restrictions on housing affordability, *FRBNY Economic Policy Review*, pp. 21–39, 2003.

[*Goulder*(1995)] Goulder, L. H., Environmental Taxation and the Double Dividend : A Reader's Guide, *International Tax and Public Finance*, *2*, 155–182, 1995.

[*Gusdorf et Hallegatte*(2007)] Gusdorf, F., et S. Hallegatte, Behaviors and housing inertia are key factor in determining the consequences of a shock in transportation costs, *Energy Policy*, *35*, 3483–3495, 2007.

[*Gusdorf et Hallegatte*(2007)] Gusdorf, F., et S. Hallegatte, Compact or spread-out cities : Urban planning, taxation, and the vulnerability to transportation shocks, *Energy Policy*, *35*, 4826–4838, 2007.

[*Hourcade et Gilotte*(2000)] Hourcade, J.-C., et L. Gilotte, *Differentiated or Uniform International Carbon Taxes : Theoretical Evidences and Procedural Constraints*, chap. 8, pp. 135–155, New York : Columbia University Press, 2000.

[*Hourcade et Lecocq*(1998)] Hourcade, J.-C., et F. Lecocq, Decision making under uncertainty and inertia constraints : sectoral implications of the when flexibility, *Energy Economics*, *20*(5/6), 539–555, 1998.

[*Jenks et al.*(1996)] Jenks, M., K. Williams, et E. Burton, *The Compact City : A Sustainable Urban Form ?*, Spon Press, London, 1996.

[*Jorgenson et al.*(1992)] Jorgenson, D. W., D. T. Slesnick, P. J. Wilcoxen, P. I. Joskow, et R. Kopp, Carbon taxes and economic welfare, *Brookings Papers on Economic Activity, Microeconomics*, *1992*, 393–454, 1992.

[*Le Corbusier*(1924)] Le Corbusier, *Urbanisme*, Paris, 1924.

[*Parry*(2006)] Parry, I. W., On the costs of policies to reduce greenhouse gases from passenger vehicles, *Document de travail*, Resources For the Future, discussion paper, 2006.

[*Pearce*(1991)] Pearce, D.W., The Role of Carbon Taxes in Adjusting to Global Warming, *Economic Journal*, *101*, 938–948, 1991.

[*Renard*(2004)] Renard, V., *Villes et économie*, chap. Les enjeux urbains des prix fonciers et immobiliers, pp. 85–108, La documentation Française, Paris, 2004.

[*Uhel*(2006)] Uhel, R., Urban sprawl in europe - the ignored challenge, *Report*, European Environment Agency, 2006.

[*Wachter*(2003)] Wachter, S., La forme et le flux : figures urbaines et architecturales de la mobilité, *Document de travail 18*, Centre de prospective et de veille scientifique, 2003.

Chapitre 6

Compact or Spread-Out Cities : Urban Planning, Taxation, and the Vulnerability to Transportation Shocks

(Article III)[1]

Abstract

This paper shows that cities made more compact by transportation taxation are more robust than spread-out cities to shocks in transportation costs. Such a shock, indeed, entails negative transition effects that are caused by housing infrastructure inertia and are magnified in low-density cities. Distortions due to a transportation tax, however, have in absence of shock detrimental consequences that needs to be accounted for. The range of beneficial tax levels can, therefore, be identified as a function of the possible magnitude of future shocks in transportation costs. These taxation levels, which can reach significant values, reduce city vulnerability and prevent lock-ins in under-optimal situations.

[1]This chapter is drawn from an article written by Gusdorf and Hallegatte, accepted for publication by Energy Policy in 2007.

6.1 Introduction

Coordinating housing needs and mobility practices in cities with high vs. low densities constitutes the centre of a major controversy in architecture and urban planning; compact cities found with [Le Corbusier(1924)] their most fervent partisan, while extreme dispersion of housing was advocated by F. L. Wright [Jenks et al.(1996)]. As urban sprawl became a strong tendency in developed countries, economists entered this debate, and began to analyze density in terms of environmental consequences and energy consumption : [Newman and Kenworthy(1989)] for instance found a negative relationship between density and per capita energy consumption. This seminal paper was the origin of a lively debate in the economic literature, and these results were challenged, for example by [Gordon and Richardson(1995)].

While this literature focused on long term relationships, the first innovation of our paper is that it concentrates on short- and medium-run evolutions : we argue that, over those timescales, spread-out cities are more vulnerable than compact cities when confronted with an abrupt increase in their transportation costs. This vulnerability arises from the facts (i) that urban forms are adapted to transportation systems and costs ([Brueckner and Fansler(1983)], [Yacovissi and Kern(1995)], [Song and Zenou(2006)]), and (ii) that housing infrastructures have a strong inertia [Mayer and Somerville(2000)]. As a consequence, any change in transportation costs induces a slow change in urban infrastructures, which can only take place over very long time scales. [Gusdorf and Hallegatte(2007)], hereafter referred to as GH07, show that, as long as housing capital has not been adapted, the transition that takes place has significant impacts on households and landowners.

Moreover, energy shocks and climate policies are characterized by imperfect foresight at the timescales relevant to building turnover, which makes the design of urban policies particularly difficult. Here, therefore, we make the case for using robustness in face of multiple scenarios, instead of efficiency in one scenario, as the criterion to manage urbanism. This method could help cities to face the future and uncertain challenges related to constraints on fossil energy resources, to geopolitical instability in oil producing countries, or to climate policies. Transport policies leading to more compact cities, *e.g.* transport taxation or speed limitation, can be seen as an insurance in this context of imperfect foresight. For instance, [Akerman and Hojer(2006)] indicate that climate policies call for a change in built-up areas, and that an appropriate transport policy shall be flexible enough to allow for adaptation when more information is made available on the climate.

In this perspective, the impacts of transportation taxes are more than ever a crucial issue for policy makers. A robust finding of prospective energy models is that abatement costs of CO_2 emissions will be much higher in the transportation sector than in other sectors [Parry(2006)]. Indeed, efficiency gains of vehicle trigger an important rebound effect on gasoline demand. Also, as transportation amounts to 19.3% of the average American household's expenditures [O'Toole(2003)], welfare consequences of taxing gasoline can rapidly become significant. Economic agents have little room to adapt their behavior to an increase in oil costs : first, it is difficult to find alternative less carbon-intensive transportation technologies. Second, housing prices, firms localizations [Schafer(1998)], behavioral regulari-

ties [Schafer(2000)] and previous infrastructure choices [Crassous et al.(2006)] constrain the transportation needs. [Hourcade and Gilotte(2000)] mention the importance of urban forms for the design of appropriate carbon taxes, but do not represent the spatial effects of such a tax. A second originality of our paper is that it fills in this gap.

Using urban microeconomic modeling and numerical simulations, we show that : (1) cities with pre-existing high transportation tax levels are less vulnerable to energy shocks, and better prepared to future climate policies; in other cities, housing inertia will induce significant transition effects, such as a fall in utility level, a decrease in landowners' incomes, and unintended redistributive effects between households and landowners; (2) if housing infrastructures are rigid, early taxation can prevent the lock-in of cities in detrimental urban forms. From a normative point of view, we follow [Lempert(2006)] who claims that decision-makers should be provided with information on the robustness of their strategies with respect to the risks that they are wiling to take or to reject. In this framework, we show that (3) due to redistributive effects between categories of actors, and between generations, the tax level a government may choose is strongly dependent on the nature of the optimality criterion (utilitarian vs. Rawlsian), and on the weight attributed to each category of actors; (4) the implementation of transportation tax is itself an event that may induce negative transition effects, which can, to a certain extent, be avoided thanks to a smooth implementation path. As a consequence, governments that implement transportation taxes enhance city robustness to transportation shocks : our article suggests a range of values for the shock a given tax level can tackle.

In the following, we set a theoretical framework suited to the analysis of transportation shocks in Section 6.2. Following GH07, we explicitly represent housing inertia so as to analyse the effects of such a shock. The basic urban model is only briefly reproduced, since its main features have been well studied in the economic literature. In Section 6.3, we use this model to evaluate the effects of a shock on transportation prices, and show that cities with high preexisting taxation levels are more robust to shocks. In Section 6.4, we characterize the tax levels that should be chosen by a welfare-maximizing government. Finally, Section 6.5 concludes on the consequences for mitigation policies, and provides insights for future research.

6.2 The model

We use a standard urban economics modeling framework *à la* Von Thuenen, [Von Thuenen(1826)], as adapted by [Alonso(1964)], [Mills(1967)] and [Muth(1969)]. More precisely, we use the close city model with absentee landowners specified in [Fujita(1989)], and the housing production function introduced by Muth. Since the basic properties of this model, and the relationships on which it relies, have been presented in other papers [Wheaton(1974)], we do not provide here an extensive description of those characteristics. We briefly present in Section 6.2.1 the behavior of the economic agents, and list in Section 6.2.1 the relationships defining the equilibriums we introduce in Section 6.2.1. A nomenclature is provided to the reader in Section 6.2.1.

6.2.1 The Closed City Model with taxation

Nomenclature

CBD	Central Business District, where firms are located	r	distance from CBD
q	housing service per household	s	land area per household
k	housing capital per household	z	composite good
$\mathsf{Land}(r)$	available land surface at distance r	K	capital
$n(r)$	density of households at distance r	$T(r)$	transportation costs
Y	income per capita	r_f	city frontier
$R_H(r)$	unit housing service rent	R_a	agricultural land rent
$H(r)$	total housing service at distance r	$h(r)$	housing service density
$U(z,q)$	utility function of a household	u	utility level
θ	tax level	σ	discount factor
$x^*(r)$	optimal capital-to-land ratio	ρ	capital price
$F(K,L)$	housing service production function	π	tax product

TAB. 6.1 – Symbols and variables

The variables and functions used in this modeling are listed in Tab. 6.1 with their significations. Among this set of variables, we specify the housing service density $h(r) = H(r)/\mathsf{Land}(r) = f(x^*(r))$, where the function f is defined by $f(x) = F(1,x)$.

The function $T(r)$ represents generalized transportation costs, that take into account the cost of transportation itself as well as the cost of the time spent in commuting, which could have been devoted to work. Marginal transportation cost is assumed to be constant, and no congestion is taken into account, even though it is an important phenomenon [Mayeres and Proost(2001)].

We assume that the government sets a tax level per km of commuting $\theta T(r)$. The product[2] of such a tax is given by

$$\pi = \theta \int_0^{r_f} T(r) n(r) r \, dr \tag{A-1}$$

and we will assume that it is lump-sum redistributed to all workers. This tax level is not intended to pay for investments and infrastructure operating, which we assume to be included in transportation costs $T(r)$.

As a consequence, the new transportation price and the new income of those workers are, giving the subscript "$_a$" to ancient parameters :

$$\begin{aligned} T(r) &= T_a(r)(1+\theta) \\ Y &= Y_a + \pi/N \end{aligned} \tag{A-2}$$

[2]Note that while $T(r)$ is a generalized transportation cost (*i.e.* including the cost of time), the tax $\theta T(r)$ is fully monetary.

Economic agents

The households

Each household is composed of one worker commuting every day to the CBD. All workers earn the same income Y, and enjoy utility from a composite good z and a housing service q. All workers share the same utility function $U(z,q)$. Each worker chooses his/her housing location r in the city, where the unit price of housing service at location r is $R_H(r)$. He/she maximizes his/her utility level under a budget constraint :

$$\mathsf{max}_{r,z,q}\, U(z,q) \;\text{ s.t. }\; z + R_H(r)q \leq Y - T(r) \tag{A-3}$$

Absentee landowners

A landowner allocates his/her amount of land L to agricultural use or to residential use. In the first case, the rent drawn from the land will be $R_a.L$. In the second case, the landowner invests in housing capital K to produce a housing service H. Function F is assumed to have constant returns to scale. The investment decision of a landowner who owns land surface L at location r, is given by :

$$\mathsf{max}_K \; \frac{1}{1-\sigma}[R_H(r)F(L,K) - \rho K] \tag{A-4}$$

The Aggregate Landowners' Income (ALI) is the income earned by landowners following their investments :

$$ALI = \int_0^{r_f} \mathsf{Land}(r)\Big[R_H(r)f(\frac{K}{L}(r)) - \rho\frac{K}{L}(r)\Big]dr \tag{A-5}$$

Formal relationships

We define two kinds of static equilibriums that are likely to emerge, depending on whether housing supply is endogenous or exogenous. Several relationships characterize those equilibriums.

If housing supply is exogenous :

$$\begin{array}{l}
\text{all consumers throughout the city have the same utility level } u \\
R_H(r) = \left\{ \begin{array}{ll} \mathsf{max}_{q\geq 0}\, \frac{Y-T(r)-Z(q,u)}{q} & \text{for } r \leq r_f \\ 0 & \text{for } r \geq r_f \end{array} \right. \\
n(r) = \left\{ \begin{array}{ll} H(r)/q(r,u) & \text{for } r \leq r_f \\ 0 & \text{for } r \geq r_f \end{array} \right. \\
N = \int_0^{r_f} n(r)dr \\
R_H(r_f,u) \geq 0
\end{array} \tag{A-6}$$

If housing supply is endogenous, we need to add :

$$
\begin{aligned}
&x^*(r) = \arg\max_x \left[R_H(r)f(x) - \rho x\right] \\
&r_f = \mathsf{max}[r, R_H(r)f(x^*(r)) - \rho x^*(r) \geq R_a] \\
&H(r) = \begin{cases} \mathsf{Land}(r) \cdot f(x^*(r)) & \text{for } r \leq r_f \\ 0 & \text{for } r \geq r_f \end{cases} \\
&R_H(r_f)H(r_f) - \rho K^*(r) = R_a \mathsf{Land}(r_f)
\end{aligned}
\tag{A-7}
$$

Definitions

Definition 3 (CSExt) ***A competitive equilibrium with tax and exogenous housing*** *(or CSExt) is reached in the city when, for a given set of parameters N, Y_a, R_A, θ, and for given functions $H(r)$, and $T_a(r)$, one can find parameters and functions u, Y, π, r_f, $n(r)$, $T(r)$, $R_H(r)$, and $z(r)$ verifying Eqs. (A-1), (A-2) and (A-6).*

Definition 4 (CSEnt) ***A competitive static equilibrium with tax and endogenous housing*** *(or CSEnt) is reached in the city when, for a given set of parameters N, Y_a, R_A, θ, and for given functions $\mathsf{Land}(r)$ and $T_a(r)$ and $F(L,K)$, one can find parameters and functions u, Y, π, r_f, $n(r)$, $T(r)$, $R_H(r)$, $z(r)$ and $H(r)$ verifying Eqs. (A-1), (A-2), (A-6) and (A-7).*

6.2.2 The city structure

A transportation tax has two effects on urban sprawl, namely on r_f, and on consumers welfare. On the one hand, if a positive tax is implemented, transportation prices are higher, which shrinks the city boundary, and reduce households' utility [Wheaton(1974)]. On the other hand, the product of this tax is positive, and is lump-sum distributed to consumers. Thus, the income of the representative household increases, which improves consumers utility and expands the city outwards.

[Brueckner(2005)] shows that the first effect is the strongest on urban sprawl : a positive tax shrinks the city boundary. What is the optimal subsidy or taxation level on commuting for consumers utility level ? Brueckner asks the question but cannot tell whether optimal taxation is positive or negative ; he recommends exploring the question with specific functional forms, beginning with CES and Cobb-Douglas. We do such an analysis with Cobb-Douglas functions, and show that there is an optimal subsidy for households' utility level, partly answering Brueckner's questioning.

To do so, we use the following functional forms, classically used in urban economics [Fujita(1989)][3] :

[3]We analytically show in Appendix 6.A.2 that, with these functional forms, there is both existence and uniqueness of a CSEnt and a CSExt.

$$
\begin{aligned}
&U(z,q) = z^{\alpha} q^{\beta} \text{ where } \alpha,\ \beta\ > 0 \text{ and } \alpha + \beta = 1 \\
&F(s,k) = A s^{a} k^{b} \text{ where } a,\ b,\ A\ > 0 \text{ and } a + b = 1 \\
&T(r) = p.r \\
&\mathsf{Land}(r) = l.r \\
&R_a = 0
\end{aligned}
\tag{A-8}
$$

For the numerical simulations presented in this paper, we calibrated our model on the Los Angeles agglomeration : 4.3 million workers earn a $\$20,700$ yearly income (data U.S. Census Bureau 1999). We use an estimate of transportation price using 1999 gasoline prices (*i.e.* 32 cents per km on average, data American Automobile Association 1999), which is a lower bound of transportation costs. Coefficient β, introduced in Eq. (A-8), represents the share of households budget devoted to housing and related expenses (housing equipment, heating, ...), which we set at 25%. For the construction function, we lack robust empirical evaluation, and used $A = 1$ and $a = 0.5$. To assess the robustness of our results, we carried out systematic sensitivity analyses that show that all qualitative results of the model remain the same in the range of reasonable parameter values.

Tax effect on the city

A high tax level, which increases the transportation price, makes locations far from the CBD less sought after, and those close to the CBD more sought after : consumers agree to pay higher rents to get closer to the CBD, even if it means that they have to put up with smaller flats. Therefore, the rent curve is steeper, and landowners invest accordingly. Figure 6.2.2 shows that, through this mechanism, taxation level influences strongly urban structure.

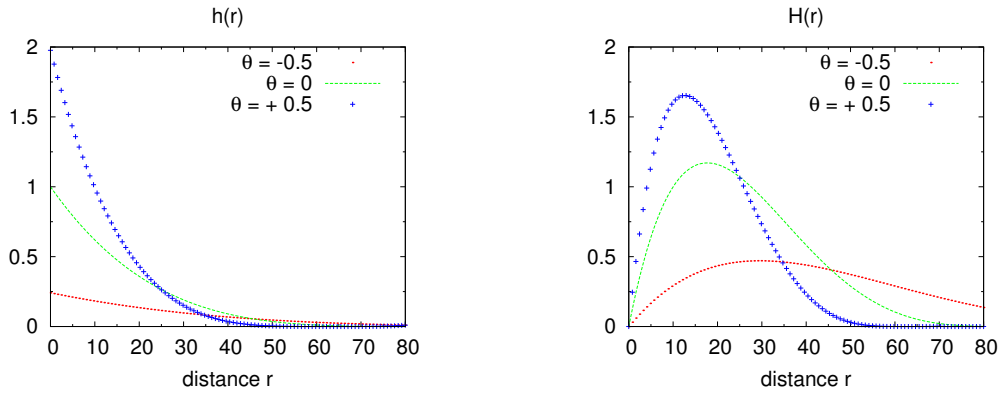


FIG. 6.1 – Left : housing density $h(r)$ corresponding to different tax levels θ (index $h(0) = 1$ for zero tax). Right : housing structure $H(r)$ as a function of the tax level (index $H(10) = 1$ for zero tax).

Landowners

At the aggregate level, landowners are insensitive to transportation prices, but they are sensitive to the level of taxation :

$$ALI = \frac{NY_a(1+\theta)}{(\gamma+3)+\theta(\gamma+1)} \tag{A-9}$$

A tax on transportation creates a market distortion : it gives households an incentive to

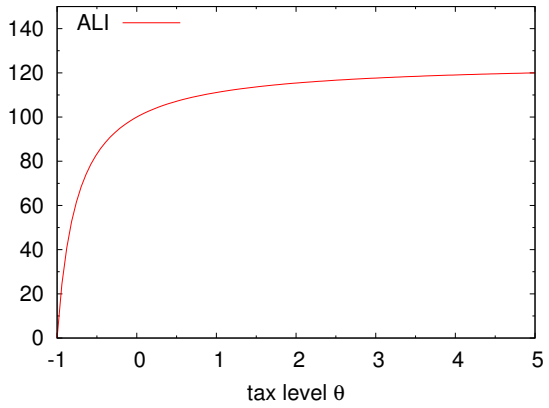


FIG. 6.2 – The Aggregate Land Income, corresponding to different tax levels (index $ALI = 1$ for zero tax).

commute less and to spend a larger share of their budget on housing services and other consumer goods. Figure 6.2 shows that a tax on transportation increases aggregate landowners' income.

Tax effects on households

Each tax level θ is associated with a unique utility level, given by :

$$u^{\gamma+1}\frac{(\gamma+2)N}{lB} = \frac{Y^{\gamma+2}}{p^2}(1+\theta)^{\gamma}\left(\frac{\gamma+3}{(\gamma+3)+\theta(\gamma+1)}\right)^{\gamma+2} \tag{A-10}$$

The tax or subsidy has two effects on households' utility. On the one hand, a tax increases transportation price, which decreases utility. On the other hand, its product increases the income of consumers, which increases utility. Of course, the two effects are exactly opposite when the tax is a subsidy. With the functional forms we use, the optimal balance between these two effects is reached for a unique subsidy level, corresponding to the maximum of the utility level given by Eq. (A-10) :

$$\theta^* = -\frac{1}{\gamma+1} = -a\beta \tag{A-11}$$

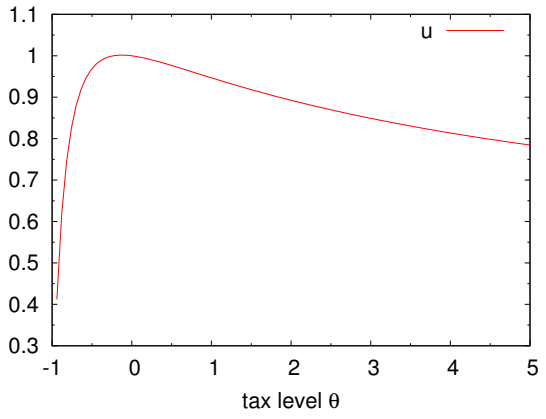


FIG. 6.3 – Impact of a tax θ on utility u (index $u = 1$ for $\theta = 0$).

It is noteworthy that the optimal tax level is strictly negative : households are given an incentive to commute more, and spend less money on housing[4].

We now introduce a monetary equivalent to consumers' utility[5] :

Definition 5 (Equivalent income) *In a city where the income is $Y_{equi}(u, T(r))$, where the transportation cost function is given by $T(r)$, and where the government sets the optimal tax level $\theta = \theta^*$, consumers reach the utility level u.*

This monetary equivalent will be useful in the analysis of government's decisions. A utilitarian[6] government taking into account absentee landowners would maximize a Static Global Welfare ($SGW(u, T(r))$) expressed in monetary terms as the sum of landowners' income and of the equivalent income of consumers :

$$SGW(u, T(r)) = N.Y_{equi}(u, T(r)) + ALI \tag{A-12}$$

If the optimal tax level is defined as the level that maximizes SGW, and if ALI is lump-sum redistributed to consumers, we find (see Appendix 6.A.1) that the optimal tax level is zero[7].

[4] This subsidy can for instance consist in the free access to roads and highways financed by a tax independent of individual transportation behavior.

[5] We prefer not to use the criterion specified by [Herbert and Stevens(1960)] : as energy shocks may have an influence on all cities as well as on rural population, we do not want to depend on the existence of a reservation utility. Therefore, we rather define an equivalent income.

[6] By "utilitarian", we mean here the simplest kind of welfare function : the government sets the same weight on each households, and considers that the simple addition of all welfares or all incomes is to be maximized.

[7] This level is also the optimal tax level that [Brueckner(2005)] finds for a classical Herbert-Stevens criterion.

6.3 Compared vulnerability to external transportation shocks

Since our goal is to investigate the vulnerability of cities to shocks in transportation costs, we assume in this section that at one point in time, the transportation costs increase instantaneously from an initial value p_i to a final value p_f.

If housing capital is fixed, GH07 show that the transportation shock effects are worse than under the malleability assumption (in the latter case, housing infrastructures adapt instantaneously). They find that this worsening is not negligible, and entails also important distributive effects between landowners and households, and among landowners. They do not account, however, for the effects of taxation levels. In the remaining of this section, we analyze a situation where households and landowners adopt a myopic behavior, in a city where a pre-existing taxation level θ has been implemented. To analyze cities with different taxation levels, we compare the medium-run situation with a long run equilibrium where the optimal taxation level θ^* is implemented. We use this final period as a common reference to study the medium-run effects of different values of θ_i, the initial value of the tax.

6.3.1 Accounting for inertia during the transition

We consider three periods : (1) the *initial* period, before the shock, during which the city is assumed to be at its long-run equilibrium with a transportation price p and a tax level θ_i. (2) The *final* period, during which the city is at its new long-run equilibrium, fully adapted to the new transportation price p_f and a tax level θ^*. This period takes place a long time after the shock, at least several decades : based on [Jin and Zeng(2004)], the buildings turnover in an American city is complete in 60 to 70 years. (3) An intermediary period, or *medium* period. [Goodwin et al.(2004)] review the literature on the response to transportation cost changes, and find a short-term response taking place within approximately 5 to 10 years after the shock[8]. Thus, the medium period takes place approximately between one decade after the shock and a few decades after the shock.

During the medium period, the housing-supply structure is not adapted to the new transportation price, because of the long adjustment delay in buildings and city structure. Households, on the other hand, have adjusted their behavior to the new transportation price and the available housing infrastructure (see GH07).

Variables and parameters corresponding to these periods will be characterized by a subscript i, f, or m. In the initial period, households and landowners make their decisions as if p_i should not change. We test different values of θ_i so as to evaluate the potential for anticipation through a tax in the initial period.

Hence,

1. initial period is characterized by a CSEnt with transportation price p_i and a tax level θ_i ;

[8]Due to the timescales we consider, what we call here a "short-term" response is for [Goodwin et al.(2004)] a long-term response.

2. medium period is characterized by a CSExt with transportation price p_f, a tax level $\theta_f = \theta^*$ and a housing structure inherited from the initial period : $H_m(r) = H_i(r)$.
3. final period is characterized by a CSEnt with transportation price p_f and a tax level $\theta_f = \theta^*$;

6.3.2 Effects on landowners

Section 6.2.2 established that, in the initial period, landowners' income unambiguously gets larger as θ_i increases. In the medium run, however, a larger θ_i has two effects on ALI_m :
(i) initial investment is higher, which decreases ALI_m ;
(ii) housing is more and more concentrated towards the CBD (see Eq. (A-17)), where people devote less money to commuting, and more to housing. As a consequence, the aggregate housing rent is also larger in the medium run, which increases ALI_m.

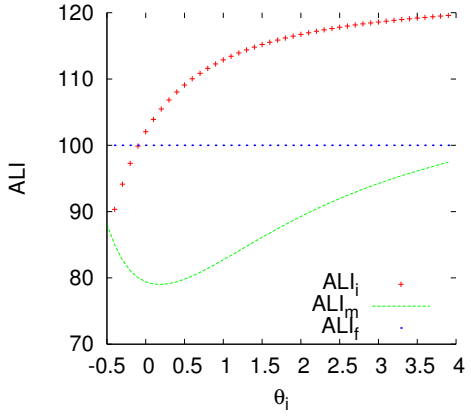


FIG. 6.4 – For a doubling of transportation price, impact of θ_i on ALI (index $ALI_f = 100$).

What is the balance between those two effects ? Figure 6.4 shows that ALI_m decreases with respect to θ_i when $\theta_i < 0.2$; above this value, a larger θ_i induces a higher ALI_m. Thus, there is a worst value of initial tax level for landowners during the medium period. In that case, ALI_m is 21% lower than ALI_f. Beyond this worst value, a larger θ_i induces higher aggregate income in both the initial and the medium periods.

6.3.3 Effects on households

In the medium run, Fig. 6.5 shows that, for $\theta_i < 1$, consumers benefit from a larger θ_i. Beyond this value, they lose from it. When the taxation level in the initial period increases beyond this threshold, consumers utility decreases both in the initial and in the medium period. Thus, the situation of households is the opposite to that of landowners.

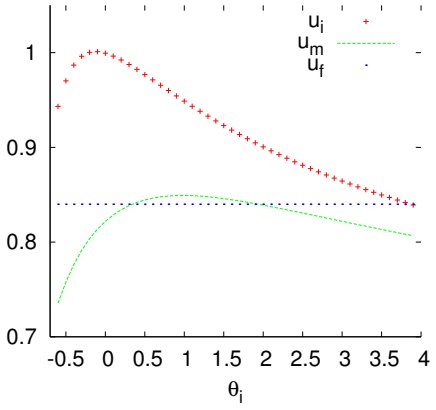


FIG. 6.5 – For a doubling of transportation price, the impact of tax levels θ_i on utility levels u_i, u_m and u_f (index $u_i = 1$ for $\theta_i = \theta^*$).

6.3.4 Vulnerable and robust cities

Previous results suggest that cities' vulnerability is not a concept that can be handled without distinguishing between several categories of agents. For instance, for a shock corresponding to a doubling of transportation prices, Tab. 6.2 shows the diverging interests of landowners and households :

results are in %	$\theta_i = \theta^* < 0$	$\theta_i = 1$	$\theta_i = 2$
$\frac{ALI_m - ALI_f}{ALI_f}$ (Landowners)	-20	-17.2	-10.8
$\frac{u_m - u_f}{u_f}$ (Households)	-3.4	$+1.1$	0

TAB. 6.2 – For a doubling of transportation price, the situation of agents in the medium run, relative to the final situation, for various levels of θ_i.

A city with an initial subsidy to commuting ($\theta_i = \theta^*$) is very vulnerable over the medium run to a transportation price shock : households support a -3.4% utility loss compared to the final period, while landowners suffer from a -20% decrease in their income compared to the final period. Those losses would be reduced in a city where preexisting taxation levels are higher : for $\theta_i = 1$, landowners' aggregate loss is reduced to -17.2%, while households are actually better off during the transition than at the final stage. An even higher θ_i would be preferred by landowners, but is detrimental to households.

Thus, if a government decides to send a signal price to economic actors so as to anticipate the possibility of a future shock in transportation prices, our results indicate that there are positive tax levels that lead to less vulnerable cities.

Choosing θ_i, therefore, influences the urban form (spread-out vs. compact) in a crucial manner. A lock-in effect is likely to happen with low transportation costs and no taxation.

Once the city has gone through an urban sprawl process, turning back to a more compact urbanism is a long and costly transition. Moreover, the larger the inertia of housing capital, the most important for welfare is the medium period, since initial tax level θ_i shapes then the urban forms for a longer period of time.

6.4 Normative aspects

The normative evaluation shall take into account not only the medium run period following the shock, but also the effects of θ_i on the initial, pre-shock, period. Furthermore, actors that are to be taken into account in these criteria may also differ according to local institutions.

6.4.1 Robust vs. vulnerable strategies

In view of Sections 6.3.2 and 6.3.3, the determination of a socially optimal tax θ_i proves difficult :

(i) For a same actor (a household, or a landowner), changing θ_i may have opposite effects in the initial period and in the medium period.

(ii) In a given period, changing θ_i may have opposite effects on two categories of actors.

Furthermore, the uncertainty in future transportation costs, and the subsequent impossibility of perfect foresight, makes this situation even more complex. [Lempert et al.(2004)], for example, claim that the deep uncertainties surrounding climate change issues should lead decision-makers to choose strategies with the most acceptable vulnerabilities. Here, we have to assume that the government does not know several decades in advance the magnitude of the shock(s) that it will have to face. In such a situation, it may be more useful not to look for an optimal tax, but rather to characterize the situations in which a given tax level θ_i has a positive impact on the welfare criterion, compared with the "do-nothing" strategy $\theta_i = 0$. To do so, we will assess, for each shock amplitude, which tax levels are beneficial or detrimental.

In what follows, we present a utilitarian and a Rawlsian criterion, which, as we will see, lead to different recommendations for policy action.

The utilitarian criterion

If only consumers utility is accounted for, the utilitarian government's welfare criterion is represented by :

$$W_C^U = \lambda u_i + (1-\lambda) u_m$$

where λ and $(1-\lambda)$ are the relative weights the government places on the situations in period i and m. The actual value of λ depends on the time at which the shock will occur and on the preference for the present. In the following, we assume that the time of the shock is known (*i.e.* λ is known), while its magnitude is uncertain. Adding uncertainty on time is possible within our framework, but it does not change the qualitative results of our study.

If the government takes into account not only the well-being of households, but also the wealth of landowners, the optimality criterion is modified accordingly, taking into account SGW as defined in Eq. (A-12). The government maximizes then an Intertemporal Global Welfare (IGW) over the initial and the medium period :

$$W_{CL}^U = IGW = \lambda SGW(u_i, p_i) + (1-\lambda)SGW(u_m, p_m)$$

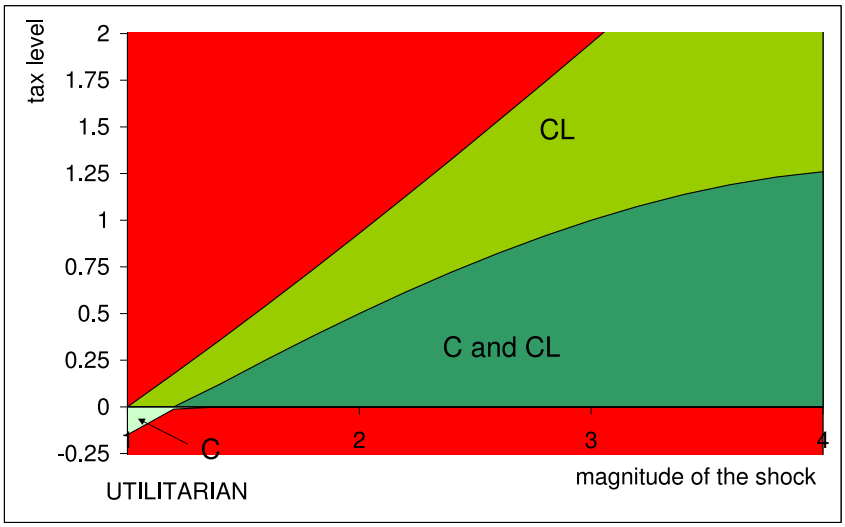


FIG. 6.6 – Impact of θ_i for a utilitarian government ($\lambda = 1/2$) : green areas correspond to the couples (θ_i,μ) that ensure a better outcome than (0,μ) for W_C^U (C) and W_{CL}^U (CL) respectively. In red areas, both criteria perform worse than $\theta_i = 0$.

Let us set $\mu = p_f/p_i$ as the magnitude of the shock. Figure 6.6 shows, for the utilitarian criterion and for each shock μ, the tax levels θ_i that have beneficial consequences compared with no pre-existing taxation. Two cases are studied, depending on the weight that is attributed to landowners' income. It appears that a subsidy to commuting is never beneficial for W_{CL}^U, and is beneficial for W_C^U only for low values of μ : this property emphasizes that very spread-out cities are particularly vulnerable to transportation shocks.

If a value $\theta_i > 0$ is beneficial for W_C^U, then it is also beneficial for W_{CL}^U, but the opposite is not true. Two reasons explain this asymmetry : first, low initial (positive) values of θ_i profit to consumers in both periods, while they induce gains for landowners in the initial period that are sufficient to compensate for their losses in the medium run. Second, high values of θ_i induce smaller utility levels for consumers, but larger landowners' income in both initial and medium periods (see Figs. 6.4 and 6.5 for example, which illustrate the case $\mu = 2$).

The rawlsian criterion[9]

[9]This kind of criterion has been suggested by [Rawls(1971)]. This theory tends to consider as best equilibriums those in which the situation of the less affluent is the better : in other words, the welfare of the agent

This criterion is an intertemporal maximin : the government's behavior is described either by :

$$W_C^R = \max_{\theta_i}\Big(\min[u_i, u_m]\Big)$$

if only consumers are taken into account, or by

$$W_{CL}^R = \max_{\theta_i}\Big(\min[SGW_i, SGW_m]\Big)$$

if landowners' income is also taken into account.

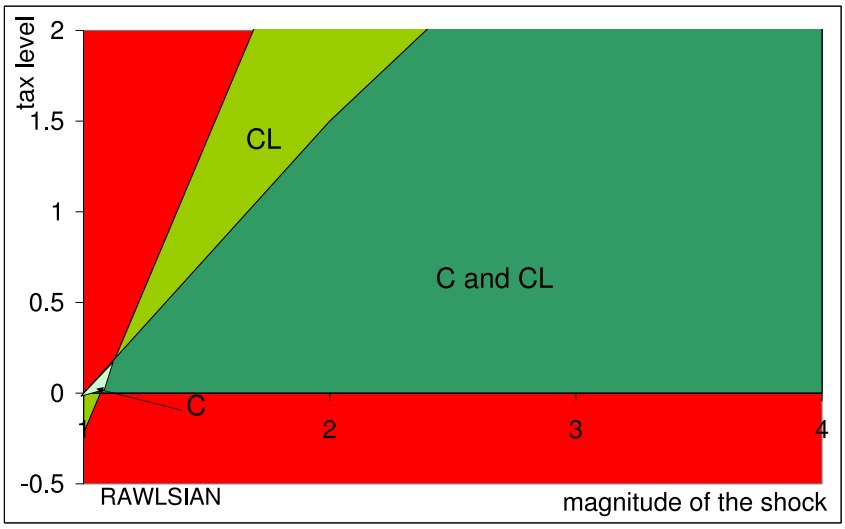


FIG. 6.7 – Impact of θ_i for a utilitarian government ($\lambda = 1/2$) : green areas correspond to the couples (θ_i,μ) that ensure a better outcome than (0,μ) for W_C^R (C), and for W_{CL}^R (CL) respectively. In red areas, both criteria perform worse than $\theta_i = 0$.

Corresponding results are presented in Fig. 6.7. As in the utilitarian case, the choice of θ_i is more restricted for W_C than for W_{CL}. Also, compared to the utilitarian case, high tax levels are a more robust choice in this Rawlsian case. This is so because an intertemporal maximin takes into account only the medium period, where consumers utility is always lower than in the initial period, at least fot the values of θ_i and μ that we explored.

Following the Lempert's methodology, therefore, we showed, for each possible future transportation price, the first-period tax levels that are beneficial, for two possible criteria. We claim that, based on these results, decision-makers can implement informed policies, as a function of their beliefs on future changes and of political parameters and value judgments.

that has the minimum utility level is maximized (these criterions are also called "maximin"). It can also be applied, like here, to one unique agent (or society) through time : the desirable history is the one in which the worst period is as good as possible.

6.4.2 The implementation of a transportation tax

Our results have pragmatic policy implications : it is possible to make a city more robust with respect to future possible changes in transportation prices. Taxing in advance transportation sends to consumers and landowners an appropriate signal-price. In particular, cities that are being built now (as is the case in developing countries where demography is increasing at a tremendous pace) should take into account the possibility of future price increases. They should thus build housing infrastructures that are more robust to the possibility of an increase in energy prices. Implementing an appropriate tax is a way to do so.

In cities where housing is already adapted to low energy prices, such as northern American cities, however, reaching a less vulnerable equilibrium shall be done with caution : implementing abruptly a new transportation tax is also a shock that can be detrimental. Nevertheless, a shock due to a tax is different from a shock due to an increase in energy prices, since the tax product is lump-sum redistributed to consumers. Thus, they pay higher transportation prices, but the tax product is added to their income[10]. As shown in Fig. 6.8, this difference influences significantly the consequences of the shock.

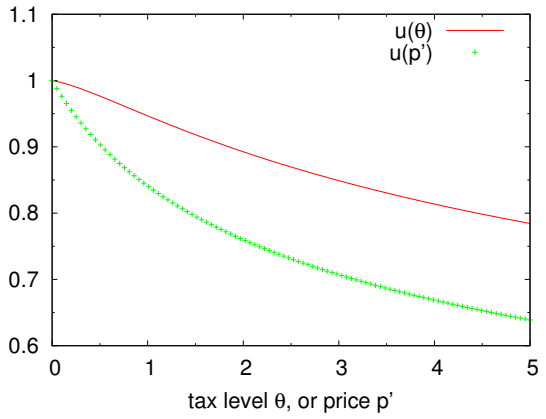


FIG. 6.8 – Impact of a tax θ vs. a price $p' = p(1+\theta)$ on utility u (index $u = 1$ for $\theta = 0$).

Nevertheless, we show in this section that a tax implementation induces a transition period that also calls for anticipation. In a new numerical experiment, the transportation price p is constant while the tax level is the only changing variable. Again, we consider three periods : the *initial* period when the tax level is $\theta_i = \theta^*$; the *medium* period where the chosen tax level θ_f has already been set, but housing infrastructure is not adapted yet $(H_m(r) = H_i(r))$; and a *final* period, where the tax level is θ_f, and where housing infrastructure is adapted to this new signal-price.

Households : starting from a CSEnt where $\theta_i = \theta^*$, households cannot gain from a change in tax levels as long as transportation price p stays at the same level. Figure 6.9 shows that

[10] Figure 6.8 shows for instance that a doubling of the price through a tax $\theta = p$ induces a 10% loss of utility, while a transportation cost $p' = 2p$ induces a 16% loss.

this deterioration of their situation can be deepened during the medium period. Since the tax product is lump-sum redistributed, however, the consequences of a shock remain limited.[11]

Landowners : setting a transportation tax creates a market distortion, which leads households to choose locations where they have to commute less, but pay higher rents. Rents close to the CBD increase, and they decrease far from the CBD. In the long run, this mechanism increases aggregate housing rents, and aggregate housing capital stock. Thus, two effects impact ALI_m compared to ALI_f : on the one hand, there is under-investment in the medium period, while rents have already increased. This should push ALI_m above ALI_f. On the other hand, the investments performed to adapt housing in the final period lead to higher aggregate rents, which pushes ALI_f above ALI_m. Both effects increase with respect to the taxation level θ_f. The right side of Fig. 6.9 shows that the first effect is the strongest for high θ_f. However, these effects of the transition on landowners remain limited in amplitude.[12]

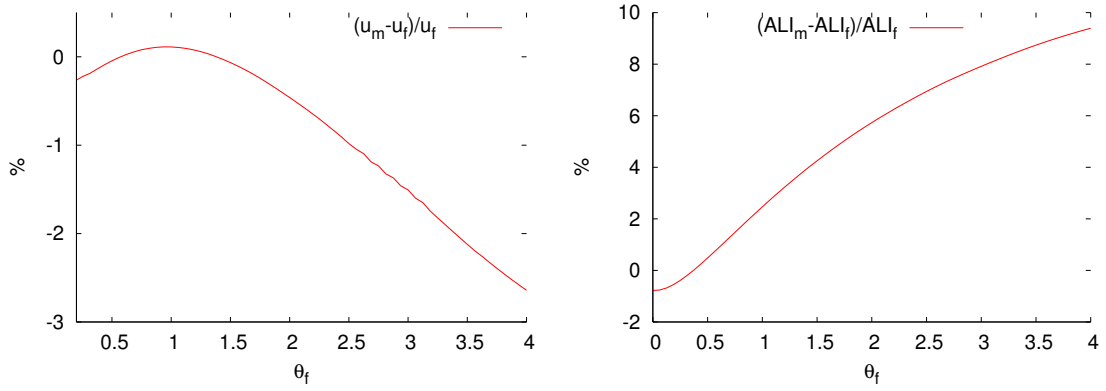


FIG. 6.9 – Impact of tax levels θ_f on - Left : utility levels u_m and u_f. -Right : ALI_m compared to ALI_f.

Our theoretical framework is not complex enough to treat the question of the optimal path of the signal price. A follow-up paper using a continuous-time model will cope with this question. Our results suggest, however, that the implementation of a new tax level induces a transition that has contrasted effects for households and landowners, even though these impacts remain limited compared with the effects of a shock in transportation costs.

6.5 Conclusion

Even though the controversy on compact vs. spread-out cities is far from being closed, policy makers in most European countries have decided to adopt a strong attitude on the

[11] For instance, for $\theta_f = 1$, households are better off during the transition. For $\theta_f = 2$, the amplification of consumers utility losses during the transition is 3.7%.

[12] For instance, for $\theta_f = 1$, transition gains are only 2.5% higher in the medium run than in the medium run. For $\theta_f = 2$, the difference is 6%.

subject, and to mitigate urban sprawl. This paper adds an argument in favor of this decision. We do not pretend to give the exact picture of the consequences of a transportation shock, but we have explored the orders of magnitude at stake. Our results suggest that cities made more compact by a transportation tax are significantly more robust than others to a shock in transportation price, in spite of the negative effect of the tax before the shock.

The reasons for this property are that (1) a tax can be introduced progressively and its implementation can be managed, while an energy price shock cannot be controlled ; (2) a shock created by the introduction of a tax is mitigated by the redistribution of the tax product while a shock on the transportation price (or speed) is only detrimental. Moreover, the lump-sum redistribution assumed in our model could, in a more realist framework, be sophisticated to take into account the pre-existing tax structure. Alleviating labor charges, for instance, could produce a so-called "double-dividend", in addition to the benefits described in this paper.

In our framework, for a doubling of the transportation costs, in a city with a high pre-existing tax level ($\theta_i = 1$), households' utility is $+1.1\%$ higher in the medium run compared to the final utility with optimal taxation, and landowners' income is decreased by -17.2%. With a lower pre-existing taxation level ($\theta_i = \theta^*$), those figures are respectively -3.4% and -20%. The importance of early taxation is even larger if housing capital is considered as fixed once it is built : low initial transportation costs determine a highly spread-out city, locked in an under-optimal situation if transportation price increases. This argument is critical in developing countries where cities experience (or will experience) a rapid growth. Those cities are, to a certain extent, still to be built, and future changes due to mitigation policies or resource constraints should be taken into account as soon as possible.

In industrialized countries, raising tax levels in vulnerable cities may be a serious problem. The reason is that housing infrastructure already exists, and represents huge investments. This factor may help understand why US government is reluctant to implement a climate policy that would lead to non negligible negative welfare effects in American particularly spread-out cities during the transition towards a more robust equilibrium. Meanwhile, it is also reasonable to think that housing inertia should not lead to inaction, but rather to early commitments and progressive action. A well conceived transportation system may be considered as an insurance against numerous risks, from energy security to climate mitigation needs. Examples of such strategies already exist : both the London Congestion Pricing Scheme, implemented in year 2003, and the development of public transportation networks in Paris, France, that began in year 2001 and reduced the average transportation speed, increased progressively the price of private transportation. According to our results, these policies will in the long run enhance the robustness of these two agglomerations to shocks in transportation costs.

The modelling framework we used in this paper presents several important limitations, that were already presented in GH07 (*e.g.* the absence of general equilibrium feedback mechanisms, or the assumption that the city has one unique CBD). In spite of these limitations, however, our results show significant stylised facts, which should be accounted for in more exhaustive frameworks. Follow-up papers will progressively answer to several limitations, in

particular to focus on macroeconomic feedbacks and on a more realistic description of the dynamics of moves, housing investments, and rent levels.

In a more general framework, two main insights for future research can be drawn from our results. First, the use of taxation policies as a tool to anticipate uncertain future changes in presence of transition costs; in this regard, the timing of the tax implementation is an important aspect of taxation policies. Second, this paper also encourages governments to take into account future environment constraints in all domains of public policy, for instance by linking urbanism, land-use, transportation and climate policies. This view calls, therefore, for a “mainstreaming" of environmental concerns in public policy.

Bibliographie

[Akerman and Hojer(2006)] Akerman, J., Hojer, M., 2006. How much transport can the climate stand ? — sweden on a sustainable path in 2050. Energy Policy 34, 1944–1957.

[Alonso(1964)] Alonso, W., 1964. Location and Land Use. Harvard University Press.

[Brueckner(2005)] Brueckner, J. K., nov 2005. Transport subsidies, system choice, and urban sprawl. Regional Science and Urban Economics 35, 715–733.

[Brueckner and Fansler(1983)] Brueckner, J. K., Fansler, D. A., 1983. The economics of urban sprawl : Theory and evidence on the spatial sizes of cities. Review of Economics and Statistics 65, 479–482.

[Crassous et al.(2006)] Crassous, R., Hourcade, J.-C., Sassi, O., 2006. Endogenous structural change and climate targets - modeling experiments with Imaclim-R. Energy Journal 27, 259–276.

[Fujita(1989)] Fujita, M., 1989. Urban Economic Theory — Land Use and City Size. Cambridge University Press.

[Goodwin et al.(2004)] Goodwin, P., Dargay, J., Hanly, M., may 2004. Elasticities of road traffic and fuel consumption with respect to price and income : A review. Transport Review 24 (3), 275–292.

[Gordon and Richardson(1995)] Gordon, P., Richardson, H. W., 1995. Sustainable Congestion. Longman : Australia, pp. 348–358.

[Gusdorf and Hallegatte(2007)] Gusdorf, F., Hallegatte, S., 2007. Behaviors and housing inertia are key factor in determining the consequences of a shock in transportation costs, Energy Journal 35, pp. 3483–3495.

[Herbert and Stevens(1960)] Herbert, J., Stevens, B. H., 1960. A model of the distribution of residential activity in urban areas. Journal of Regional Science 2, 21–36.

[Hourcade and Gilotte(2000)] Hourcade, J.-C., Gilotte, L., 2000. Differentiated or Uniform International Carbon Taxes : Theoretical Evidences and Procedural Constraints. New York : Columbia University Press, Ch. 8, pp. 135–155.

[Jenks et al.(1996)] Jenks, M., Williams, K., Burton, E., 1996. The Compact City : A Sustainable Urban Form ? Spon Press, London.

[Jin and Zeng(2004)] Jin, Y., Zeng, Z., 2004. Residential investment and house prices in a multi-sector monetary business cycle model. Journal of Housing Economics 13, 268–286.

[Le Corbusier(1924)] Le Corbusier, 1924. Urbanisme. Paris.

[Lempert(2006)] Lempert, R. J., nov 2006. A new decision sciences for complex systems. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America 99, 7309–7313.

[Lempert et al.(2004)] Lempert, R. J., Nakicenovic, N., Sarewitz, D., Schlesinger, M., 2004. Characterizing climate-change uncertainties for decision-makers. Climate change 65, 1–9.

[Mayer and Somerville(2000)] Mayer, C. J., Somerville, C. T., 2000. Residential construction : Using the urban growth model to estimate housing supply. Journal of Urban Economics 48, 85–109.

[Mayeres and Proost(2001)] Mayeres, I., Proost, S., 2001. Marginal tax reform, externalities and income distribution. Journal of Public Economics 79, 343–363.

[Mills(1967)] Mills, S. E., 1967. An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area. The American Economic Review 57 (2), 197–210, papers and Proceedings of the Seventy-ninth Annual Meeting of the American Economic Association.

[Muth(1969)] Muth, R. F., 1969. Cities and Housing — The Spatial Pattern of Urban Residential Land Use. The University of Chicago Press.

[Newman and Kenworthy(1989)] Newman, P. W., Kenworthy, J. R., 1989. Cities and Automobile Dependence : A Sourcebook. Gower, Aldershot, UK.

[O'Toole(2003)] O'Toole, R., 2003. Transportation costs and the american dream. Special report, Surface Transportation Policy Project.

[Parry(2006)] Parry, I. W., mar 2006. On the costs of policies to reduce greenhouse gases from passenger vehicles, discussion paper.

[Rawls(1971)] Rawls, J., 1971. A Theory of Justice. The Belknap Press of Harvard University Press.

[Schafer(1998)] Schafer, A., 1998. The global demand for motorized mobility. Transportation Research :A 32 (6), 455–477.

[Schafer(2000)] Schafer, A., dec 2000. Regularities in travel demand : an international perspective. Journal of transportation and statistics 3 (3), 1–31.

[Song and Zenou(2006)] Song, Y., Zenou, Y., 2006. Property tax and urban sprawl : Theory and implications for us cities. Journal of Urban Economics 60 3, 519-534.

[Von Thuenen(1826)] Von Thuenen, J. H., 1826. Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationaloekonomie. Perthes.

[Wheaton(1974)] Wheaton, W. C., 1974. A comparative static analysis of urban spatial structure. Journal of Economic Theory 9, 223–237.

[Yacovissi and Kern(1995)] Yacovissi, W., Kern, C. R., 1995. Location and history as determinants of urban residential density. Journal of Urban Economics 38, 207–220.

6.A Appendix

6.A.1 Relationships in a CSEnt

Characteristics of the Urban System

Setting $\gamma = \frac{1}{a\beta} - 1$ and $B = \big(Ab\big)^{1/a}(\alpha^\alpha\beta^\beta)^{1/a\beta}\frac{a}{b\rho^{b/a}}$, the solutions of the equilibrium problem satisfy :

$$\begin{aligned} s(r,u) &= \tfrac{u^{\gamma+1}}{B(\gamma+1)}[Y - p(1+\theta)r]^{-\gamma} \\ R_H(r,u) &= \Big(\alpha^\alpha\beta^\beta\tfrac{Y-p(1+\theta)r}{u}\Big)^{1/\beta} \end{aligned} \tag{A-13}$$

>From the constraint on N : $R_H(r,u) = Wp^{a(\gamma+3)}\Big([V(\theta)\frac{Y_a}{p} - r]\Big)^{1/\beta}\Big((1+\theta)[Y_aV(\theta)]^{-(\gamma+2)}\Big)^a$ where $V(\theta) = \frac{\gamma+3}{(\gamma+3)+\theta(\gamma+1)}$, and $W = (\alpha^\alpha\beta^\beta)^{1/\beta}(\frac{N(\gamma+2}{lB})^a$.

Utility level

Let us first assume that there is no transportation tax set by the government. In this case, Eq. (A-6) on the city population implies :

$N = \int_0^{r_f}\frac{L(r)}{s(r,u)}dr = \int_0^{r_f} lrB(\gamma+1)[Y-pr]^\gamma u^{-(\gamma+1)}dr$

This equation gives us the relation :

$$\frac{p^2N}{lB} = -Y\frac{R_A}{B} + u\Big(\frac{R_A}{B}\Big)^{\frac{\gamma+1}{\gamma+2}}\frac{\gamma+1}{\gamma+2} + u^{-(\gamma+1)}\frac{Y^{\gamma+2}}{\gamma+2} \tag{A-14}$$

Tax product

We consider now that a tax $p\theta$ per km of commuting is levied throughout the city, thus $T(r) = p(1+\theta)r$. Thus, (A-13) implies :

$$\begin{aligned} \pi(u) &= p\theta\textstyle\int_0^{r_f} n(r,u)r\,dr = \frac{p\theta lB(\gamma+1)}{u^{\gamma+1}}\int_0^{r_f} r^2[Y + \pi/N - p(1+\theta)r]^\gamma\,dr \\ r_f(\pi,u) &= \tfrac{1}{p(1+\theta)}[Y + \pi/N - (\tfrac{R_A}{B})^{\frac{1}{\gamma+1}}u] \end{aligned} \tag{A-15}$$

In addition, (A-14) can be rewritten :

$\frac{N}{lB}p^2(1+\theta)^2 = -\frac{R_A}{B}(Y+\pi/N) + \frac{\gamma+1}{\gamma+2}\Big(\frac{R_A}{B}\Big)^{\frac{\gamma+2}{\gamma+1}}u + \frac{u^{-(\gamma+1)}}{\gamma+2}(Y+\pi/N)^{-(\gamma+1)}$

Let us assume for simplicity's sake that $R_A = 0$. Then the previous analysis gives :

$\pi(u) = \frac{2p\theta lB}{p^3(1+\theta)^3u^{\gamma+1}}\frac{(Y+\pi/N)^{\gamma+3}}{(\gamma+2)(\gamma+3)}$

$\frac{p^2(1+\theta)^2N}{lB} = u^{-(\gamma+1)}\frac{(Y+\pi/N)^{\gamma+2}}{\gamma+2}$

>From these relationships, we derive :

$$\frac{\pi}{N} = \frac{2\theta Y}{(\gamma+3)+\theta(\gamma+1)} \tag{A-16}$$

Housing structure

The construction throughout the city is given by the function :
$H(r) = n(r,\theta)q(r,\theta) = lrF(1, k(r,\theta)/s(r,\theta))$.
Using (A-13), we have then :

$$H(r) = A'r\Big((1+\theta)\big(\frac{Y(\gamma+3)}{(\gamma+3)+\theta(\gamma+1)}\big)^{-(\gamma+2)}\big(\frac{Y(\gamma+3)}{p(\gamma+3)+p\theta(\gamma+1)} - r\big)^{\gamma+1}\Big)^{b} \qquad \text{(A-17)}$$

where A' is a constant depending on the parameters of the problem.

Lump-sum redistribution of ALI

If the product of the housing industry is to be lump-sum redistributed to the city inhabitants, then Eqs. (A-1) , (A-5) and (A-14) determine ALI, π and u. As a result, these variables satisfy an extended version of Eq. (A-15) :

$$\begin{array}{l} \pi = \frac{2p\theta lB}{p^3(1+\theta)^3u^{\gamma+1}}\frac{(Y_a+\pi/N+ALI/N)^{\gamma+3}}{(\gamma+2)(\gamma+3)} \\ \frac{p^2(1+\theta)^2N}{lB} = u^{-(\gamma+1)}\frac{(Y_a+\pi/N+ALI/N)^{\gamma+2}}{\gamma+2} \\ ALI = \frac{Bl}{u^{\gamma+1}}\frac{Y^{\gamma+3}}{p^2(1+\theta)^2(\gamma+2)(\gamma+3)} \end{array} \qquad \text{(A-18)}$$

As a consequence :
$\pi = N\frac{2\theta}{1+\theta}\frac{Y}{\gamma+3}$
$ALI = N\frac{Y}{\gamma+3}$
$Y = \frac{(\gamma+3)(1+\theta)}{(\gamma+2)+\theta\gamma}Y_a$

Using this value of Y in Eq. (A-10) : $u^{\gamma+1}\frac{(\gamma+2)N}{lB} = \frac{Y_a^{\gamma+2}}{p^2}(1+\theta)^{\gamma}\Big(\frac{\gamma+3}{(\gamma+2)+\theta\gamma}\Big)^{\gamma+2}$, which is maximum for $\theta = 0$.

6.A.2 Relationships in the medium-term equilibrium, with exogenous housing structure

New households density

If the government sets a transportation tax $p\theta_m$ during second period, housing service consumption is now :
$q(u_m, r) = u_m^{1/\beta}\big(\alpha[Y + \pi_m/N - p_m(1+\theta_m)r]\big)^{-\alpha/\beta}$
In addition, we know that π_m and u_m must verify :
$\pi_m = p_m\theta_m\int_0^{r_{fm}} n_m(u_m, r)rdr$
$N = \int_0^{r_{fm}} n_m(u_m, r)dr$
where $r_{fm} = \frac{Y+\pi_m/N}{p_m(1+\theta_m)}$.

In order to simplify our notations, we write :
$\frac{1}{q(u_m,r)} = J.(K-r)^k$, where J is a number depending on u_m and θ_m, while K depends on θ_m and π_m, and $k = \alpha/\beta$. One might notice that $K = r_{fm}$.

Existence and uniqueness of the medium-term equilibrium

A CSExt, if it exists, can be characterized by two relationships :

$$\begin{aligned} \pi_m &= p\theta_m CJ \int_0^K (D-r)^d (K-r)^k r^2 dr \\ N &= CJ \int_0^K (D-r)^d (K-r)^k r dr \end{aligned} \tag{A-19}$$

where J is a number depending on u_m and $p\theta_m$; $K = \frac{Y+\pi_m/N}{p(1+\theta_m)}$; $k = \alpha/\beta$; we set C, D and d so as to reformulate (A-17) : $H(r) = C(D-r)^d$. Studying a medium-term equilibrium is then equivalent to studying a solution to the system (A-19), where C, D, d and k are exogenous and positive, while J and K verify :
$J = J' u_m^{-1/\beta}$, J' being exogenous,
$0 < K = \frac{Y+\pi_m/N}{p_m(1+\theta_m)} \leq D$
This problem is a system of two equations with two unknown variables, π_m/N and u_m. We set $x = \pi_m/N$, and derive the related equation (in fact the ratio of the two relationships) :

$$x \int_0^{K(x)} (D-r)^d (K(x)-r)^k r dr = p\theta_m \int_0^{K(x)} (D-r)^d (K(x)-r)^k r^2 dr \tag{A-20}$$

One might note that if there is a couple (x^*, u_m^*) verifying Eq. (A-19), then clearly x^* must satisfy Eq. (A-20). Conversely, suppose there is a x^* verifying Eq. (A-20), then setting $u_m^* = \left(\frac{p\theta_m}{Nx^*} CJ' \int_0^{K^*} (D-r)^d (K^*-r)^k r^2 dr\right)^\beta$, then (x^*, u_m^*) satisfies Eq. (A-19).

Both existence and uniqueness of a solution to Eq. (A-19) are equivalent to existence and uniqueness of a solution to Eq. (A-20), or to :
$\theta_m \int_0^{K(x)} (D-r)^d (K(x)-r)^k r(Y-pr) dr = 0$
This expression is continuous, negative for $x = 0$, and strictly positive for $x = \theta_m Y$. As a consequence, there is at least one x for which Eq. (A-20) holds, and the existence of an equilibrium during the medium-run is proved. Furthermore, for a given θ_m, the latter expression varies strictly in one sense only, which proves the uniqueness of the solution to Eq. (A-20).

Chapitre 7

Point d'étape - Tempo des politiques publiques et effets redistributifs

Du point de vue de l'efficacité, en se fondant sur des indicateurs de bien-être agrégés, nos travaux montrent qu'il est possible de changer les villes pour rendre celles-ci moins vulnérables aux chocs exogènes. Une taxe carbone rend la structure urbaine plus compacte, et libère une marge de manœuvre qui permet d'amortir les chocs importants. L'analyse économique ne saurait pourtant se contenter d'une analyse de l'efficacité via une estimation agrégée, quand il s'agit d'une mesure qui touche à l'équilibre d'un système socio-économique aussi considérable que la ville.

Prendre en compte les impacts redistributifs des politiques urbaines nécessite cependant de nouveaux outils économiques. Les chapitres 2 [*Gusdorf et Hallegatte*(2007a)] et 6 [*Gusdorf et Hallegatte*(2007b)] proposent une distinction en deux catégories de population - propriétaires et locataires -, distinction importante mais trop sommaire pour rendre compte de la diversité des systèmes urbains.

7.1 Les villes : lieu d'inscription des inégalités dans l'espace

Le phénomène des inégalités en milieu urbain, est marquant par son ampleur comme par sa complexité. Il apparaît en fait comme un nouvel élément de fragilité des villes.

Les villes, véritables centres des économies modernes, ne peuvent manquer d'être traversées par les disparités socio-économiques qui caractérisent ces sociétés. Par leur organisation, elles influencent en retour ces disparités, et les inégalités reçoivent dans la ville une traduction spatiale qui joue souvent un rôle critique dans leur histoire :

Les groupes sociaux défavorisés se concentrent dans certains quartiers (notamment les « zones urbaines sensibles », ou ZUS) avec lesquels les groupes les plus aisés prennent leurs distances [*Fitoussi et al.*(2004)].

Les inégalités sociales se sont durablement inscrites dans l'espace de nos villes. C'est en prenant acte de ce constat que les gouvernements successifs en France, depuis quelques années, ont eu à cœur de mettre la ville au centre de leurs politiques sociales : la création des Zones d'Education Prioritaires en 1982 (ministère d'Alain Savary), des Zones Urbaines Sensibles en 1986, la mise en place de la politique de la Ville depuis 1994, la loi Solidarité et Renouvellement Urbain du 13 décembre 2000, enfin la création en 2003 de l'Agence Nationale pour la Rénovation Urbaine, sont autant d'éléments témoignant de cette prise en considération.

Du point de vue de l'analyse économique, la ségrégation est délicate à appréhender qu'il n'y paraît au premier abord. Elle apparaît en partie souhaitée par certains groupes sociaux - on parle alors de *préférence pour la ségrégation* [*Galster*(2001)] - et peut être le résultat de réflexes d'évitement, ou au contraire d'une volonté de regroupement. Il est en revanche certain que l'essentiel des mécanismes de ségrégation passe par les marchés du foncier, et du travail [*Schelling*(1969)]. Le rôle du foncier est simple : les prix des logements déterminent quelles catégories de population ont les moyens habiter en une localisation donnée dans la ville. C'est donc bien la formation de ces prix qu'il faut tenter de comprendre.

Le marché du travail joue dans l'établissement et le renforcement des inégalités un rôle de premier plan [*Coulson et al.*(2001)], [*Brueckner et Zenou*(2003)]. Le chômage de restructuration a ainsi pu toucher des bassins d'emploi entiers. De même, suite à l'apparition du chômage de masse dans nos économies, des quartiers entiers ont été fortement touchés, une grande part de leur population se trouvant exclue du marché du travail [*Fitoussi et al.*(2004)].

Les dissymétries sur le marché du travail sont notamment fortes entre les centre-ville et les banlieues. Dans la ville de Detroit, en 1995, le taux de chômage en centre-ville était de 10%, contre 4% dans les banlieues [*Zenou*(2000)]. Les mêmes chiffres à Paris la même année étaient respectivement 12.2% et 9.6%. Dans de telles conditions s'engage en un lieu défavorisé un processus progressif d'isolement. Les populations se retrouvent peu à peu enfermées dans des situations où l'absence de mobilité bouche les perspectives de retour à un fonctionnement intégré dans le reste du système urbain.

Le fonctionnement du marché foncier participe au renforcement de ces déséquilibres urbains : les populations marginalisées ne peuvent se permettre de payer les prix élevés des logements situés dans les zones économiquement dynamiques, et restent confinés dans de véritables « trappes ». Ce mécanisme essentiel de la ségrégation sociale enclenche un cercle vicieux, où les situations négatives persistent longtemps après les causes premières qui les ont engendrées.

Cette dynamique urbaine est également défavorable en termes d'accès à l'éducation, aux services de santé, au logement, aux équipements collectifs, et aux infrastructures de transport [*Benabou*(1993)], dont les effets sont visibles entre autres dans les taux de criminalité [*Glaeser et al.*(1996)]. Ainsi dans les grandes villes américaines, entre 1985 et 1992, la délinquance était en moyenne 25% plus faible dans les familles résidant en banlieue que dans celles résidant en centre-ville. Ces pourcentages sont bien sûr corrélés fortement avec les niveaux de revenu, l'accès à l'éducation et au marché du travail. Les violences des mois d'octobre - novembre 2005 rappellent, si besoin en était, qu'en France également les inéga-

lités sont fortes entre communes d'une même région. En 1996, le « Pacte de Relance pour la Ville » a identifié 157 Zones Urbaines Sensibles, où les taux moyens de personnes à bas revenus sont très élevés : dans les Yvelines par exemple, ce taux vaut 23% dans les ZUS, contre 7% dans le reste du département [*Jacquesson*(2006)].

A travers l'exposé de cette spirale de paupérisation, on conçoit à quel point la structuration des inégalitésn, et les tensions sociales qui en résultent, constuent un sujet d'inquiétude pour la stabilité des systèmes urbains. Il convient d'inspecter comment cet élément de fragilité se combine avec ceux que nous avons choisi d'explorer dans cette thèse : les inerties urbaines.

7.2 Les effets redistributifs vus à travers le prisme de l'analyse dynamique

Comment ces considérations sur les inégalités influencent-elles nos résultats précédents ? Pour bien comprendre l'effet de changements économiques ou politiques sur les inégalités dans la ville, il est indispensable d'examiner comment ces situations évoluent au cours du temps.

Les inerties caractérisant les évolutions des infrastructures et des comportements mettent en garde contre un scénario d'action retardée, montrant les limites des hypothèses « tout flexible ». Nos résultats précédents mettent en valeur un aspect bénéfique d'une taxe sur le transport, en la faisant apparaître comme un moyen de s'assurer contre des chocs futurs. Du point de vue de l'efficacité, le scénario optimal consiste sans doute en une action précoce, montant en puissance graduellement. Cette politique de prudence aurait pour vertu de rendre les villes moins vulnérables à d'éventuels changements futurs (chocs, et non seulement taxes) et de les rendre par ailleurs moins coûteuses en énergie et en infrastructures énergétiques.

Pourtant, rien ne garantit que la taxe n'aura pas par ailleurs des effets redistributifs, éventuellement non souhaités. S'il est théoriquement toujours possible de compenser de tels effets par des transferts forfaitaires, encore faut-il au préalable les évaluer, et déterminer les catégories de population concernées. Les outils économiques type permis, ou taxe carbone, commencent à orienter les comportements des acteurs dès leur mise en place. Pourtant, l'ensemble du système ne peut être considéré comme malléable instantanément, et ce n'est qu'au bout de quelques dizaines d'années que les politiques atteignent leur plein effet, et que l'on peut considérer que le système est parvenu à un nouvel équilibre. Pour des acteurs dont les situations de départ sont identiques, mais dont les localisations initiales sont différentes, les déséquilibres transitoires entraînent vraisemblablement des conséquences différenciées.

Les inégalités liées à une localisation dans l'espace peuvent être fortement amplifiées par les mécanismes de court et moyen terme que nous avons décrits jusqu'à présent dans cette thèse. La répartition spatiale des inégalités dans les systèmes urbains est fortement liée à la localisation des populations par rapport aux bassins d'emploi. Les chocs externes impactant les systèmes des transports touchent plus durement encore les catégories de population vivant

à distance des emplois [*Hartwick et al.*(1976)]. Cette distance devient un marqueur des inégalités, celles-ci pouvant trouver leur origine dans d'autres causes [*Ihlanfeldt et Sjoquist*(1990)]. De fait, une hausse des prix du transport équivaut pour ces populations à une augmentation de leur distance aux bassins d'emploi et autres lieux de vie.

Une modification des conditions de la mobilité dans une agglomération entraîne sur le court terme des changements dans les caractéristiques de l'accessibilité d'un lieu donné. Les impacts d'une politique urbaine sont de fait différenciés dans le temps et dans l'espace, et les déséquilibres les plus fort apparaissent vraisemblablement dans le court et le moyen terme. C'est dans les quelques mois, les quelques années qui suivent l'implémentation d'une taxe ou l'arrivée d'un choc énergétique, que certaines catégories de la population peuvent être le plus durement impactées : ainsi les ménages endettés par l'achat d'un pavillon en banlieue, peuvent se trouver soudainement confrontés à des prix du transport plus élevés que ceux qu'ils avaient anticipés, et voir l'équilibre de leur budget menacé.

L'article III met en évidence certains de ces effets sur le moyen ou le long terme, entre propriétaires et locataires. Cependant, rien n'est dit sur le court terme, ou sur d'autres catégories, et une analyse plus fine que celles que nous avons effectuées est nécessaire dans ce sens. Cet effort devra permettre d'évaluer les effets de la taxation sur des populations éventuellement homogènes, mais localisées différemment dans l'espace urbain.

7.3 Le besoin d'un cadre d'analyse complet

Nous avons signalé dans la section ci-dessus l'existence d'effets de court terme spécifiques à une modification de l'espace urbain. Juste après un choc sur le système urbain, les ménages devant parcourir les plus grandes distances sont les plus défavorisés, tandis que ceux vivant près des endroits où ils travaillent et de leurs lieux de loisir, sont moins impactés. Le modèle de Von Thuenen part du principe que les ménages sont parfaitement mobiles. Ils sont en concurrence pour les logements et cherchent les localisations où, tenant compte des coûts de transport et des loyers locaux, leurs préférences seront satisfaites au mieux. Le modèle ne décrit cependant pas explicitement la dynamique qui mène à un tel état d'équilibre. Ainsi nous faisons ce constat paradoxal que, fondé sur une hypothèse de mobilité parfaite, le modèle de Von Thuenen ne décrit pas les conditions de cette mobilité. Il est au demeurant essentiellement utilisé pour des travaux en statique comparative [*Wheaton*(1974)].

C'est pourtant une description dynamique qu'il nous importe de réaliser, afin de mener à bien notre analyse. L'enjeu est de comprendre comment, en partant d'une situation de déséquilibre, le système urbain évolue, et s'il retourne à l'état d'équilibre prédit par la théorie. Dans ce dernier cas, encore faut-il savoir en combien de temps, et par quel chemin précis. Rien ne garantit *a priori* que le chemin de retour d'un système aussi complexe soit simple et rapide.

La mise en place d'une taxe pose à l'économiste des problèmes similaires à ceux soulevés par un choc. L'état d'équilibre correspondant à un prix du transport élevé est lié à une ville plus compacte, et plus robuste face aux chocs. Mais comment le système passe-t-il par exemple d'une taxe nulle à un niveau de taxation élevé, si ce dernier est jugé préférable ?

L'article IV, "Time and space matter : how urban transitions create inequalities", a pour ambition de répondre à la question énoncée ci-dessus, en la situant dans une perspective plus vaste : le but est de parvenir à une évaluation complète des politiques publiques en décrivant comment les mécanismes à l'œuvre sur le court terme, dérivant du comportement des agents économiques, permettent au système ville d'évoluer vers son nouvel équilibre de long terme.

L'objectif est ambitieux, et le modèle NEDUM présenté dans cet article ne saurait représenter que la première étape de l'exploration de cette voie. Trois exigences doivent être satisfaites dans cette approche initiale :

1. Représenter les caractéristiques des comportements des ménages qui sont indispensables à l'évolution du système urbain, celles qui les incitent à déménager, à la recherche de tel ou tel type de logement.
2. Décrire les situations de déséquilibres temporaires, permettant de rendre compte de l'effet des « surprises » sur le système urbain.
3. Introduire les mécanismes macro-économiques les plus simples d'éviction des investissements. Ce point permettra de comprendre comment et à quel rythme s'opère le renouvellement des infrastructures urbaines sous l'effet des choix d'investissements des agents.

Satisfaire à ces trois exigences nous permettra de décrire l'histoire d'une ville impactée par un choc ou par une politique publique. Alors, des résultats détaillés en matière de justice redistributive pourront être obtenus.

Bibliographie

[*Benabou*(1993)] Benabou, R., Workings of a city : Location, education, and production, *Quarterly Journal of Economics*, *108*, 619–652, 1993.

[*Brueckner et Zenou*(2003)] Brueckner, J. K., et Y. Zenou, Space and unemployment : The labor-market effects of spatial mismatch, *Journal of Labor Economics*, *21*, 242–266, 2003.

[*Coulson et al.*(2001)] Coulson, N. E., D. Laing, et P. Wang, Spatial mismatch in search equilibrium, *Journal of Labor Economics*, *19*, 949–972, 2001.

[*Fitoussi et al.*(2004)] Fitoussi, J.-P., E. Laurent, et J. Maurice, Ségrégation urbaine et intégration sociale, *Document de travail*.

[*Galster*(2001)] Galster, G., White flight from racially integrated neighborhoods in the 1970s : the Cleveland experience, *Urban Studies*, *27*, 2001.

[*Glaeser et al.*(1996)] Glaeser, E. L., B. Sacerdote, et J. A. Scheinkman, Crime and social interactions, *Quarterly Journal of Economics*, *111*, 507–548, 1996.

[*Gusdorf et Hallegatte*(2007a)] Gusdorf, F., et S. Hallegatte, Behaviors and housing inertia are key factor in determining the consequences of a shock in transportation costs, *Energy Policy*, *35*, 3483–3495, 2007a.

[*Gusdorf et Hallegatte*(2007b)] Gusdorf, F., et S. Hallegatte, Compact or spread-out cities : Urban planning, taxation, and the vulnerability to transportation shocks, *Energy Policy*, *35*, 4826–4838, 2007b.

[*Hartwick et al.*(1976)] Hartwick, J., U. Schweizer, et P. Varaiya, Comparative statics of a residential economy with several classes, *Journal of Economic Theory*, *13*, 396–413, 1976.

[*Ihlanfeldt et Sjoquist*(1990)] Ihlanfeldt, K. R., et D. L. Sjoquist, Job accessibility and racial differences in youth empolyment rates, *American Economic Review*, *80*, 267–276, 1990.

[*Jacquesson*(2006)] Jacquesson, F., Les zones urbaines sensibles franciliennes : des réalités très diverses, *Document de travail*, Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques, 2006.

[*Schelling*(1969)] Schelling, T., Models of segregation, *American Economic Review*, *59*, 1969.

[*Wheaton*(1974)] Wheaton, W. C., A comparative static analysis of urban spatial structure, *Journal of Economic Theory*, *9*, 223–237, 1974.

[*Zenou*(2000)] Zenou, Y., *Unemployment in Cities*, chap. 10, pp. 343 – 389, Cambridge University Press, 2000.

Chapitre 8

Time and space matter : how urban transitions create inequality

(Article IV)

Abstract

To analyze the response of cities to urban policies or transportation shocks, describing a succession of stationary states is not enough, and urban dynamics should be taken into account. To do so, the urban economics model NEDUM is proposed. This model reproduces the evolution of a monocentric city in continous time and captures the interaction between household moves, changes in flat sizes, rent levels, and density of housing service supply. NEDUM allows, therefore, for a temporal and spatialized analysis of urban transitions. Applied to climate policies, this model suggests that the implementation of a transportation tax causes a larger welfare loss than can be inferred from traditional models. Moreover, such a tax increases significantly inequalities if its implementation is not anticipated enough. According to these results, therefore, smooth and early implementation paths of climate policies should be favored over delayed and aggressive action.

8.1 Introduction

As mobility needs induce a large and increasing share of greenhouse gas emissions, it is very likely that transportation systems will have to change if our societies are to respect a carbon constraint. Urban transportation systems will, therefore, have to go through significative evolutions, and ambitious urban policies are indeed a necessary step so as to achieve Kyoto-like objectives [Srinivas(2000)].

Economic evaluations of climate policies often consist in the assessment of aggregated GDP losses [Tulkens and Tulkens(2006)]. The analyzis of urban policies, however, shall tackle impacts that are widely differentiated in space. The effects of an increase in oil prices on

suburban households that are heavily dependant on private vehicles, for instance, should be distinguished from the effects on central city inhabitants. Cities, moreover, are slowly-evolving systems : assessing the cost of a change in transportation systems not only requires knowledge about the present and future equilibriums of the system; it also requires an analysis of the transition paths between these equilibriums, and a specific investigation of the important question of inertia [Rotmans et al.(1994)] applied to urban dynamics.

This paper aims at providing a framework to assess transitions of urban systems, including its spatial distribution. Beyond its general interest, the question of differentiated effects in time and space of energy policies is particularly crucial for cities. The functioning of cities relies on long-lived infrastructures in housing and transportation sectors, that can only adapt gradually to new economic conditions [Gusdorf and Hallegatte(2007)]. But infrastructures are not the only source of inertia : it also takes time to households to change their locations, to modify their consumption bundles, and housing rents are also sticky to a certain extent.

We propose here a model that is fitted to address the stylized evolutions of urban systems through time and space. This Non Equilibrium Dynamic Urban Model (NEDUM) is based on the classic urban model *à la* [Von Thuenen(1826)], adapted to cities by [Alonso(1964)], [Mills(1967)] and [Muth(1969)]. Dynamic analysis of cities based on the Von Thuenen framework have already been proposed before, but they only consisted in a sequence of stationary equilibriums, see *e.g.* [Anas(1978)] or [Capozza and Helsley(1990)], and a review in [Brueckner(2000)]. Our approach is innovative in that it allows to represent non-stationary states, taking into account inertia in households relocation, in apartments' sizes, housing service production, and stickiness in housing rents.

In addition, we introduce macroeconomic feedbacks in the model by making income endogenous : workers supply their labor force to firms that produce a composite goods, a process we represent through a neo-classical production function. A constant share of product is saved, and used for investments. Investments are either directed towards the productive or the housing sector, depending on their respective profitability. This interdependence between investment choices allows for the representation of crowding-out effects when housing needs make construction more profitable than productive investments.

We use NEDUM to perform two sets of numerical experiments. First, we simulate the effects of a shock on transportation costs. We show that the distribution in time of the cost of such a shock is very unequally spread between the short, medium and long run. Long term effects are classical results, and we focus our analysis on transition phenomenons. With our calibration, roughly based on the characteristics of the Los Angeles agglomeration, a 50% increase in transportation costs leads to significant negative effects on utility levels during approximately 60 years after the shock. Households living at the outskirts of the city are most impacted during the transition period. We quantify this effect with the Gini index, which is a common economic tool designed to quantify inequalities[1] : in our stylized city, though we assumed that all workers earn the same income, this index stays above 0.02 during approximately 55 years after the shock, and reaches a peak value close to 0.12. This is indeed

[1]In brief, the Gini index varies between 0 and 1; it is equal to 0 when there are no inequalities, and increases with inequality, to reach 1 when one individual earns the entire income of the society.

a strong effect, justifying the need for extensive analysis of the effects of urban transitions.

Second, we assume that the city government has decided to implement a transportation tax [Collier and Loefstedt(1997)], that will represent a 50% increase in transportation costs in year 2050. Before this date, the implementation path is freely chosen by the government, and we investigate the advantages of early and smooth, vs. late, and aggressive action. Early implementation allows to cope with the inertia of several mechanisms; however, it imposes an early constraint on economic agents, which may worsen the situation compared to late implementation. We find that there exists an equity vs. efficiency trade-off, since implementing the signal-price in less that 20 years may reduce welfare costs compared to early implementation, but entails significant anti-redistributive effects. These results show that a part of the population is strongly impacted by the changes in urban systems, and could be deeply opposed to these changes. The taking into account of this mechanism may be as important for policy design as the aggregate economic costs.

The remainder of this paper is as follows : Section 8.2 is a brief reminder of the classic urban model *à la* Von Thuenen. In Section 8.3, we present the NEDUM model, that is exposed in details in the Appendix A and B. Section 8.4 investigates the effects of a shock on transportation costs, and Section 8.5 analyses various implementation paths of a given transport taxation level. Finally, Section 8.6 concludes and provides insights for future research.

8.2 The traditional equilibrium urban model

In this section, the general features of the classical static equilibrium framework describing urban systems are recalled. We do it briefly because it is a traditional model, which reproduces some well established stylized observations about cities [Wheaton(1974)]. A more detailed description can be found for instance in [Fujita(1989)].

In this stylized monocentric city, housing is organized around a Central Business District (CBD). A given number N of identical households inhabits the city : in each household there is one worker commuting every day to and from the CBD, earning the same income, of which they derive the consumption level c. Transportation costs with respect to the distance r from the CBD are given, while housing rents are endogenous, and ensure that identical households reach the same utility level at the equilibrium, even though they live at different locations. Household behavior is driven by the maximization of a utility function $U(z, q)$ describing preferences for the consumption of composite goods z and housing service q :

$$\max_{r,z,q} U(z, q) \tag{A-1}$$

s.t.

$$z + R_H(r)q \leq c - T(r) \tag{A-2}$$

Equation (A-2) is the budget constraint of the household, and the composite goods is chosen as the numeraire. The variable $R_H(r)$ is the rent level per unit of housing service at distance r from the CBD.

CBD	Central Business District, where firms are located	r	distance from CBD
q	housing service per household	$h(r)$	housing service density
z	composite goods	k_H	housing capital density
$\mathsf{Land}(r)$	land surface at distance r	K_H	housing capital stock
$n(r)$	density of households at distance r	$T(r)$	transportation costs
c	consumption per capita	r_f	city radius
$R_H(r)$	unit housing service rent	R_a	agricultural land rent
$H(r)$	housing service at distance r	N	number of households
$U(z,q)$	utility function of a household	u	utility level
$x^*(r)$	optimal capital to land ratio	ρ	interest rate
$F(K,L)$	housing service production function		

TAB. 8.1 – Nomenclature for the traditional Von Thuenen model.

We use a production function of housing service $F(K,L)$ *à la* [Muth(1969)] : this function F takes capital K and land L as inputs, and is linear. We specify the housing service density $h(r) = H(r)/\mathsf{Land}(r) = f(x^*(r))$, where $x = K/L$. The function f is defined by $f(x) = F(1,x)$, and the superscript "*" denotes equilibrium values.

Generalized transportation costs are represented by the function $T(r)$, that takes into account the cost of transportation itself as well as the cost of the time spent in commuting, which otherwise could have been devoted to work.

Table 8.2 presents the standard nomenclature we use, while Eqs. (A-1) to (A-7) describe the basic relationships of the classical urban modeling framework.

$$\max_{K_H} \; R_H(r)F(L,K_H) - \rho K_H \tag{A-3}$$

$$k_H(r) = \frac{K_H}{L}(r) = \mathsf{argmax}\,[R_H(r)F(1,x) - \rho x] \tag{A-4}$$

$$H(r) = \mathsf{Land}(r) \cdot F\Big(1, k_H(r)\Big) \tag{A-5}$$

$$R_H(r) = 0 \text{ pour } r \geq r_f \tag{A-6}$$

$$N = \int_0^{r_f} H(r)/q(r)dr \tag{A-7}$$

A classic result of urban microeconomics [Fujita(1989)] is that if available land $\mathsf{Land}(r)$ is continuous and positive for all $r > 0$, and if the consumption per capita c, the number of inhabitants N, transportation costs $T(r)$ and the interest rate ρ are given, then Eqs. (A-1) to (A-7) define a unique utility equilibrium level u^*, homogenous in the whole city.

In Section 8.3, this framework is adapted so as to represent realistic urban dynamics.

8.3 Non Equilibrium Dynamic Urban Model

The monocentric model has been mostly used to explore the characteristics of long run equilibriums. The existence of urban stationary equilibriums, however, is questionable : in cities, some important economic variables vary in the short run, while other features of the city cannot adapt rapidly to changing conditions. Income and transportation costs, for example, evolve much more rapidly than housing infrastructures, which need several decades to be replaced. It is, therefore, very likely that the history of urban systems cannot be analyzed as a succession of stationary states, but requires a non stationary approach : assessing the effects of a policy that is supposed to change the city requires to account for the existence and specificities of transitions.

We propose here a model that is able to capture the dynamics of urban systems, and the importance of infrastructure and behaviors inertia. At the microeconomic level, we identify four key mechanisms that drive urban dynamics, and describe them in the following sections. Moreover, we ensure that NEDUM takes the main macroeconomic feedbacks into account.

A complete description of the model, with the full set of equations, is available in Appendix A. The nomenclature is summarized in Tab. 8.2, and presents the new variables that were not in the traditional monocentric model.

8.3.1 Households behavior

We assume that households respond to a given rent curve $R_H(r)$ in two ways :

- Households living at location r adjust their housing service consumption per capita, so as to increase their utility level $u(r)$: taking rent level $R_H(r)$ as given, households increase or decrease the size of their flats so as to equalize the marginal utility of housing service consumption and composite goods consumption. Adjustment in housing service consumption per capita is also done through changes in the size and composition of households, *e.g.* through changes in collocation practices, or changes in the age at which children leave their parents' home.
- Households can change locations : households living at location r may choose to stay, or to move to another location r', while households living at other locations may move to location r. We assume that households decide to move by comparing local utility levels $u(r)$ with the average utility level $\overline{u}$ throughout the city : households living at locations where $u(r) < \overline{u}$ are attracted to places where $\overline{u} < u(r)$.

The processes considered here are, of course, active in parallel : changes in flat sizes occur simulatenously withy location changes, when households move from one flat to another. The changes are physically constrained by the characteristics of housing service supply : households can move only if there are unoccupied flats at their desired location ; they can increase the size of their flats only if there is a local excess of housing service supply. These two mechanisms are the basis of local changes in demand for housing service (see Section 8.3.2).

Most importantly, moves of households and changes in the sizes of flats cannot happen instantaneously, for instance because it takes time to find a new place to live. The respective inertias of these mechanisms are accounted for by specific characteristic timescales τ_q and τ_n.

The intensity of these mechanisms depend in each case on the increase in utility level that households expect from these evolutions : the higher is the relative difference between $u(r)$ and $\overline{u}$ for instance, the more numerous are households willing to move to location r.

8.3.2 Rent curve dynamics

Rent level $R_H(r)$ changes in reaction to local supply of housing service $H(r)$ on the one hand, and local demand of housing service on the other hand : this demand is expressed by the number of households $n(r)$ living at this location, and consuming an amount of housing service $q(r)$, and by the number of households willing to move to or from this location :

- The rent level decreases if local demand is inferior to local supply, that is, if existing buildings are not fully occupied.
- If buildings at location r are fully occupied, rent levels increase if households living there want to increase their consumption of housing service, or if there are households living at other location that are willing to move at location r.

The orders of magnitude of these evolutions are determined by the relative difference between local demand and supply of housing service. Moreover, we assume that, for institutional reasons, housing rents do not clear the housing market instantaneously[2]. The inertia of rent levels evolution is characterized by the timescale τ_R.

8.3.3 Capital and investments

In urban systems, buildings depreciate, and are renewed or constructed in reaction to rents and local demand for housing. These investments have a cost, and can have a crowding-out effect on other investments.

We add, therefore, to the monocentric model a description of capital stock evolutions in the housing and productive sectors. Investments are directed towards these two sectors. In the housing sector, investments are directed towards specific locations. The interest rate clears instantaneously the financial capital market. This macroeconomic feedback allows for the description of crowding-out of productive investments by housing investments.

Since construction takes time [Kydland and Prescott(1982)], financial investments are transformed into productive units or into buildings with a time lag. In each sector, the timescales of this transformation of pending investments into effective investments are respectively τ_k and τ_h.

8.3.4 Specific functional forms and calibration

In Appendix B, we show that, under standard conditions on general functional forms, NEDUM has one and only one stationary state, which recovers the classic equilibrium of the Von Thuenen framework. In the present section, we calibrate the model and explore the properties of NEDUM for a circular city, by adopting classic Cobb-Douglas functional forms

[2]For instance, in France, rents are strongly regulated over 3-year periods.

for the utility function, the housing service production function, and the composite goods production function. We assume the generalized commuting costs to increase linearly with distance from the CBD. We reproduce in Appendix B the calculations that describe this stationary equilibrium with the specific functional forms we adopt.

We calibrate separately the set of parameters that determines the equilibrium state, and the set of parameters that only concerns the dynamics.

Equilibrium : the parameters of our model are calibrated so that, at equilibrium, it reproduces the characteristics of Los Angeles County. Of course, such a calibration is rough, if only because the L.-A. economy is open, while we do not take into account investment coming from or going outside L.A.. In 1999, 4.3 millions workers were living in this city, and they earn a \$20 700 yearly per capita income (data U.S. Census Bureau 1999). The transportation price is calibrated using 1999 gasoline prices (*i.e.* 32 cents per km on average, data American Automobile Association 1999). Concerning the utility function, we chose β so that housing expenditures represent 30% of households budget at equilibrium. Concerning macroeconomic feedbacks, we used for calibration the aggregate American investment rates. This lead us to an investment rate $s = 19\%$ (data Bureau of Economic Analysis 2006). We carried out systematic sensitivity analysis on these parameters, and found that the qualitative results presented in the remainder of this paper are quite robust.

Dynamics : calibration of parameters τ_n, τ_R and τ_q is particularly difficult. We found, however, that their values, as long as they remain in a reasonable range of values, do not modify the qualitative results nor the orders of magnitude of the quantitative results of our paper. Typical values are explored : we consider $\tau_n = \tau_R = \tau_q = \tau = 10$ years. These long response times account for the net flows in the city, and not for all individual moves or changes. A systematic sensitivity analysis was carried out with τ comprised between 3 years and 20 years. We show some of these sensitivity analysis below. The results are also robust with respect to changes in τ_k and τ_h, that can be approximated in an easier way, since they correspond to the construction duration of production units and buildings.

8.4 Dynamic analysis of a shock on transportation costs

In this section, we explore the effects of a shock on transportation prices. We assume that the initial state of the city (time $t = 0$) is the stationary equilibrium described in Appendix B. Variables in the initial (resp. final) state are noted with a subscript "$_i$" (resp. "$_f$"). We assume that in three years, starting at time T, transportation costs undergo a 50% increase, jumping from p_i to $p_f = 1.5p_i$. We then use NEDUM to investigate how the city reacts to this shock.

In our numerical simulations, the city converges towards the stationary equilibrium corresponding to transportation costs p_f. This convergence, as is shown below, is very slow, and its slowness is a robust feature of our numerical simulations. Most importantly, our simulations allow to differentiate the situations with respect to space. At each location, we study the path followed after the shock by the economic system, from one stationary equilibrium to another.

8.4.1 Average utility level

The stationary equilibrium of our model verifies the classical results of comparative static analysis in urban economics [Wheaton(1974)]. Following the shock in transportation costs, hence, the city concentrates towards the CBD. Rents increase near the CBD, and decrease at the outskirts. In the long run, consumers' utility decreases : after 150 years, average utility level $\overline{u}_{150}$ is 16% lower than initial utility $\overline{u}_i$ (see Fig. 8.1). At this date, the final equilibrium has almost been reached.

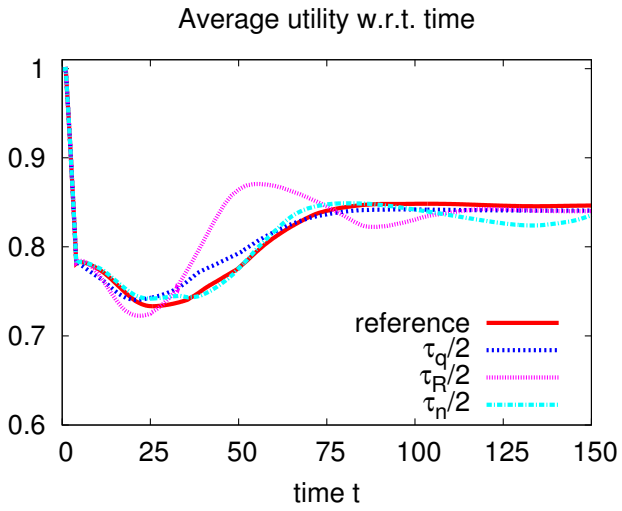


FIG. 8.1 – The evolution of $\overline{u}$ with respect to time. Each curve corresponds to different values of the timescales τ_n, τ_R and τ_q (index $\overline{u} = 1$ at time $t = 0$).

During the transition period, housing is not adapted to the new economic conditions, and the situation of the city inhabitants is significantly worsened, compared with the final stationary equilibrium. Figure 8.1 shows that, 25 years after the shock, the aggregate utility level in the city reaches a level which is 27% lower than the initial utility, and 12% lower than the final one. The order of magnitude of transition impacts and the length of this period are quite robust to changes in the timescales τ_n and τ_q, which are successively divided by 2 in Fig. 8.1 : in all cases, the average utility level in the city stays under 80% of its initial level for approximately 60 years. A division by 2 of the timescale τ_R has a slighlty different effect on the dynamics of the system : the average utility level goes faster above the 80% value, though the length of the transition is roughly the same.

The aggregate effects of a shock on transportation costs, indeed, stem from the interaction of microeconomic behaviors : facing new, higher transportation costs, people want to move closer to the CBD. Before the moves actually occur, rent levels and flats' sizes have to change to create room for inhabitants willing to move. Over the longer term, the density of housing service supply (of which the height of the buildings is a good proxy) will also be adapted to the new conditions.

Simulations with NEDUM show that the duration of the transition depends mostly on the extent to which housing infrastructure is ill-located : it takes a long time to collect and direct great quantities of capital towards the locations where new housing is needed. In a non anticipating framework, actors need a signal before expressing a new demand. The reaction of the market depends on :

- the time scales τ_n, τ_R, and τ_q ;
- parameters of the housing procution function $F(K, L)$, and the investment capacity of the whole economic system.

The timescales of the latter mechanism are driven by the Cobb-Douglas housing production function $F(K, L)$, the composite goods production function $Y(K, N)$, and the investment rate s. Providing adequate housing investment is much longer than the phenomenons driven by τ_n, τ_R, or τ_q, and is, therefore, the mechanism responsible for the 30 years period. In the sections below, we enter the details of this ill-adaptation through time and space.

8.4.2 Spatialized adaptation

Initial location choices of households were subjected to initial transportation price p_i and the initial rent levels throughout the city (see Eq. (A-2)). As transportation costs get higher, households are willing to move closer to the CBD to spend less on transportation. As a consequence, rent levels go higher in central locations. The left panel of Fig. 8.2 shows that 5 years after the shock, rents close to the CBD have already increased, and are close to their final level. However, rents have not changed far from the CBD : population density has not changed, even though households are willing to leave these locations. They have, indeed, to stay there since there is no unoccupied flat yet in the central buildings to allow their moves (see the right panel of Fig. 8.2).

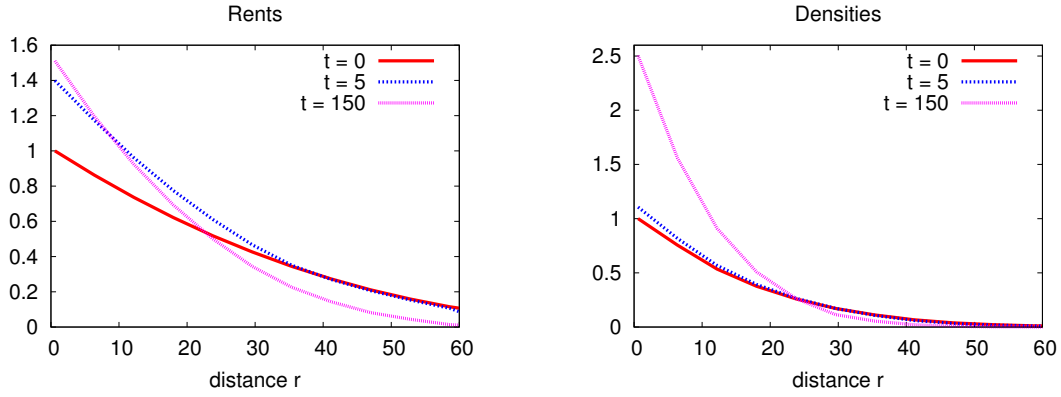


FIG. 8.2 – Left : rent curves $R_H(r)$ before the shock, 5 years after the shock, and 150 years after the shock (index $R_H(0) = 1$ before the shock). Right : density curves $n(r)$ before the shock, 5 years after the shock, and 150 years after the shock (index $n(0) = 1$ before the shock).

Of course, rent levels feedback to the rest of the system :

- Housing construction is enhanced in the city center.
- Rent levels also constrain households living close to the CBD to reduce their housing service consumption per capita, thus letting more space for households willing to move in.

Figure 8.3 shows that 15 years after the shock, many moves have occurred. At this date, since households have left the outskirts of the city, rents are almost at their final level at all locations. The dynamic of rents and moves, therefore, is almost completed in 15 years.

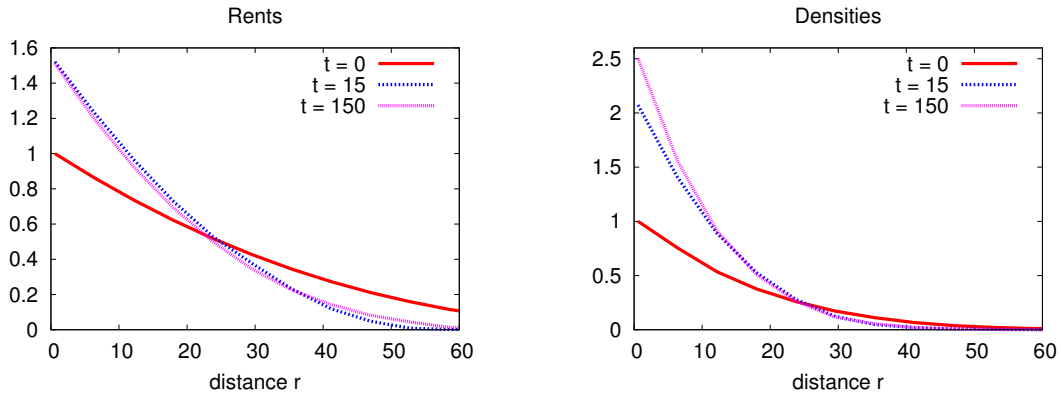


FIG. 8.3 – Left : rent curves $R_H(r)$ before the shock, 15 years after the shock, and 150 years after the shock (index $R_H(0) = 1$ before the shock). Right : density curves $n(r)$ before the shock, 15 years after the shock, and 150 years after the shock (index $n(0) = 1$ before the shock).

It is not the case, however, for construction. Construction demands a large amount of capital, and it takes time for the housing capital stock to reach the appropriate level. As a consequence, compared to the final equilibrium, the supply of housing service is still not concentrated enough 15 years after the shock, which explains the low level of average utility during the transition period : housing service consumption per capita depends on housing supply, which has not reached its final level as long as housing service supply is not at a stationary state.

8.4.3 Redistributive consequences

The transition is very differentiated with respect both to time and space : we considered a stationary equilibrium as the initial state of our system. In this situation, all households earn the same income, and they reach the same utility level : $u(r) = \overline{u}$ at all locations. After the shock, however, $u(r)$ is not the same anymore throughout the city. Households located far from the CBD have to put up with very high transportation costs, but do not see their rents decrease immediately. The shock, therefore, impacts them strongly. The left panel of

Fig. 8.4 shows that, 10 years after the shock, those living at 50 km from the CBD can lose up to 38% compared to their initial utility level.

Meanwhile, households living closer to the CBD use less transportation for commuting. The initial losses are, therefore, not so big for them, amounting to merely 4% of the initial utility level 10 years after the shock. Later, they get worse as rents increase because of the increased demand at their location. Of course, all utility levels converge in the long run towards a common value. This convergence is very slow, as illustrated by the left panel of Fig. 8.4; this slowness is partly due to the fact that, as utility levels $u(r)$ get closer to $\overline{u}$, incentives to move diminish (see Eq. (A-21)).

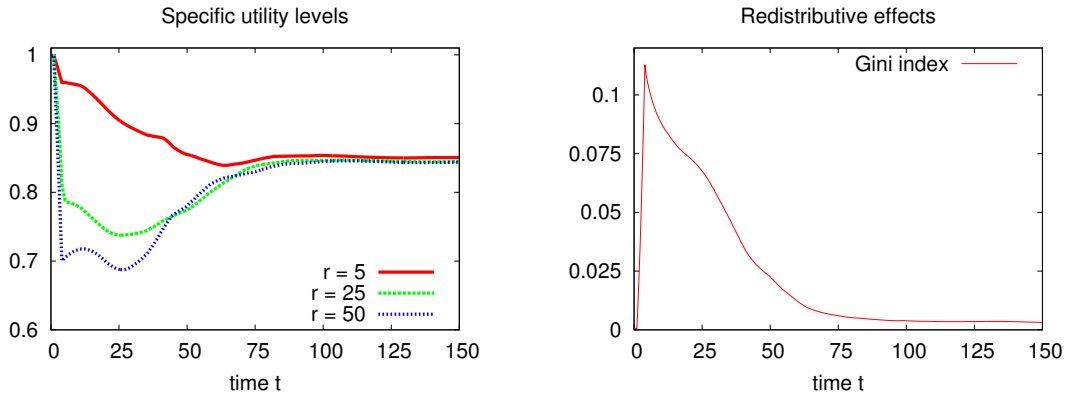


FIG. 8.4 – Left : evolution of utility levels with respect to the time, at locations 5 km, 25 km, and 50 km in the city (index $u = 1$ before the shock) for 150 years after a shock in transportation costs. Right : evolution of the gini index characterizing inequalities of utility levels in the city.

The redistributive effects are far from negligible. The right panel of Fig. 8.4 shows that the Gini index jumps from 0 to 0.12 right after the shock. This difference means that a part of the population would be very strongly impacted by the shock, since these jumps of the Gini index are very important. For instance, according to [Watkins et al.(2006)], at the national levels, Gini indexes of the US, the UK, and in France, are respectively 0.40, 0.36, and 0.32 : those three countries have Gini indexes that are comprised in a 0.08 wide range of values.[3] In our simulation, during the transition period, the Gini index decreases as the adaptation mechanisms (moves, changes in the sizes of flats, changes in the rent levels, construction) enter into action : with our calibration, it stays above 0.02 during 50 years. After this transition, the decrease of the Gini index back to zero is slower, for the reason already mentioned (*i.e.* the form of the weighting functions).

[3]Of course, Gini indexes can be far higher. Brazil's Gini index, for instance, reaches 0.58.

8.4.4 Crowding-out effect and macroeconomic feedbacks

The need to invest into reconstruction enhances the negative impacts of the transition through crowding-out effects : as rents close to the CBD increase, housing service production gets more profitable, and investments are directed towards the production of housing service at those locations. As a consequence, capital is more sought after by investors, and the interest rate increases by almost 0.25 points (see the right panel of Fig. 8.5). On the long run, however, the rate of interest asymptotically returns to its initial level. Meanwhile, there is a crowding-out effect of productive investments by housing investments, and 36 years after the shock, the production of composite goods has decreased by 1.2% (see the left panel of Fig. 8.5). Given its timing, and even though the aggregate product returns to its initial level in the long run, this effect is important : household income decreases in the same time as they face a shock on transportation costs.

It is noteworthy that, in the real world, the same mechanism that increases the cost of capital should also apply to labor. Following increased profitability of housing service production, wages go up in this sector, inducing the workers to switch from the productive sector to the construction sector. Comparable mechanisms occur after a disaster, when reconstruction needs make the wage of qualified workers increase by up to 40%. This phenomenon would enhance the cost of crowding-out effects. For simplicity's sake, however, we assumed that wages were fixed, and that all workers were employed in the productive sector.

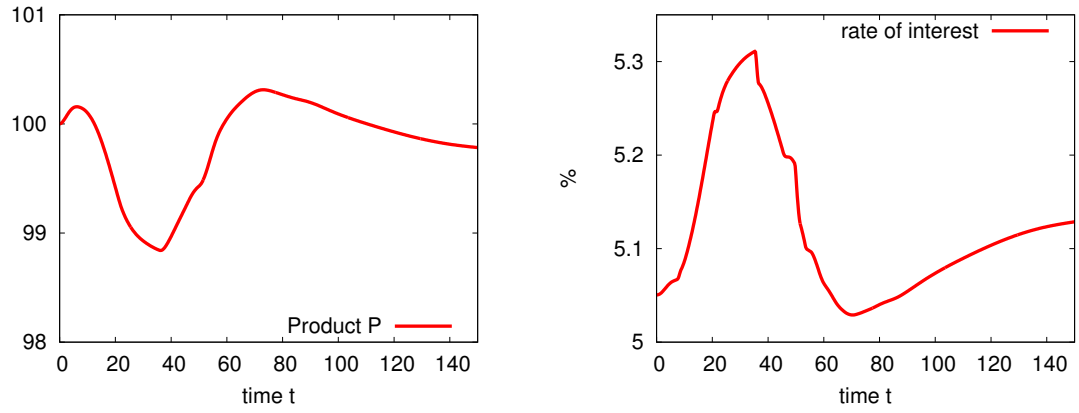


FIG. 8.5 – Evolution of the economic output with respect to time (index $Y = 100$ before the shock), and of the rate of interest ρ.

8.5 Sending a signal-price : when late is too late

In this section, we assume that the government has decided to set a given tax level on transportation in year 2050. This situation may arise for instance in the framework of climate negotiation, if international agreements are reached on the marginal cost of carbon emissions

and its internalization through a carbon tax. We consider year 2050 because it may be the case that marginal carbon prices reach high level by then, and because it is far away in time. It allows, therefore, to analyze the importance of the implementation rythm of the signal-price over long periods of time.

8.5.1 Early versus delayed action

We assume that the policy works as follows :

- when a transportation tax is implemented, workers have to pay an increased transportation cost $T(r) = (p + \tau)r$. The product of the tax, namely $\pi = \tau \int_0^{r_f} n(r)rdr$, is lump-sum redistributed to the workers, who use it for consumption.
- The government chooses to increase linearly the tax level $\tau(t)$ from its initial level $\tau_i = 0$ to its final level $\tau_f = p/2$. The slope of this increase depends on the year the government chooses to start the implementation of transport taxation.

We study implementation periods that run from 60 years down to 0. Thus, latest implementation begins in year 2050, while earliest implementation begins in year 1990. We consider such an early anticipation, since high levels of transport taxation already exist in some countries, even though in year 1990 those tax levels were not related to climate policies.

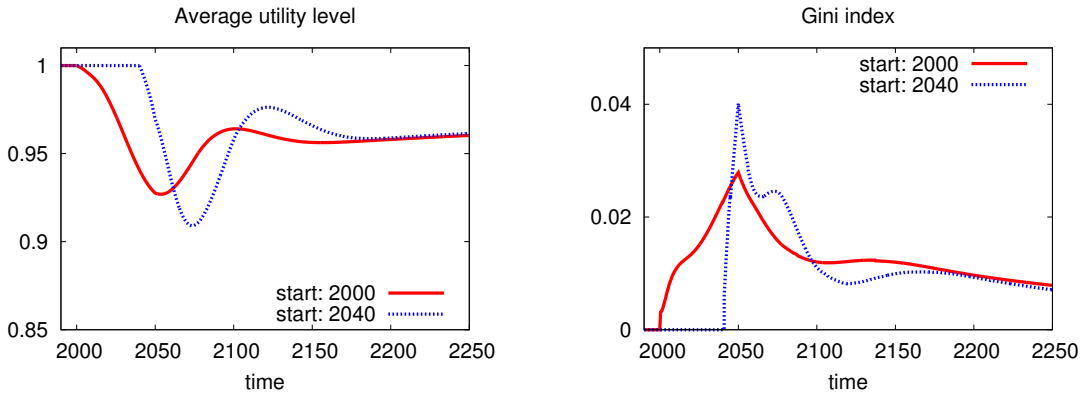


FIG. 8.6 – Left : average utility level with respect to time, for policies starting in year 2000 and year 2040 (index $u = 1$ in year 1990). Right : Gini index with respect to time for policies starting in year 2000 and year 2040.

We estimate these various policies over the long run, namely until year 2250. This very long period is necessary since the return to the stationary equilibrium is very slow. At this date, different paths have lead to almost identical situations, and that the situation of the urban system is almost independant of the implementation policy (see Fig. 8.6).

8.5.2 Welfare losses

It is difficult to predict *a priori* which type of implementation (early or late) is likely to be the less costly. Smooth implementation makes inertia in the urban system less detrimental, but does not suppress completely its effects. Early implementation induces the system to converge sooner towards a stationary state that is under-optimal, at least if the impacts of carbon emissions on the environment and the economy (*i.e.* the benefits of the policy) are not taken into account. With this limited conception of welfare, an early implementation leads to welfare losses which are accumulated over a long period of time (as soon as the policy begins). Late implementation, on the other hand, induces more abrupt welfare losses, that are more concentrated in time. As an illustration, Fig. 8.6 shows the average utility level for a "smooth" policy, starting in year 2000, and an "aggressive" policy, starting in year 2040.

We compare these costs to a baseline scenario where no action is implemented at all. According to our simulations (see the left panel of Fig. 8.7, where each curve corresponds to different values of the model parameters), welfare costs can represent a 3.8% to 2.1% loss over the entire period. These relatively high losses are due to several factors, some of which are not taken into account in published assessments of mitigation costs [Weyant et al.(2006), Edenhofer et al.(2006)] : (1) consumers spend more money in transportation for a given commuting distance ; (2) they live in smaller flats because of the higher burden from transportation costs ; and (3) the preexisting spatial distribution of flats is ill-adapted during the transition.

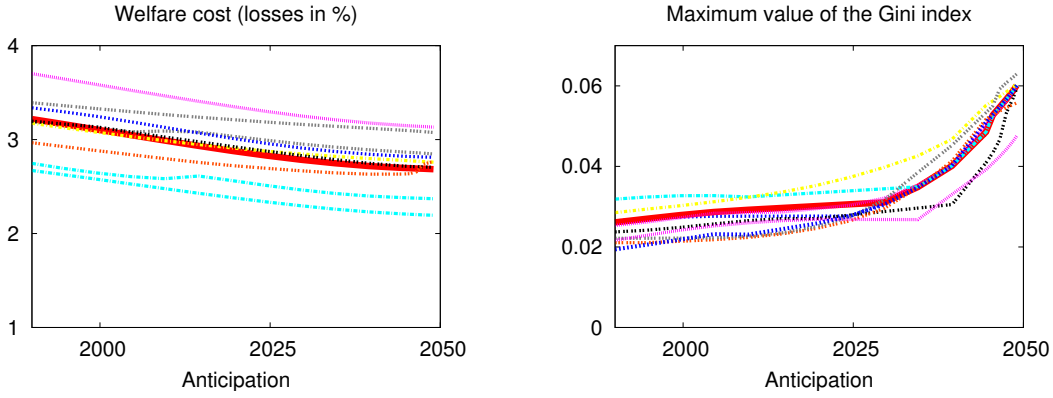


FIG. 8.7 – On these two panels, each curve is related to a sensitivity test to a given parameter. We show curves corresponding to a wide range of values of τ_R, τ_q, τ_n, a, and δ_H. The curve corresponding to the central values of these parameters is the bold red curve. Left : the welfare costs of tax implementation, with respect to the year of implementation. Right : the maximum value reached by the Gini index during the transition, depending on the year of implementation.

Simulations show that welfare costs decrease when the action is delayed. Thus, the gains

due to the neutralization of inertia effects are more than compensated by the increased losses due to the under-optimality of the final stationary state. Note, however, that this welfare assessment is not a cost-benefit analysis, since benefits are not taken into account. Meanwhile, we show here that, in assessing public policies, investigating aggregate effects is not enough, and the consequences in terms of inequality are also crucial.

8.5.3 Redistributive effects

The influence of early action on inequality is not ambiguous. The maximum value reached by the Gini index increases when implementation is delayed (see the right panel of Fig. 8.6 for an illustration).

Most importantly, redistributive effects are non-linear with respect to the year of implementation. On the right panel of Fig. 8.7, each curve corresponds to different values of the parameters we use in NEDUM. Each point of one of these curves shows, for a given year of implementation, the maximum value of the Gini index that will be reached during the whole following implementation period. For instance, if the tax is implemented in year 2020 and induces a maximum value of the Gini index 0.024, reached in year 2037 (see right panel of Fig. 8.6), then the point $(2020; 0.024)$ belongs to the curve. We consider the maximum value of the Gini index since it is a good indicator of the redistributive impact of a policy.

Two features can be derived from the analysis of these redistributive effects.

- For all the sensitivity tests we performed, the maximum value of the Gini index remains very close to 0.02 as long as the implementation period begins before year 2015.
- This is clearly not the case anymore if the urban policy begins after year 2020 : the spectrum of values of the Gini index gets larger, and increases rapidly. Late implementation, starting in year 2049, induces maximum values of the Gini index that range from 0.05 to 0.08, which is clearly a major disruption of the social situation.

As a consequence, delaying the tax implementation from year 2015 to year 2049 induces a decrease in welfare losses by 1 point, but causes Gini index to reach a very high level. This is an equity vs. efficiency trade-off that cannot be easily resolved. For instance, using the tax product to compensate households living far from the center, rather than lump-sum distributing this product, would distort the signal being sent to households, and limit the efficiency of the policy. Indeed, the tax is meant to internalize the costs of carbon emissions and decrease mobility demand, which cannot be done without creating inequality. Doing so smoothly, however, reduces the redistributive shock.

8.6 Conclusion

8.6.1 Summary

This paper presents a new model, NEDUM, as a support for urban dynamic and policy analysis. Without pretending to produce precise cost estimates, this model allows for the analysis of stylized dynamic effects, and the assessment of the orders of magnitude that are

specific to transitions. We focus on the importance of inertia in infrastructures renewal, in households moves, in changes in the sizes of flats, and on stickiness of housing rents.

In the long run, the average utility level decreases since consumers spend more money in transportation, and live in smaller flats. In the short- and medium-run, we show that transitions are characterized by significant impacts on welfare : after a 50% shock in transportation costs, losses in average utility are significantly larger during the transition than in the long run stationary state. This is due mostly to the adaptation pace of the urban system to the new transportation costs. These inertia effects are worsened by the crowding-out effect of investments from the productive to the housing sector, following reconstruction needs : production of composite goods is decreased by as much as 1.2% during the transition. Taking into account these mechanisms may change significantly the assessment of GHG stabilization strategies, compared with published assessments, see *e.g.* [Weyant et al.(2006)] or [Edenhofer et al.(2006)].

Our study of a tax implementation shows, however, that it is possible to smooth out the impacts of transitions through time, but on the whole, this kind of early action does not necessarily compensate the fact that welfare losses begin earlier, as implementation starts. Utility changes are strongly differentiated in time and space, and transition is a significant phenomenon (lasting approximately 30 years in our examples), that cannot be ignored, especially from the redistributive point of view.

Because of inertia, changes in urban transportation systems have significant redistributive effects. The reason is that the demand for transportation is differentiated in space. Thus, location matters : even though all utility levels in our imaginary city are eventually equal, there exist non-trivial paths between the utility levels immediately after the shock and the final utility u_f. Following an increase in transportation costs, consumers living far from the CBD have a strong burden to cope with, and cannot move immediately to locations where their utility level would be higher, because housing is not available close to employment centers.

The magnitude of the redistributive effects is directly related to the aggressiveness of the change, *i.e.* the amplitude of the modifications, and their pace. Considering the implementation of a carbon tax, for instance, we find that there exists a trade-off between equity and efficiency, and that the vulnerability of urban systems to redistributive effects increases non-linearly as the implementation duration is reduced.

As a consequence, delaying implementation of a carbon tax by 35 years may reduce welfare losses by 1 point of percentage, but might also cause significative redistributive changes. In fact, if the tax is intended to reduce greenhouse gas emissions, early implementation induces also earlier reductions : this aspect increases the efficiency of the tax compared to our simulations, but does not change the redistributive effects. As a consequence, assessing the effects of an urban policy requires the taking into account of all these evolutions leading to the final equilibrium, under the constraints imposed by our general equilibrium framework.

8.6.2 Discussion

It is noteworthy that most policy-makers are elected for short timescales (typically, inferior to 5-10 years). Hence, even if they do take into account the long term benefits of their decisions, they are very sensitive to short-term effects. Considering a carbon tax implementation for instance, they would be reluctant to implement transportation policies with such kind of negative transition effects, especially when some households are particularly impacted. Therefore, regarding the design of urban or climate policies, inequalities are likely to be at least as important implementation obstacles as welfare losses. If a carbon tax is considered as necessary in year 2050, waiting until 2049 to implement it is a dangerous solution. It is important, therefore, that international negotiations take this aspect into account, ensuring that smooth implementation path of the signal price are favored.

Of course, things are more complex in the real world, and transition effects depend on the specific features of each city. NEDUM is only a first step towards a dynamic assessment of urban changes, and this first version has several limitations. Of course, the usual limitations involved in an analysis based on the classic Von Thuenen model are also present[4], though it seems at first view that they would interfere only marginally with our results. Main differences with the real world are the existence of several employment centers, the taking into account of congestion in transportation systems, and the co-existence of several transportation systems. There are, however, other limitations to our model, that may be more important, and constitute a program for future research.

The first question NEDUM should be able to tackle next is the importance of anticipations : our assumption of agents' myopia was an extreme one. In the real world, agents have expectations, either false or true, and these anticipations influence the functioning of the whole system as well as the pace of changes. It is particularly important to include these aspects in NEDUM so as to be able to analyse commitment problems on behalf of the governement, and the possibility of time-inconsistent taxation patterns.

Second, another important dynamic aspect is absent from our economy : population change and economic growth has not been taken into account. Clearly, growth modifies the impacts of changes in the transportation system, since economic conditions evolve continuously. Though the value of welfare losses would be impacted, it is likely, however, that the sensibility of redistributive effects to the pace of changes would not be very different than in a world without growth : spatial discrimination would still exist.

Third, destruction costs are likely to be important, and interplay with depreciation rates of buildings, which are very different in each country. We did not take into account an accelerated rate of building turnover. It is likely that this timescale influences strongly the vulnerability of urban systems to changes, and their capacity for adaptation.

Also, all households do not earn the same income in the real world. It is likely that in American cities, where low income workers usually live in the center while rich households live at the outskirts, the Gini index would reach a different level, and may even go down. In European cities, where city centers are mostly inhabited by rich households, the Gini index

[4]Except for the most important macroeconomic feedbacks, which are present in NEDUM.

would probably go even higher. In both types of cities, anyway, important redistributive effects would occur, and their taking into account should be a priority in policy design.

Bibliographie

[Alonso(1964)] Alonso, W., 1964. Location and Land Use. Harvard University Press.

[Anas(1978)] Anas, A., 1978. Dynamics of urban residential growth. Journal of Urban Economics 5, 66–87.

[Brueckner(2000)] Brueckner, J. K., 2000. Economics of Cities — theoretical perspectives. Cambridge University Press, Ch. 7, pp. 263 – 289.

[Capozza and Helsley(1990)] Capozza, D. R., Helsley, R. W., 1990. The stochastic city. Journal of Urban Economics 28, 295–306.

[Collier and Loefstedt(1997)] Collier, U., Loefstedt, R. E., apr 1997. Think globally, act locally ? local climate change and energy policies in sweden and the uk. Global Environmental Change 7 (1), 25–40.

[Edenhofer et al.(2006)] Edenhofer, O., Lessmann, K., Kemfert, C., Grubb, M., Kohler, J., 2006. Induced technological change : Exploring its implications for the economics of atmospheric stabilization : Synthesis report from the innovation modeling comparison project. The Energy Journal Special Issue nÂř4 27, 57–108.

[Fujita(1989)] Fujita, M., 1989. Urban Economic Theory — Land Use and City Size. Cambridge University Press.

[Gusdorf and Hallegatte(2007)] Gusdorf, F., Hallegatte, S., 2007. Behaviors and housing inertia are key factor in determining the consequences of a shock in transportation costs. Energy Policy 35, 3483–3495.

[Kydland and Prescott(1982)] Kydland, F. E., Prescott, E. C., nov 1982. Time to build and aggregate fluctuations. Econometrica 50 (6), 1345–1370.

[Mills(1967)] Mills, S. E., 1967. An aggregative model of resource allocation in a metropolitan area. The American Economic Review 57 (2), 197–210, papers and Proceedings of the Seventy-ninth Annual Meeting of the American Economic Association.

[Muth(1969)] Muth, R. F., 1969. Cities and Housing — The Spatial Pattern of Urban Residential Land Use. The University of Chicago Press.

[Rotmans et al.(1994)] Rotmans, J., Hulme, M., Downing, T. E., jun 1994. Climate change implications for europe - an application of the escape model. Global Environmental Change 4 (2), 97–124.

[Srinivas(2000)] Srinivas, H., oct 2000. Focusing on the real environmental culprits âĂŤ urban areas unu's city inspirations initiative. Global Environmental Change 10 (3), 233–236.

[Tulkens and Tulkens(2006)] Tulkens, P., Tulkens, H., june 2006. The White House and the Kyoto Protocol : Double Standards on Uncertainties and their Consequences, FEEM Working Paper, available on line at http ://www.feem.it.

[Von Thuenen(1826)] Von Thuenen, J. H., 1826. Der Isolierte Staat in Beziehung auf Landwirtschaft und Nationaloekonomie. Perthes.

[Watkins et al.(2006)] Watkins, K., Carvajal, L., Coppard, D., Fuentes, R., Ghosh, A., Giamberardini, C., Johansson, C., Seck, P., Ugaz, C., Yaqub, S., 2006. Human Development Report : 2006. Tech. rep., United Nations Development Programme.

[Weyant et al.(2006)] Weyant, J. P., de la Chesnaye, F. C., Blanford, G. J., 2006. Overview of emf-21 : Multigas mitigation and climate policy. The Energy Journal Special Issue nÂř3.

[Wheaton(1974)] Wheaton, W. C., 1974. A comparative static analysis of urban spatial structure. Journal of Economic Theory 9, 223–237.

A Appendix : The Non Equilibrium Dynamic Model

This appendix sets the formal representation of the mechanisms we describe in Section 8.3. Table 8.2 summarizes the nomenclature for the new variables that were not presented in the traditional Von Thuenen model.

$Y(K,N)$	composite goods production function	$\widetilde{I_{fH}}$	financial investment in housing capital
δ_K	discount factor of the productive capital	$\widetilde{I_{fK}}$	financial investment in productive capital
δ_H	discount factor of the housing capital	S_H	stock of pending investments in housing capital
ρ	capital price		
θ	tax level	S_K	stock of pending investments in productive capital
π	tax product		
LI	Land Income	I_H	physical investment in housing capital
τ_R	timescale of rent evolution	I_K	physical investment in productive capital
τ_q	timescale of the evolution of housing service per capita	τ_h	timescale of the evolution of pending housing investments
τ_k	timescale of the evolution of pending productive investments	τ_n	timescale of moves

TAB. 8.2 – Nomenclature : new variables introduced in NEDUM.

A.1 Capital, and investment drivers

Production and consumption

While the income in Section 8.2 is exogenous, we specify here a production function Y, the inputs of which are labor N, and productive capital K :

$$Y = Y\big(K, N\big) \tag{A-1}$$

A constant part of the product is saved and shared between financial productive and housing investment (respectively $\widetilde{I_{fK}}$ and $\widetilde{I_{fH}}$), while the other part c is used by households for consumption. For simplicity reason, we assume that land is publicly owned : land incomes LI are collected by the government, and lump-sum redistributed to consumers, who use it for consumption.

$$\begin{aligned} s \cdot Y &= \widetilde{I_{fH}} + \widetilde{I_{fK}} \\ c &= (1-s) \cdot \tfrac{Y}{N} + \tfrac{LI}{N} \end{aligned} \tag{A-2}$$

Equilibrium in financial markets is ensured by the adjustment of the capital price, the interest rate ρ.

Productive investments

The variable K is the capital stock in the productive sector, and δ_K is the depreciation rate of capital. Firms seek to maximize their profits, and have a myopic behavior : they make investment decisions as if they were in a stationary state equilibrium. This leads to the financial investment $\widetilde{I_{fK}}$ in the productive sector :

$$\widetilde{I_{fK}} = \delta_K \cdot \arg\max_K [Y\big(N, K\big) - (\rho + \delta_K) \cdot K] \tag{A-3}$$

Physical construction requires time [Kydland and Prescott(1982)] ; thus, financial investments are transformed into productive capital with a time lag, corresponding to construction duration. We set S_K as the resulting stock of "pending investments" in productive capital. nd I_K is the real physical investment, which evolves according to the following equations :

$$\begin{aligned} \frac{dS_K}{dt} &= -I_K + \widetilde{I_{fK}} \\ I_K &= \tfrac{1}{\tau_k} \cdot S_K \\ \frac{dK}{dt} &= -\delta_K K + I_K \end{aligned} \tag{A-4}$$

Housing investment

Housing is produced using land and capital[5]. The modeling of investments in the housing sector is based on the same principles that drive investment in the productive sector. A little

[5]For simplicity's sake, labor is exclusively used for the production of the composite goods. This assumption is of course a limitation of the model : we chose to focus our analysis of crowding-out effects on capital rather than labor.

complication is added, however, due to the fact that the location of housing investments is driven not only by interest rate, but also by rent levels, which vary with location (see how the density of available housing service is linked to housing capital stock in Eq. (A-5)).

Investors owning land at location r are price-takers for rent levels and interest rate. They invest $I_{fH}(r)$ given by :

$$I_{fH}(r) = \delta_H \cdot \arg\max_{K_H(r)}[R_H(r) \cdot F(K_H(r), \mathsf{Land}(r)) - (\rho + \delta_H) \cdot K_H(r)] \tag{A-5}$$

This behavior leads to the aggregate demand for housing investment $\widetilde{I_{fH}}$:

$$\widetilde{I_{fH}} = \int_0^{r_f} I_{fH}(r)dr \tag{A-6}$$

As for productive capital, there is a lag between financial capital $\widetilde{I_{fH}}$, and physically invested capital I_H, a lag given by τ_h that corresponds to the time required to achieve construction of buildings :

$$\begin{aligned} \frac{dS_H}{dt}(r) &= -I_H(r) + I_{fH}(r) \\ I_H(r) &= \frac{1}{\tau_h} S_H(r) \\ \frac{dK_H(r)}{dt} &= -\delta_H K_H(r) + I_H(r) \end{aligned} \tag{A-7}$$

A.2 Households behavior

Housing service per household

We assume that households permanently adapt their housing-service consumption to prices variation. We set $\tilde{u}(q, r)$ the utility level reached by households living at a distance r from the CBD, as a function of housing service consumption q; at distance r the amount of composite goods consumed is strictly dependant on housing choices : $z = c - T(r) - R_H(r)q$. We have, therefore, $\tilde{u}(q, r) = U\Big([c - T(r) - R_H(r)q], q\Big)$. By using this function, we consider that households can adjust their level of housing service consumption so as to improve their utility.

Based on this relationship, at a given location, a change in housing service consumption per capita δq induces a change in utility : $d\tilde{u} = \Big(\frac{\partial \tilde{u}}{\partial q}\Big)dq$. If at location r, $\frac{\partial \tilde{u}}{\partial q} > 0$, it is indeed rational for those who live at this location to increase their consumption of housing service. Of course, an increase in housing consumption per capita is authorized if and only if such an increase is physically possible, *i.e.* if there is available housing at location r. Thus, the dynamics of $q(r)$ is given by :

$$\frac{dq}{dt}(r) = \begin{cases} \frac{1}{\tau_q} g\Big(\frac{\partial \tilde{u}}{\partial q}\Big) \text{ if } \psi(r) > 0 \\ 0 \text{ if } \psi(r) = 0 \end{cases} \tag{A-8}$$

where $g(x)$ has the same sign as its argument x, and increases with respect to x ; moreover, $\psi(r)$ represents the number of unoccupied flats at location r, calculated as :

$$\psi(r) = \frac{H(r)}{q(r)} - n(r) \tag{A-9}$$

Moves throughout the city

Consumers have the possibility to move and change location across the city. They are driven by the utility levels $u(r)$ that characterize locations. We set $\overline{u}$ as the average utility level of consumers throughout the city. At a given location r, two cases can arise, depending on the utility level $u(r)$.

- If $u(r) < \overline{u}$, households living at location r are willing to leave towards other locations. We set $m^-(r)$ as the number of households that are willing to move out :

$$m^-(r) = n(r) w^-(u(r), \overline{u}) \tag{A-10}$$

  In Eq. (A-10), the willingness to move from a location is larger if the gap between $u(r)$ and $\overline{u}$ is large, and w^- is a "weight" function depending on this gap : $w^-(u(r), \overline{u}) \in]0, 1[$, and w^- is a function that increases with respect to $\left|\frac{\overline{u}-u(r)}{\overline{u}}\right|$.

- If $u(r) > \overline{u}$, then households located at other locations are willing to move towards location r. We set $m^+(r)$ as the number of unoccupied flats at location r that are attracting households living at an other location. This attractiveness is larger if the gap between $u(r)$ and $\overline{u}$ is large :

$$m^+(r) = \psi(r) w^+(u(r), \overline{u}) \tag{A-11}$$

  In Eq. (A-11), $w^+(u(r), \overline{u}) \in]0, 1[$, and w^+ increases with respect to $\left|\frac{u(r)-\overline{u}}{\overline{u}}\right|$.

Based on Eqs. (A-10) and (A-11), the aggregate demand for moves and the aggregate supply of attractive, unoccupied flats, are given respectively by :

$$\widetilde{D} = \int_{u(r)<\overline{u}} m^-(r) dr = \int_{u(r)<\overline{u}} n(r) \cdot w^-(u(r), \overline{u}) dr \tag{A-12}$$

$$\widetilde{S} = \int_{u(r)>\overline{u}} m^+(r) dr = \int_{u(r)>\overline{u}} \psi(r) \cdot w^+(u(r), \overline{u}) dr \tag{A-13}$$

Households move only if they can increase their utility level, and if there is available housing at their desired destination. However, there is *a priori* no reason why the demand for moves should equal the supply of available housing. The relationships giving the moves $\mu(r)$ meet these physical constraints :

$$\mu(r) = \begin{cases} m^+(r) \cdot \min\left(1, \dfrac{\widetilde{D}}{\widetilde{S}}\right) & \text{if } u(r) > \overline{u} \\ -m^-(r) \cdot \min\left(1, \dfrac{\widetilde{S}}{\widetilde{D}}\right) & \text{if } u(r) < \overline{u} \end{cases} \tag{A-14}$$

The variable $d(r)$ represents the number of households that are attracted by location r. It can be greater than the number of moves $\mu(r)$, since the demand may exceed the supply of unoccupied flats :

$$d(r) = m^+(r) \cdot \frac{\widetilde{D}}{\widetilde{S}} \tag{A-15}$$

In Eq. (A-15), the coefficient $\frac{\widetilde{D}}{\widetilde{S}}$ represents the number of "candidates" per unoccupied flat. If aggregate demand is smaller than aggregate supply, not all available housings will find an occupier. If aggregate demand is greater than aggregate supply, then there are more potential moves than available housings, and not all consumers willing to move will find a new housing.

The number of households living at location r evolves according to the moves :

$$\frac{\partial n}{\partial t}(r) = \frac{1}{\tau_n}\mu(r) \tag{A-16}$$

A.3 Rent curve dynamics

In the classical Von Thuenen framework, housing market is at equilibrium thanks to the rent curve (cf. Section 8.2). It is not necessarily the case during transitions. In real life, rent levels are sticky for institutional and practical reasons. Thus, we define a dynamics for rents throughout the city, directed by supply and demand for housing service at each location : if the number $d(r)$ of households willing to move in is greater than the number of unoccupied flats, then the rent level increases. If, however, demand for housing is falling, then the rent level at this location decreases.

Two cases need to be distinguished :

- If $u(r) < \overline{u}$, then households are willing to move out of location r. It may be the case, however, that they cannot move if there is no supply of available housing at the other locations. In this case, there is no reason for rent levels to decrease. For this reason, decreasing rents are function of the proportion of unoccupied flats :

$$\frac{dR_H}{dt}(r) = \frac{R_H(r)}{\tau_R} \cdot \phi\Big(\frac{n(r)q(r) - H(r)}{n(r)q(r)}\Big) \quad \text{if } u(r) < \overline{u} \tag{A-17}$$

- If $u(r) > \overline{u}$, then households are willing to move in buildings, and rent level will increase in reaction :

$$\frac{dR_H}{dt}(r) = \frac{R_H(r)}{\tau_R} \cdot \phi\Big(\frac{n(r) + d(r) - \mu(r)}{n(r)} - \frac{H(r)}{n(r)q(r)}\Big) \quad \text{if } u(r) > \overline{u} \tag{A-18}$$

In Eq. (A-18), the function ϕ is growing with respect to its argument, and has the same sign as its argument ($\phi(0) = 0$). Furthermore, we verify *a posteriori* in our numerical experiments that no housing service is provided beyond production capacity, that is : $n(r)q(r) \leq H(r)$ is always verified at all times and all locations.

A.4 Specific functional forms

In this section, we define the specific functional forms we will use in the rest of the article in order to explore the properties of our model.

Basic functions

Concerning the utility function, the transportation costs, the housing service production function, and the composite goods production function, we use functional forms that are considered as very classical in urban microeconomics[6] : thus, the utility function, the housing service production function, and the general production function are Cobb-Douglas, while the transportation cost function is linear with respect to the distance from CBD.

$$\begin{array}{l} U(z,q) = z^{\alpha} q^{\beta} \text{ where } \alpha,\ \beta\ > 0 \text{ and } \alpha+\beta = 1 \\ T(r) = p \cdot r \text{ where } p > 0 \\ F(S,K) = A \cdot S^{a} \cdot K^{b} \text{ where } a,\ b,\ A\ > 0 \text{ and } a+b = 1 \\ Y(N,K) = G \cdot N^{x} \cdot K^{y} \text{ where } x,\ y,\ G\ > 0 \text{ and } x+y = 1 \\ \mathsf{Land}(r) = l \cdot r \text{ where } l\ >\ 0 \end{array} \tag{A-19}$$

In this relationship, p is the constant marginal transportation cost[7]. The variable G is the General Factor Productivity, while A is the productivity associated to the production of housing service[8].

Dynamic evolutions

Having defined the functional forms describing preferences, production, and transportation costs, we now turn to the dynamic relationships that need to be specified.

Housing consumption per capita : we specify here the expression of $\frac{\partial \tilde{u}}{\partial q}$, used in Eq. (A-8). With the functional forms we considered in Eq. (A-19), we have : $\frac{\delta \tilde{u}}{\tilde{u}} = \left(\frac{\beta}{q} - \frac{\alpha}{z} R_H\right)\delta q$. Furthermore, we choose the simplest specification for g , that is $g(x) = x$. Thus :

$$\frac{\partial q(r)}{\partial t} = \begin{cases} \dfrac{1}{\tau_q}\left(\dfrac{\beta}{q(r)} - \dfrac{\alpha}{z(r)} R_H(r)\right) \cdot q(r)^2 \text{ if } \psi(r) > 0 \\ \dfrac{1}{\tau_q}\left(\dfrac{H(r)}{n(r)} - q(r)\right) \text{ if } \psi(r) \leq 0 \end{cases} \tag{A-20}$$

Moves : we specify the weight functions we use in Eqs. (A-10) and (A-11) :

$$w^{-}(u,\overline{u}) = w^{+}(u,\overline{u}) = \frac{2}{\pi} \mathsf{arctan}\left[w \cdot \left|\frac{u-\overline{u}}{\overline{u}}\right|\right] \tag{A-21}$$

[6] Those functional forms are widely used in urban economics for exploratory purpose, both because they allow advanced calculations, and because they reproduce realistic features of agents' preferences and of goods production.

[7] Thus, no congestion is taken into account, even though it is an important feature of transportation systems.

[8] Concerning the static equilibrium and the calculations, see Appendix B

The function $\mathsf{arctan}(x)$ is increasing with respect to x, and converges towards $\pi/2$ (resp. $-\pi/2$) when x goes towards $+\infty$ (resp. $-\infty$), which ensures that w^+ and w^- have the desired properties. The coefficient w in Eq. (A-21) modulates the strength of the force driving the moves.

Rent evolutions : in Eq. (A-18), we choose the simplest form for the function ϕ, namely $\phi(x) = x$.

B Appendix : the static equilibrium of NEDUM

B.1 Static equilibrium : existence and unicity

In this section, we show both existence and unicity of a static equilibrium defined by Eqs. (A-1) to (A-4).

Unicity : let us assume that such an equilibrium exists, and write all the variables values at this equilibrium with a superscript "*".

Concerning productive capital, Eq. (A-4) implies :

$$I_K^* = \widetilde{I_{fK}}^* = \delta_K \cdot K^* \tag{B-1}$$

Meanwhile, from Eq.(A-3) we derive that :

$$\delta_K + \rho^* = \frac{\partial Y}{\partial K}(N, K^*) \tag{B-2}$$

Concerning housing capital, from Eq. (A-7), we get at any location r :

$$I_{fH}^*(r) = I_H^*(r) = \delta_H \cdot K_H^*(r) \tag{B-3}$$

From Eq. (A-5), we also have :

$$\delta_H + \rho^* = R_H^*(r)\frac{\partial F}{\partial K}(K_H^*(r), \mathsf{Land}(r)) \tag{B-4}$$

The taking into account of the equilibrium utility level u^*, added to Eqs. (A-6) and (B-4), lead to a unique relationship :

$$\widetilde{I_H} = j(\rho, K) \tag{B-5}$$

where j is decreasing in ρ and increasing in K.

We now consider the system of four variables ρ^*, I_K^*, $\widetilde{I_H}^*$ and K^*, and four equations (A-2), (B-1), (B-2), and (B-5).First, Eqs. (A-2) and (B-2) imply that $\widetilde{I_H}^*$ is increasing with respect to K^*. This relationship, added to Eq. (B-1), means that the derivative of LHS of Eq. (B-5) with respect to K^* is greater than δ_K. Meanwhile, we assume that the production

function $Y(N,K)$ has decreasing marginal returns on capital, that go towards 0 as K^* increases. As a conclusion, there is at most one possible equilibrium value for K^*.

Existence : if one assumes that, if $K^* = 0$, the derivative of LHS of Eq. (B-5) with respect to K^* is inferior to the derivative of RHS of Eq. (B-5), then we also have the existence of the solution.

Since there is one and only one level of K^* at equilibrium, then there is also one and only one level of corresponding consumption level c. At its stationary equilibrium, moreover, our model reproduces the features of classic urban microeconomics models [Fujita(1989)].

B.2 Analytical calculations for the static equilibrium

In this section, we characterize the static equilibrium with the functional forms defined by Eq. (A-19). We denote the equilibrium level of the variables with a superscript *. For instance Eqs. (A-5) and (B-3) give us for the equilibrium housing capital density at location r :

$$K_H^*(r) = \frac{b}{a}\frac{Np^2(\gamma+2)}{{c^*}^{\gamma+2}}\frac{1}{\rho^*+\delta_H}(c^*-p\cdot r)^{\gamma+1}\cdot r \tag{B-6}$$

This relationship, added to Eq. (A-6), implies that Eq. (B-5) translates into :

$$\widetilde{I_H} = \frac{\delta_H}{\delta_H+\rho^*}\frac{b}{a}\frac{Nc^*}{\gamma+3} \tag{B-7}$$

Meanwhile, Eq. (B-2), which links the interest rate and the productive capital stock, becomes :

$$\delta_K + \rho^* = yG\Big(\frac{N}{K^*}\Big)^x \tag{B-8}$$

Using this relationship and Eq. (B-1), we derive :

$$I_K^* = y\frac{\delta_K}{\rho^*+\delta_K} \tag{B-9}$$

We can now consider Eqs. (A-2), (B-7) and (B-9), which imply that the equilibrium rate of interest is the unique solution of :

$$s = \frac{\delta_H}{\rho^*+\delta_H}\frac{b}{a}\frac{1-s}{\gamma+2} + y\frac{\delta_K}{\rho^*+\delta_K} \tag{B-10}$$

Chapitre 9

Conclusion : prise en compte des inerties urbaines, et irréversibilité des choix de développement

9.1 Vulnérabilité des villes

Les inerties urbaines, facteur de vulnérabilité

Les résultats de cette thèse mettent en lumière les vulnérabilités des systèmes urbains face aux chocs ou aux politiques urbaines. Le constat de départ est que les villes, confrontées à des variations économiques rapides, ne peuvent s'adapter instantanément. Les inerties urbaines responsables de ces retards sont de plusieurs sortes.

1. La longue durée de vie des infrastructures énergétiques, de transport ou de logement, fige la forme des villes pour de longues années.
2. Les comportements des consommateurs sont également rigides sur le court terme, pour des raisons liées essentiellement au caractère spatialisé de l'économie urbaine. Les consommateurs résident en effet dans des logements qui sont précisément localisés, et dont les caractéristiques principales (la taille notamment) ne peuvent se modifier instantanément.
3. Le fonctionnement du marché du logement, en lui-même, ne permet pas aux loyers d'évoluer rapidement.

Les politiques urbaines, ou les chocs exogènes, guident donc le système ville vers un nouvel équilibre, qui peut n'être atteint qu'après une période transitoire durant laquelle le fonctionnement du système urbain doit faire l'objet d'une analyse spécifique. Nos analyses théoriques montrent que, durant les périodes de transition entre équilibres de long terme, la situation de la ville se trouve significativement dégradée par rapport aux états initiaux et finaux. Un travail empirique vient appuyer les prédictions de nos modèles théoriques : nous avons pu confirmer par des tests statistiques sur des données françaises les liens entre coûts du transport et demande de service logement.

Les transitions que nous avons analysées ont des caractéristiques différenciées dans le temps et dans l'espace : les locataires sont dans une certaine mesure « captifs » de leurs choix de localisation initiaux, dans une moindre mesure toutefois que les propriétaires possédant des terrains situés en un endroit précis ; les agents sont donc impactés différemment suivant leur situation initiale. Ainsi, en sus des effets négatifs agrégés, les transitions causent des effets redistributifs significatifs, pour les propriétaires immobiliers comme pour les locataires.

Des outils innovants

En abordant ces problématiques urbaines, le premier constat était celui de l'absence d'outil dédié à l'étude des dynamiques urbaines sur les échelles de temps dites de moyen terme, *i.e.* de l'ordre de 10 à 50 ans. Afin d'établir nos résultats, portant sur des phénomènes concrets dont les répercussions dans l'espace urbain sont bien réelles, une analyse théorique était donc nécessaire. En partant du modèle monocentrique, extrêmement performant pour les analyses d'équilibres de très long terme, nous avons peu à peu introduit la dimension du temps dans notre réflexion, de façon relativement imprécise pour commencer, puis en évoluant jusqu'à obtenir un cadre où la ville est décrite en temps continu.

Dans cette optique, le modèle NEDUM répond aux exigences premières que nous avions fixées *ex ante* : les hypothèses sur les comportements des consommateurs, et des investisseurs, permettent de comprendre les évolutions les plus simples de la ville, le renouvellement des investissements dans le secteur du logement, ainsi que les variations de densité de population dans le temps et dans l'espace. Le modèle NEDUM a été intrinsèquement conçu pour pouvoir prendre en compte les déséquilibres transitoires, caractéristiques des villes réelles.

Sur le plan théorique, de nombreuses extensions intéressantes peuvent être apportées à nos réflexions, notamment via le modèle NEDUM. Par ailleurs, nos analyses théoriques ont vocation, au moins par le biais de formes réduites, à être intégrées dans des types de représentation plus réalistes et plus vastes, comme ceux fournis par les modèles de prospective énergétique. Aussi, les réflexions présentées dans cette thèse ne sauraient être considérées que comme exploratoires.

Du point de vue des politiques énergétiques en effet, la principale leçon qu'il faut tirer de nos résultats est que la représentation de la ville est bien un enjeu capital pour les exercices de prospective. Si le chantier de la prise en compte des mécanismes analysés dans cette thèse a été jusqu'à présent sacrifié en faveur d'autres avancées, l'heure est propice à un retour de la question des inerties urbaines. Plus que jamais, les problématiques qui sont au centre des analyses économiques (le changement climatique notamment), appellent l'attention sur le système ville, et incitent à réfléchir sur de possibles modifications du fonctionnement de ce système.

Négligées jusqu'à présent, les inerties urbaines pourraient modifier sensiblement les analyses des politiques climatiques. Cette thèse montre que leur intégration dans les travaux de prospective énergétique devraient conduire à de nouvelles évaluations des coûts de la lutte contre le changement climatique. Les décisions politiques devraient être également infléchies par les problèmes d'échelles temporelles que nous avons soulevés. En mettant l'accent sur

l'intérêt d'une action précoce et progressive, cette thèse met le tempo des signaux-prix au cœur des décisions de politique énergétique des décennies à venir.

Limitations

Nous ne souhaitons pas revenir ici sur les multiples limitations dont souffrent nos analyses, limitations que nous avons déjà signalées dans le cours de la thèse. Des différences flagrantes existent effectivement entre le monde réel et la représentation simplifiée que en nous avons adoptée pour avancer dans nos travaux.

La question des anticipations rationnelles mérite une attention particulière. Sur le plan purement technique, l'exploration des propriétés de nos modèles avec des anticipations rationnelles nous conduirait probablement à examiner d'intéressantes et complexes questions d'incohérence temporelle dans les choix publics [*Kydland et Prescott*(1982)]. Notre choix de raisonner avec des agents économiques au comportement myope ne tient cependant pas uniquement à la simplification analytique et numérique que cette spécification entraîne. Devant la complexité des phénomènes en jeu, nous avons choisi de considérer que les consommateurs ne forment pas, sur les prix futurs de l'énergie par exemple, des anticipations parfaites. L'hypothèse de myopie était pour nous le chemin le plus simple et le plus direct pour représenter l'existence de « surprises » dans l'histoire des villes : ainsi le choc pétrolier de 1973 n'avait pas été préparé par les conducteurs automobiles des pays industrialisés ; plus près de nous, à Paris, en 2001, la mise en place des couloirs de bus par la municipalité prit également les conducteurs franciliens par surprise ; plus récemment encore, en Iran, la mise en place en juin 2007 du rationnement de la consommation de carburant provoqua, par sa brutalité, des protestations véhémentes dans la population.

Notre conviction est au demeurant que la question des anticipations est bien plus compliquée qu'un questionnement purement technique ne le laisserait entendre. Nous avons beaucoup insisté sur les inerties des infrastructures énergétiques, ainsi que sur les inerties liées à la localisation des agents et des activités économiques à travers la ville. Derrière la façon dont les choix des agents évoluent se cachent d'autres types d'inerties, moins facilement appréhendables par l'économiste. Sans remettre en cause les hypothèses d'anticipations parfaites, [*Akerlof*(2007)] introduit explicitement l'existence de normes intériorisées par les individus, et devant être prises en compte dans les fonctions d'utilité décrivant leurs comportements.

De fait, nous avons utilisé, pour parler des systèmes urbains, des termes extrêmement précis et techniques, codifiés jusqu'à la rigidité par les avancées de la science économique. Face à ce vocabulaire fonctionnaliste des économistes, force est de reconnaître la justesse des descriptions des urbanistes, utilisant un champs lexical plus physiologique, ou organiciste. Les urbanistes parlent, par exemple, des « artères » de la ville plutôt que de ses rues, laissant toute sa place à une vision qui fait de la ville un être vivant, dont la croissance, difficile à canaliser, ne peut être conçue comme résultant de la volonté d'un seul esprit [*Mumford*(1961)]. Les hommes construisent et habitent leur ville naïvement, y laissant la trace d'un inconscient collectif. A certaines périodes de la vie des hommes, une entente se réalise entre eux et leur ville. A des modifications profondes des conditions économiques, correspondent des évolutions de la ville aboutissant à une nouvelle forme d'entente. Parce que nous comprenons

mal ces processus, il est plus que délicat de dire aujourd'hui quel mode de vie urbaine nous privilégierons dans quelques décennies.

Par-delà les discussions sur nos hypothèses, et malgré le caractère stylisé de nos analyses, nos résultats sont suffisamment tranchés pour que nous puissions en tirer des enseignements concernant les obstacles qui guettent les politiques climatiques. Les formes fonctionnelles que nous avons utilisées sont relativement classiques en économie urbaine, car elles permettent de reproduire certains grands traits des comportements des agents économiques, ainsi que les principales caractéristiques des villes. Les valeurs des paramètres qui sous-tendent nos analyses numériques permettent également une calibration relativement réaliste des modèles. Nous obtenons donc, pour les mécanismes que nous mettons en évidence, des ordres de grandeur qui fournissent une bonne indication de l'importance des phénomènes réels.

L'étalement urbain : une impasse climatique

Les conséquences de nos résultats sont importantes du point de vue des stratégies de développement des villes. Les villes compactes sont plus robustes que les villes étalées face aux chocs énergétiques, ou encore face à la mise en place de politiques de réduction des consommations de carburant. Dans une ville étalée, il peut être nécessaire d'implémenter rapidement des taxes élevées sur les carburants, pour revenir à des niveaux plus bas de consommation énergétique.

Toutefois, le tempo d'un changement des formes urbaines est crucial. L'implémentation tardive et rapide d'une taxe entraîne des tensions sociales qui rendent en fait ce genre de mesure difficile à envisager, et opter à présent pour une politique retardée aurait plusieurs conséquences :

1. Une décision de ce type autorise aujourd'hui un développement sur un mode très consommateur d'énergie, favorisant les émissions de gaz à effet de serre.
2. Ces émissions participeront à renforcer l'ampleur des changements climatiques à venir. Ceci induira induira un besoin accru d'agir pour lutter contre le changement climatique.
3. Or précisément les villes, plus étalées, seront alors plus difficiles à réorienter vers des formes urbaines autorisant un comportement plus « vertueux. ».

En particulier en ce qui concerne les villes des Etats-Unis, une politique attentiste ajouterait un quatrième acte à la « tragédie » du modèle de ville Américain, que nous évoquions dans le chapitre 1. Passer rapidement des systèmes de transport intensifs en énergie à des villes plus compactes se ferait à un coût politique difficilement gérable, vu l'importance des redistributions que nous mettons en évidence. Le coût du changement du système de transport ne peut être seulement un coût en termes d'efficacité, mais doit se décliner en termes d'inégalités ; en cas de politique brusque, les conséquences redistributives rendent irréaliste l'adoption des mesures de lutte rapides contre le changement climatique.

En comparaison, un signal - prix anticipé peut être mis en place de façon précoce, et monter en puissance graduellement. Il redessine alors progressivement les formes de la ville, envoyant aux consommateurs une incitation à se déplacer vers les localisations où les coûts de

transport sont les moins élevés. Ce type de signal implique certes une distortion précoce du marché, mais permet d'éviter des tensions sociales fortes. On peut au demeurant s'interroger sur la prégnance que l'idéal de vie dans les grandes banlieues américaines : la maison avec un jardin située dans un endroit relativement isolé, où posséder une ou plusieurs voitures est la condition de l'accès aux centres de vie urbains, a connu durant les dernières décennies un puissant essor. Il est pourtant utile de rappeler qu'il fut une période où une large partie de la population rurale aspirait à accéder à la ville dense. Si les immeubles d'habitation étaient alors considérés comme les vecteurs du progrès, on peut envisager sur le moyen ou le long terme un retour de cet engouement.

Re-densifier les centre-villes après une période d'étalement urbain est en tous cas une gageure, sur le plan social comme sur le plan économique. Nous mettons ici en évidence une des modalités selon lesquelles l'histoire d'une ville influence son futur. L'histoire laisse dans la ville la marque de l'époque, de ce qui caractérisait la société et l'économie à un moment précis. Il est indispensable, pour agir sur un système urbain, de tenir compte de ce qui l'a modelé par le passé. Pour reprendre les mots de E. Lapierre (cité in [*Wachter*(2003)]) :

La ville issue de l'histoire est regardée comme une succession de strates déposées au cours du temps... Il convient donc pour intervenir dans cette ville et y déposer une nouvelle couche, d'avoir analysé en profondeur le site et de le connaître parfaitement.

D'après nos résultats, le risque est élevé pour nos sociétés de s'enfermer dans une impasse, d'où il sera malaisé, pour ne pas dire impossible, de ressortir. C'est en ce sens que les choix de prix de l'énergie bas dans les cités modernes ont une dimension irréversible :

- d'une part, il est peu probable qu'un gouvernement prenne le risque d'augmenter rapidement ces prix une fois que la ville a atteint une forme où son fonctionnement nécessite la consommation de grandes quantités d'énergie.
- D'autre part, même si les prix augmentent, les formes de la ville sont établies pour des durées de temps longues, et les consommations d'énergie resteront élevées pendant une période de transition qui peut durer plusieurs dizaines d'années.

Un risque similaire existe pour les villes des pays en développement, mais de manière plus prononcée. Nous nous sommes concentrés dans nos analyses sur les formes urbaines des pays industrialisés. Le traitement des mégapoles chinoises ou indiennes, par exemple, réclame un cadre plus approprié. Il est clair que, dans ces systèmes urbains en croissance démographique et économique très rapide, la période actuelle doit être considérée comme une fenêtre d'opportunité, où il est possible d'agir sur des infrastructures qui n'existent pas encore, mais qui seront installées dans les décennies qui viennent. Pour ces mégapoles du futur, les décisions prises aujourd'hui exercent donc sur l'avenir un effet de levier crucial.

9.2 Remettre le signal-prix transport en perspective

Les exigences des politiques urbaines

Placés dans la perspective d'une prise en compte de l'histoire de la ville, nos travaux montrent qu'il est important d'intégrer très en amont des politiques urbaines les questions soulevées par les inerties urbaines. Une montée en puissance progressive des orientations urbaines est en revanche envisageable, quelles que soient les caractéristiques initiales de la ville que l'on souhaite modifier : il est possible d'orienter les systèmes de transport, dès maintenant, et sans provoquer de tension sociale forte, vers une voie moins émettrice de carbone.

La simplicité de nos analyses, négligeant notamment les aspects institutionnels de la gouvernance des villes, ne saurait nous faire oublier les principaux obstacles qui se dressent face à la réalisation de ce scénario idéal. Les décideurs, élus ou nommés pour quelques années seulement, répondent à des incitations dont l'horizon n'est pas toujours adapté à une question qui nécessite une réflexion de très long terme. Ainsi les coûts d'une densification urbaine sont considérables, et les bénéfices principaux d'une telle action ne se feraient sentir que sur le long terme. Nombreux sont donc ceux qui considèrent aujourd'hui le phénomène d'étalement urbain comme irréversible [*Renard*(2004)].

La planification urbaine est d'une façon générale un processus délicat. Les outils sélectionnés doivent permettre de répondre à des objectifs de nature différente [*Renard*(2000)] : procurer des ressources fiscales à la puissance publique, redistribuer des revenus, ou orienter les comportements. Par exemple, d'après nos travaux, une taxe sur les transports est destinée à réduire la demande de mobilité, mais implique dans le long terme une redistribution de l'ensemble de la société vers les propriétaires. Il n'est pas certain que ce dernier effet soit le but assumé d'une politique climatique. Les inquiétudes concernant la sécurité énergétique, la disponibilité des ressources fossiles, ou les changements climatiques à venir, sont donc à mettre en regard d'autres priorités qui déterminent les politiques urbaines mises en œuvre dans nos cités.

Retour sur l'importance des échelles temporelles

Les exigences des politiques locales ne sont pas les seules à se dresser sur la route d'une lutte de long terme contre les émissions de gaz à effet de serre. Commment en effet supposer que les décideurs pourront contrôler le prix de l'énergie afin d'agir sur les comportements au rythme souhaité ? Les incertitudes en matière de prospective énergétique sont nombreuses, nous l'avons dit. Elles concernent de plus des phénomènes possédant des dynamiques distinctes, bien que liées. Les échelles temporelles qui caractérisent ces différents dossiers risquent fort d'entrer en collision :

1. L'amplitude des changements climatiques à venir est encore très incertaine. Cette incertitude ne fait que croître à mesure que l'échelle géographique à laquelle on s'intéresse est plus précise et plus locale. Or les informations sur le climat local sont cruciales pour déterminer les voies à prendre en matière d'adaptation des villes.

2. Suivant les informations qui arriveront dans le futur sur le climat au niveau global, le besoin de réduire les consommations énergétiques pour émettre moins de gaz à effet de serre sera plus ou moins grand. Ces données sont nécessaires pour déterminer les politiques de réduction qui devront être adoptées.
3. La disponibilité des ressources fossiles est le sujet d'inépuisables controverses entre experts : selon les uns le « peak-oil » se produirait en ce moment, tandis que selon d'autres il sera nécessaire d'attendre la fin du siècle pour le voir arriver [*Rehrl et Friedrich*(2006)]. Il est frappant de constater que le phénomène de peak-oil est lui-même la résultante de dynamiques dont les échelles temporelles sont mal maîtrisées : rythme du progrès technique, de l'épuisement des ressources, et changements des modes de consommation des ressources fossiles.
4. Il est difficile de prévoir aujourd'hui de quelles technologies nous disposerons dans le futur, et quels progrès techniques seront opérés sur les technologies existantes, par exemple dans le domaine du transport.
5. Les changements qui surviendront dans les habitudes des consommateurs font également partie des inconnues. Certaines modifications des modes de vie, par exemple le développement du télé-travail, peuvent influencer fortement la demande d'énergie dans le futur.

La question de la modification des modes de vie est évidemment fortement liée aux formes urbaines, aux densités d'habitation, à la nature et aux performances des réseaux de transport disponibles. Notre thèse se place dans la perspective d'une interrogation sur les modifications de la ville. Nous insistons sur la nécessité d'inscrire ces modifications dans un contexte où elles interagissent avec d'autres contraintes, avec d'autres évolutions. Les décideurs, dans un contexte d'incertitude, placés face à d'autres exigences plus rapprochées, ou accordant plus de poids à d'autres éléments du dossier climat, pourraient choisir de retarder l'action.

D'autres outils à mobiliser

Le tempo des négociations internationales est en lui-même responsable de certains retards. Alors que l'analyse économique préconise une action immédiate, certains pays refusent de prendre des engagements fermes, et les gouvernements ne concluent encore que des accords partiels. Les politiques locales, comme la mise en place d'une fiscalité carbone ou d'un système de permis d'émissions négociables, sont tributaires des progrès des négociations internationales. La perspective d'un accord international complet s'éloigne d'autant plus que les équipements énergétiques et les infrastructures urbaines de certains pays - comme les Etats-Unis - rendent coûteux pour eux toute politique de décarbonisation, ce qui détermine l'entrée dans le cercle vicieux que nous avons décrit plus haut. Le problème est loin d'être anodin, puisque deux dimensions cruciales dans le traitement du dossier climat entrent en conflit. Ainsi que l'écrivait Weyant dès 1993 :

(...) two things appear to be paramount in any attempt to minimize the cost of any control program : international cooperation and time for existing energy-related facilities to be retired and for new technologies to be phased in [*Weyant*(1993)].

La question est d'autant plus délicate qu'un accord international, signé entre plusieurs Etats, ne tient *a priori* pas ou peu compte des rythmes urbains, et des spécificités culturelles. Imposer le même chemin au signal-prix carbone dans des villes dont la situation initiale est différente est pourtant très inefficace. Au demeurant, les prix de l'énergie sont gouvernés également par bien d'autres facteurs exogènes, liés notamment à des tensions internationales multiples qui ont causé par le passé des chocs énergétiques de grande ampleur.

Devant ces réserves, suscitées par l'utilisation d'un prix soumis à tant d'autres facteurs, la « boîte-à-outil » des économistes offre quelques alternatives. Il est pertinent en effet de se demander s'il est possible de privilégier un outil théoriquement aussi puissant, mais moins soumis aux aléas de la situation internationale. Nous souhaitons donc ici, en guise de piste pour de futures recherche, attirer l'attention du lecteur sur l'alternative que peut constituer l'usage des taxes et des règlementations foncières. Dans le cas qui nous occupe, si le but est d'agir sur la demande de transport, transformer les formes urbaines en passant par des outils fonciers est une possibilité sérieuse.

Comparés aux prix de l'énergie, les signaux envoyés par le biais du marché du logement ou du foncier présentent l'avantage d'être relativement indépendants des aléas de la situation internationale. S'ils sont à la disposition des gouvernements locaux et non nationaux, surgit un autre risque : celui d'une compétition sous-optimale entre les villes, cherchant à attirer des entreprises ou des travailleurs par des réglementations les moins contraignantes qui soient. Un contrôle national des taxes foncières éloigne cependant ce spectre, et permet aux décideurs d'envoyer aux agents économiques un signal clair, dégagé de tout « bruit » lié aux tensions sur les ressources en pétrole.

Bibliographie

[*Akerlof*(2007)] Akerlof, George A., The Missing Motivation in Macroeconomics, *The American Economic Review*, *97*(1), 5–36, 2007.

[*Kydland et Prescott*(1982)] Kydland, F. E., et E. C. Prescott, Time to build and aggregate fluctuations, *Econometrica*, *50*(6), 1345–1370, 1982.

[*Mumford*(1961)] Mumford, L., *The City in History*, Harcourt, Brace and World, New York, 1961.

[*Rehrl et Friedrich*(2006)] Rehrl, T., et R. Friedrich, Modelling long-term oil price and extraction with a hubbert approach : The lopex model, *Energy Policy*, *34*(15), 2413–2428, 2006.

[*Renard*(2000)] Renard, V., Property taxation in france, *Journal of the property tax assessment and administration*, *5*(1), 2000.

[*Renard*(2004)] Renard, V., *Villes et économie*, chap. Les enjeux urbains des prix fonciers et immobiliers, pp. 85–108, La documentation Française, Paris, 2004.

[*Wachter*(2003)] Wachter, S., La forme et le flux : figures urbaines et architecturales de la mobilité, *Document de travail 18*, Centre de prospective et de veille scientifique, 2003.

[*Weyant*(1993)] Weyant, J. P., Costs of reducing global carbon emissions, *The Journal of Economic Perspectives*, *7*(4), 27–46, 1993.